

**UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA HABANA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CENTRO DE ESTUDIO DE DESARROLLO AGRARIO RURAL  
CEDAR**

**GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL COMO  
CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE. CASO DE ESTUDIO:  
MUNICIPIO SAN JOSÉ DE LAS LAJAS**

**Tesis presentada en opción al grado científico  
de Doctor en Ciencias Agrícolas**

Heriberto Vargas Rodríguez

**La Habana, 2010**

**UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA HABANA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CENTRO DE ESTUDIO DE DESARROLLO AGRARIO RURAL  
CEDAR**

**GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL COMO  
CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE. CASO DE ESTUDIO:  
MUNICIPIO SAN JOSÉ DE LAS LAJAS**

**Tesis presentada en opción al grado científico  
de Doctor en Ciencias Agrícolas**

**Autor:** Ing. Heriberto Vargas Rodríguez, MsC.  
**Tutor:** Dr.C. Daniel Ponce de León Lima

**La Habana, 2010**

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis ha sido posible gracias al concurso de muchas personas que me han acompañado en mi vida personal y profesional y de instituciones gracias a las cuales he podido ejercer mi labor. Al expresar mis agradecimientos corro el riesgo de olvidar a algún compañero o compañera. Créanme que el olvido es totalmente involuntario y no por ello les dejaré de estar eternamente agradecido.

A mi tutor, paradigma de actuación profesional: Dr.C. Daniel Ponce de León Lima por sus profundas reflexiones, todas siempre oportunas y de incuestionable ayuda.

Ahondar en el sendero del conocimiento, perfeccionar lo aprendido, fue sin dudas, una de las mejores experiencias que he tenido en mi vida profesional, ellos contribuyeron con su talento y su maestría: Carlos Balmaseda, Rafael Ojeda, Nelson Martín, Marina Vega, José Manuel Febles, Zandra Lock, Adriano Cabrera, Nicolás Medina, Vega, Lidia Angarica, Emilio Escartín, Nelson Nápoles.

A todos los profesionales que accedieron a brindar sus criterios como expertos.

A mis compañeros del grupo CEDAR por su siempre dispuesta mano amiga. Especial gratitud para Emilio, Celso, Tania, Justo, Pablo Marrero, Yuslien, Yasser, Javier. Sin ellos no hubiese sido posible la realización de esta tesis.

A mis compañeros de Departamento, por su constante inspiración para poder llegar al final. En especial para, Concepción Heredia, Zilia García, Wilfredo Pérez Duarte, Omelio León, Diuris Ruiseco, Jorge, Yoangel, Juan Pérez, José Luís Duran, Omara, Danay, Merlis, Ramón Brunet, entre otros.

A todos los que con su granito de arena hicieron posible la realización de esta tesis, Roberto Morales, Flor Alba, Alexander López, Matilde, Maira Echemendía, Manuel Peña, Lázaro, Orestes Cruz, a Lucía y a Fina, a los compañeros de la DMPF, en especial a Mayito y a Jorge Garcell, a los compañeros de Estadística, Hidrología, forestal, entre tantos.

A mis amigos de las 24 horas, esos que no saben fallar. No es preciso citarlos, ellos saben sus nombres.

*A todos... Muchas Gracias*

## **DEDICATORIA**

A mi hijita, fuente de inspiración de todos mis actos, por quien me esfuerzo a diario para servirle de ejemplo y darle la mejor educación.

A mi esposa, Fabienne Torres Menéndez, una parte importante y especial de mi vida, sin quien no hubiese podido llegar hasta aquí. Gracias por tu imprescindible apoyo y estar siempre a mi lado en este largo y angosto camino.

A mis padres. Ejemplos de sacrificio, constancia y amor, luz de mi vida y guías incansables de mis pasos.

A la Revolución, por haberme dado la oportunidad de estudiar, de superarme y ser más útil a la sociedad educando a las nuevas generaciones.

## SÍNTESIS

Se exponen los principales resultados obtenidos en la investigación con el fin de generar escenarios de Ordenamiento Territorial (OT) para las principales Clases Generales de Uso de la Tierra (Agrícola, Forestal, Ganadera y Urbana) del municipio San José de las Lajas, que integra, desde una perspectiva holística, Técnicas de Evaluación Espacial Multicriterio (ESMC) y modelos de conocimiento, sustentadas en criterios de expertos, que pone a disposición de los actores sociales del municipio un sistema de información geoespacial para la toma de decisiones orientadas al desarrollo rural sostenible.

Previo al OT se evaluó la aptitud física de las tierras para las CGUT consideradas, aplicando el esquema de la FAO del año 1976 y su revisión del año 2007, e incorporando el concepto de vulnerabilidad. Mediante el método Delphi se obtuvieron 19 cualidades, definidas por sus características, que permiten evaluar la aptitud de las tierras para el uso urbano en cualquier parte del país donde se apliquen, garantizándose un enfoque holístico y calidad de los resultados.

Se evidenció que el 11.68 % y el 37.06 % del área total del municipio presenta conflictos de tipo sub-utilización y sobre-utilización respectivamente, mientras que el 45.08 % del área total presenta conflicto en la asignación de uso. De igual forma se encontró que existen conflictos entre el uso urbano y el agropecuario, debido a que el crecimiento urbanístico se desarrolla sobre los suelos con mayor potencial agroproductivo.

Se proponen 12 104,25 ha para la CGUT Ganadera, 10 011 ha para la Agrícola, 9519 ha para la Forestal y 22 791 ha para la Silvopastoril, mientras que para el crecimiento del centro urbano se recomienda una superficie de 353.5 ha, orientada hacia el suroeste.

Esta propuesta lleva implícita una ubicación más eficiente de las actividades económicas y sociales, de acuerdo con la relación demanda – oferta ambiental de las tierras del municipio. Además, con la misma es posible obtener mayores rendimientos agrícolas potenciales, por concepto de energía y proteína, que los estimados para el uso actual del municipio.

## **Glosario de acrónimos y abreviaturas utilizadas en la tesis**

ADM: Área de Decisión Mínima.

ALES: Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras.

C.O: Carbono Orgánico.

COS: Coeficiente de Ocupación del Suelo.

CaT: Características de la Tierra.

CENSA: Centro de Nacional de Sanidad Agropecuaria.

CGUT: Clases Generales de Uso de la Tierra.

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

CITMA: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

CuT: Cualidades de la Tierra.

D: Densidad de población.

DGSF: Dirección General de Suelos y Fertilizantes.

DI: Disponibilidad de Información.

DML: Delimitación Mínima Legible (0.4 cm<sup>2</sup>).

DMPF: Dirección Municipal de Planificación Física.

DOL: Delimitación Óptima Legible.

ECGUT: Efectos sobre la Clase General de Uso de la Tierra.

ERC: Errores por Comisión.

ERO: Errores por Omisión.

ESMC: Evaluación Espacial Multicriterio.

ET: Evaluación de Tierra.

EVC: Existencia de Valores Críticos.

EVERC: Evaluación de la Erosión en Regiones Cársticas.

ExD: Exactitud del Decisor de los datos.

ExU: Exactitud del Usuario de los datos.

FAO: Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

I.S: Instituto de Suelos.

I: Importancia.

ICA: Instituto de Ciencia Animal.

ILWIS: *Integrated Land and Water Information System*, software SIG.

INCA: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.

INICA: Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar.

IPF: Instituto de Planificación Física.

ISRIC: *Internacional Soil Reference and Information Centre*.

K: Índice de Kappa.

MAE: Error Medio Absoluto (Siglas en inglés).

MAPE: Porcentaje de Error Medio Absoluto (Siglas en inglés).

ME: Error Medio (Siglas en inglés).

MINAG: Ministerio de la Agricultura.

MPE: Porcentaje del Error Medio (Siglas en inglés).

OME: Oficina Municipal de Estadística.

ONE: Oficina Nacional de Estadística.

PAJ: Proceso Analítico Jerárquico.

PCC: Porcentaje Correctamente Clasificado.

RMSE: Raíz cuadrada del Error Cuadrático Medio (Siglas en inglés).

RUT: Requisitos de Uso de la Tierra.

SIG: Sistema de Información Geográfica.

TCPA: Tasa de Crecimiento Promedio Anual.

TDM: Técnicas de Decisión Multicriterio

TUT: Tipo de Utilización de la Tierra

UNAH: Universidad Agraria de La Habana

UT: Unidades de Tierras.

%V: Porcentaje de Saturación por Bases del suelo.

# **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación mundial generada en torno a la protección del medio ambiente y la necesidad de contar con criterios adecuados para la toma de decisiones en el contexto de las competencias de usos de la tierra, junto a la necesidad de elevar la calidad de vida de las poblaciones, ha motivado la búsqueda de instrumentos técnicos que hagan posible el desarrollo sostenible de los espacios rurales.

Por otra parte, el aumento del crecimiento demográfico y de la demanda alimentaria de la población (Diouf, 2008), generan objetivos en conflicto que se agravan debido a la fragilidad de los ecosistemas y a su deterioro, consecuencia de una explotación irracional e ineficiente. A lo anterior se le añade, en el caso de Cuba, la aplicación de políticas agrarias y de fomento urbanístico que no han dado los resultados esperados (Cruz, 2005).

El municipio San José de las Lajas representa el 10.4 % del área total de la provincia La Habana y ocupa el segundo lugar en extensión territorial entre todos sus municipios, con una población de 74053 habitantes y una densidad de 124.26 habitantes por kilómetro cuadrado (OME, 2008). En lo que respecta a su situación ambiental, se percibe que uno de los mayores problemas se relaciona con la práctica agropecuaria y forestal, pues su explotación se lleva a cabo sin considerar las potencialidades ni limitantes de las tierras para estos usos (Vargas y Ponce de León, 2008). Además, no se le presta atención a los procesos que ocasionan la degradación de los recursos naturales, ni a las medidas para su conservación. Estas indisciplinas también subsisten en el contexto urbano, resaltando entre ellas, los inadecuados planes de ordenamiento territorial debido al pobre o nulo empleo de los indicadores como fundamento para la formulación de políticas territoriales (Paumier, 2004) y a la falta de enfoque sistémico y participativo en el proceso de toma de decisiones, donde se relacionen de manera equilibrada los aspectos sociales, económicos y ambientales.

Por otra parte, en el municipio se evidencia un conflicto entre el uso agrícola y el urbano. Ello se debe a que el crecimiento urbanístico en esta zona, desde sus inicios (mediados del siglo XVIII), ha sido hacia el norte, lugar donde se encuentran los suelos de mejores características agroproductivas. Tendencia que continúa en la actualidad con los planes para la construcción de 1800 viviendas, cuya estructura no permite hacer más de dos pisos, y por ende ocupan mayor superficie de suelo en áreas de fuerte desarrollo cársico (Febles, 1999).

Esta situación se agrava en la etapa comprendida entre los años 1959 y 2000, debido a que durante la misma se producen grandes inversiones en el desarrollo agropecuario hacia el noroeste del municipio, especialmente en la ganadería, donde se construye el Centro de Inseminación Artificial Rosafé Signet, vaquerías y otras instalaciones a sus alrededores, a la vez que se acelera el desarrollo de los asentamientos humanos como es el caso de la construcción del reparto Pastorita. Estos constituyen ejemplos claros de conflictos de uso de la tierra en el desarrollo urbanístico, agrícola y ganadero en un entorno matizado por la falta de bases científicas en la planificación y el ordenamiento del territorio desde una óptica de desarrollo sostenible.

Algunos autores (Parra et al., 2005, Dalle et al., 2006) en el terreno de la política agraria, se refieren al papel multifuncional de la agricultura. Frente a su tradicional desempeño meramente productivista, reconocen su importancia respecto a la conservación del medio ambiente y a su efecto como catalizador en la generación de empleos en el medio rural. De esta forma, a la hora de evaluar la eficiencia de un sistema agrario, no deben utilizarse solamente criterios económicos-financieros, sino que esta evaluación debe ser *multicriterio*.

Las finalidades de los diferentes procedimientos usados para evaluar los usos a que debe ser sometida la tierra son, fundamentalmente, la explotación sostenible de los recursos y la preservación del entorno (van Diepen et al., 1991). Para ello, se deben reconocer e incorporar en los modelos de gestión los diferentes enfoques analíticos empleados en la resolución de problemas, los efectos o impactos ambientales y valorar las consecuencias de los mismos en una escala de medida apropiada para efectuar la priorización y selección final (Sánchez y González, 2004).

La selección entre un conjunto discreto de “alternativas ambientales”, la consideración simultánea de múltiples criterios habitualmente en conflicto, así como los problemas de valoración de aspectos intangibles, en una escala válida para la toma de decisiones, partiendo

de las diferentes percepciones de la realidad que tienen los actores implicados en el proceso de resolución del problema (FAO; 2007), es uno de los aspectos que más interés despierta en el campo ambiental, tanto desde un punto de vista teórico como práctico. En este sentido se han propuesto diferentes métodos para la valoración ambiental, entre los que destacan las técnicas de decisión multicriterio (TDM), constituidas por un conjunto de herramientas y procedimientos utilizados en la solución de problemas de decisión compleja en los que intervienen diferentes actores y criterios, siendo el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), desarrollado por Saaty (1977), uno de los métodos más empleados en la actualidad (Zanazzi, 2003, Gómez y Bosque Sendra, 2004).

El PAJ es una herramienta analítica, basada en matemáticas sencillas, que permite comparar explícitamente factores cuantitativos y cualitativos con el propósito de resolver conflictos o establecer prioridades. En la mayoría de las decisiones existen elementos cualitativos que suelen tener una participación o peso importante, sobre todo a nivel estratégico, una sólida base teórica que respalda y valida los resultados, y una aplicación importante del concepto de métrica. El aporte más importante del PAJ se refiere a la capacidad de incluir en el modelo jerárquico, la visión de desarrollo de los diversos tomadores de decisiones (ej: organismos del municipio), y la de permitir a los actores sociales el acceso a intervenir en la forma en que se orientarán los planes agropecuarios, forestales y urbanísticos del municipio, así como al tipo de desarrollo (destino) que desean para su territorio.

Hoy existe el reto de establecer un sistema de desarrollo sostenible, capaz de solventar la creciente demanda alimentaria de la población, a la vez que se armonice con un desarrollo urbanístico para satisfacer sus necesidades de vivienda. Ante esta situación, se evidencia la importancia de buscar métodos y herramientas, que posibiliten establecer estrategias encaminadas a lograr un ordenamiento adecuado del territorio y una gestión integral de los recursos naturales.

### **Problema Científico**

¿Cómo generar escenarios de Ordenamiento Territorial optimizados que permitan la solución de conflictos de asignación de usos generales de la tierra (Agrícola, Ganadero, Forestal y Urbano) en el municipio San José de las Lajas, para contribuir al desarrollo sostenible?

## **Hipótesis**

La generación de escenarios de Ordenamiento Territorial que optimicen los usos generales de la tierra (Agrícola, Ganadero, Forestal y Urbano) es posible a partir de la integración de sistemas expertos y Técnicas de Decisión Multicriterio sobre un sistema geoespacial de soporte de la decisión.

## **Objetivo General**

Elaborar una propuesta de escenarios de Ordenamiento Territorial en el municipio San José de las Lajas mediante un enfoque holístico, que contribuya a la solución de conflictos de asignación de uso de la tierra.

## **Objetivos Específicos**

- Evaluar a partir de indicadores la multifuncionalidad del recurso tierra del municipio San José de las Lajas, como contribución al desarrollo sostenible.
- Establecer modelos de sistemas expertos orientados al Ordenamiento Territorial con enfoque holístico sustentados en la Teoría de Decisión Multicriterio.
- Generar escenarios de Ordenamiento Territorial optimizados a través de un sistema geoespacial de soporte a la decisión.

## **Novedad Científica de la Investigación**

La novedad científica de esta investigación está determinada por:

- Se realizó una propuesta de Ordenamiento Territorial mediante un enfoque metodológico que integra, desde una perspectiva holística, técnicas derivadas de la teoría de la decisión y modelos de conocimiento, sustentadas en criterios de expertos, que favorece el proceso de toma de decisión en el municipio San José de las Lajas como contribución a su desarrollo sostenible.
- Desde el punto de vista conceptual se incorporaron los criterios de vulnerabilidad en los procedimientos de evaluación de tierra, así como la aplicación de las técnicas de decisión multicriterio en la jerarquización de las cualidades de la tierra.

- Se proponen indicadores que permiten evaluar la aptitud de las tierras para el crecimiento urbano con un enfoque holístico y participativo, sustentados en el criterio de los actores sociales del municipio.

### **Actualidad del Tema**

La investigación está relacionada con el uso de la tierra en el municipio San José de las Lajas y su Ordenamiento Territorial a partir de un enfoque metodológico de actualidad que se refleja en las perspectivas sociales, tecnológicas, científicas y ambientales:

- Desde el punto de vista social, se aborda la solución de conflictos de asignación de usos de la tierra, orientada al logro de la seguridad alimentaria, donde los actores sociales tienen una participación activa en todo el proceso de Ordenamiento Territorial, aportando criterios, tratados con las herramientas científicas apropiadas, sobre diferentes escenarios de uso de la tierra.
- Desde el punto de vista tecnológico da respuesta a cuál debe ser el uso más apropiado al que deben ser sometidas las tierras del municipio, resultado de un enfoque metodológico de carácter holístico, mediante un sistema geoespacial de soporte a la decisión.
- Desde el punto de vista científico revitaliza el uso de los procedimientos de evaluación de tierras, al incorporar el concepto de vulnerabilidad y las técnicas de decisión multicriterio, tanto en los aspectos espaciales (optimización de escenarios) como en los no espaciales (jerarquización de modelos de conocimientos), aplicados a un amplio espectro de usos generales de la tierra.
- Desde el punto de vista ambiental se incorporan de manera efectiva criterios coherentes con las estrategias y regulaciones ambientales vigentes en el municipio, con lo que se logra una propuesta de Ordenamiento Territorial orientada a la preservación de los principales recursos naturales, que incluyen las zonas de conflicto rural – urbano.

Los resultados del trabajo permitirán viabilizar los programas de gobierno y planes de desarrollo del municipio, contribuyendo desde las diferentes perspectivas a la elección de políticas acertadas que contribuyan a su desarrollo sostenible.

# **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. El Ordenamiento Territorial

El ordenamiento del territorio (OT) es un aspecto muy importante a tomar en cuenta para preservar el medio ambiente y alcanzar un desarrollo sostenible. Según Massiris (1999), algunos de los logros que se pueden alcanzar con las políticas de OT son las siguientes:

- Definición de los mejores usos de los espacios, de acuerdo con las potencialidades y limitantes presentes en el territorio.
- Distribución equilibrada en el territorio de las actividades y usos del suelo.
- Organización del espacio urbano más funcional y acorde con el desarrollo humano sostenible.
- Prevenir los peligros, la vulnerabilidad y los riesgos naturales y tecnológicos a que están sometidos los territorios
- Fortalecimiento de la competitividad de los territorios.

La utilización del OT no es una práctica nueva en el mundo. Varios países latinoamericanos como Venezuela, Bolivia y Colombia, entre otros, cuentan con una experiencia significativa en este campo, entendido como una política de Estado y proceso de planificación territorial integral y concertado, con el que se pretende configurar, en un largo plazo, una organización espacial del territorio, acorde con los objetivos del desarrollo económico, social, cultural y la política ambiental (Massiris, 1999).

En Europa el Ordenamiento Territorial (*Land-use planning*) se guía por la "Carta Europea de Ordenación del Territorio", la cual es interpretada como "la expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de cualquier sociedad. Disciplina científica, técnica administrativa y acción política, concebida como práctica interdisciplinaria y global para lograr el desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio" (Massiris, 2002). Este concepto se reproduce en todos los países europeos, contextualizado según las condiciones y objetivos específicos de sus políticas nacionales.

Al respecto Hildebrand (1996) y Bautista y Malagón (2008), plantean que el Ordenamiento Territorial en Europa se concibe de dos formas diferentes. Por una parte, algunos países como Alemania, Australia, Suiza, Holanda, Italia, España y Portugal lo entienden como una planificación física a escala regional, subregional o local, con énfasis en el uso y ocupación del territorio a partir de la coordinación de los aspectos territoriales de las políticas sectoriales y la coordinación del planeamiento urbanístico municipal. Mientras que en otros como Francia y el Reino Unido se vincula estrechamente a la planificación económica y social, con el objetivo de garantizar el equilibrio en el desarrollo regional.

De lo anterior se deduce que el concepto de Ordenamiento Territorial está sujeto a diversas interpretaciones, sin que exista una definición universal que satisfaga a todos. Ello coincide con Méndez (1992) quien encuentra dos enfoques básicos en la conceptualización del Ordenamiento Territorial. El primero se entiende como mera planificación física, en términos de asignación de usos de la tierra y localización de población y de las actividades económicas en los espacios nacionales, mientras que el segundo se compone de un proceso integral y complejo orientado al mejoramiento del bienestar social, a partir de la consideración de parámetros de índole físico-territorial, sociales, culturales, económicos, políticos y administrativos.

Lo anterior coincide con Gómez (1994) para quien el Ordenamiento Territorial es una “...función pública que responde a la necesidad de controlar el crecimiento espontáneo de las actividades humanas, fundamentalmente en el sentido de evitar los problemas y desequilibrios que aquel provoca entre zonas y entre sectores, optando por una fuente de justicia socioespacial y por un concepto de calidad de vida que trasciende al mero crecimiento económico”.

Por su parte, Bosque Sendra y García (2000) entienden por Ordenamiento Territorial a las actividades realizadas por cualquier agente público o privado, para establecer políticas que deben ser seguidas por la población y otros agentes económicos en cuanto al uso de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y la asignación de las diferentes actividades. Estas decisiones dependen, entre otros factores, de razones y criterios derivados de un amplio grupo de expertos relacionados con el tema, que deben tener en cuenta las aptitudes de los diferentes escenarios del territorio para cada uso evaluado, así como el impacto potencial que tendrá este uso sobre el medio ambiente.

### **1.1.1 El Ordenamiento Territorial en Cuba**

En Cuba, el Ordenamiento Territorial se ha considerado como una disciplina científico-técnica, administrativa y política, orientada al desarrollo equilibrado del territorio y a la organización física del espacio (Moreno et al., 2008). En el proyecto de Decreto Ley sobre la Planificación Física del país del año 2001, se define como: "...el sistema de elementos técnicos y administrativos encaminados a regular y controlar el uso y la transformación integral del territorio, con el objetivo de desarrollar y mejorar las condiciones del mismo para las funciones sociales y económicas a que está destinado...". La atribución y responsabilidad fundamental corresponde al Instituto de Planificación Física y a los órganos locales del Poder Popular que desarrollan y gestionan el territorio de acuerdo con lo regulado. Su objetivo es mejorar el nivel y calidad de vida de la población, brindar un aprovechamiento óptimo del uso de la tierra, ubicar adecuadamente las actividades productivas y no productivas y gestionar de manera responsable los recursos naturales, la protección y rehabilitación del medio ambiente, entre otros.

Entre los estudios básicos del Plan de Ordenamiento en nuestro país se encuentra la clasificación del suelo. Este se clasifica, de acuerdo con su régimen urbanístico, en suelo no urbanizable, suelo urbanizado y suelo urbanizable.

El suelo no urbanizable es aquel en el que no existe un interés del Plan por preservar o crear valores relacionados con la urbanización. Su uso está orientado hacia las actividades agropecuarias, minería, turísticas, áreas protegidas, recursos naturales, fajas de protección, entre otros. Por el contrario, en los suelos urbanizados y los urbanizables sí se contempla la actuación urbanística para el desarrollo de actividades sociales o productivas. Siendo el primer caso aquel que ha sufrido un proceso de transformación, por el emplazamiento de infraestructuras y edificaciones, que hace irreversible la recuperación de sus valores naturales. Mientras que los urbanizables son aquellos que se consideran, según el Plan, necesarios como objetos de actuación urbanística dentro de los horizontes temporales con los cuales se está trabajando, a fin de que se asimilen los crecimientos de los núcleos poblacionales, la creación de otros nuevos o la urbanización para el desarrollo de actividades sociales o productivas (Paumier, 2004).

### **1.1.2 Regulaciones del Ordenamiento Territorial en Cuba**

El Ordenamiento Territorial constituye un instrumento o estrategia de desarrollo sostenible, a partir de acciones que buscan inducir la mejor ubicación de las actividades económicas y sociales, con relación al aprovechamiento racional de los recursos naturales, así como delimitar los fines y usos de la tierra, de acuerdo con su vocación y la demanda que exista sobre ella (Rodríguez y López, 2008). Para alcanzar estos objetivos se aplican una serie de leyes, decretos leyes o resoluciones de corte ambiental cuyo cumplimiento es obligatorio. Entre los instrumentos legales se encuentran la Ley del Medio Ambiente, año 1997; Ley Forestal, año 1998; Decreto Ley de Costas, año 2000; Decreto Ley de Contravenciones Ambientales, año 1999; Decreto Ley de Áreas Protegidas, año 1999 y el Decreto de las Contravenciones en Materia de Ordenamiento Territorial y de Urbanismo, 2001; entre otros.

Para concretar lo anterior se desarrollaron los instrumentos de ordenamiento territorial y urbano entre principios de la década del 70 y finales de los 80: Esquemas de Desarrollo y los Planes Directores. Los primeros se realizan a escala nacional, provincial o urbano, con horizontes temporales de mediano y largo plazo. Por su alcance en el tiempo y poco nivel de concreción son difíciles de implementar (IPF, 2000). Los Planes Generales de Ordenamiento Territorial y Urbano (PGOTU) surgieron como un instrumento complementario a mediano o corto plazo, expresan las regulaciones en el uso y manejo de los territorios a escala provincial y municipal. Estos son instrumentos técnicos por excelencia que al aprobarse por los gobiernos de sus instancias, se transforman en jurídicos y su implementación sigue un orden de prioridades. Según Paumier (2005), están compuestos por cuatro etapas principales: preparación de la elaboración del PGOTU, elaboración de diagnóstico, elaboración del avance del PGOTU y el completamiento del PGOTU.

### **1.1.3 Fases del Ordenamiento Territorial**

Bosque Sendra y García (2000), coinciden en que el Ordenamiento Territorial se compone de dos fases. En la primera de ellas se establecen los objetivos territoriales a alcanzar, tales como: superficies dedicadas a cada tipo de utilización, cantidad de viviendas a edificar, cantidad de árboles a plantar, entre otras. En esta etapa inciden las disponibilidades económicas existentes y los objetivos de la administración y de los actores sociales implicados. Mientras que en la segunda fase (de base geográfica) la finalidad es la asignación "óptima" de la posición espacial para cada uso antes seleccionado. Para ello, se pueden utilizar una serie de herramientas de

análisis y planificación, entre las que se destacan las Técnicas de Decisión Multicriterio y los Sistemas de Información Geográfica. Su combinación proporciona grandes posibilidades a la elaboración de planes detallados de Ordenamiento Territorial.

No obstante, es evidente que los resultados alcanzados en la segunda fase pueden afectar a la definición de los objetivos de la primera, debido al ciclo de "retroalimentación" existente en todo el proceso, por lo que las citadas herramientas inciden en todos los momentos de la planificación.

#### **1.1.4 Problemas en la asignación del uso de la tierra**

El aumento diario de la población mundial obliga a explotar de forma adecuada los recursos naturales, dentro de los cuales la tierra es uno de los más importantes. Para poder satisfacer las necesidades alimentarias de esa población, se necesita que cada parcela sea utilizada de manera eficiente, por lo cual, se debe buscar el uso más apropiado para cada lugar, teniendo en cuenta los recursos que ofrece la tierra y los requisitos de cada uso.

En este sentido, González (2002) enfatizó en la utilidad de los indicadores para evaluar el uso de la tierra con fines agrícolas; mientras que González y Lázaro (2005), reflexionaron sobre la necesidad de crear sistemas de seguimiento, basados en indicadores precisos, que permitan controlar la expansión urbana, la gestión sostenible de recursos y residuos, la protección al patrimonio natural y cultural, entre otros, dentro de un enfoque integrado.

De igual modo, el Instituto de Planificación Física orienta el uso de indicadores para el adecuado Ordenamiento Territorial y Urbanístico de los municipios. Con este fin se confeccionaron las Guías para la elaboración del Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbanístico del Municipio (IPF, 2000). Sin embargo, Paumier (2004) hace referencia a la necesidad de actualizar los instrumentos que han servido de base al proceso del Ordenamiento Territorial y el Urbanismo, con el objetivo de afrontar algunos problemas que se han presentado en su aplicación, entre los que se destacan los siguientes:

- Pobre o nulo empleo de los indicadores como fundamento para la formulación de políticas territoriales.
- Excesivo número de indicadores, con poca aplicación en el planteo de las regulaciones, y en la conformación de los programas de medidas y acciones de los Planes de Ordenamiento Territorial y el Urbanismo.

- Dificultades en la comparación con estándares nacionales e internacionales.

Por otra parte, en el proceso de toma de decisiones formales, casi nunca participan todos los actores sociales importantes que deciden el uso de la tierra (Paumier, 2005), además no se contempla la formación de grupos coordinadores y grupos de consultas (Pérez y Villarrubia, 2009), cayendo el peso en los especialistas de la Dirección Municipal de Planificación Física, quienes no tienen un conocimiento integral que les permita evaluar con un enfoque holístico la aptitud de las tierras para diversos usos. Esto significa que los arquitectos normalmente basan sus criterios para el Ordenamiento Territorial desde la óptica de su especialidad, sin tener la colaboración de los expertos en suelos y otras especialidades, ni especialistas relacionados con el uso de la tierra, limitando con ello los criterios de evaluación a un reducido marco del conocimiento. Como resultados se obtienen propuestas de Ordenamiento Territorial inadecuadas, por no ajustarse a la realidad objetiva de las necesidades de los municipios y su relación con el medio ambiente.

Otras limitaciones de este proceso, planteadas por Paumier (2005), son que se realiza a partir de criterios ad hoc, lo que hace que se puedan presentar algunos inconvenientes relacionados con las interacciones humanas; poca aplicabilidad de los estudios al ser enfocados como un simple proceso de recopilación y adecuación de trabajos realizados por otras instituciones; limitada o nula participación de la comunidad y las instituciones radicadas en el territorio en la búsqueda de soluciones adecuadas a los problemas locales. Al respecto, Pérez y Villarrubia (2009) coinciden en que el mismo se concentra en las zonas urbanas y que para su elaboración no se evalúan los recursos con relación a su valor de uso. Además, presentan insuficiente capacidad de respuesta ante amenazas y vulnerabilidades por fenómenos naturales; insuficiente uso de los instrumentos metodológicos, técnicos y jurídicos existentes por parte de los actores responsables, así como el desarrollo de viviendas en forma desordenada, sin una regularidad que posibilite una solución de urbanización adecuada, entre otros.

En la actualidad se hace un gran esfuerzo por estimular la concientización sobre el problema del uso de la tierra y lograr que su sostenibilidad tenga la misma importancia a nivel internacional que el cambio climático y otros eventos importantes (Marbach, 2002; Abel y Stepp, 2003; Castillo et al., 2005; Dalle et al., 2006; Lang et al., 2007).

El objetivo global consiste en facilitar la dedicación de la tierra a los usos que aseguren los mayores beneficios sostenibles y promover la transición a un ordenamiento integral de este

recurso. Al hacerlo se debe tener en cuenta una perspectiva multicriterio que considere los aspectos económicos, ambientales y sociales. Ello coincide con Alier et al. (1996), quien agrupa al primer aspecto en flujo económico y costo de transformación, mientras que en el ambiental resalta la necesidad de evaluar la vulnerabilidad del medio con condiciones específicas ante un uso determinado.

De lo anterior se concluye que en el proceso de OT en Cuba se necesita de instrumentos técnicos, científicamente argumentados, que permitan concretar y hacer viable la selección de las alternativas apropiados en la relación demanda - oferta ambiental, a partir de indicadores obtenidos con un enfoque holístico y participativo. Estos facilitarán la optimización espacial de los escenarios de usos de las tierras a partir de su naturaleza intrínseca multifuncional expresada en múltiples conflictos.

#### **1.1.5 Conflictos de usos de la tierra**

La identificación de los conflictos es una de las tareas más importantes en el Ordenamiento Territorial. Para su resolución es fundamental examinar todos los usos de manera integrada, así como vincular el desarrollo social y económico con la protección y el mejoramiento del medio ambiente, con lo cual se contribuye al desarrollo sostenible (Mwasi, 2001). Ello coincide con Alier et al. (1996), quien afirma que para lograr un uso sostenible de la tierra, se deben satisfacer las necesidades de todos sus posibles usuarios y asegurar la protección de los recursos naturales al mismo tiempo.

Un conflicto en el uso de la tierra se presenta cuando existe discrepancia entre el uso que se está practicando actualmente al medio natural y aquel que debería tener de acuerdo con la oferta ambiental (Murcia et al., 2007). Según este autor, el principal resultado del uso inapropiado de las tierras, es la generación de procesos de degradación que originan una disminución progresiva de la capacidad de producción de las mismas, así como la pérdida de la biodiversidad y el incremento de los costos de producción. Por ello, surge la necesidad de identificar las zonas que actualmente son desaprovechadas con usos pocos adecuados, además, se deben buscar opciones productivas que lleven implícita la conservación del medio ambiente.

Al analizar el uso actual y el uso potencial de la tierra, se pueden identificar algunas áreas sub-utilizadas y otras sobre-utilizadas, lo cual genera conflictos de uso (IGAC, 1998). Según Murcia et al. (2007) los conflictos de tipo de sub-utilización hacen referencias a zonas con alto

potencial de producción para una CGUT determinada, las cuales no están siendo utilizadas adecuadamente. Mientras que los de sobre-utilización se presentan en zonas donde se lleva a cabo un uso intensivo de la tierra, pero esta no presenta una oferta ambiental alta que pueda soportar la carga de dicho uso.

Por otra parte, también existe la posibilidad de conflicto entre actividades distintas que pretendan utilizar los mismos ecosistemas para propósitos diferentes (OEA, 1987). Es decir, cuando una UT tiene la misma aptitud física para más de una CGUT, entre ellas pueden existir conflictos de asignación<sup>1</sup>. En este caso la aplicación de localización multicriterio de los usos del suelo, constituye uno de los más importantes procesos que puede ser empleado eficazmente para arribar a la toma de decisiones en cuanto a la selección de la alternativa más eficiente a establecer en cada UT, ello coincide con Bosque Sendra y García (2000). Estas funciones pueden ser realizadas mediante diferentes herramientas, implementadas en los SIG, que facilitan la decisión bajo múltiples criterios.

### **1.2. Empleo de indicadores en la toma de decisiones para un uso sostenible de las tierras**

En el párrafo 40.4 de la Agenda 21, del programa del desarrollo convenido en la Conferencia de Río'92 bajo los auspicios de la ONU, se plantea el reto que debe enfrentar la agricultura para lograr el aumento de la producción en las tierras que hoy están en explotación, ello hace que los tomadores de decisiones en la rama agrícola se preocupen, cada vez más, por la búsqueda de mecanismos que permitan valorar la sustentabilidad de los agroecosistemas.

El empleo de indicadores es uno de los mecanismos que permite la evaluación de la sustentabilidad (Winograd, 1995; Hünemeyer et al., 1997; Müller, 1997; Angarica, 2002). En este sentido, algunos autores (González, 2003; Paumier, 2004) plantean que existe una necesidad creciente de información sobre criterios cuantitativos y cualitativos que permitan analizar y evaluar su sostenibilidad, así como estudiar y establecer relaciones entre las estrategias políticas, económicas, sociales, ambientales y los cambios que ocurren en un sistema.

---

<sup>1</sup> Ver Glosario de términos en Anexo 1

La palabra indicador deriva del verbo latino *indicare*, cuyos significados incluyen: señalar, indicar, anunciar, notificar, determinar y estimar. El verbo en realidad no especifica qué se indica o anuncia, se refiere simplemente a la acción en sí misma. (Toribio, 2003).

Al respecto, Paumier (2005) lo define como un valor cuantitativo o cualitativo obtenido mediante un proceso investigativo sobre determinada problemática de los estudios básicos del Plan de Ordenamiento Territorial y el Urbanismo, cuyo objetivo fundamental es evaluar y/o indicar las características y el comportamiento actual o previsible de la problemática analizada mediante los parámetros que la definen en el ámbito de la unidad territorial de referencia. Por tanto, los indicadores son una creación intelectual con una precisión variable en función del contexto en el que se formulan y con disímiles niveles de complejidad (Brisolla, 2006). Con estos se pretende una visión integral y holística (González y Lázaro, 2005), que permita a los tomadores de decisión evaluar, seguir y controlar la gestión medioambiental de un uso determinado.

Los indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, agricultura, ganadería, etc.) y se caracterizan por ser simples, siendo útiles en la medida en que sirven para analizar la situación real, identificar los puntos críticos y señalar los logros y obstáculos que se presenten en el camino hacia el desarrollo sostenible. Estos deben ser relativamente certeros y fáciles de interpretar, suficientemente sensitivos para reflejar cambios ambientales y el impacto de prácticas de manejo sobre el suelo y el cultivo (Altieri, 1995). Otras características significativas de los indicadores son definidas por Astier et al. (2002), como sigue:

- Aplicables sobre un rango de diferentes ecosistemas y sistemas económicos y sociales.
- La recolección de información no debe ser difícil ni costosa.
- Deben ser adecuados al nivel de agregación del sistema bajo análisis.
- Cuando sea el caso, la población local podrá involucrarse en la medición, por lo tanto, los indicadores deben centrarse en aspectos prácticos y ser claros.
- Las mediciones deben poder repetirse a través del tiempo.
- Deben ser significantes a la sostenibilidad del o los sistemas analizados.
- Deben analizarse las relaciones con otros indicadores.

Por otra parte, los indicadores no deben ser exhaustivos, sino sólo referirse a las categorías y elementos más significativos del sistema bajo análisis. Al respecto, González y Lázaro (2005)

afirman que parece razonable no utilizar más de seis a ocho indicadores para un sistema. Estas consideraciones son importantes debido a que demasiados indicadores pueden aumentar los costos y complicaciones para la evaluación de un sistema determinado.

La FAO (2000) para la planificación del desarrollo agropecuario, propone una serie de indicadores denominados “Factores Clasificadores”, subdivididos en Cualidades y Características. Estos son implementados mediante un esquema de Evaluación de Tierras (FAO, 1976; 2007), y sirven de base para clasificar la aptitud de la tierra para un determinado uso.

La construcción de indicadores basados en características y cualidades es una vía idónea de formalizar criterios evaluativos que permitan arribar a un adecuado Ordenamiento Territorial con un enfoque holístico. Algunas de las ventajas de su uso son enunciadas por la FAO (1985a) como sigue:

- La lista de control relativamente corta de cualidades de la tierra suministra un medio de asegurarse de que ninguna influencia significativa sobre la aptitud sea pasada por alto.
- La misma cualidad de tierra puede estimarse por medios diferentes, de acuerdo con los datos disponibles.
- El uso de cualidades de la tierra presenta atención a la característica esencial de la evaluación de aptitud, es decir, la evaluación de la tierra en relación con su influencia sobre su potencial de uso.

### **1.3. El Método Delphi y la selección de indicadores**

Pese a que originalmente el método Delphi (Helmer, 1966; Listone y Turoff, 1975) se desarrolló para sistematizar las visiones de los expertos en áreas de controversias sociopolíticas, es uno de los más difundidos y utilizados en la actualidad para la obtención de indicadores que permitan evaluar la sostenibilidad ambiental. Con el mismo es posible establecer pesos (o valores) a descripciones cualitativas (mediante opiniones autorizadas u opiniones de expertos), y al mismo tiempo, lograr la participación pública en todas las fases de decisión. Algunas experiencias sobre el uso de este método para la selección de indicadores se pueden encontrar en fuentes tales como Agudelo (2002), Wallington y Moore (2005), Muñoz-Ramos (2006), entre otros.

El método Delphi consiste en la utilización sistemática del juicio intuitivo de un grupo de expertos para obtener un consenso de opiniones informadas, a través de una serie de cuestionarios que se responden anónimamente (Garavalia y Gredler, 2004 y Landeta, 2006). Su carácter de “expertos” hace referencia a personas calificadas empírica, técnica o científicamente, conocedoras de la temática a tratar, en donde se admite que los mejores conocedores del tema en un territorio son aquellos que viven en él y demuestran interés en solucionar las problemáticas de la comunidad que lo habita (Price, 2005).

Con este se pretende extraer y maximizar las ventajas que presentan los métodos basados en grupos de expertos y minimizar sus inconvenientes (Eastman, 2003). Para ello, se aprovecha la sinergia del debate y se eliminan las interacciones sociales indeseables que existen dentro de todo grupo, esperando obtener un consenso lo más fiable posible del grupo de expertos.

Aunque no hay forma de determinar el número óptimo de expertos para participar en una encuesta Delphi, estudios realizados por investigadores como Landeta (1999) señalan que si bien parece necesario un mínimo de siete expertos, dado a que el error disminuye notablemente por cada experto añadido hasta llegar a este número, no es aconsejable recurrir a más de 30 expertos. Sin embargo, Okoli y Pawlowski (2004) sostienen que la literatura recomienda entre 10 y 18 expertos. Al respecto, Yañez y Cuadra (2008) opinan que este rango en el número de expertos parece razonable, dado que el trabajo para los investigadores puede llegar a ser excesivo si los expertos aportan muchas ideas.

Según Garavalia y Gredler (2004), el método transita por las siguientes etapas:

- a) Selección de un panel de expertos en el tema a analizar.
- b) Preparación de un cuestionario relativo al tema a tratar y entrega del mismo a los panelistas, para que lo resuelvan separadamente.
- c) Se elabora un resumen de las respuestas obtenidas y se entrega una copia a cada miembro del panel, para que revise la posibilidad de reconsiderar sus respuestas.
- d) Se repiten las etapas anteriores hasta cuando se considere que la aplicación de un nuevo ciclo de preguntas no producirá mejores consensos. Se debe suponer que cada etapa dará mejor convergencia.
- e) Se aplican medidas de dispersión y de tendencia central (principalmente mediana) para expresar la opinión conjunta de los expertos.

Luego de varias aplicaciones del método Delphi, Dalkey y Helmer (1963) concluyeron que las principales ventajas de su uso son que el consenso del panel se obtiene estadísticamente y que las opiniones se expresan individual y anónimamente. Mientras que entre las desventajas de este método se destaca el tiempo que insume. Una sola ronda puede requerir, fácilmente, hasta tres semanas. Por otra parte Woudenberg (1991) opina que el consenso general se logra como resultado de una cierta presión sobre los participantes que tienen opiniones extremas, es decir, si los expertos no sostienen sus opiniones con solidez, estos pueden cambiar de opinión en lugar de escribir los fundamentos y razones para sus estimaciones, lo que puede conducir a errores.

El análisis matemático y estadístico de la información comprende su tratamiento diferenciado, según sean las respuestas correspondientes a preguntas de tipo cualitativo o cuantitativo, en dependencia del objetivo que se persiga en la investigación y en consecuencia, del enfoque que se le dé a las preguntas, y por tanto, a las respuestas que se obtengan.

Este tipo de información también puede procesarse a partir de técnicas de diseño experimental no paramétrico (Valdés, 2003), para lo cual suele asignársele a los cuestionarios entregados a los expertos cinco categorías, que van desde muy adecuada hasta la no adecuada (López, 2005). Posteriormente, estos criterios son tratados en una tabla de doble entrada, donde se obtienen puntos de corte que sirven para determinar el grado de adecuación de los indicadores seleccionados por los expertos.

Por último, las respuestas de preguntas de tipo cualitativas pueden ser procesadas para obtener distribuciones de frecuencias y el histograma correspondiente a cada distribución.

#### **1.4. Evaluación de Tierras**

La base del Ordenamiento Territorial es la valoración de los recursos. Una vía para lograrlo es la Evaluación de Tierras (ET), debido a la posibilidad que brinda de conocer las relaciones que existen entre las variables que intervienen en los sistemas agrícolas, por lo que constituye una “herramienta esencial” para la toma de decisiones en la agricultura (Aranda et al., 2000). Ello coincide con Balmaseda (2003) quien le concede un gran valor a este procedimiento desde el punto de vista de la sostenibilidad, pues proporciona importantes indicadores a considerar en el momento de la planificación a partir del análisis de los conflictos de uso de las tierras, que es posible obtener de sus resultados.

La Evaluación de Tierra puede ser definida como “todo método para explicar o predecir el potencial de uso de la tierra (van Diepen et al., 1991), mientras que Ponce-Hernández (1998) la definió como un “Proceso para la determinación del comportamiento o efectividad de un área específica de tierra para un uso específico”. Por tanto, se puede decir que la ET es una herramienta para el Ordenamiento Territorial, ya que predice el comportamiento de la tierra bajo usos determinados, en términos de beneficios, costos y efectos ambientales, debido a que en esencia, compara la demanda de los usos en relación con la oferta ambiental de una zona determinada.

#### **1.4.1 Vulnerabilidad y sostenibilidad en los procedimientos de ET**

Los nuevos enfoques de los procedimientos de ET no solo se dirigen a estimar usos y manejos en función de la eficiencia de la producción, sino del impacto que provocan, reconociendo la importancia de tener en cuenta un enfoque holístico que contemple tanto al medio ambiente, como a los factores económicos y sociales (FAO, 2007).

El objetivo global consiste en facilitar la dedicación de la tierra a los usos que aseguren los mayores beneficios sostenibles y promover la transición a un ordenamiento integral de este recurso. Al hacerlo se debe tener en cuenta una perspectiva multicriterio que considere los problemas económicos, ambientales y sociales. Ello coincide con Alier et al. (1996), quien agrupa a los indicadores económicos en flujo económico y costo de transformación, mientras que en el ambiental resalta la necesidad de evaluar la vulnerabilidad del medio con condiciones específicas ante un uso determinado.

Al respecto, De la Rosa (2002) plantea que la implantación del concepto de sostenibilidad en los procesos de Evaluación de Tierras surge como una necesidad derivada del impacto de la actividad económica en el medio ambiente en general (la tierra) y en particular de la multifuncionalidad del recurso suelo (productividad, capacidad de filtro natural, infiltración de agua). Según este autor, en términos de optimización, la sostenibilidad puede verse como aquellos usos para los cuales se minimiza la vulnerabilidad y se maximiza la aptitud de las Unidades de Tierra.

#### **1.4.2 Esquema FAO de Evaluación de Tierras**

De acuerdo con los trabajos de van Diepen et al. (1991), Rossiter (1996), Bouma (1999) y Rossiter (2003), los principales métodos de Evaluación de Tierras se pueden agrupar de la siguiente forma:

1. De acuerdo con la forma de expresar los resultados:
  - a) Métodos integrados: los resultados son mostrados en forma de variables integradoras (índices).
  - b) Métodos segmentados: donde la clasificación se da en términos de clases y limitaciones, lo que permite la comparación con otra unidad.
2. Con base en el comportamiento de las variables en el espacio y el tiempo:
  - a) Métodos de aptitud multiárea y problema de asignación de las tierras.
  - b) Métodos espaciales de aptitud de la tierra para un área simple.
  - c) Métodos no-espaciales de aptitud de la tierra para un área simple.
3. Según la forma de cálculo:
  - a) Cualitativos: los que sólo definen si la tierras son aptas, o no.
  - b) Cuantitativos: que pueden llegar a dar predicciones numéricas y precisas del rendimiento de los cultivos.
4. Conforme a la complejidad descriptiva del modelo (cómo describen los procesos):
  - a) Modelos empíricos: en los cuales los procesos no son conocidos, pero se establecen sobre la base de la experiencia.
  - b) Modelos mecanicistas: donde se conocen las interrelaciones en los procesos.
5. Por el nivel de organización jerárquica: que dependen de la escala de trabajo y pueden ser desde el nivel detallado hasta evaluaciones a escala global.

En la actualidad, pese a la existencia de muchos y muy variados métodos para la Evaluación de Tierras, uno de los más utilizados es el Esquema de la FAO (FAO, 1976; 2007). Al referirse a él, Balmaseda (2003) resaltó que algunas de sus ventajas consisten en que sustenta su evaluación a partir de cualidades y en que no se evalúa solamente al suelo, sino a Unidades de Tierra como un concepto más amplio.

Este no es un método fijo de evaluación, por el contrario, tiene una estructura flexible sustentada por guías para crear evaluaciones específicas. Estas guías se publicaron en diferentes ediciones, siendo las siguientes las más relevantes (Rossiter, 1994):

- Agricultura de secano (FAO, 1985a)
- Monte (zonas forestales) (FAO, 1985b).
- Agricultura con riego (FAO, 1990).

- Pastoreo extensivo (FAO, 1991).

Según la FAO (2007) uno de los principios que debe ser añadido al esquema de trabajo de la FAO (1976) es la inclusión de los actores sociales en las diferentes etapas de evaluación, los cuales deben ser adecuadamente consultados y considerados en la evaluación. También se debe tener en cuenta la escala y el nivel de la decisión a emplear antes de comenzar el trabajo. Con ello es posible definir tanto los métodos de investigación y las herramientas de análisis como los sectores y actores sociales que deben tenerse en cuenta para la evaluación. Además, debe considerarse tanto el análisis socioeconómico como los impactos medioambientales y los peligros del establecimiento de las diferentes actividades en una Unidad de Tierra determinada.

En este esquema se establece un sistema de evaluación y clasificación basado en las aptitudes de las tierras para un determinado uso. Al respecto, Eastman (2003), señaló que las tasas de aptitudes no son más que una herramienta para la selección racional de sitios aptos y que siempre contienen un elemento de subjetividad. Por ello, se hace importante tener precaución en sus aplicaciones. De lo anterior se deriva la necesidad de buscar vías para reducir la subjetividad en los mecanismos valorativos, una de ellas puede ser el empleo de Técnicas de Decisión Multicriterio (Zanazzi, 2003) en diferentes fases del proceso evaluativo.

Las categorías de aptitud de la tierra se dividen por órdenes (Apta o No apta), clases y subclases. Las clases, a su vez, se dividen en Sumamente apta (A1), Moderadamente apta (A2), Marginalmente apta (A3), Marginalmente no apta (N1) y Permanentemente no apta (N2).

La aptitud de la tierra es una función del Tipo de Utilización de la Tierra (TUT), esta puede estar determinada por las características de la tierra (CaT) de cada Unidad de Tierra (UT), siendo representada de forma sencilla como se muestra a continuación.

$$A_{UT,TUT} = f_{TUT}(\{CaT\}_{UT}) \quad (1.1)$$

Si en lugar de las CaT en la evaluación se emplean Cualidades de la Tierra (CuT), la función  $f$  se descompone de la siguiente manera:

$$A_{UT,TUT} = f_{TUT}(\{CuT\}_{UT,TUT}) \quad (1.2)$$

$$CuT_{UT,TUT} = f_{2(TUT,RUT)}(\{CaT\}_{UT,RUT}) \quad (1.3)$$

Donde:

RUT: Requisitos de Uso de la Tierra

Los resultados finales de la Aptitud de las tierras pueden ser expresados tanto de forma segmentada como integrada, o sea, en clases de aptitud o como escala numérica continua.

Sobre este tema existe una abundante bibliografía<sup>2</sup>. Dentro de los trabajos donde se pueden encontrar ejemplos del uso de este esquema de Evaluación de Tierra, tanto en estudios globales como detallados, se pueden citar los desarrollados por Sereke (2002), quien realizó un análisis del uso sustentable de las tierras para la agricultura de la región montañosa de Tailandia, haciendo énfasis en el uso del suelo y del agua. De igual modo, Morelle y Lejeune (2000) utilizan este esquema con gran éxito para la evaluación global de las tierras dedicadas a la agricultura en la región de Wallonne, Bélgica.

En el caso de nuestro país hay varios trabajos que lo han utilizado, destacándose los relacionados con la evaluación de las tierras dedicadas a la explotación de la caña de azúcar (Ponce de León et al., 1996, Ponce de León et al., 1998; Ponce de León y Balmaseda, 1998; Balmaseda et al., 1999; Santana, 2000; Balmaseda, 2003).

#### 1.4.3 El Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras (ALES)

No obstante la existencia de sistemas automatizados más elaborados (Segrera et al., 2003), uno muy utilizado para soporte a la decisión en la evaluación de tierras y ajustado perfectamente al esquema FAO (1976; 2007), es el ALES (*Automatic Land Evaluation System*), lo que coincide con lo planteado por Muñoz-Ramos (2006).

El ALES es el resultado del esfuerzo personal de algunos autores en los últimos años (Rossiter, 1990; Rossiter y Van Wambeke, 1995). Este software permite a los evaluadores construir su propia base de conocimiento para evaluar la aptitud de la tierra, lo que lo convierte en una herramienta con un gran potencial para la toma de decisiones. Además, con el mismo es posible incluir nuevas situaciones o cambios en las situaciones consideradas inicialmente en modelos previamente desarrollados, requiriéndose poco tiempo para realizar este procedimiento (FAO, 2001). Su principal éxito consiste en que no trae consigo ningún conocimiento de las tierras para construir los modelos (Rossiter, 1996), es decir, en él no hay una lista fija de requisitos ni características para evaluar la aptitud de las tierras. En lugar de

---

<sup>2</sup> Para más información, puede consultarse la página de Bibliografía anotada sobre Evaluación de Tierras en: <http://wwwscas.cit.cornell.edu/landeval/bibl.htm>

esto, cada evaluador define su sistema experto de acuerdo con los objetivos y condiciones locales (FAO, 2007), lo que constituye una de las ventajas de este programa.

Su aplicación es necesaria debido a las facilidades que le otorga al proceso de comparación (*matching*) entre las Cualidades de la Tierra y los Requisitos de Uso, proceso muy difícil de realizar en forma manual, por el gran volumen de información e interrelaciones que se manejan.

Este software permite, además, una interfaz con los SIG, principalmente con las plataformas IDRISI e ILWIS, favoreciendo con ello no sólo la representación gráfica de los resultados, sino también su posterior análisis, como puede ser el de la evaluación espacial multicriterio.

El software ALES, en síntesis, está integrado por los siguientes componentes:

- 1- Una interfaz para crear una base de conocimientos que describa los usos de la tierra de interés, en términos tanto de los requisitos respecto del medio físico, como de los insumos económicos.
- 2- Una interfaz para elaborar una base de datos de cualidades y características de las tierras a evaluar.
- 3- Un mecanismo de inferencia, enlace o armonización para relacionar las dos bases precedentes, computando por medio del mismo las aptitudes física y económica de las unidades cartográficas de suelos, para las alternativas de uso propuestas.

El programa ha sido utilizado con éxito, tanto en países con agricultura totalmente comercial e información confiable y más o menos completo sobre recursos naturales y socioeconómicos (Van Lanen y Wopereis, 1992; Van Lanen et al., 1992; Delsert, 1993; Johnson et al., 1994; Mantel et al., 2003; Kilic et al., 2005), como en países en vías de desarrollo donde hay cierta experiencia, pero datos poco densos o confiables, donde la modelación de sistemas sería muy difícil por la carencia de datos detallados (León Pérez, 1992; Maji, 1992a; Maji, 1992b; Yizengaw y Verheye, 1995; Mantel et al., 2000; Murcia et al., 2007).

### **1.5. Teoría de la Toma de Decisión**

La toma de decisiones es un proceso de selección entre cursos alternativos de acción, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos” (Fallas, 1998).

Un proceso de toma de decisión comprende, de manera general, los siguientes pasos:

- Análisis de la situación.

- Identificación y formulación del problema.
- Identificación de aspectos relevantes que permitan evaluar las posibles soluciones.
- Identificación de las posibles soluciones.
- Aplicación de un modelo de decisión que permita evaluar las alternativas para obtener un resultado global.
- Realización de análisis de sensibilidad.
- Implantación de la decisión.

La opinión de una única persona en la toma de decisión puede tornarse insuficiente cuando se analizan problemas complejos, sobre todo aquellos cuya solución puede afectar a muchas otras personas. Debido a lo anterior, es necesario que en el proceso de toma de decisión se genere la discusión y el intercambio entre los actores, ya que por su experiencia y conocimiento pueden ayudar a estructurar el problema y a evaluar las posibles soluciones.

Para abordar una situación de un problema de toma de decisión en la que se presentan diversos objetivos o criterios que simultáneamente deben incorporarse, ha surgido la Metodología Multicriterio como Sistema de Ayuda a la Decisión del ser humano.

La Teoría de la Toma de Decisión se ocupa de la lógica por la cual se llega a una opción entre alternativas (Eastman, 2003), entendiéndose por alternativa a cada uno de los objetos, decisiones o proyectos mutuamente excluyentes que serán explorados en el proceso de decisión (Fallas, 1998). Estas alternativas varían con el tipo de problema tratado y pueden representar diferentes caminos de acción, disímiles hipótesis sobre la naturaleza de una característica, variadas clasificaciones, etc.

Lo anterior es conocido como “*marco de decisiones*”, cuya base estará sustentada sobre diferentes criterios que pueden ser medidos o evaluados. Estos son la evidencia sobre la cual es posible asignar un individuo a un grupo de decisiones y se dividen en factores y restricciones. El primero se entiende como un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para la actividad en consideración y por tanto, se mide comúnmente en una escala continua. Una muestra de ello en la investigación, es la determinación de que mientras mayor sea el contenido de piedra en la superficie de un suelo, más deficiente será el desarrollo del proceso agrícola. Como resultado, las mejores áreas para la agricultura son aquellas con poca pedregosidad. Mientras que una restricción sirve para limitar las alternativas

en consideración, como es la estipulación de que el desarrollo ganadero no se realice en las pendientes que exceden un gradiente del 30%, o la exclusión de las áreas designadas como reservas naturales para el uso Urbano.

### **1.5.1 Regla de Decisión**

La regla de decisión es un procedimiento matemático por el cual se eligen y combinan los criterios para llegar a una evaluación particular. Mediante este se combinan los criterios de evaluación, las alternativas y las preferencias del usuario para seleccionar la “mejor” alternativa, destacar otras considerables y clasificarlas en orden descendente de preferencia. (Varela et al., 2002).

Según Eastman (2003), estas pueden ser tan simples como un umbral aplicado a un solo criterio (como todas las regiones con una profundidad efectiva mayor de 150 cm serán zonificadas como aptas para el uso forestal), o pueden ser tan complejas como una que incluye la comparación de varias evaluaciones multicriterio.

Las reglas de decisión usualmente contienen procedimientos para combinar criterios en un solo índice compuesto y una declaración de cómo deben compararse las alternativas usando este índice. Por ejemplo, se puede definir qué Unidad de Tierra tiene la mejor aptitud para el uso agrícola basado en sus características, tales como profundidad efectiva, contenido de gravilla, piedras y rocas.

### **1.5.2 Toma de Decisiones Multicriterio**

El análisis multicriterio constituye uno de los más importantes procesos de toma de decisiones empleados en el manejo y ordenamiento del uso de la tierra, especialmente bajo objetivos conflictivos (Bosque Sendra y García, 2000).

Según Zanazzi (2003) los orígenes de la especialidad se remontan a la Revolución Francesa, cuando algunos matemáticos se abocaron al problema de realizar elecciones justas en el turbulento ambiente de la Asamblea Revolucionaria. El mismo destaca que cuando un conjunto de alternativas son analizadas con criterios que se contraponen, no es razonable la obtención de un óptimo global, es decir, que una alternativa sea preferible a todas las demás en todos los criterios.

En esa concepción, se denomina ordinales a los métodos que expresan las preferencias a partir exclusivamente de un ordenamiento de las alternativas, y se llaman cardinales a las

herramientas que intentan representar las intensidades de preferencia; es decir, no sólo que una alternativa es preferible a otra, sino también, cuánto más preferible resulta.

Las técnicas de Decisión Multicriterio (TDM) son un conjunto de herramientas y procedimientos utilizados en la resolución de problemas donde sea preciso seleccionar una alternativa como la más conveniente, ordenar un conjunto de alternativas en función de su nivel de preferencias o clasificarlas conforme a una cierta cantidad de criterios. Según Eastman (2003), en el caso de los criterios booleanos (restricciones), la solución usualmente se encuentra en la unión (OR lógico) o intersección (AND lógico) de las condiciones. No obstante, para los factores continuos se usa más comúnmente una combinación lineal ponderada. Con este tipo de combinación, los factores son combinados aplicando un peso a cada uno seguido por una sumatoria de los resultados para producir un mapa de adecuación, según la siguiente fórmula:

$$S = \sum w_i * x_i \quad (1.4)$$

Donde:

S = adecuación

w<sub>i</sub> = peso de factor i

x<sub>i</sub> = valor del criterio de factor i

Este procedimiento es familiar en SIG y tiene una forma muy similar a la naturaleza de una ecuación de regresión. En los casos donde también se aplican las restricciones booleanas, el procedimiento puede modificarse multiplicando la adecuación calculada a partir de los factores por el producto de las restricciones, es decir:

$$S = \sum w_i * x_i * \pi c_j \quad (1.5)$$

Donde:

C<sub>j</sub> = valor del criterio de restricción j

Estas técnicas pueden clasificarse conforme a numerosos criterios. En general, suelen seguir diferentes enfoques metodológicos, entre los que destacan:

- 1) La consideración simultánea de todos los criterios (generación de soluciones eficientes).
- 2) La utilización de funciones valor o utilidad en las que se agregan la contribución de los distintos criterios.

- 3) El empleo de otras aproximaciones como puede ser la minimización de funciones distancia a un punto de referencia (ideal o meta), y la búsqueda de soluciones satisfactorias.

Bosque Sendra (2001), plantea que el economista Herbert Simon estableció un esquema muy difundido para la adopción racional de una decisión, mediante el cual el proceso quedó en tres momentos o etapas. En la primera etapa, o etapa de “Inteligencia”, se hace la búsqueda de las condiciones que necesita una decisión, en esta debe ocurrir un entendimiento amplio del problema a resolver por la decisión a adoptar. Luego le sigue la etapa de diseño, que es donde ocurre el desarrollo y el análisis de las posibles alternativas de acción. Por último, se encuentra la etapa de evaluación, en la que se escoge una de las alternativas definidas en la segunda fase de acción entre las que estén disponibles, es decir, la mejor (“la óptima”). Siendo la solución óptima aquella alternativa de decisión que mejor posibilidad tienen de ser la más adecuada luego de maximizar o minimizar los criterios de selección en un problema de decisión determinado. En tal sentido Bosque Sendra y García (2000) plantean que el significado de óptimo se puede entender como “...la solución de máxima eficiencia espacial, mínimo coste ambiental y máximo grado de justicia espacial”, es decir, su selección está condicionada por el compromiso entre los criterios y no por la mejor alternativa producida por un criterio en particular. Ello se relaciona con lo planteado por Vilfredo Pareto, en 1896, quien plantea que un conjunto de soluciones es eficiente (o Pareto óptimas) cuando no existe otra solución factible que proporcione una mejora en un atributo sin producir un empeoramiento en al menos uno de los otros atributos (Rodríguez, 2000). Lo anterior, conocido como **optimalidad paretoiana**, es una condición exigida como necesaria para poder garantizar la racionalidad de las soluciones generadas por los diferentes enfoques multicriterio.

Según la opinión de algunos especialistas en análisis multicriterios (Zanazzi, 2003; Buyiikyazici y Sucu, 2003; Bose y Chakrabarti, 2003), las técnicas más habitualmente empleadas y extendidas en la actualidad son el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) de Saaty (1977), la Teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT) de Keeney y Raiffa (1976) y los Métodos de Superación (MS) de la escuela francesa (Roy, 1993), siendo la primera la que más se destaca en su uso para la selección ambiental.

### 1.5.3 El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ)

Dentro de los métodos multicriterio se encuentra el Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*, PAJ). Su metodología fue desarrollada por el doctor Thomas L. Saaty a fines de los 70 (Saaty, 1977) como un aporte a la búsqueda del acuerdo SALT I y SALT II de reducción de armamentos entre los dos bloques militares/políticos de la época. Sin embargo, no fue hasta 1980 en el libro “*The Analytic Hierarchy Process*” (Saaty, 1980) donde el autor explica aspectos relevantes en las etapas de desarrollo del método, como son las experimentaciones previas.

El PAJ es un proceso por el cual los participantes definen colectivamente el problema y los objetivos, determinan prioridades, analizan alternativas y seleccionan la mejor solución (Kazakidis et al., 2004). Contribuye a la solución de problemas complejos estructurando una jerarquía de criterios e intereses en juego y extrayendo juicios para establecer prioridades. El resultado puede usarse para categorizar alternativas, asignar recursos, realizar comparaciones usando la razón beneficio costo.

Según Saaty (1980), el PAJ es una herramienta analítica, basada en matemáticas sencillas, que permite comparar explícitamente factores tangibles e intangibles con el propósito de resolver conflictos o establecer prioridades. Además, permite la incorporación de información objetiva y subjetiva en la resolución de problemas de toma de decisiones. También posibilita la resolución de problemas con múltiples criterios y objetivos y la inclusión del riesgo y la incertidumbre. Estas características lo convierten en una herramienta de gran utilidad en los problemas de valoración y selección ambiental (Ananda y Herath, 2003; Zhang et al., 2004).

El PAJ se basa fundamentalmente en las comparaciones pareadas, para lo cual utiliza una escala definida en el intervalo de uno hasta nueve, que le permite calificar las preferencias verbales expresadas por el decisor, relativas a dos elementos. Según Toskano (2005) las comparaciones pareadas son matrices cuadradas que contienen el peso asignado por los expertos a las alternativas o criterios. En Anexo 2 se muestra el procedimiento de cálculo para este método, el cual se sustenta en los siguientes axiomas (Yung-Jye y Zhen-Hua, 2004).

- Axioma No. 1, referente a la condición de juicios recíprocos:  
La intensidad de preferencia de  $A_i/A_j$  es inversa a la preferencia de  $A_j/A_i$ .
- Axioma No. 2, referente a la condición de homogeneidad de los elementos:

Los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud.

- Axioma No. 3, referente a la condición de estructura jerárquica o estructura dependiente de reaprovechamiento.

Dependencia en los elementos de dos niveles consecutivos en la jerarquía y dentro de un mismo nivel.

- Axioma No. 4, referente a condición de expectativas de orden de rango:

Las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas.

El PAJ es un método muy discutido a nivel internacional. Según Font (2000), algunos de los grandes méritos que se le atribuyen son:

- Detecta y acepta, dentro de ciertos límites, la incoherencia de los expertos humanos.
- Permite emplear de forma natural una jerarquización de los criterios, cosa que no pueden hacer los métodos que exigen comparaciones globales de las alternativas.
- No se necesita información cuantitativa acerca del resultado que alcanza cada alternativa en cada uno de los criterios considerados, sino tan sólo los juicios de valor del centro decisor.

La capacidad de incorporar aspectos tanto cuantitativos como cualitativos es vital, pues en la mayoría de las decisiones hay elementos cualitativos que suelen tener una participación o peso importante, sobre todo a nivel estratégico (Toskano, 2005). También posee una sólida base teórica que respalda y valida los resultados, así como una aplicación importante del concepto de métrica. Algunas de las situaciones más comunes en las que se debe usar PAJ son las siguientes:

- a) Cuando se esté buscando solución para problemas complejos que requieran clarificación, definición y estructura.
- b) Cuando haya múltiples objetivos, y estos a su vez sean conflictivos y/o de importancia diferente.
- c) Cuando existan diversas soluciones a considerar.
- d) Cuando estén involucrados grupos de interés (*stakeholders*) con objetivos diferentes.

El PAJ propone un proceso de análisis y síntesis para la toma de decisiones multicriterio que consta de una serie de pasos o fases (Forman, 2001; Saaty y Niemira, 2006). Las primeras

fases consisten en definir, analizar y estructurar el problema que se quiere resolver, mediante la construcción de una jerarquía de decisión. Posteriormente se deben evaluar las alternativas sobre la base de este modelo. Conceptualmente, la metodología se basa en los siguientes pasos:

- a. La modelación del problema a través de una estructura jerárquica, o de redes en su versión más reciente. El modelo que contiene el objetivo de la decisión, los criterios a través de los cuales se expresa ese objetivo, con sus descomposiciones en mayor detalle, según requerimientos del problema, y las alternativas a evaluar.
- b. Un proceso para derivar el cálculo de las preferencias entre los componentes, basado en la construcción de matrices de comparaciones de Par a Par, a las que se les aplica el operador vector propio, también conocido como “autovector”, para derivar los pesos de los criterios y su correspondiente valor propio, para luego determinar la consistencia de dichas preferencias.
- c. Por último, un proceso de síntesis multilineal, que entrega el orden cuantitativo de las alternativas.

En la Figura 1.1 se observa la estructura jerárquica que relaciona al objetivo, los criterios y las alternativas. Generalmente el objetivo global se localiza en el nivel alto y el criterio en el nivel medio, este último puede dividirse en subcriterios. Las alternativas son listadas en el nivel inferior. Se asume que cada criterio es independiente de otro, al igual que sucede con las alternativas (Buyiikyazici y Sucu, 2003).

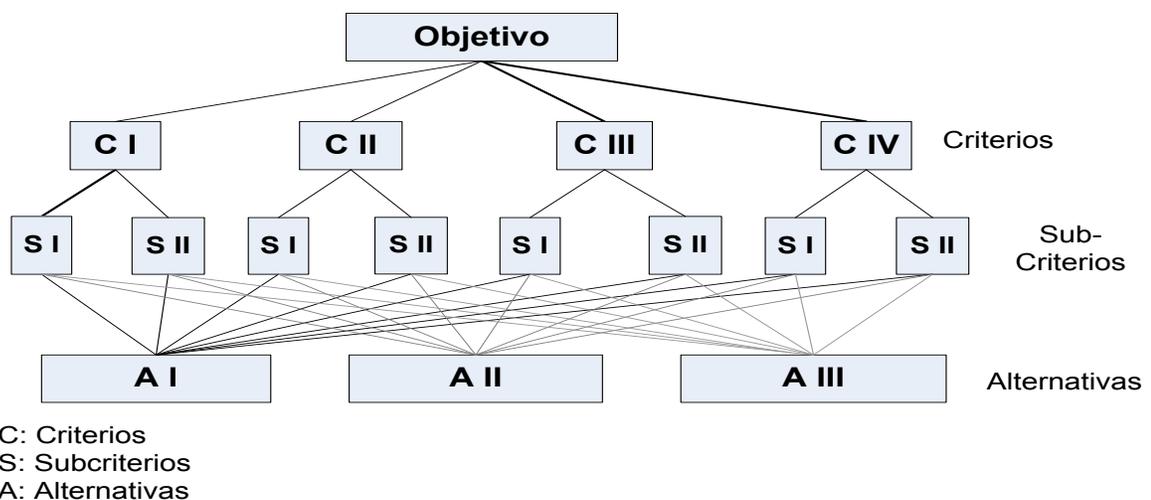


Figura 1.1. Estructura de un Modelo de PAJ.

El ordenamiento final de las diferentes alternativas se hará sobre la base del grado de satisfacción o cumplimiento de cada una de ellas en el objetivo principal. Ahora bien, la consecución del objetivo principal puede requerir el cumplimiento de una serie de objetivos y subobjetivos más específicos en los que puede que sea descompuesto el objetivo principal. Además, un subobjetivo podría ser el objetivo de otra serie de subobjetivos dependientes de él, los cuales pertenecerán a un nivel inferior de la jerarquía.

#### **1.5.3.1 Heurísticas sobre el método PAJ**

Según Watson y Freeling (1982), una de las deficiencias del PAJ es el modo en que este modelo hace las comparaciones pareadas entre todas las alternativas, para lo cual utiliza una escala definida en el intervalo de uno hasta nueve. Estos autores explicaron que la mente humana no opera al modo PAJ, sino que realiza siempre comparaciones y ordenamientos globales. Sin embargo, esto no generó una alta polémica entre los especialistas (Vargas, 1990; Pérez, 1995; Saaty, 1994), lo que puede explicarse debido a que no hay una definición acerca de cuál de las estrategias es válida, ordenamiento global o comparaciones específicas.

En la etapa de normalización de las matrices de preferencias (ver Anexo 2), uno de los problemas señalados al método es la inconsistencia de los datos; es decir, si los juicios utilizados en la matriz son perfectamente consistentes, el autovector reproduce los juicios con exactitud. Pero ante la presencia de inconsistencias, los juicios normalizados se deforman y resultan de difícil interpretación. Pese a ello, se acepta como válida la explicación de que las personas son naturalmente inconsistentes y que todos sus juicios, tanto los directos como los indirectos, deben ser considerados, más aún, la posibilidad de reflejar esas inconsistencias naturales ha sido reiteradamente presentada como una de las virtudes del PAJ (Zanazzi, 2003). La primera corrección al método, que consistió en calcular con auxilio computacional todas las valoraciones de preferencias y utilizar el promedio de las mismas como medida confiable, la propuso Saaty (1980). Por su parte, Kamenetzky (1982) y Belton y Gear (1985), propusieron utilizar iterativamente el vector propio, es decir, aplicar sucesivas normalizaciones hasta obtener la estabilidad de los ponderadores.

Otro aspecto señalable en el PAJ, es que su aplicación resulta excesivamente laboriosa, por la necesidad de comparar todas las parejas posibles de elementos. Al respecto, tanto Takeda (1987) como Harker (1987) realizaron propuestas tendentes a reducir la cantidad de

comparaciones. Es por ello que actualmente para su implementación es muy común la utilización del software *Expert Choice* (Forman, 2001), el cual permite, mediante la orientación de un facilitador, el ahorro de tiempo, operatividad y garantiza la calidad de los resultados.

Pese a todo, debido a su simplicidad y habilidad para incorporar las percepciones humanas en el proceso de toma de decisión, el PAJ sigue siendo el procedimiento más conocido y utilizado en la actualidad (Tiwari et al., 1999; Zanazzi, 2003). El mismo ha sido comparado con otros métodos de decisión multicriterio, concluyendo que este requiere un mayor esfuerzo cognitivo y ofrece mayores ventajas para visualizar, ordenar y escoger la mejor solución entre diversas alternativas (Keun, 2003 y Brugha, 2004). Sus aplicaciones son numerosas, entre las que resaltan las relacionadas con los problemas de selección ambiental (Zhang et al., 2004; Parra, 2003; Parra et al., 2005; Riesgo y Gómez-Limo, 2006; Xun, 2006).

#### **1.6. Necesidad del empleo de los Sistema de Información Geográfica (SIG)**

La utilización de mapas para presentar y analizar información geográfica es una tradición antigua. Sin embargo, en la actualidad el uso de datos geográficos se considera como un proceso complejo desde el punto de vista del manejo y el análisis de la información. Ello se debe a que generalmente la información requerida para realizar dichos análisis no está actualizada. Además, puede presentar otras dificultades, como es el difícil acceso a la información por encontrarse, la mayoría de las veces, en formato analógico, o por su dispersión espacial y temática, falta de integración entre los componentes físico-geográficos y socioeconómicos, diferentes escalas de trabajo, entre otras.

Una de las vías más eficientes de dar solución a este problema, es mediante la tecnología de SIG, capaz de manejar grandes volúmenes de datos y dar solución a complejas tareas de gestión, ordenamiento y análisis de la información (FAO, 2007).

Los Sistemas de Información Geográfica surgieron en la década de 1960 en Canadá, precisamente orientados a la gestión del territorio. Se reconoce en la literatura especializada a Roger Tomlinson como el primero en utilizar este término, siendo también quien desarrolló el primero en formato digital, conocido como Sistema de Información Geográfica del Canadá (CGIS) (Craig, 2002), que estaba destinado al mantenimiento a nivel nacional del inventario de los recursos naturales en este país y que fracasó por la falta de datos.

Posteriormente, otros sistemas creados al amparo de la Universidad de Harvard, como el SYMAP (*Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis*), y GRID (*Department of Landscape Architecture*), este último basado en la representación raster, permitieron el avance de la tecnología SIG (Bosque Sendra y García, 2000). En la actualidad, su uso ha aumentado enormemente, pasando del total desconocimiento a la práctica cotidiana para resolver problemas diversos.

Con su implementación se podría responder, por ejemplo:

¿Dónde están los sitios con mejor aptitud para un uso potencial del municipio San José de las Lajas: forestal, agrícola, urbano u otros que no están siendo explotados?

¿Cuál sería la mejor aptitud de la tierra en un escenario determinado, considerando las principales CGUT del municipio estudiado?

¿Cómo se pueden llevar a cabo seguimientos del crecimiento demográfico, o la demarcación de áreas aptas para el uso urbano, con el propósito final de lograr una mejor incidencia en el proceso de toma de decisión?

### **1.6.1 Papel de los SIG en el Ordenamiento Territorial**

Los Sistemas de Información Geográfica pueden ser útiles en multitud de actividades. Según algunos autores (Bosque Sendra y García, 2000), estos pueden ser clasificados en dos grandes fases o grupos. La primera fase está orientada a la gestión y descripción del territorio, en ella se trata de contestar a preguntas del tipo: ¿dónde están las “cosas”?, tales como: el mantenimiento, cartografía y control de grandes infraestructuras (redes de abastecimiento y evacuación de aguas, red telefónica, etc.), la gestión urbana y municipal, distribución de las zonas agrícolas, entre otras. Mientras que la segunda fase está orientada a al Ordenamiento y Planificación del territorio; en este caso se trata de responder a cuestiones del tipo: ¿dónde deben estar las “cosas”?. En esta se abordan tareas relacionadas con el ordenamiento del territorio y la planificación de los usos más adecuados para un escenario determinado.

En cada uno de estos dos grandes tipos de aplicaciones las diferentes plataformas de software SIG realizan disímiles tareas a partir de numerosas funciones y procedimientos, con lo que facilitan el trabajo con grandes bases de datos espaciales y de atributos.

En concreto, en la gestión y descripción del territorio, las funciones más empleadas son las básicas y más semejantes a las existentes en otros tipos de herramientas: programas de cartografía asistida por ordenador, bases de datos, entre otros. Por el contrario, en las

actividades relacionadas con el Ordenamiento y Planificación del territorio las funciones más empleadas son principalmente la búsqueda selectiva de información, la exploración y descripción de los datos, generación de modelos explicativos y su confirmación con la información preexistente, entre otras.

Algunas de las ventajas de los SIG en el Ordenamiento Territorial se enumeran a continuación:

1. Ayudar en la toma de decisiones con respecto a la organización del territorio, a todas las organizaciones cuyas actividades inciden en el espacio geográfico.
2. Facilita el planeamiento físico y el análisis espacial, con posibilidades de ampliarse a áreas futuras.
3. Facilita al máximo el acceso al sistema, permitiendo su utilización a usuarios sin previa experiencia en informática.
4. Contribuir con un instrumento de alto poder analítico que permita procesar la mayor cantidad de información con la menor inversión de tiempo y costo.
5. Generar alternativas de análisis para la integración vertical y horizontal del territorio, en lo que a sistemas de recolección de información se refiere.

#### **1.6.2 Los SIG y Técnicas de Decisión Multicriterio (TDM) en el Ordenamiento Territorial**

La evaluación y representación de las diferentes alternativas de planeamiento que se han generado mediante procedimientos de Evaluación de Tierras, constituyen un criterio importante para la elaboración final de un conjunto de acciones y decisiones bien fundamentadas sobre la propuesta de Ordenamiento Territorial del municipio. Por ello, es imprescindible contar con medios adecuados para establecer el peso de cada una de las alternativas posibles (Bosque Sendra, 1996). En este sentido, las Técnicas de Evaluación Multicriterio son una herramienta fundamental.

El uso más habitual de las Técnicas de Decisión Multicriterio (TDM) en un ambiente de tecnología SIG, se corresponde con la selección de los escenarios más factibles para los diferentes usos evaluados por separado, utilizando para ello gran número de criterios y restricciones que determinan la validez y adecuación de las decisiones que sirvan de soporte a los Planes de Ordenamiento Territorial (Malczewski, 2004). Según este autor, el PAJ puede emplearse de dos maneras distintas dentro del ambiente SIG. Primero, para deducir los pesos

asociados (atributo) a las capas de mapas. Esto es de particular importancia para problemas que involucran gran número de alternativas representados por medio de modelos de datos *raster*, cuando es imposible realizar una comparación par a par de las alternativas. El segundo principio donde puede usarse el PAJ, es para agregar un nivel de prioridad para todos los niveles de la estructura jerárquica, incluyendo los niveles que representan a las alternativas. En este caso puede ser evaluado un número pequeño de alternativas. Ello es muy apropiado para la implementación en los SIG vectoriales, por tanto, puede usarse como una herramienta para arribar al consenso entre un grupo de expertos sobre un tema determinado.

No obstante, existen algunos problemas importantes para un correcto uso de la TDM dentro de un SIG. Las causas de estas deficiencias se pueden clasificar en dos tipos (Bosque Sendra, 2001). Las primeras están relacionadas con los problemas conceptuales y son derivadas de la organización básica de los SIG, debido a que los mismos se crearon para tratar las más diversas cuestiones de interés geográfico, por lo que en ellos sólo se incluyeron los procedimientos de uso general (Bosque Sendra et al., 1997). La segunda causa es consecuencia de los problemas técnicos relacionados con la adopción de decisiones de índole geográfica y de planificación, pues para esto se requiere el trabajo con dos tipos de datos, los denominados "*hard*" o duros, expresados en términos precisos, cuantitativos (obtenidos, por ejemplo, mediante censos demográficos, teledetección, otros) y los "*soft*", blandos, procedentes de las opiniones, preferencias y juicios de las personas y están expresados en términos más vagos y cualitativos (Malczewski, 2004).

Pese a lo anteriormente planteado, en los últimos años se incrementó el uso de las herramientas SIG para apoyar el proceso de toma de decisiones, facilitándose la interacción entre los decisores (grupos de expertos) y los analistas (Jankowski et al., 2001, Craig, 2002). Ejemplo de ello es la introducción del módulo de Análisis Espacial Multicriterio y Multiobjetivo en la plataforma ILWIS 3.2 y posteriormente en la versión libre ILWIS 3.4 Open, que permite realizar una planificación espacial soportada sobre procesos de toma de decisión. Este último viene con las herramientas incorporadas para trabajar con factores y restricciones no espaciales, por lo que constituye un gran paso de avance de esta plataforma.

### **1.7. Selección de escenarios de Ordenamiento Territorial**

Uno de los aspectos más importantes del Ordenamiento Territorial es la designación propia de los escenarios aptos para un apropiado uso de la tierra. Su selección debe estar basada en un

conjunto de criterios locales, que posibiliten asegurar el máximo beneficio para la comunidad (FAO, 1999). Además, se debe contemplar un enfoque holístico, donde la realidad territorial se considere y estudie como un todo, teniendo en cuenta las relaciones que existen entre los criterios considerados (Otero, 1998).

La generación de escenarios se refiere a la modelación y simulación de diferentes oportunidades en la exploración de futuros coherentes. Para ello es muy importante considerar las opiniones de los actores que participan en el proyecto, así como tener en cuenta las consecuencias económicas, sociales y ambientales (Dent y King, 1998 y Martínez, 1998).

Según la FAO (2001), dentro de los criterios que se deben considerar en el Ordenamiento Territorial para poder generar escenarios optimizados se encuentran los aspectos sociales y económicos, relacionados con la realidad del uso de la tierra. Por su parte, Balmaseda (2003) plantea que los modelos empleados para la generación de escenarios incluyen varios componentes, entre los que se encuentran suelos, clima, cultivo, actividades humanas, entre otros.

La constitución de escenarios mediante el Ordenamiento Territorial puede resultar útil para que los actores sociales conozcan las estrategias que se deben adoptar en las distintas situaciones desde las alternativas actuales y las deseadas. Además, mediante estos es posible evaluar conflictos de uso, identificar las restricciones y optimizar los usos de las tierras, de acuerdo con los criterios de los planificadores.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

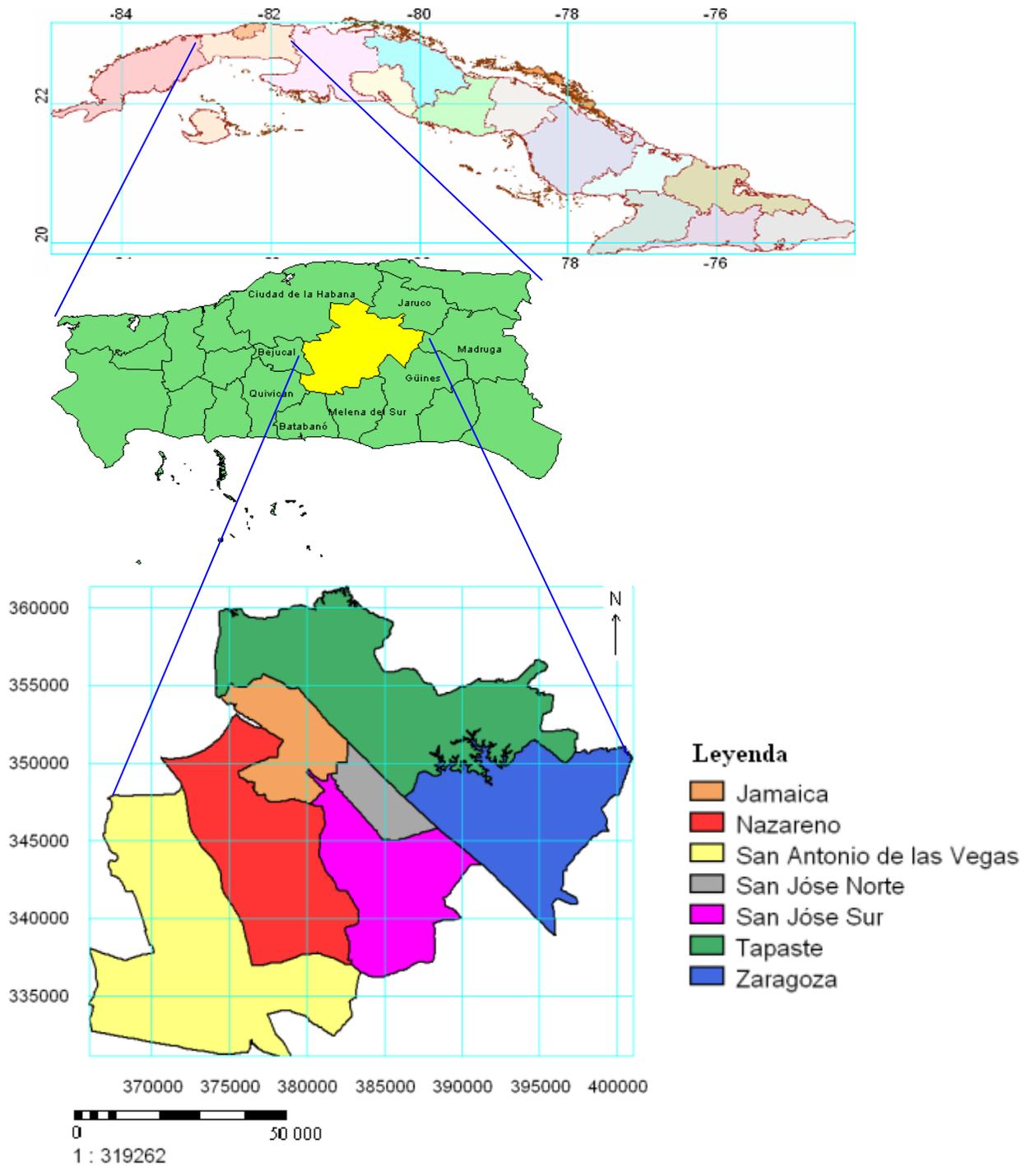
### **2.1 El objeto de estudio**

El objeto de estudio es el Ordenamiento Territorial a escala semidetallada (1: 50 000) de las principales Clases Generales de Uso de la Tierra (Agrícola, Ganadera, Forestal y Urbana) presentes en el municipio San José de las Lajas, como soporte y ayuda a los decisores del gobierno municipal en el proceso de toma de decisiones relacionados con el uso y distribución espacial de la tierra.

### **2.2 Marco geográfico y condiciones naturales**

El municipio San José de las Lajas, se encuentra situado al centro de la provincia de La Habana, limitando al norte con la provincia Ciudad de La Habana y el municipio de Jaruco; al sur con los municipios de Güines, Melena del Sur y Batabanó; al este con el municipio de Madruga y al oeste con los municipios de Bejucal y Quivicán (Figura 2.1). Se extiende a través de las regiones geográficas Alturas Habana Matanzas (norte), Depresión Almendares San Juan y Alturas Bejucal - Madruga - Coliseo (parte central) y la llanura carsificada meridional Batabanó (al sur), enmarcándose entre las coordenadas geográficas 22° 48' y los 23° 04' de latitud norte y a los 82° 00' hasta los 82° 19' de longitud oeste.

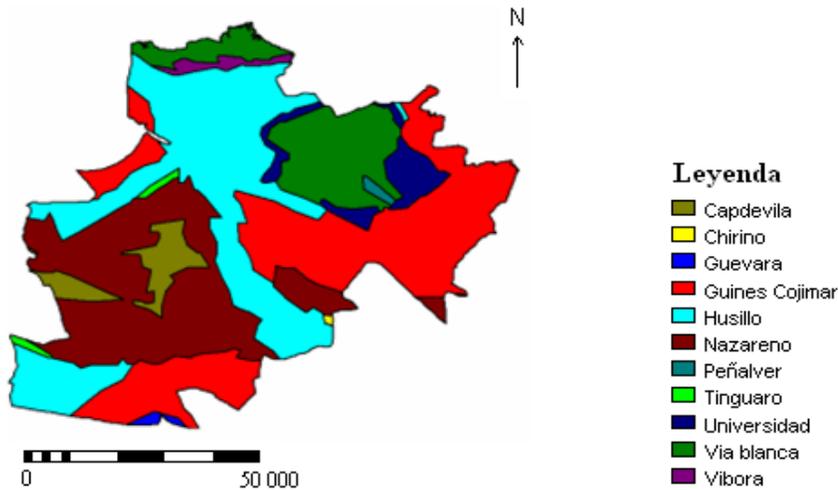
Se seleccionó al municipio para realizar la propuesta de Ordenamiento Territorial con el propósito de dar respuesta a los proyectos de investigación denominados: “Propuesta de planificación del uso de la tierra en el municipio San José de Las Lajas en función del desarrollo local sostenible” y “Sistema de conocimientos e información para el desarrollo agrícola y rural”, ambos pertenecientes a Facultad de agronomía de la Universidad Agraria de La Habana. Mediante este último se facilitó el intercambio con los principales actores sociales e instituciones relacionadas con el manejo del recurso tierra del municipio. Además, de la gran cantidad de información disponible que existe sobre el mismo, resultado de trabajos previos de investigación.



**Figura 2.1.** Ubicación geográfica del municipio San José de las Lajas.

### 2.2.1 Caracterización geológica y geomorfológica

El municipio se caracteriza por su compleja geología, en la que predominan formaciones carbonatadas y carbonatado – terrígenas que propician el buen desarrollo de los fenómenos cársticos, tanto superficial como criptogénico (Figura.2.2). Esta característica del municipio, es responsable en buena medida de algunos de los fenómenos geológicos de peligro presentes en la región, como son hundimientos por carso, deslizamientos y sismos, siendo las formaciones geológicas más susceptibles: Güines, Cojímar, Husillo, Tinguaro, Universidad y Nazareno (Fundora et al., 2000). Por otra parte, es un elemento a tener en cuenta en la evaluación de los procesos erosivos constatados en varios estudios (Vega y Febles, 2005; Febles, 2007).



**Figura 2.2.** Caracterización Geológica del municipio San José de las Lajas

Esta región está conformada por llanuras y alturas bajas de diferentes litologías, que condicionan la formación de territorios con variadas características topográficas (Mesa et al., 1986), como son: llanura alta, inclinada (80 msnm), con suelos muy rocosos de baja productividad, ubicada en el extremo sur del municipio; llanura alta (127 msnm) erosivo acumulativa, plana o ligeramente inclinada, con suelos Ferralíticos, poco diseminadas en el centro del municipio; alturas calcáreas sobre margas, areniscas y calizas (250 msnm) que aparecen hacia el sur del territorio, y altura cárstica denudativa (270 msnm), con suelos Ferralíticos poco profundos y Húmicos carbonáticos, en la parte norte y este del municipio.

### **2.2.2 Caracterización climática**

La región de estudio se clasifica, según Samek y Travieso (1968), como subtropical húmeda. El período lluvioso se inicia en la segunda decena de mayo y finaliza en la segunda decena de octubre, mientras que el poco lluvioso comienza en la tercera decena de octubre y finaliza en la primera decena de mayo, con una lámina anual comprendida entre los valores de 1 400 y 1600 mm (CENHICA, 1997; Figura 2.3). Aunque en los últimos años las precipitaciones se han desfasado en más de dos meses, con una reducción de los volúmenes totales, atribuible al cambio climático, con oscilaciones características de los eventos El Niño y La Niña (IPCC, 2001).

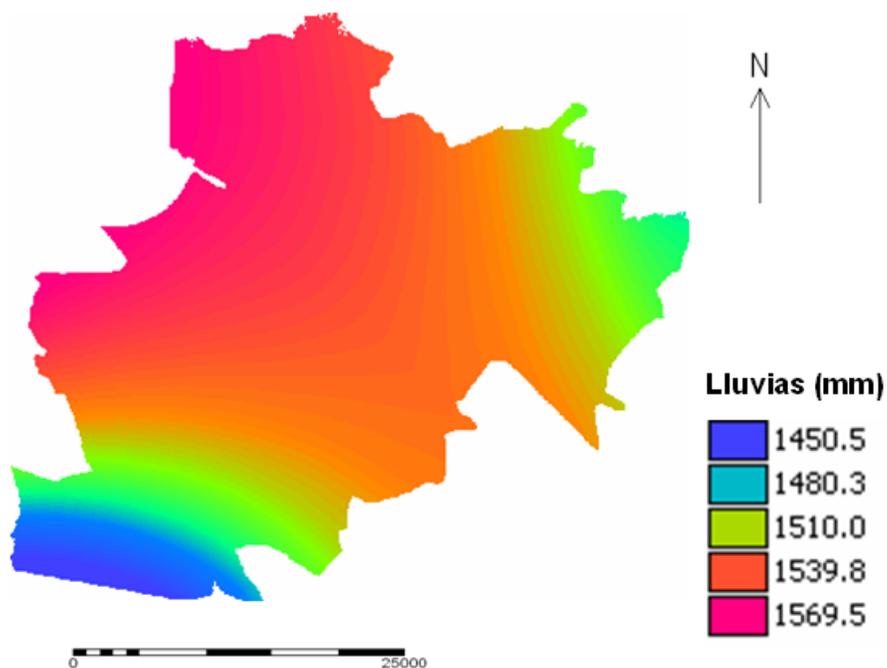
En la Tabla 2.1 se observa que la temperatura promedio en el territorio es de 24,19 °C, siendo la temperatura de los meses más cálidos de 27.40 °C en julio y agosto, y la del mes más frío de 20.58 °C y 20.16 °C para los meses de enero y febrero, respectivamente. De igual forma, se observa que la humedad relativa es más elevada en los meses húmedos que en los secos, coincidiendo con Herrera (1986) y Vega (2006), quienes plantean que la humedad relativa en los meses lluviosos es de 83.67 % y en los meses secos de 80.51 % aproximadamente.

#### **2.2.2.1 Caracterización ambiental**

Uno de los principales problemas ambientales del municipio está relacionado con el elevado porcentaje de afectación de los suelos, debido a factores de carácter natural o antrópico, acumulados en el transcurso de los años con una preponderancia del impacto de la agricultura y la ganadería, donde la deforestación, el sobrepastoreo y el manejo inadecuado han provocado su degradación (Fundora et al., 2000).

Por otra parte, la ausencia casi total de alcantarillado en el centro urbano y a la presencia de salideros en las conductoras de la red de agua potable (IPF, 2003, Ojeda, 2008), han provocado el deterioro del saneamiento en los asentamientos humanos. Ello se debe, entre otras causas, al deficiente tratamiento de los residuales líquidos de un grupo importante de industrias enclavadas en el territorio, lo que provoca fuertes contaminaciones al medio ambiente.

De igual forma el municipio se encuentra afectado por la presencia de los peligros de hundimientos por carsificación, deslizamiento e inundación. El primero es resultado de la disolución de las rocas y minerales bajo la acción de las aguas subterráneas, cuyas zonas de



**Figura 2.3.** Representación del promedio de las lluvias anuales del municipio San José de las Lajas.

**Tabla 2.1.** Comportamiento de las variables climáticas en el período (promedio mensual 1991-2007).

Meses	Promedio de las lluvias (mm)	Promedio de Temperatura Media (°C)	Humedad relativa promedio (%)
Enero	47.34	20.58	81.82
Febrero	48.98	20.16	80.45
Marzo	56.84	22.45	79.91
Abril	74.96	23.33	79.66
Mayo	163.44	25.45	79.12
Junio	238.80	26.68	82.90
Julio	194.58	27.40	82.67
Agosto	197.49	27.40	83.57
Septiembre	191.85	26.47	84.89
Octubre	153.78	25.24	85.02
Noviembre	64.72	23.54	82.98
Diciembre	44.87	21.64	82.12
Total	1477.65	24.19	82.09

Fuentes: Estación meteorológica de Tapaste, 2007.

mayor peligro están localizadas entre los poblados de San José, Tapaste y al oeste del poblado de Rosafé Signet (Fundora et al., 2000 y Febles, 2007).

El deslizamiento, se debe a la ocurrencia simultánea de algunos factores tales como: pendientes críticas, características geológicas de algunas formaciones, propiedades físicas de algunos tipos de suelos, erosión de los mismos por actividad cársica, y el uso inadecuado de la tierra (Fundora et al., 2000). Mientras que la inundación está vinculada a ríos de quinto y sexto orden, cuyos estimados máximos de pérdidas oscilan entre 300 000 y 16 300 000 pesos por años, con un total de aproximadamente 45 500 personas afectadas (Fundora et al., 1999).

Otro problema del municipio está asociado a la presencia de actividad sísmica debido a la existencia de actividad neotectónica a través de fallas activas, como es el caso del reportado en el año 1995 con una intensidad máxima de V grados de XII en la escala MSK (González, 1995).

Además, en la zona de estudio existen un grupo de instalaciones críticas con marcado riesgo tecnológico, entre las que se destacan, según criterios de Fundora et al. (2000), la fábrica de cables eléctricos “Conrado Benítez”, la de pintura “Raúl Cepero Bonilla”, la de gomas “Nelson Fernández”, y el Centro de Isótopos, entre otras.

### **2.2.3 Caracterización socioeconómica**

El municipio de San José de las Lajas ocupa un área de 595,93 km.<sup>2</sup>, con una longitud perimetral de 164,6 km, que representa el 10,4 % del área total de la provincia y el segundo lugar en extensión territorial entre todos sus municipios.

El Consejo Administrativo Municipal está organizado en 7 Consejos Populares: San José Norte, San José Sur, Jamaica, Zaragoza, Nazareno, San Antonio de las Vegas y Tapaste. Su población total es de 74 053 habitantes, con una densidad de 124.26 habitantes por kilómetros cuadrados (OME, 2008).

Según la Dirección Municipal de Planificación Física (DMPF, 2008), el 73.26 % del área total del municipio corresponde al fondo agrícola (43 658,22 ha), usándose fundamentalmente en la actividad ganadera. El 10.09 % del área total es forestal y el 6.91 % pertenece al fondo poblacional constructivo, donde se encuentra el centro urbano, con una superficie de 611.90 hectáreas. De los 48 asentamientos poblacionales existentes, diez son clasificados como urbanos y el resto como rurales. El porcentaje que resta (9.74 %) pertenece a otras áreas, tales como suelos no aptos y superficies acuosas.

La economía del territorio depende del 76 % del Sector Industrial, del 21 % del Sector Agropecuario y del 1,7 % y 1,3 %, del Sector del Transporte y del Sector de la Construcción, respectivamente.

En el municipio hay un total de 21 196 viviendas, de ellas el 65,8 % se encuentran en buen estado. La densidad vial del municipio alcanza el 0,72 km . km<sup>-2</sup>, por debajo del valor provincial que es de 0,85 km . km<sup>-2</sup>

### 2.3 Metodología de la investigación

El Ordenamiento Territorial supone el establecimiento de los usos factibles para cada porción del territorio sometido a estudio (FAO, 2001). El marco de trabajo seguido para la generación de escenarios optimizados espacialmente, así como los principales métodos de investigación, se muestran en la Figura 2.4 y en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Métodos generales utilizados en la investigación.

<b>Métodos</b>	<b>Breve descripción</b>
Hipotético deductivo	Organización del conocimiento experimental y la demostración de los objetivos planteados
Análisis documental	Recopilación de datos e información sobre la región de estudio
Histórico-lógico	Estudio del crecimiento espacial del centro urbano y de la población del municipio
Método de experto	Obtención de los indicadores, alternativas y criterios utilizados en el proceso de Ordenamiento Territorial, obtención de los vectores propios en las matrices de comparaciones por pares mediante el PAJ
Modelación	Elaboración de los árboles de decisión, elaboración de las estructuras jerárquicas para la evaluación espacial multicriterio
Matemático estadístico	Series temporales, estadística descriptiva, estadística no paramétrica
Análisis espacial	Análisis de sensibilidad, propuesta del Ordenamiento Territorial

En este esquema se integran procedimientos de Evaluación de Tierra, Técnicas de Decisión Multicriterio, sistemas expertos, entre otros. Este se dividió en dos fases descritas por Bosque Sendra y García (2000), cuyos componentes principales se describen a continuación.

En la primera fase se establecieron bases de datos mediante las herramientas que brindan los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a partir de las cuales se seleccionaron las Unidades de Tierra (UT) y las Clases Generales de Uso (Agrícola, Forestal, Ganadera y Urbana) presentes en el municipio San José de las Lajas, así como los criterios y restricciones utilizados para la selección de las alternativas factibles a utilizar en cada escenario del municipio.

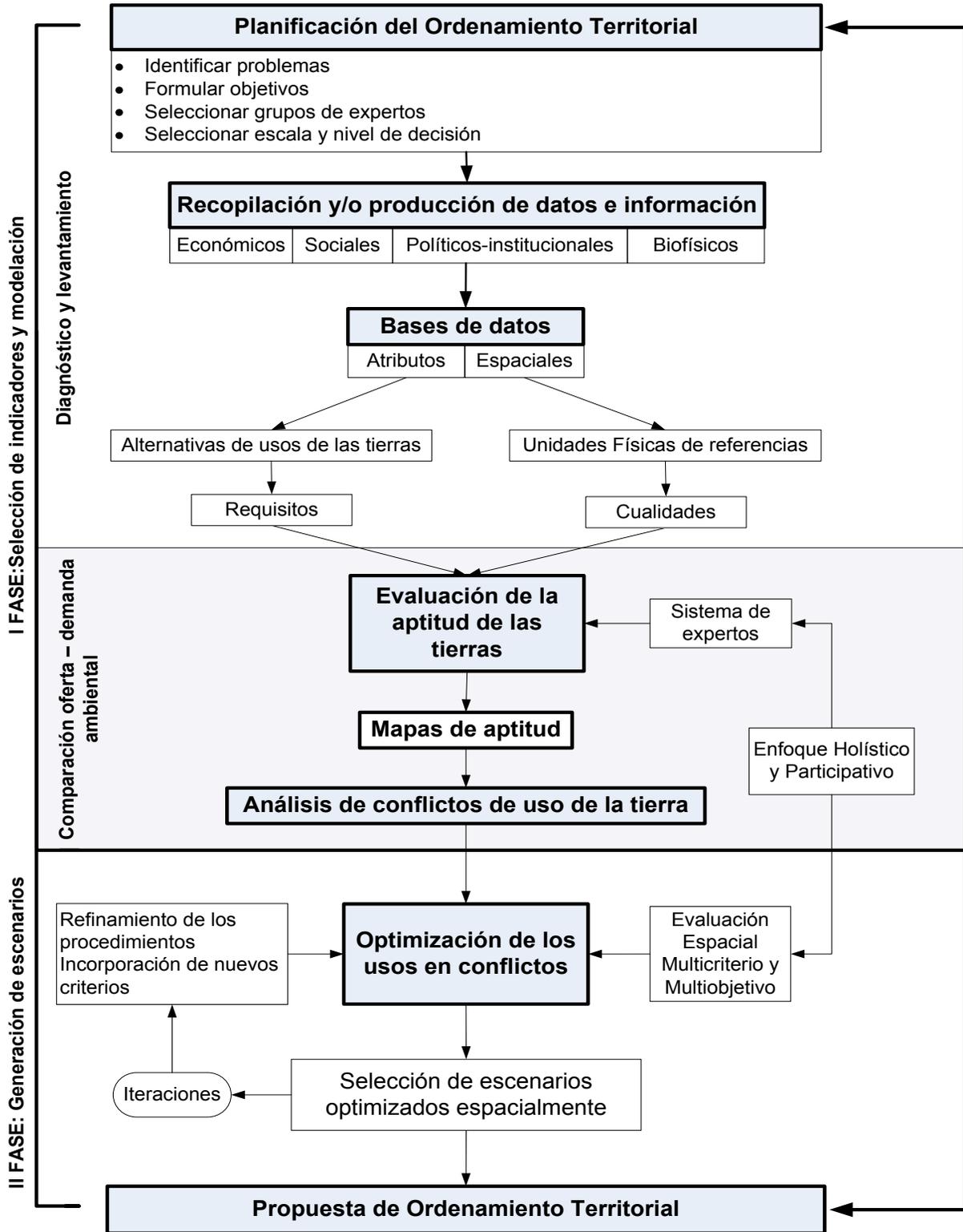


Figura 2.4. Marco de trabajo para el Ordenamiento Territorial.

La Evaluación de Tierras (ET) se realizó mediante el esquema de la FAO (FAO, 1976; 2007), apoyados en el software ALES (Rossiter, 1990; Rossiter y Van Wambeke, 1995). Este sirvió de base para evaluar los conflictos de usos de la tierra entre las CGUT evaluadas, contemplando en el análisis la vulnerabilidad del medio ante un uso determinado. De esta forma fue posible identificar las zonas con un uso inapropiado de las tierras, lo que puede reducir su capacidad de producción, así como la pérdida de la biodiversidad y el incremento de los costos de producción (Murcia et al., 2007).

Previo a la ET fue necesario gestionar los indicadores para evaluar, con un enfoque holístico, la aptitud de las tierras para el uso urbano. Para ello se interactuó con los principales encargados en la toma de decisiones del municipio mediante el método Delphi (Helmer, 1966; Listone y Turoff, 1975) y talleres que permitieron validar los resultados obtenidos.

Posteriormente, en la segunda fase, se realizó la jerarquización y priorización de los usos más factibles en cada UT evaluada, a partir de los criterios antes seleccionados. Para ello se utilizó como base las Técnicas de Decisión Multicriterio, específicamente el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) elaborado por Saaty (1977).

La investigación se apoyó en el criterio de un grupo de expertos relacionados con los temas abordados. Para lo cual se determinó, como se explica más adelante, su coeficiente de competencia, garantizando de esta forma la calidad de la información obtenida.

#### **2.4 Selección del grupo de expertos**

Con la finalidad de garantizar un enfoque participativo en la obtención del Ordenamiento Territorial propuesto, la investigación se apoyó en el criterio de un grupo de expertos compuestos por actores sociales del municipio. El nivel de relación y de conocimiento de los mismos con los temas abordados se determinó mediante el coeficiente de competencia (K), garantizando de esta forma, la calidad de la información obtenida. La fórmula utilizada para dicho cálculo se presenta a continuación:

$$K = \frac{1}{2} + (kc + ka) \quad (2.1)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto acerca del problema, calculado sobre la valoración del propio experto en una escala del 0 al 10 y multiplicado por 0,1.

Ka: Coeficiente de argumentación o fundamentación de los criterios del experto, obtenido como resultado de la suma de los puntos alcanzados a partir de una tabla patrón propuesta por el método Delphi.

## **2.5 Escala de trabajo y nivel de decisión**

El levantamiento de la información para la representación y selección de los escenarios del municipio se realizó a escalas de trabajo de 1:25 000 y 1: 50 000, tomándose como escala definitiva de presentación de los resultados la de 1:50 000. Ello significa una reducción de la escala de los mapas 1:25 000, con lo que se reducen a la mitad los posibles errores (Balmaseda, 2006).

El tamaño adecuado de las áreas individuales de tierras, al cual se pueden tomar las decisiones, se determinó mediante el cálculo del área de decisión mínima (ADM). Para ello se consideró la relación básica entre la escala del mapa y el tamaño del polígono (Forbes et al., 1982). Según estos autores, el ADM corresponde a la delimitación óptima legible (DOL) de un mapa convertido a escala terrestre, con un valor convencional correspondiente a 4 veces la delimitación mínima legible (DML) de 0.4 cm<sup>2</sup>, es decir, 1.6 cm<sup>2</sup> en el mapa, a partir de lo cual se obtiene la siguiente fórmula:

$$ADM \text{ ha} = 1.6 \text{ cm}^2 * 10^{-8} \text{ ha cm}^{-2} * (\text{Factor de escala mm}^{-1})^2 \quad (2.2)$$

## **2.6 Fuentes documentales e instituciones consultadas**

Para la compilación de los datos utilizados en el trabajo se utilizó el método de análisis documental. Las principales instituciones consultadas fueron el Instituto Nacional de Planificación Física (IPF), Instituto de Suelos (I.S), Ministerio de la Agricultura (MINAG), Sede de la FAO en Cuba, Institutos Provincial de Planificación Física y Dirección Municipal de Planificación Física, Centro de Epidemiología del municipio, CITMA y GEOCUBA municipal, Oficina de Estadísticas Nacional y Municipal, Departamento de Geotecnia del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), entre otros. En estos lugares se revisó la documentación disponible y se recogió el criterio de diversos especialistas con relación al tema objeto de estudio.

Los documentos de apoyo más utilizados fueron: el Plan General de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de San José de las Lajas (IPF, 2003), Guía para la elaboración del Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbanístico del Municipio (IPF, 1998; IPF, 2000), Directivas de la FAO orientadas a la Evaluación de Tierras para la agricultura en secano (FAO, 1985a), para

pastoreo extensivo (FAO, 1991) y para el Forestal (FAO, 1985b), así como las demás referencias bibliográficas necesarias para aclarar y/o fundamentar las ideas presentadas a lo largo del estudio.

## 2.7 Bases de datos

Para el desarrollo de la investigación se conformaron bases de datos espaciales y de atributos soportadas en los SIG, utilizándose principalmente la plataforma ILWIS 3.4 Open.

### 2.7.1 Bases de datos de atributos

Para conformar las bases de datos de atributos se utilizó la información que brindan las fórmulas asociadas a los polígonos de la versión digital del Mapa Nacional de Suelos, escala 1:25 000 digitalizado por el Instituto de Suelos. De igual forma, el trabajo se apoyó en el Sistema de Información de Suelos, conocido por el acrónimo “Perfil25”, generalizado por el Instituto de Suelos, el cual se empleó ampliamente como base durante los trabajos de “Evaluación Preliminar de la Aptitud Física de las tierras para el cultivo de la Caña de Azúcar”, promovido por el MINAZ y la participación directa del INICA (Balmaseda y Ponce de León, 2002). Esta base se complementó con los datos de los perfiles de suelos para el municipio San José de las Lajas y con resultados de trabajos de investigación realizados en el complejo científico docente (ICA, INCA, UNAH), algunos de los cuales se pueden consultar en sus bibliotecas y departamentos especializados (Febles, 1999, Manjoro, 2001; Dirección Provincial de Suelos de La Habana, 2004, Febles, 2007; Vargas et al., 2009).

### 2.7.2 Bases de datos espaciales

Las bases cartográficas utilizadas se relacionan en la Tabla 2.3. También se confeccionaron, con la plataforma ILWIS, mapas auxiliares que aportaron información necesaria, tanto para el proceso de Evaluación de Tierras como para el de Ordenamiento Territorial. Entre estos se encuentran el mapa del Modelo Digital del Terreno (MDT), mapa de pendientes, mapa isoyético, mapa de erosión, mapa de peligro tecnológico, entre otros.

**Tabla 2.3.** Bases cartográficas empleadas en el estudio del municipio San José de las Lajas.

Mapas	Escala	Soporte	Entidad
Hojas cartográficas del Mapa Nacional de Suelos	1:25 000	Mapinfo 4.5	Instituto de Suelos
Mapa Topográfico del municipio	1:25 000		GeoCuba
Mapa Topográfico del municipio (1973)	1: 20 000	Analógico	Geodesia y Cartografía
Mapa catastral	1:50 000	Mapinfo 4.5	DMPF
Mapa de uso del suelo			

Mapas	Escala	Soporte	Entidad
Mapa de propuesta de uso del suelo Urbano	1:50 000	Surfer 6.02	Fundora et al. (2000)
Mapa de la Red de Drenaje Superficial			
Mapa geológico del municipio			
Mapa de peligro de Hundimiento			
Mapa de peligro de Inundaciones			
Mapa de peligro de Deslizamiento			
Mapa de peligro Sísmico			

### 2.7.2.1 Manejo cartográfico

Para agrupar la información digital utilizada en el trabajo en una sola plataforma de SIG, los mapas de peligro de Inundación, Deslizamientos, Sismos, Hundimiento por Carsificación y el mapa Geológico del municipio, fueron exportados desde su plataforma original a la de ILWIS. Igualmente, se digitalizó el mapa topográfico del municipio del año 1973, a escala 1: 20 000, disponible en soporte analógico. En todos los casos se trabajó con un umbral de error inferior a los establecidos por el software (sigma menor de 2 píxeles), lo que garantizó la exactitud espacial de los referidos mapas, con valores de sigma inferiores a 0.001.

Previo a su utilización, los mapas que se encontraban en la plataforma Mapinfo (mapa de suelos, mapa topográfico, mapa de red de drenaje superficial, otros) fueron sometidos a un proceso de rectificación, mediante la plataforma ILWIS 3.4 Open, con el fin de lograr una adecuada estructura topológica arco-nodo y de esta forma eliminar los problemas de digitalización de mapas vectoriales, tales como la ausencia de nodos, líneas que no llegan al nodo (*undershoots*), líneas que sobrepasan al nodo (*overshoots*) y la aparición de polígonos ficticios (Aronoff, 1989). Para ello se utilizó el procedimiento descrito por Ponce-Hernández (1998).

El mapa de pendientes se elaboró a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT). Para ello se tuvieron en cuenta las clases de pendientes: llano, ondulado, alomado y fuertemente alomado, reportadas por la FAO (1985a).

## 2.8 Evaluación de Tierras (ET)

El objetivo de la evaluación de la aptitud de las tierras para las diferentes CGUT, es obtener una información cualitativa de la aptitud de las tierras del municipio para usos genéricos acorde al objeto y escala de estudio, sin llegar al detalle de especificar un uso urbano, agrícola, ganadero o forestal determinado. Con este propósito, se aplicó un método segmentado mediante el Esquema de Evaluación de Tierras FAO (1976; 2007) y el software ALES

(Sistema Automático de Evaluación de Tierras) (Rossiter, 1990; Rossiter y Van Wambeke, 1995). El trabajo se apoyó en varios modelos elaborados con este software, tales como: “Guía de Instrucción 1: consulta sencilla” (Aubert, 1985); “*Zimbabwean Land Capability Classification*” (Hudson, 1995); “*Physical Land evaluation based on crop requirements*” (Sys et al., 1993); “Procedimiento para la evaluación de tierra del cultivo de la caña de Azúcar en Cuba” (Balmaseda y Ponce de León, 2002).

### **2.8.1 Determinación de las Clases Generales de Uso de la Tierra (CGUT)**

A partir de la caracterización de los sistemas de producción del municipio, las recomendaciones de los especialistas locales y de los datos obtenidos, se seleccionaron las CGUT a evaluar, que están en función de los principales usos de la tierra del municipio:

- CGUT: Urbana
- CGUT: Agrícola
- CGUT: Ganadera
- CGUT: Forestal no resistente al mal drenaje del suelo
- CGUT: Forestal resistente al mal drenaje del suelo

Para evaluar la CGUT Forestal se consideró un enfoque general en cuanto a su propósito (producción de madera, conservación y recreación), debido a que, independientemente de los beneficios, los principios básicos y procedimientos son los mismos y a la razón práctica de que el manejo forestal casi siempre es considerado de uso múltiple (FAO, 1985b).

En este caso se tuvo en consideración la resistencia de las especies evaluadas a la humedad del suelo, debido a que muchas especies de árboles son utilizadas como fajas hidrorreguladoras, por lo que se generaron dos CGUT.

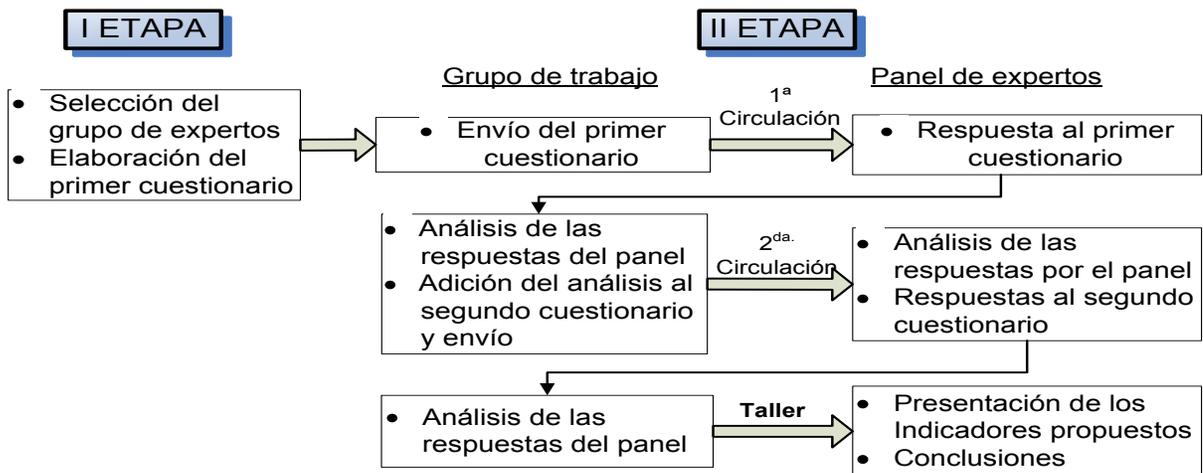
### **2.8.2 Selección de las unidades físicas de referencia**

Como unidad física de referencia para el desarrollo de la investigación se utilizaron Unidades de Tierra (UT). Estas se obtuvieron al multiplicar el Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25000 perteneciente al municipio con el mapa de pendiente, mediante las herramientas que brinda la plataforma ILWIS 3.4 Open.

El tamaño mínimo permisible de las mismas depende del área de decisión mínima (ADM), por lo que todas las Unidades de Tierras, con un área menor, se generalizaron cartográficamente. Para ello se utilizaron las herramientas que brinda la plataforma ILWIS, como es el caso del filtro *majority*, con un tamaño de 7\*7 píxeles.

### 2.8.3 Obtención de los indicadores con enfoque holístico, orientados a evaluar la aptitud de las tierras para el uso urbano

Para la selección de los indicadores se utilizó el método Delphi (Helmer, 1966; Listone y Turoff, 1975). El mismo se dividió en dos etapas, una de preanálisis y otra de procesamiento. La primera de ellas se dedicó a la identificación preliminar de los indicadores a estudiar, a partir de la bibliografía existente sobre el tema; así como a la conformación del equipo de expertos. Mientras que la segunda etapa se centró en el análisis y homogeneización de la información obtenida a partir de encuestas entregadas de forma individual en dos rondas a los expertos (Figura 2.5).



**Figura 2.5.** Esquema del proceso de obtención de indicadores para evaluar el uso urbano de las tierras.

En la selección de los expertos se consideró el nivel de relación y de conocimiento de 21 especialistas relacionados con el tema que se está resolviendo. Para ello se calculó el coeficiente de competencia (K) de cada uno mediante la fórmula 2.1.

Las preguntas que se plantearon fueron del tipo: cerradas y abiertas (Sampier, 2003). Las primeras estaban orientadas a que los expertos dieran su valoración respecto a la importancia que ellos le concedían al empleo de indicadores para evaluar el uso urbano y a que optaran por las cualidades predefinidas, mientras que las segundas tuvieron como propósito abrir el campo de los pronósticos, de manera que los expertos pudieran considerar alternativas no incluidas en las respuestas cerradas. En Anexo 3 se muestra la encuesta utilizada para este fin.

El cuestionario de la segunda ronda consistió en preguntar a los expertos tan sólo acerca de aquellas cualidades cuyas respuestas en la primera ronda diferían de las respuestas más consensuadas. Para ello se suministraron los resultados de las cualidades seleccionadas en la primera ronda, la respuesta del experto y en el caso de las cualidades que fueron añadidas, los motivos esgrimidos por los integrantes del panel que justificaban su inclusión. Por tanto, se trató de formularios personalizados, confeccionados a partir de las respuestas de cada uno de los expertos.

Las categorías utilizadas para la valoración de los indicadores fueron cinco: Muy Adecuado (C1); Bastante Adecuado (C2); Adecuado (C3); Poco Adecuado (C4) y No Adecuado (C5). Sus límites se determinaron con los valores de los puntos de corte, que se obtienen del cálculo de las frecuencias acumuladas, las frecuencias relativas acumuladas, y las imágenes de la inversión de la curva normal. Igual procedimiento realiza López (2005).

Resulta importante destacar que en todos los casos se aseguró a los expertos absoluta reserva académica y de las políticas institucionales en el tratamiento de los cuestionarios.

Finalmente, se programaron talleres dirigidos a los principales encargados de la toma de decisión del municipio (dirigentes del Gobierno, especialistas del CITMA, Arquitectos y técnicos de la DMPF, representantes de la ganadería y agricultura, especialistas en hidrología, entre otros), con el propósito de llegar a un consenso final sobre los indicadores que debían ser utilizados para evaluar la CGUT Urbana.

Los indicadores fueron agrupados en cualidades y características, según recomienda la FAO (1985a). Ello facilitó la evaluación de esta Clase General de Uso de la Tierra mediante el esquema FAO (1976; 2007).

#### **2.8.4 Selección y organización de las cualidades para evaluar la aptitud de las tierras del municipio**

Las cualidades a evaluar en las CGUT Agrícola, Forestal no resistente al mal drenaje del suelo, Forestal resistente al mal drenaje del suelo y Ganadera se obtuvieron de las listas propuestas por la FAO en sus directivas (FAO, 1985a; 1985b y 1991), respectivamente. Mientras que para la CGUT Urbana se obtuvo de los indicadores propuestos en esta investigación (epígrafe 2.8.3).

Para la selección se utilizaron los criterios de un grupo de expertos en evaluación de tierras y de especialistas de amplia experiencia sobre los temas evaluados, mediante el método propuesto por la FAO (1985a), según se explica en Anexo 4.

Para una mejor operatividad de los criterios a incorporar posteriormente en el Ordenamiento Territorial la evaluación de las tierras para las CGUT Agrícola, Forestal y Ganadera se dividió en dos partes. En un primer modelo se consideraron a las cualidades relacionadas con el manejo de los cultivos, incorporándose en el caso ganadero, a las correspondientes al manejo animal. Mientras que en otro modelo, se evaluaron a las cualidades relacionadas con el impacto ambiental, incorporando así criterios de vulnerabilidad a la evaluación, donde se analizaron los efectos que provocan los diferentes elementos que constituyen peligro sobre las UT en dependencia de las CGUT evaluadas. Para ello se utilizaron las cualidades relacionadas con el desarrollo de los procesos erosivos y la actividad cársica predominante en la región de estudio.

El grado de erosión actual se tomó como indicador de degradación del suelo y se incorporó como cualidad el peligro de hundimiento y deslizamiento en las CGUT Agrícola y Ganadera. Mientras que para la CGUT Forestal resistente al mal drenaje de los suelos y Forestal no resistente al mal drenaje de los suelos se incorporó la cualidad peligro de hundimiento. De igual forma, se utilizó el estudio del peligro en lugar de los riesgos para evaluar la aptitud de las tierras para el uso urbano.

#### **2.8.5 Valoración de las cualidades seleccionadas para evaluar las diferentes CGUT**

Para las cualidades seleccionadas se definieron las características más comúnmente utilizadas en los trabajos de evaluación de tierras. Además, debían ser representativas de la zona de evaluación, así como poseer una adecuada calidad temporal, espacial y temática. A continuación se exponen algunos de los aspectos específicos tenidos en cuenta para su selección.

Para evaluar la calidad condiciones del enraizamiento en las CGUT Forestales se utilizó la característica: profundidad pedológica, en lugar de la profundidad efectiva empleada en las otras CGUT, debido a que estos son más resistentes a los factores causales presentes en la zona de estudio, tales como presencia de materiales con baja porosidad de aireación y presencia de capas compactadas.

Para obtener el porcentaje de carbono orgánico (CO) del suelo se calculó el promedio de la materia orgánica correspondiente a los perfiles del Mapa Nacional de Suelos, escala, 1: 25000, encontrados en cada Unidad de Tierra evaluada. Ello fue posible debido a que el semivariograma con los valores de Carbono elaborado para el municipio mostró un efecto de varianza residual pura (McBratney y Webster, 1986).

Para expresar los valores de materia orgánica (MO) en porcentaje de carbono orgánico (CO) se utilizó el criterio de Orlov et al. (1969), que asume que el 58 % de la materia orgánica es carbono orgánico, según se plantea en la siguiente fórmula:

$$\% CO = \frac{\% MO}{1.724} \quad (2.3)$$

En el caso del suelo Esquelético no se encontraron perfiles con valores de materia orgánica, por lo que se utilizó el grado de humificación de la capa arable extraída de las fórmulas asociadas al polígono de suelo presente en las UT. Para ello se tomó el valor medio de la clase de humificación según la fórmula:

$$h_x = \frac{(L_s h - L_i h)}{2} + L_i h \quad (2.4)$$

Donde:

- $h_x$ : Valor medio de humificación
- $L_s h$ : Límite superior de la humificación
- $L_i h$ : Límite inferior de la humificación

La cualidad disponibilidad de humedad en el suelo, se basó en la reducción esperada de los rendimientos, según los criterios de Sys et al. (1993), debido al estrés hídrico que pueden sufrir los cultivos en condiciones de no riego, lo cual estará en función del tipo de cultivo y del tipo de suelo evaluado en cada UT. En el caso de la CGUT Agrícola se tomó como referencia al cultivo del plátano, por ser uno de los más abundantes en el área de estudio.

La estimación se realizó con el software CropWat 4.3. Se emplearon datos climáticos de los últimos 10 años, procedentes de la estación meteorológica de Tapaste, con la excepción de la cantidad de horas luz, tomada de una media de 14 años, procedente de la estación meteorológica de Melena del Sur, obtenida de ISRIC e INICA (1994), debido a que en la primera no se recogen estos datos desde hace más de 25 años por falta de equipamiento. Se asumieron 12 eventos de lluvia por mes, correspondientes a la media de lluvia mensual de los datos analizados

Para evaluar la disponibilidad de agua para el consumo animal en el trabajo no se tuvo en cuenta la calidad, debido a la falta de datos que ilustren el comportamiento espacial de este problema en detalle. Sin embargo, según la opinión de los expertos, el agua en el municipio es adecuada para el uso animal, aunque existen indicios del efecto que puedan tener en ella las diferentes fuentes contaminantes del territorio. De esta forma, para su evaluación, sólo se consideró la característica distancia de las UT a las fuentes de abasto de agua para el consumo animal, según propone FAO (1991).

Para la evaluación del peligro tecnológico el estudio se apoyó en los peligros generados por las principales instalaciones críticas existentes en el municipio (IPF, 2003), así como en su profundidad de propagación (Fundora et al., 2000), según se muestra en la Tabla 2.4. A partir de esta información se obtuvo el mapa de peligro por este concepto en el municipio.

**Tabla 2.4.** Caracterización de las instalaciones peligrosas del municipio San José de las Lajas (modificado de Fundora et al., 2000).

<b>Instalación</b>	<b>Productos tóxicos y radioactivos</b>	<b>Profundidad de propagación (km)</b>
Pasteurizadora Aljibe	Amoniaco (4,3 t), Cloro (0,7 t), Acido Sulfúrico (0,3 t)	1,00
Fábrica de cables eléctricos "Conrado Benítez"	PVC. Inflamable y desprende cloruro de hidrógeno, dioxinas y furanos	0,50
Fábrica de pintura "Raúl Cepero Bonilla"	Tolueno (50 t), Acetona (20 t), Acido Nítrico (10 t)	1,00
Fábrica de gomas "Nelson Fernández"	Óxidos de azufre (10 a 20 t)	0,50
Fábrica de envases de aluminio CUBALUM	Gas propano (8 t)	1,00
Fábrica de pastas Vita Nuova	Hidrocarburo, aceite lubricante	0,50
Abasto de agua comunales	Gas Cloro (64 kg) por balón	1,00
Centro de Isótopos	Sustancias radioactivas Co <sup>60</sup>	0,30
CENSA	Sustancias radioactivas Co <sup>60</sup>	0,50

Según De Vente y Poesen (2005), es muy importante tener en cuenta el efecto de la erosión en todas las evaluaciones realizadas como un indicador del grado de degradación de los suelos. Para su determinación se utilizó el método EVERC (Evaluación de la Erosión en Regiones Cársicas), elaborado por Vega y Febles (2005), por ser adecuado para la región, debido al elevado desarrollo cársico presente en el municipio (Febles, 2007). En la Figura 2.6 se representa la secuencia de combinación de los índices seguidos para su obtención.



**Figura 2.6.** Representación del Método EVERC (Vega y Febles, 2005; modificado por el autor).

### 2.8.6 Determinación de los requisitos para cada CGUT

Se elaboraron tablas con los requisitos de cada CGUT considerada en la evaluación y se le asignaron los niveles de aptitudes propuestos por FAO (1976; 2007) (Sumamente apto, Moderadamente apto, Marginalmente apto y No apto). Para su confección, se organizó la información dispersa en diferentes fuentes nacionales e internacionales, tales como: los requisitos de los cultivos para la evaluación de tierras (Sys et al., 1993), tabla de interpretación de datos de suelos (Instituto de Suelos, 1984), normas de interpretación de datos de suelos, Instructivos técnicos, entre otras. Igualmente, se consideró la opinión de expertos especializados en los usos generales evaluados.

### 2.8.7 Creación de los modelos de sistemas expertos

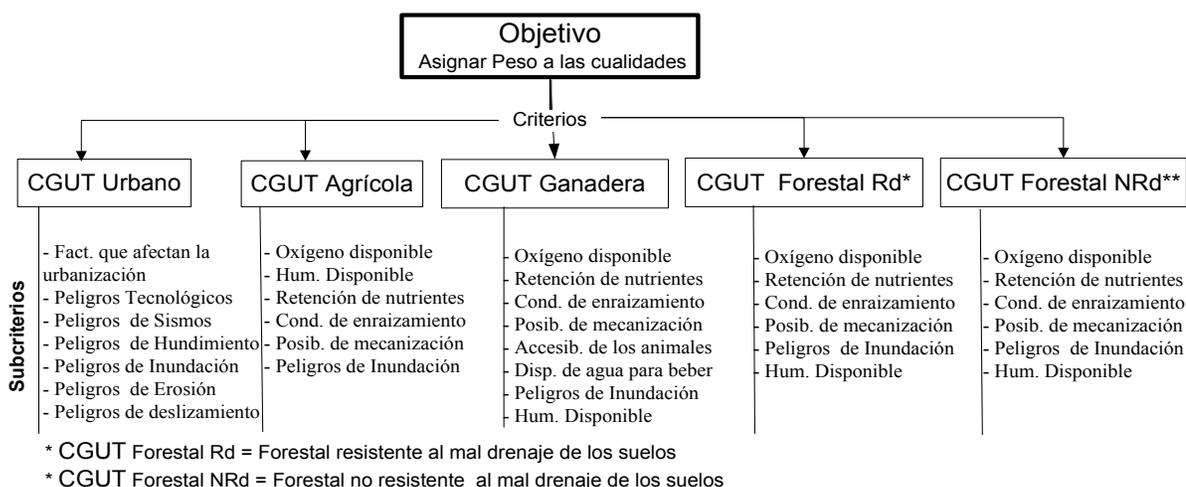
Para la aplicación de los sistemas expertos se elaboran árboles de decisión con los valores de las Características de la Tierra (CaT) como criterios de diagnóstico que definen a cada una de sus cualidades. Estas sirvieron de base para la construcción de los árboles de decisión, cuya estructura jerárquica está en función de los requisitos de cada CGUT evaluada.

Para ello se utilizaron las categorías de la evaluación de tierra: Sumamente apta ( $a_1$ ), Moderadamente apta ( $a_2$ ), Marginalmente apta ( $a_3$ ), No apta ( $n$ ), que implican, en el caso de las CGUT Agrícola, Forestal y Ganadera, una afectación de su rendimiento en 25 %, 40 %, 75 % y más de 75 %, respectivamente, según criterio de Sys et al. (1993). Las clases Marginalmente apta ( $a_3$ ) y Marginalmente no apta ( $n_1$ ) se asumieron como una sola categoría. Igual procedimiento recomienda FAO (2007), cuando no se realiza evaluación económica.

Para valorar las diferentes cualidades contempladas en la investigación también se utilizaron árboles de decisión, lo que permitió darle un mayor peso a las cualidades que más influyen en la aptitud de las CGUT evaluadas. La asignación de los pesos y el orden jerárquico de cada cualidad considerada se realizó a partir del criterio de un grupo de expertos mediante el Proceso Analítico Jerárquico (Saaty, 1977). Se usó como plataforma al software *Expert Choice* (Forman, 2001).

Los resultados generados fueron exportados a la plataforma ILWIS. Ello posibilitó la elaboración de mapas temáticos con la aptitud de las UT para cada CGUT, con lo que se facilitó el análisis y validación de estos resultados por un grupo de expertos, compuesto por profesores, especialistas en la temática y conocedores de la región estudiada.

En la Figura 2.7 se muestra la estructura jerárquica utilizada para asignarle el nivel de importancia a las cualidades de cada CGUT evaluada.



**Figura 2.7.** Estructura Jerárquica para la asignación de pesos a las cualidades evaluadas.

## 2.9 Análisis de los conflictos de usos de la tierra en el municipio San José de las Lajas

Se analiza el conflicto entre las clases de uso Agrícola, Forestal y Ganadera, que son las que están mayormente diseminadas por todo el territorio, así como el conflicto generado por el crecimiento del centro urbano con relación a las demás clases de usos predominantes en el municipio.

### 2.9.1 Conflicto entre las CGUT: Agrícola, Forestal y Ganadera

Al comparar la aptitud física de la tierra con su uso actual se pueden obtener diversos grados de conflictos (Balmaseda, 2003). Para su determinación se confrontaron los mapas temáticos,

resultados de la evaluación de tierra, con el de uso del suelo en el municipio. Este procedimiento se realizó mediante un script sobre la plataforma ILWIS 3.4 Open (CD Anexo). Para obtener los conflictos por sub-utilización se determinaron las UT, que teniendo un alto potencial de producción para un uso determinado, son explotadas con otra CGUT con categoría de aptitud inferior. Estos se clasificaron de la siguiente forma:

- Sin conflicto: Hay coincidencia del uso actual y la vocación de la tierra para ese uso, o sea la UT es Sumamente apta para la CGUT actual.
- Conflicto Leve: La UT tiene una categoría de Sumamente apta para una CGUT, pero está siendo utilizada por otra CGUT cuya aptitud es Moderadamente apta.
- Conflicto Moderado: La UT tiene una categoría de Sumamente apta o de Moderadamente apta para una CGUT, pero está siendo utilizada por otra CGUT cuya aptitud es Marginalmente apta.
- Conflicto Severo: La UT tiene un Orden de aptitud apta para una CGUT, pero está siendo utilizada por otra CGUT cuya aptitud es No apta.

Mientras que para el conflicto por sobre-utilización se identificaron las UT que son explotadas con una CGUT para la cual su vocación (aptitud física) no es alta. En este caso, contrario a como se procede para determinar el conflicto de tipo sub-utilización, sólo se tiene en cuenta la aptitud física de cada UT para su uso actual, es decir, no se consideran a las demás CGUT evaluadas en el trabajo.

- Sin conflicto: La UT tiene la aptitud de Sumamente apta para su uso actual.
- Conflicto Leve: La UT tiene la aptitud de Moderadamente apta para su uso actual.
- Conflicto Moderado: La UT tiene la aptitud de Marginalmente apta para su uso actual.
- Conflicto Severo: La UT es No apta para su uso actual.

De igual forma se obtuvieron los escenarios del municipio, cuyo conflicto de uso se debe a que las UT presentan la misma vocación (aptitud física) para más de una CGUT.

### **2.9.2 Conflicto generado por el crecimiento del centro urbano**

El análisis del crecimiento urbano se basó en las informaciones obtenidas de las Oficinas de Planificación Física Municipal y Provincial, así como en las comunicaciones personales con personas de avanzada edad originarias del municipio.

Se obtuvo el área de los suelos que ha sido ocupada por el crecimiento del centro urbano en la etapa 1973-2008 y 2008-2028 a partir de la comparación del Mapa topográfico, escala 1:20000 (1973), mapa de uso del suelo actual (2008) y el que representa la propuesta de uso del suelo para los próximos 20 años (DMPF, 2008).

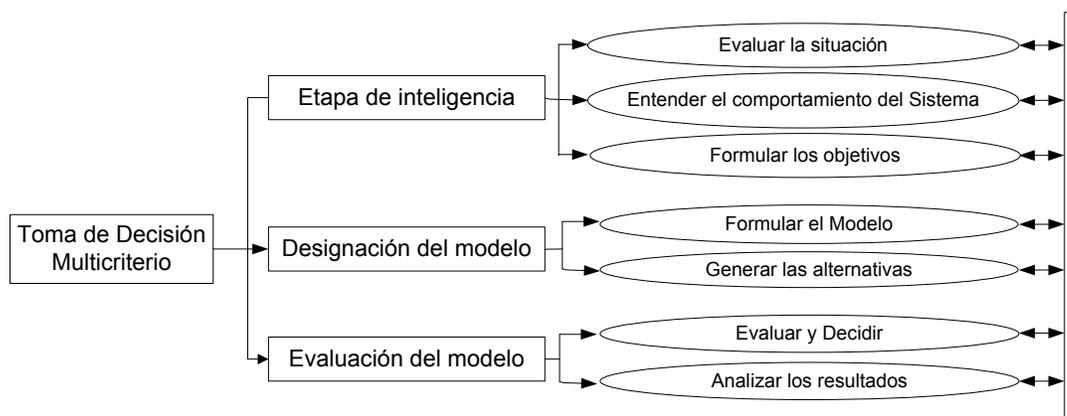
### **2.10 Optimización espacial de las CGUT mediante Técnicas de Decisión Multicriterio**

Para realizar la propuesta de ordenamiento territorial y con ello facilitar a las autoridades del municipio San José de las Lajas una herramienta basada en SIG, que sirva de soporte para tomar decisiones sobre el uso de las tierras, se siguieron tres etapas fundamentales (Figura 2.8), las dos primeras corresponden a la fase I del marco de trabajo de la investigación, mientras que la tercera se corresponde a la fase II. En la primera, conocida como “etapa de inteligencia”, se realizó un análisis del desarrollo histórico evolutivo del municipio, con énfasis en la situación actual y futura del conflicto de uso de las tierras y en las causas que lo provocan. Para esto se partió de los resultados obtenidos en el análisis de los acápites explicados anteriormente.

En la segunda etapa se definió, analizó y estructuró el problema mediante un modelo jerárquico de decisión, constituido por el objetivo global, los criterios, subcriterios y las alternativas generadas para la evaluación (CGUT). Se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico (Saaty, 1977), que se encuentra incorporado como una herramienta para la evaluación espacial multicriterio (ESMC) dentro de la plataforma ILWIS 3.4 Open.

En la última etapa se realizó la corrida del modelo jerárquico planteado, con lo que se obtuvo la propuesta de Ordenamiento Territorial para el municipio. Estos resultados fueron presentados a los especialistas de la Oficina de Planificación Física y demás actores sociales, para su validación. De esta forma quedaron definidos los escenarios del municipio con la alternativa más factible en cada UT, según los criterios utilizados en el análisis.

En el análisis de optimización espacial la CGUT urbana se evaluó separada a las otras clases, debido a que esta alternativa se localiza en una zona muy limitada alrededor del centro urbano, por lo que representa un pequeño porcentaje del área total del municipio estudiado. Además, se asumió la premisa de no limitar el crecimiento del centro urbano, sino de orientar su crecimiento hacia las zonas más favorables para ello.

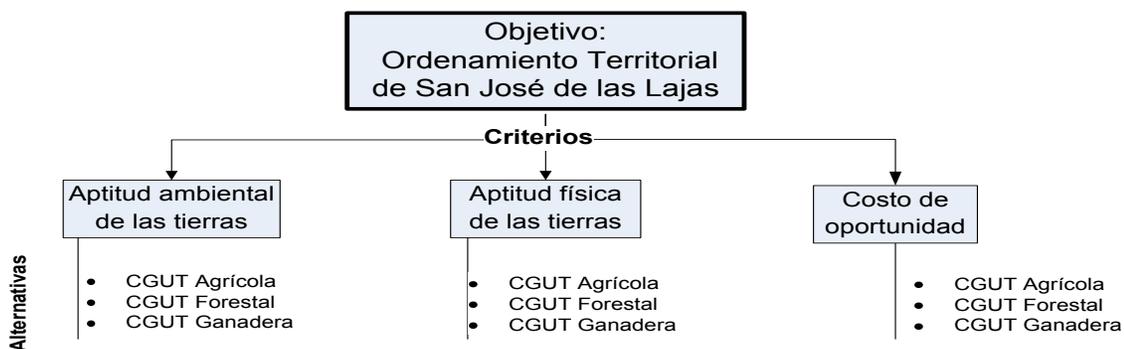


**Figura 2.8.** Esquema de trabajo para el proceso de Toma de Decisión Multicriterio.

### 2.10.1 Optimización espacial de las CGUT Agrícola, Forestal y Ganadera

Los criterios utilizados en el modelo de evaluación espacial multicriterio (ESMC) se componen de restricciones y factores, estos influyeron en la selección de la mejor alternativa para cada UT evaluada (Figura 2.9).

Las CGUT Forestal resistente al mal drenaje de los suelos y Forestal no resistente al mal drenaje de los suelos se consideraron como una sola alternativa. Para ello se seleccionó, mediante las herramientas que brindan los SIG, la alternativa de mayor aptitud física en cada UT evaluada.



**Figura 2.9.** Estructura jerárquica para el Ordenamiento territorial del municipio San José de las Lajas.

### Restricciones

En la Tabla 2.5 se muestran las restricciones consideradas y las premisas seguidas para la selección de la alternativa más factible en cada UT.

Se consideró la necesidad de respetar el uso forestal actual debido al fraccionamiento espacial que éste presenta y a que muchas de sus plantaciones ocupan un área menor a la de decisión

mínima (40 ha) adoptada en la tesis. Ejemplo de lo anterior son las fajas hidrorreguladoras, cuyo ancho mínimo establecido para la protección del medio (Tabla 2.6), acorde con la Ley Forestal N° 85, no es representable en los mapas temáticos de los resultados.

**Tabla 2.5.** Restricciones y premisas establecidas para la evaluación espacial multicriterio.

RESTRICCIONES	PREMISAS
Presencia de canteras en explotación	Restringe el desarrollo de las CGUT
Necesidad de establecer fajas hidrorreguladoras	Favorece a la CGUT Forestal y restringe las otras

**Tabla 2.6.** Ancho de las fajas hidrorreguladoras, acorde con lo planteado en la Ley Forestal N°85.

CONCEPTO	Ancho de la faja Hidrorreguladora (m)
Embalses de abasto a la población	100
Embalses (naturales o artificiales)	30
Ríos principales y canales magistrales	20
Ríos de primer orden y otros canales	15
Ríos de segundo orden en adelante	10
Orígenes de manantiales, ríos y arroyos	30
A lo largo de cárcavas y barrancos	30

### Factores

En la Tabla 2.7 se representan los factores y las premisas que se utilizaron para la evaluación espacial multicriterio. Dentro de estos se encuentran la aptitud física y ambiental de las tierras, que fueron resultados del proceso de Evaluación de Tierras.

**Tabla 2.7.** Factores y premisas establecidas para la evaluación espacial multicriterio.

FACTORES	PREMISAS
Aptitud física de las tierras para las CGUT	Se utilizaron los resultados de la Evaluación de Tierra Se priorizan los escenarios con aptitud A1 y A2 para el uso agrícola y ganadero, en orden de importancia, con relación al forestal
Aptitud ambiental de las tierras	Se consideró el efecto de cada CGUT sobre la protección del medio ambiente
Costo de oportunidad	Se analiza la utilidad que puede obtenerse por las CGUT en cada UT consideradas

#### 2.10.2 Criterio económico

Se realizó una valoración económica basada en el costo de oportunidad con el propósito de incorporar este factor como criterio de evaluación de las alternativas consideradas en el

modelo de evaluación espacial multicriterio. Según Alíer et al. (1996) este factor es muy importante para definir el uso más rentable de la tierra.

Para el cálculo del costo de oportunidad para la CGUT Agrícola se consideró el rendimiento potencial de los cultivos (viandas, hortalizas y granos), cuya información se adquirió de las bases de datos del software Agro24, y el porcentaje de afectación de los rendimientos (%  $A_f$ ) sobre la base de la clase de aptitud correspondiente a cada UT evaluada. Para el estudio se tomaron como referencia los precios topados del mercado agropecuario estatal, según la Dirección Provincial de Finanzas y Precios en el año 2008, mientras que los valores de costo se tomaron de las fichas reportadas por el Ministerio de la Agricultura para este fin.

El cálculo se realizó por separado para cada cultivo y al final se obtuvo la media ponderada, considerando como factor de ponderación el porcentaje que representan cada uno de los cultivos en el municipio. La fórmula empleada fue la siguiente:

$$CO_a = R_p * \%R_{af} * (Pv - Cp) \quad (2.5)$$

Donde:

$CO_a$ : Costo de oportunidad para el elemento de la CGUT Agrícola (peso)

$R_p$ : Rendimiento Potencial ( $kg \cdot ha^{-1}$ )

$\% R_{af}$ : Porcentaje de afectación del rendimiento.

$Pv$ : Precio de venta (peso)

$Cp$ : Costo de Producción (peso.  $ha^{-1}$ )

En el análisis para el uso ganadero se consideró una producción de leche promedio de 1 790  $kg \cdot ha^{-1}$  por año (Machado y Martín, 2003), lo que concuerda con lo planteado por García (1983) acerca del potencial de los pastos tropicales en condiciones de secano (1300 a 2700  $kg \cdot ha^{-1}$  por año). Este valor es multiplicado por las utilidades obtenidas por este concepto, para lo cual se considera como ingreso el precio de venta de un litro de leche, con valores promedios de \$ 2.42, según datos obtenidos del último año evaluado en el municipio. Mientras que para el costo de producción se tomó como referencia un promedio de \$ 1.23, obtenido del análisis de las principales empresas productoras de leche en el municipio. Al igual que en el caso anterior, la producción de la leche estuvo afectada por la aptitud de cada UT ante este uso específico.

$$CO_g = P_{leche} * \%R_{af} * (Pv - Cp) \quad (2.6)$$

Donde:

$CO_g$ : Costo de oportunidad para la CGUT Ganadera (peso)

$P_{\text{leche}}$ : Promedio de litro de leche diario (L.  $\text{ha}^{-1}$ . animal)

$P_v$ : Precio de venta del litro de leche (peso)

$C_p$ : Costo de producción (peso.  $\text{ha}^{-1}$ )

Para la CGUT Forestal se asumió un precio internacional del carbono (pci) de 10 USD la tonelada métrica) según Ortega et al. (2007), con una tasa promedio anual de acumulación de carbono de 2.1 t.  $\text{ha}^{-1}$  (IPCC, 2000; Manso, 2001).

### **2.10.3 Selección de los escenarios para la CGUT Urbana**

Para la selección de los escenarios con mayor aptitud para la CGUT Urbana se tomó como restricción una distancia máxima de 2 km alrededor del centro urbano. Las demás restricciones coincidieron con las empleadas en la CGUT Agrícola, Forestal y Ganadera.

Dentro de los factores se contemplaron los resultados obtenidos en la Evaluación de Tierras y a la disponibilidad de agua para el consumo humano. Este último de gran importancia, debido a que su distribución en el municipio no es igual, con afectaciones en las zonas altas. Según el criterio de los especialistas de la DMPF, el anterior es uno de los principales factores que limitan el crecimiento del centro urbano hacia la parte Sur. De igual forma se consideró a las zonas con una distancia menor que un kilómetro de las canteras, debido a las afectaciones que pueden provocar las mismas sobre las poblaciones urbanas, tales como ruido, polvo, vibraciones, entre otras.

El costo de oportunidad para la CGUT Agrícola permitió priorizar las tierras de mayor aptitud agroproductivas para este uso, de acuerdo a lo plasmado en el Decreto Ley No. 179, Capítulo III: Protección de los Suelos, Artículo 14, que se refiere a que “Cuando necesariamente un suelo tenga que ser dañado en todo o parte, o simplemente limitado por razones socialmente justificables, teniendo en cuenta la utilidad que para la economía nacional presentará el empleo de terrenos para una inversión, el Ministerio de la Agricultura asegurará que las entidades que intervengan en dicha inversión utilicen preferentemente suelos improductivos o de rendimiento bajo”.

De igual forma se utilizó el costo de oportunidad para la CGUT Agrícola con el objetivo de determinar cuanta ganancia se dejó de obtener por concepto de agricultura en las áreas que han sido ocupadas por el centro urbano, desde el año 1973 hasta el actual, así como la que se

podría dejar de obtener de mantenerse el crecimiento del municipio hacia la dirección en que se encuentra orientado para los próximos 20 años.

#### **2.10.4 Asignación de los pesos o prioridad de las preferencias**

Para la asignación de los pesos a los criterios utilizados en el modelo de evaluación espacial multicriterio se obtuvo la media de las preferencias individuales emitidas por los expertos, con los que se completó la matriz de comparación por pares, según el método de “agregación de los juicios individuales” (Ramanathan y Ganesh, 1994; Forman y Peniwati, 1998, Moreno Jiménez, 2002). De esta forma se logró un consenso en los pesos asignados a cada criterio evaluado, quedando definida la estructura jerárquica utilizada en el trabajo.

En la selección de los expertos utilizados para este fin se tuvo en cuenta, el nivel de relación de los mismos con el tema abordado. Para ello se calculó el Coeficiente de competencia (K) de un grupo de 16 especialistas, según la fórmula 2.1 explicada anteriormente.

#### **2.10.5 Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad se realizó para evaluar el grado de fiabilidad y estabilidad de los resultados obtenidos mediante los cambios en las ponderaciones o pesos inicialmente asignados por los decisores. Para ello se determinó, en cada UT, el efecto del aumento del *peso* designado a un único criterio (mientras que el resto de los pesos asignados a los otros criterios disminuyen proporcionalmente) sobre las prioridades sintéticas de las alternativas con respecto a dichas UT.

Para facilitar el análisis espacial de los pesos asignados a las alternativas Agrícola, Ganadera y Forestal se agruparon en cuatro rangos (0 – 0.25; 0.26 – 0.50; 0.51 – 0.75 y 0.76 – 1.00). Mientras que para el estudio puntual se tomó como ejemplo una UT para cada alternativa analizada, cuyo procesamiento se aplicó mediante las herramientas que brinda el software *Expert Choice*.

#### **2.10.6 Propuesta de utilización de la tierra para la CGUT Silvopastoril**

Considerando las ventajas que tiene el empleo de sistemas silvopastoriles (Olivares et al., 2005) se seleccionaron los escenarios con potencialidades para este uso. Para ello se eligieron aquellos escenarios, en los que la CGUT Forestal y Ganadera, obtuvieron mayor peso de preferencia en la optimización espacial que la CGUT Agrícola. Estos a la vez deben estar

ubicados en zonas con pendientes inferiores a 16 %. El procedimiento se realizó mediante el software ILWIS 3.4 Open.

### **2.10.7 Comparación entre el mapa de uso actual y los propuestos por el Ordenamiento Territorial**

Para comparar el mapa de uso de la tierra del municipio con el mapa de uso propuesto, resultado del Ordenamiento Territorial, se determinó el porcentaje correctamente clasificado (PCC), el índice de Kappa (K), la exactitud del decisor (ExD) y la exactitud del usuario (ExU), a partir de la matriz de confusión obtenida con el software ILWIS 3.4 Open. El índice de Kappa se calculó según Foote y Huebner (1995):

$$K = \frac{(d-q)}{(N-q)} \quad (2.7)$$

Donde: K: índice de Kappa.

N: sumatoria total de filas o columnas, ambas deben ser iguales.

d: sumatoria de las observaciones de la diagonal.

$$q = \sum \left( \frac{n_{columna} * n_{fila}}{N} \right)$$

n<sub>columna</sub>: sumatoria de la columna.

n<sub>fila</sub>: sumatoria de la fila.

También se realizó una comparación entre el mapa de uso actual, el propuesto en el Ordenamiento Territorial para las CGUT estudiadas (Agrícola, Forestal y Ganadera) y el propuesto considerando la alternativa Silvopastoril en cuanto a la satisfacción de energía y proteína para la población total del municipio en el año 2008 y la pronosticada para el año 2014.

Para el análisis se utilizó de referencia el rendimiento potencial de los principales cultivos del municipio (viandas, hortalizas y granos), así como la producción potencial de leche según se explica en el epígrafe 2.10.3. En el caso de la CGUT Silvopastoril se utilizó para el cálculo una producción de leche potencial de 3 240 kg . ha<sup>-1</sup> por año según reporta López et al. (2002). De igual forma se consideró el equivalente energético y proteico promedio por habitante por día, necesario para satisfacer los requerimientos mínimos de las personas adultas y sanas, que son 2 300 kilocalorías (9 629.64 kJ) para la energía y 69 gramos respecto a la proteína (Ministerio de Salud Pública, 2008).

Para realizar la proyección de la población total del municipio hasta el año 2014 se compararon varios modelos de series temporales mediante el paquete estadístico Statgraphics Plus 5.1. Con este fin se utilizó una muestra de 28 años (1981-2008) obtenida de la Oficina Municipal de Estadísticas (OME, 2008).

El número de individuos por la unidad de espacio en los años 1981 al 2008 se determinó a partir de los indicadores Densidad de población (D) y Tasa de Crecimiento Promedio Anual (TCPA), representados con las siguientes fórmulas:

$$D = \frac{P}{A} \quad (2.8)$$

Donde:

D- Población relativa al espacio o Densidad de población

P- Número absoluto de individuos

A- Número de unidades espaciales en el área estudiada (km<sup>2</sup>)

$$TCPA (\%) = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1(A_2 - A_1)} * 100 \quad (2.9)$$

Donde:

A<sub>1</sub>- Fecha del primer año estudiado

A<sub>2</sub>- Fecha del último año estudiado

P<sub>1</sub>- Población Total para el año A<sub>1</sub>

P<sub>2</sub>- Población Total para el año A<sub>2</sub>

## 2.11 Software empleados

En la Tabla 2.8 aparece el resumen de los software básicos empleados para el desarrollo del trabajo, y se especifica la categoría de procesamiento a que pertenecen.

**Tabla 2.8.** Software utilizado para el manejo de las bases de datos y el procesamiento estadístico y espacial.

Software	Procesamiento
Microsoft® Access 2007	Manejo de Bases de Datos
Microsoft® Excel 2007	Tabulador electrónico
SPSS V 11.5	Estadística
Statgraphics Plus 5.1	Estadística
Surfer V 6.02	Plataforma SIG
ILWIS V 3.4 Open, 2007	Plataforma SIG y Análisis Espacial Multicriterio
MapInfo V 8.5	Plataforma SIG
Arcview 3.3	Plataforma SIG
Autocad Map	Plataforma SIG
Automatic Land Evaluation System (ALES). V 4.65	Evaluación de tierra
Expert Choice 9.0	Técnica de Decisión Multicriterio
Cropwat 4.3	Balance de Humedad

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## **CAPITULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

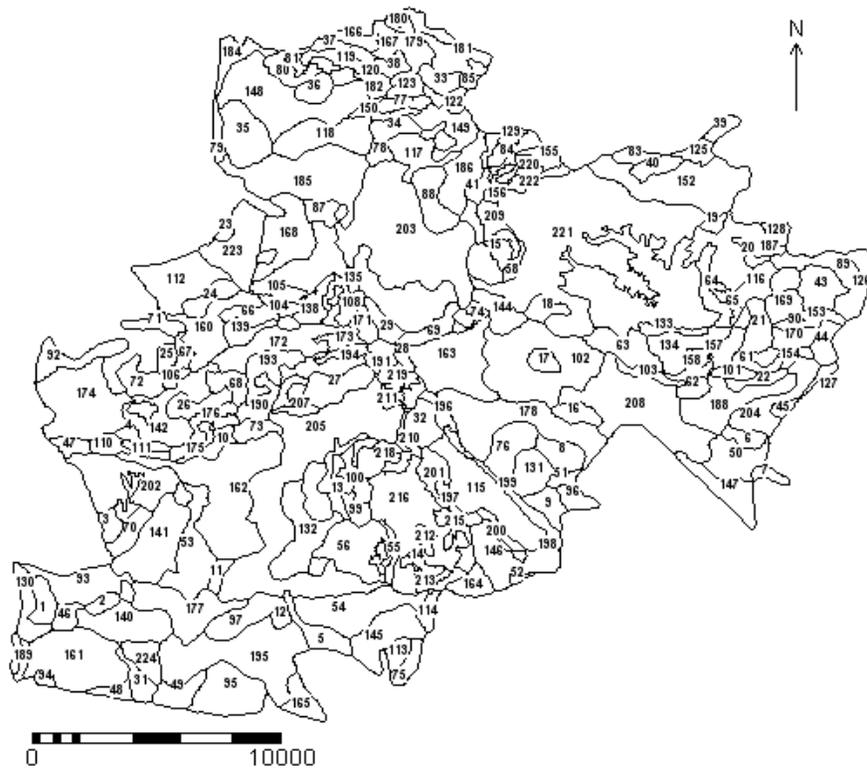
### **3.1 Gestión de la información para el Ordenamiento Territorial del municipio San José de las Lajas**

La utilización de la tecnología SIG facilitó la gestión del levantamiento biofísico y socioeconómico necesario para el Ordenamiento Territorial (OT). Esta constituyó una herramienta muy útil para la recopilación de bases de datos de la información geoespacial, que por su naturaleza, se encuentra muy dispersa en diferentes formatos y escalas. Su empleo puede facilitar la elaboración de cualquier proyecto o toma de decisión vinculada a la tierra en la zona de estudio. Mayores detalles de las mismas se encuentran en CD anexo a la Tesis.

#### **3.1.1 Base espacial del ordenamiento**

El área de decisión mínima y la escala del mapa para una evaluación de la tierra dependen del nivel de detalle asumido para la planificación y la toma de decisión (FAO, 2007). La selección de un área de decisión mínima de 40 ha y una resolución de 50 metros, se relaciona con el error implícito en la exactitud posicional heredada del Mapa de Suelos 1:25 000. Al respecto, Balmaseda (2006) encontró errores medios que oscilaban entre 11.33 y 30.02 metros, con valores promedios de 17.55 para La Habana, cifras que se encuentran por encima del umbral permitido, según Norma Cubana 13-10/1984. En este trabajo, el error fue corregido al manejar el mapa de suelos a una escala correspondiente a la mitad de su valor nominal, ello coincide con lo recomendado por Ponce de León (2003) y Balmaseda (2006).

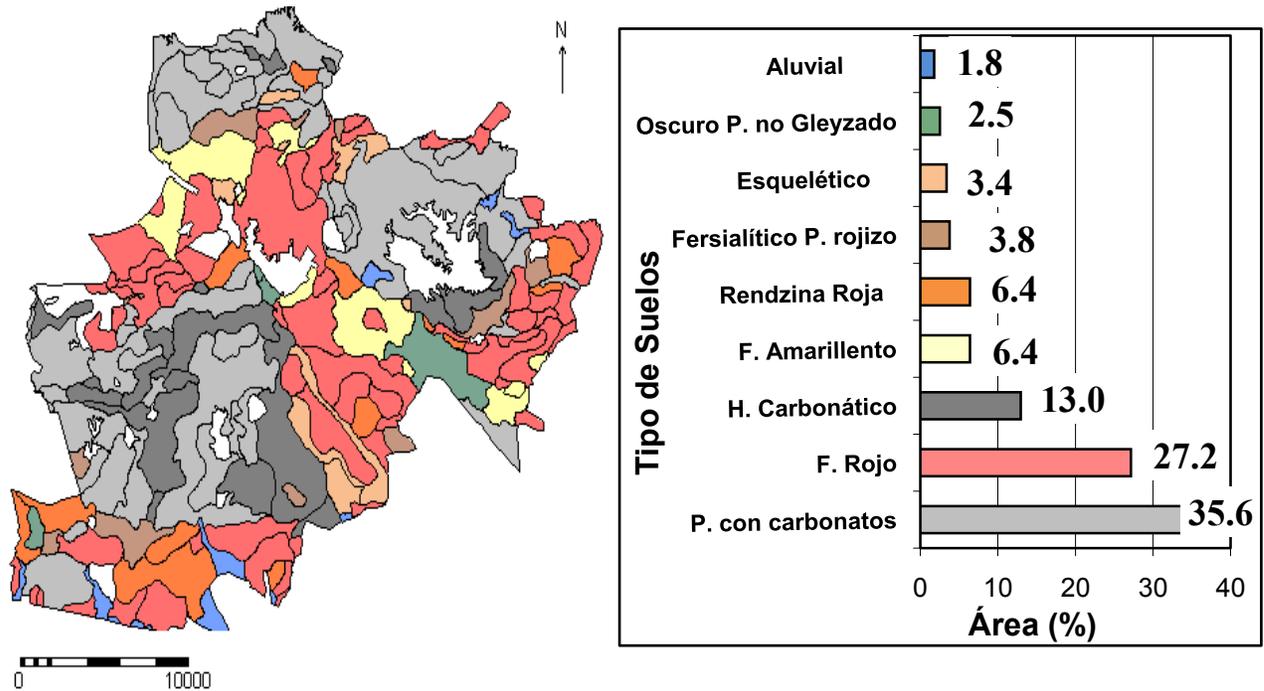
En la Figura. 3.1 se muestra el mapa resultante con las 224 Unidades de Tierra (UT) en que se dividió el municipio. Estas se consideran como la unidad cartográfica elemental a la cual se asociaron los atributos necesarios para el proceso de OT. Cuyo origen proviene, fundamentalmente, del Mapa de Suelos, escala 1: 25 000, unido al Modelo Digital del Terreno (MDT), incorporándose la estimación de la erosión actual, y del riesgo tecnológico, así como la información socioeconómica utilizada para el desarrollo del trabajo.



**Figura 3.1.** Representación de las Unidades de Tierras (UT) seleccionadas para el Ordenamiento Territorial del municipio.

### 3.1.2 Caracterización de las Unidades de Tierra

En la Figura. 3.2 se observan los 9 tipos de suelos del municipio que conforman las Unidades de Tierra. En ella se destacan como predominante los del tipo Pardos con carbonatos (35,6% de la superficie total evaluada), que se encuentran asociados a las colinas de Bejucal- Madruga - Coliseo y generalmente aparecen sustentados sobre arenisca calcárea (59.08 %), caliza blanda (24.33 %) y caliza blanda sobre arenisca (16.59 %), generalmente carbonatados (98,09 %) y poco profundos (79.63 %); además, por sus condiciones naturales, inadecuadas prácticas de manejo y la falta de medidas de conservación son considerados como los que sufren en mayor medida los procesos de degradación en el territorio (Fundora et al., 2000), debido a la manifestación de los procesos erosivos. Estos suelos se encuentran explotados, fundamentalmente, por ganadería (76,42 %, Tabla 3.1), siendo destinado al uso agrícola y al forestal solamente el 9,85 % y el 4.02 %, respectivamente.



**Figura 3.2.** Distribución espacial de los suelos que conforman las UT evaluadas en el municipio San José de las Lajas.

**Tabla 3.1.** Porcentaje de ocupación de los suelos presentes en el municipio San José de las Lajas.

Tipos de suelos	Total (ha)	% de ocupación		
		Agrícola	Forestal	Ganadería
Aluvial	988.0	24,22	7,34	51,42
Ferralítico Rojo	15013.0	9,95	38,56	41,33
Pardos con carbonatos	19694.3	9,85	4,02	76,42
Ferralítico Amarillento	3541.8	13,51	18,74	55,48
Fersialítico Pardo rojizo	2084.8	11,48	16,74	60,00
Húmicos carbonáticos	7164.0	7,43	37,13	43,76
Oscuro plástico no gleyzados	1390.0	14,77	2,25	73,35
Rendzina Roja	3540.8	14,04	22,26	52,49
Esquelético	1869.0	14,33	33,59	43,69

Le sigue en extensión el tipo de suelo Ferralítico Rojo, con 15013 ha (27.2 % del total de la superficie), de estos, el 54.6 % son saturados o medianamente saturados, situados en la llanura Almendares-San Juan y en la zona sur del municipio, con afloramientos rocosos y gran desarrollo del carso. Ello coincide con Manjoro (2001), quien planteó que dichos suelos se encuentran ocupando posiciones llanas o ligeramente onduladas, con alturas que como línea general nunca exceden los 150 m. El 41,33 % de estos suelos está ocupado por ganadería, siendo utilizados en mucha menor cuantía por las CGUT Agrícola y Forestal, con aproximadamente 9.95 % y 38,56 %, respectivamente.

Los Húmicos carbonáticos ocupan 7 164 ha, de estos el 80.7 % se encuentran sustentados sobre caliza suave, el 71.7 % son poco profundos, con diferentes grados de humificación y poca erosión; son arcillosos en su totalidad y presentan una excesiva pedregosidad (55.3 %), ocupan pendientes de onduladas a fuertemente onduladas, dado a su vínculo con los cauces naturales en zonas de fuertes escurrimientos y sedimentación. El 43,76 % de estos suelos está ocupado por ganadería, siendo utilizados para el uso agrícola el 7.43 % y para el forestal el 37,13 %.

Los demás suelos se presentan en menor cuantía, apareciendo en orden descendente como sigue: Ferralítico Amarillento y Rendzina Roja, ambos con 6.4 %, los Ferralíticos Pardo rojizo (3.8 %), los Esqueléticos (3.4 %), los Oscuros plásticos no gleysados (2.5 %) y por último los aluviales que representan el 1.8 % del total de los suelos evaluados.

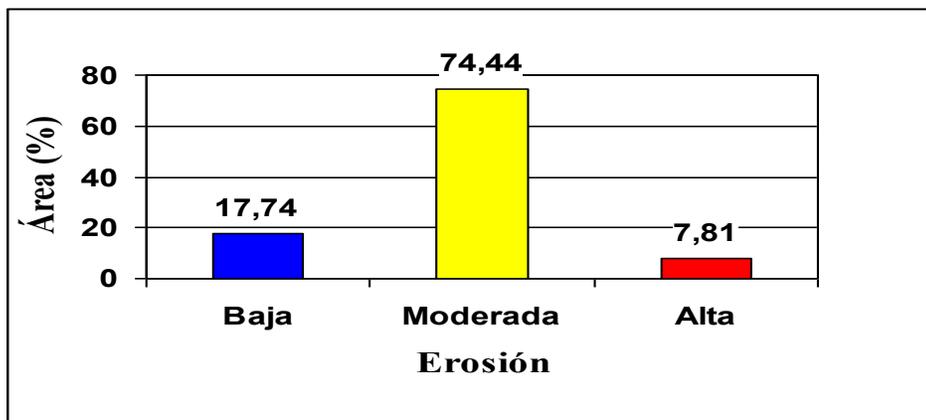
Del total del área agrícola que se localiza en las UT evaluadas el 55.08 % se encuentra cultivada, lo que representa desde el punto de vista de ocupación una intensidad de uso media, según (PMA y IPF, 2001). Sin embargo, la relación ocupación – tipos de suelos (Tabla 3.1) sugiere un desbalance entre la oferta y la demanda ambiental, según criterios establecidos por el Instituto de Suelos (2001).

### **3.1.3 Estudio de la erosión de los suelos mediante el método EVERC**

La erosión se asume como indicador de degradación de los suelos. Con la aplicación del método EVERC (Vega y Febles, 2005) fue posible obtener información sobre los grados de erosión actual de los suelos en las regiones cársicas del municipio San José de las Lajas. Como se muestra en la Figura 3.3, en el mismo hay un predominio de las categorías de erosión moderada con un 74,44 %, seguida de la categoría de erosión baja, que representa el 17,74 %

del total del municipio. Estas categorías son clasificadas por Febles (1988) con grados de levemente erosionada

En menor cuantía aparecen los suelos con fuerte erosión, que representan sólo el 7.8 % del total. A través del análisis se puso de manifiesto que la susceptibilidad a los procesos erosivos está dada, en primer lugar, por la erosividad que tienen las lluvias en el territorio, lo cual resultó modulado por la erodabilidad de los suelos y los valores energéticos que muestra el relieve. Según Febles (1999), en las regiones de laderas esta dinámica es particularmente compleja, ya que coexisten zonal y espacialmente procesos de erosión de diferente naturaleza: hídricos, cársico-erosivos y erosivo-gravitacionales, con funciones definidas pero interrelacionadas.



**Figura 3.3.** Área que ocupan los niveles de erosión actual en el municipio San José de las Lajas.

Por otro lado, en gran parte del municipio, debido a las condiciones climáticas y al material de origen, se ha favorecido el desarrollo y la evolución secuencial de los procesos cársico – erosivos, observándose numerosas dolinas que han provocado grandes pérdidas de suelos, según demuestra Angel et al. (2004) y Vega y Febles (2005).

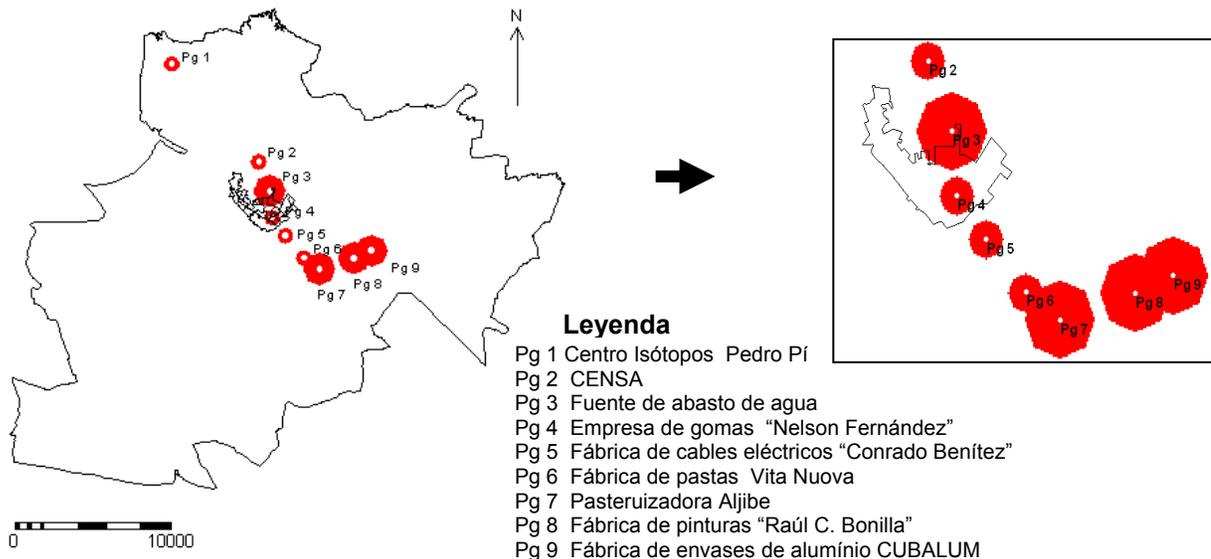
### 3.1.4 Estudio del peligro tecnológico en el municipio

Basados en los resultados de estudios previos (Fundora et al., 1999 y Fundora et al., 2000) se delimitó, espacialmente, la profundidad de propagación de los productos contaminantes presentes en las instalaciones que constituyen un peligro tecnológico en el municipio, como criterio que limita la aptitud física de las tierras para el crecimiento del centro urbano.

Al respecto, en la Figura 3.4 se destacan, como los focos más incidentes sobre el centro urbano, la empresa de gomas y la fuente de abasto de agua para el consumo humano. El efecto

de esta última se debe a la grave consecuencia para la salud humana que tiene el gas cloro (Álvarez, 1999).

Para el caso de la fábrica de cables eléctricos es válido señalar que, aunque no se encuentra incidiendo directamente sobre el centro urbano, sí limita su crecimiento hacia esta zona, debido a la posibilidad de escape de cloruro de hidrógeno, dioxinas y furanos, todos dañinos para la salud humana (Álvarez, 1999).



**Figura 3.4.** Incidencia de los peligros tecnológicos sobre el centro urbano del municipio San José de las Lajas.

### 3.1.5 Análisis del crecimiento poblacional

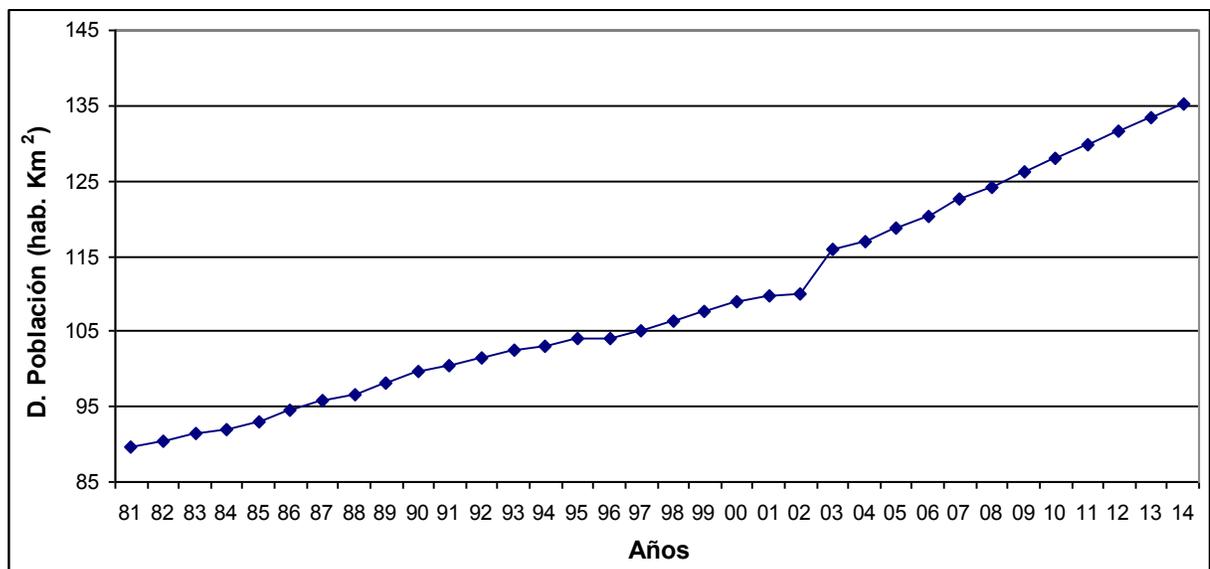
En la Tabla 3.2 se resume el comportamiento de los modelos comparados sobre la base de los estadígrafos: Raíz cuadrada del Error Cuadrático Medio (RMSE), Error Medio Absoluto (MAE), Porcentaje de Error Medio Absoluto (MAPE), Error Medio (ME), y el Porcentaje del Error Medio (MPE). En la misma se observa que el modelo Suavizado Lineal Exponencial de Holts con  $\alpha = 0,7696$  y  $\beta = 0,2246$  (J), fue el más apropiado para el análisis de los datos, pues los estadígrafos calculados presentan los valores más pequeños. Por otra parte, este modelo también pasa por cinco pruebas ejecutadas con Statgraphics en los residuos, con un nivel de confianza de 99.9%, comprobándose su idoneidad para los datos analizados.

En Anexo 5 se presenta el total de población para los 28 años estudiados, y el pronóstico estimado hasta el año 2014, según el método de series temporales con el modelo "Suavizado Lineal Exponencial de Holts". Estos valores sirvieron de base para el cálculo de la Densidad de población (D), que como se observa en la Figura 3.5, su valor aumenta considerablemente

**Tabla 3.2.** Comparación de los modelos utilizados para el análisis de los datos por el método de series temporales.

Modelos	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
(A)	668,284	329,86	0,527604	104,363	0,142071
(B)	975,159	745,175	1,1694	738,319	1,15833
(C)	681,023	405,272	0,652771	169,999	0,291849
(D)	616,340	286,103	0,446018	105,445	0,151827
(E)	702,264	457,947	0,724581	-2,62812	0,00701865

(A) ARIMA(1,0,0); (B) Suavizado Exponencial Simple con  $\alpha = 0,9999$ ; (C) Suavizado Exp. Lineal de Brown con  $\alpha = 0,5886$ ; (D) Suavizado Exp. Lineal de Holts con  $\alpha = 0,7696$  y  $\beta = 0,2246$ ; (E) Suavizado Exp. Cuadrático de Brown con  $\alpha = 0,3953$



**Figura 3.5.** Análisis de la Densidad de población del municipio San José de las Lajas.

desde el año 1981 hasta el actual, con una tendencia a seguir creciendo hasta alcanzar los 135.33 habitantes por km<sup>2</sup> en el año 2014 según el pronóstico. Llama la atención que en el periodo 1996-2002 la población manifiesta un crecimiento discreto, lo que se debe, entre otras causas, a la elevada emigración de los habitantes del municipio producto del efecto del periodo especial, cuando ocurrió el cierre de muchas industrias, y con ello la disminución de las posibilidades de trabajo.

El análisis anterior se corrobora al evaluar la Tasa de Crecimiento Promedio Anual (TCPA), plasmado en la Tabla 3.3, donde se aprecia una tendencia al aumento anual de este indicador para las dos etapas seleccionadas. Estos resultados se contraponen al pronosticado por la ONE (2006) durante los próximos años en Cuba, donde se estimó que habrá una estabilización del crecimiento poblacional, con una tendencia al decrecimiento suave debido al envejecimiento de la población (García, 2004), pudiendo disminuir en el año 2025 a algo más de 77 mil personas. Sin embargo, en el pronóstico realizado para el municipio hasta el año 2014, se encontró una tendencia al aumento ligero de la población, lo que puede estar relacionado con el elevado desarrollo industrial y el fomento de nuevas fuentes de trabajo, entre otras causas.

**Tabla 3.3.** Tasa de Crecimiento Promedio Anual (TCPA) del municipio San José de las Lajas.

Etapa	Periodo (años)	TCPA (%)
1	1981- 2008	1,43
2	1981 - 2014	1,55

### 3.2 Evaluación de la aptitud de la tierra

#### 3.2.1 Clases Generales de Uso de la Tierra (CGUT)

Del análisis del Anuario Estadístico del municipio San José de las Lajas (OME, 2008), visitas de campo y entrevistas con especialistas, fue posible identificar los principales componentes de cada CGUT contemplada en la evaluación. Ello constituye el primer resultado de este acápite.

##### 3.2.1.1 CGUT: Agrícola

**Ubicación:** Municipio San José de las Lajas.

**Productos cultivados:** Productos agrícolas de interés económico para la alimentación de la población (Tabla 3.4), clasificados como sigue:

### Tubérculos y Raíces

- Boniato (*Ipomoea batatas* Poir.)
- Yuca (*Manihot esculenta* Crantz.)
- Papa (*Solanum tuberosum* L.)
- Malanga (*Xanthosoma sagittifolium* Schott.)

### Hortalizas

- Tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Miller.)
- Pimiento (*Capsicum annuum* L.)
- Cebolla (*Allium cepa* L.)
- Calabaza (*Cucurbita pepo* L.)
- Col (*Brassica oleracea* L.)
- Ajo (*Allium sativum* L.)
- Melón (*Cucumis melo* L.)
- Pepino (*Cucumis sativus* L.)

### Granos

- Maíz (*Zea mays* L.)
- Fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.)

### Otros

- Fruta bomba (*Carica papaya* L.)
- Plátano (*Musa spp.*)

**Conocimientos Técnicos y Comportamiento:** Agrónomos y técnicos agrícolas con suficiente experiencia en cultivos varios, quienes son receptivos a los cambios tecnológicos.

**Control de Malezas:** Manual (guataqueo), mecanizado (grada múltiple).

**Tabla 3.4.** Caracterización de las especies contempladas en la CGUT: Agrícola.

Variables	Tubérculos y raíces				Hortalizas	Granos		Otros	
	Boniato	Yuca	Malanga	Papa		Maíz	Fríjol	Plátano	Fruta bomba
Orientación del mercado	Comercio				Comercio y autoconsumo				
Tipo de cultivo	Ciclo corto	Anual		Ciclo corto			Perenne	Anual	
Ciclo	90-130 días	8 a 15 meses	9-12 meses	90-100 días	90-180 días	80-130 días	70-110 días	10-16 meses	12-24 meses
Productos esperados	Raíz engrosada		Tubérculo		Hoja, raíz, baya, bulbo	Granos		Racimos	Fruto
Fuentes de Energía	Maquinaria (tractores con clase traccional de 14 kN a 30 kN). Uso de la fuerza animal y mano de obra humana.								
Mecanización	Predominan las labores mecanizadas para la preparación de suelo, aplicación de fertilizantes, etc. Tracción animal								
Rend. (t.ha <sup>-1</sup> )	16.35	24	18.85	23.9	Tomate:17.14	3.86	1.21	26.56	20.57

### 3.2.1.2 CGUT: Ganadera

De igual forma, en este caso se contempla a las especies de pastos más comúnmente utilizadas en el municipio (Tabla 3.5). Estas constituyen la fuente fundamental de alimentos de los

bovinos en Cuba (Peña, 2005), llegando a aportar el 90 % de los nutrientes que consumen los animales (Pezo et al., 1992).

**Ubicación:** Municipio San José de las Lajas.

**Productos cultivados:** Principales especies utilizadas como pastos permanentes para la alimentación del ganado vacuno, productor de leche, en el municipio objeto de estudio, tales como la pangola (*Digitaria decumbens* Stent), el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) y la Bermuda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers), entre otros.

**Conocimientos Técnicos y Comportamiento:** Agrónomos y técnicos agrícolas con suficiente experiencia en cultivos varios, quienes son receptivos a los cambios tecnológicos.

**Tabla 3.5.** Caracterización de las especies contempladas en la CGUT: Ganadera.

Variables	Pangola	Pasto estrella	Bermuda
Orientación del mercado	Consumo animal		
Tipo de cultivo	Perenne		
Ciclo	5 - 10 años		
Productos esperados	Pasto para la alimentación del ganado vacuno		
Fuentes de Energía	Tractores con clase traccional de 14 kN a 30 kN para la preparación de suelo, fertilización, etc.		
Mecanización	Labores mecanizadas y tracción animal para la preparación de suelo, aplicación de fertilizantes, etc.		
Rendimiento t.ha <sup>-1</sup> de Masa Seca	11.5	11.7	11.7

### 3.2.1.3 CGUT: Forestal no resistente al mal drenaje interno de los suelos

**Ubicación:** Municipio San José de las Lajas.

**Productos cultivados:** Productos forestales no resistentes al mal drenaje interno de los suelos con propósitos múltiples (producción de madera, conservación y recreación). En la Tabla 3.6 se presenta la caracterización de los mismos, cuyos nombres científicos son los siguientes:

- Varía (*Gerascanthus gerascanthoides* (Hum., Bonpl. & Kunth) Borhidi
- Teca (*Tectona grandis* L.f.)
- Cedro (*Cedrela odorata* L.)

**Conocimientos Técnicos y Comportamiento:** Agrónomos y técnicos agrícolas con suficiente experiencia en cultivos varios, quienes son receptivos a los cambios tecnológicos.

**Tabla 3.6** Caracterización de las especies contempladas en la CGUT: Forestal no resistente al mal drenaje interno de los suelos.

Variables	Varía	Teca	Cedro
Orientación del mercado	Comercio y protección de suelos y aguas		
Tipo de cultivo	Perennes		
Ciclo	De 6 a 7 años para madera rolliza y carbón vegetal, más de 20 años para otros usos		

Variables	Varía	Teca	Cedro
Productos esperados	Múltiples		
Fuentes de Energía	Manual Maquinaria (tractores con clase traccional de 14 kN y 20 kN) Medio de transporte (KAMAZ 4312, MAZ 500, tractores de 20 kN y 30 kN, etc).		
Mecanización	Principalmente en la preparación de suelo. Durante el corte y traslado de la madera		
Cosecha	Semimecanizada, corte con motosierras		

### 3.2.1.4 CGUT: Forestal resistente al mal drenaje de los suelos.

**Ubicación:** Municipio San José de las Lajas.

**Productos cultivados:** Productos forestales resistentes al mal drenaje interno de los suelos con propósitos múltiples (producción de madera, conservación y recreación). La caracterización de los mismos se presenta en la Tabla 3.7.

- Majagua (*Talipariti elatum*(Sw.) Fryxell)
- Ocuje (*Calophyllum antillanum* Britton)
- Casuarina (*Casuarina equisetifolia* Blanco)
- Caoba antillana (*Swietenia mahagoni* (L.) Jacq.)
- Algarrobo (*Samanea saman* Merr.)

**Conocimientos Técnicos y Comportamiento:** Agrónomos y técnicos agrícolas con suficiente experiencia en cultivos varios, quienes son receptivos a los cambios tecnológicos.

**Tabla 3.7.** Caracterización de las especies contempladas en la CGUT: Forestal resistente al mal drenaje interno de los suelos.

Variables	Majagua	Ocuje	Casuarina	Caoba antillana	Algarrobo
Orientación del mercado	Comercio y protección de suelos y aguas				
Tipo de cultivo	Perennes				
Ciclo	De 6 a 7 años para madera rolliza y carbón vegetal, más de 20 años para otros usos				
Productos esperados	Múltiples				
Fuentes de Energía	Manual Maquinaria (tractores con clase traccional de 14 kN y 20 kN) Medio de transporte (KAMAZ 4312, MAZ 500, tractores de 20 kN y 30 kN, etc)				
Mecanización	Principalmente en la preparación de suelo. Durante el corte y traslado de la madera				
Cosecha	Semimecanizada, corte con motosierras				

### 3.2.1.5 CGUT: Urbana

**Ubicación:** Dos km alrededor del centro urbano del municipio San José de las Lajas.

**Productos:** Se evalúa la aptitud de las tierras para el crecimiento del centro urbano del municipio, para la tipología constructiva Tipo III.

**Conocimientos Técnicos y Comportamiento:** arquitectos y técnicos con alta experiencia en la planificación territorial, pero con limitado conocimiento holístico sobre el uso multifuncional de las tierras. Receptivos a los cambios tecnológicos.

### **3.2.2 Propuesta de indicadores con enfoque holístico para evaluar la aptitud de las tierras para el uso urbano**

Paumier (2004) reconoce la necesidad del empleo de indicadores como fundamento para la formulación de políticas de Ordenamiento Territorial, lo cual se logra con un enfoque holístico. En la concepción seguida se integran técnicas participativas y el enfoque de la FAO (1985a) en la formulación de factores clasificadores organizados como Cualidades y Características.

Para la aplicación del método Delphi se interactuó con 18 expertos, seleccionados previamente de un total de 21, por poseer un coeficiente de competencia (K) alto (Anexo 6).

En el análisis de las respuestas obtenidas con dicho método, se evidenció que el 100 % de los entrevistados estaban a favor del empleo de los indicadores con el fin propuesto, concediéndole gran importancia a los mismos. Resultados semejantes se obtuvieron al analizar las respuestas sobre la factibilidad de organizar los indicadores en cualidades y características. En tal sentido, los expertos concuerdan en las ventajas y operatividad de su uso.

De igual forma, en la Tabla 3.8 se puede apreciar que de un total de 20 indicadores propuestos, 17 obtuvieron la categoría de muy adecuados y sólo tres la de no adecuados para ser usados. Dentro de estos últimos se encontró a la cualidad relacionada con el drenaje del suelo, seleccionada solamente por el 5.56 % y el 16.67 % del total de expertos como categoría adecuada (C3) y poco adecuada (C4), respectivamente. La mayoría de los expertos (83.33 %) lo seleccionó como un indicador no adecuado (C5). De igual forma sucedió con los indicadores riesgo de agrietamiento y capacidad de carga del suelo, que tampoco alcanzaron la categoría de adecuados. Sin embargo, la decisión unánime de los expertos no fue la de eliminarlos, sino que debían ser incorporados dentro del indicador propiedades geotécnicas del suelo. En Anexo 6 se muestran los detalles del cálculo realizado.

**Tabla 3.8.** Selección de los indicadores mediante el método Delphi.

<b>N°</b>	<b>Cualidades</b>	<b>Categoría</b>
1	Factores del terreno que afectan la urbanización	MA
2	Propiedades Geotécnicas del suelo	MA
3	Ubicación	MA

N°	Cualidades	Categoría
4	Tamaño de las unidades de manejo	MA
5	Desmonte	MA
6	Drenaje	NA
7	Explanación y nivelación de tierras	MA
8	Protección contra inundaciones	MA
9	Riesgo de erosión	MA
10	Riesgo de agrietamiento	NA
11	Riesgo de hundimiento	MA
12	Riesgos biológicos	MA
13	Riesgos Climáticos	MA
14	Riesgos fisiográficos	MA
15	Control a largo plazo del agua subterránea y superficial	MA
16	Calidad ambiental	MA
17	Capacidad de cargas del Suelo	NA
18	Distribución de los servicios	MA
19	Situación actual del sistema de infraestructura	MA
20	Otras limitaciones socioeconómicas	MA

MA- Muy Adecuado; NA- No Adecuado

Se detectó la necesidad de incluir en el análisis los indicadores Disponibilidad de agua y Riesgos Tecnológicos, por su importancia y vigencia actual. De esta forma la matriz de los indicadores quedó establecida por 19 cualidades o indicadores, agrupadas en cinco grupos según influyen en: Potencialidades y restricciones para la construcción, Cualidades que afectan el manejo, Desarrollo y mejora de la tierra, Cualidades que afectan la conservación y el medio ambiente y Cualidades Socioeconómicas, cada una representada por dos o más características (Tabla 3.9).

En el primer grupo (Potencialidades y restricciones para el crecimiento urbano) se encuentran las cualidades relacionadas con los Factores del terreno y las Propiedades Geotécnicas del suelo. La primera se refiere a las limitaciones que son propias de un área estudiada y que pueden ser limitantes del uso urbano de un suelo. Por ejemplo, una UT puede poseer todas las cualidades para clasificarse como apta para el uso urbano; sin embargo, si en ella existen áreas de reservas naturales, como puede ser la presencia de animales o plantas endémicas de interés nacional, la misma no podrá ser utilizada para este uso. Mientras que las propiedades geotécnicas del suelo se refieren a sus limitaciones físicas para la construcción.

**Tabla 3.9.** Cualidades y características propuestas para evaluar la aptitud de las tierras para la CGUT Urbana.

	<b>CUALIDADES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>A.</b>	<b>POTENCIALIDADES Y RESTRICCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN.</b>	
1.	Factores del terreno que afectan la urbanización	Angulo de la pendiente; Frecuencia de los cauces; Existencia de áreas protegidas; Construcciones; Presencia de humedales
2.	Propiedades Geotécnicas del suelo	Granulometría; Plasticidad; Compresibilidad; Permeabilidad, Parámetros de resistencia: (“c” (cohesión) y “φ” (ángulo de fricción interna)); Tipo de rocas, otros
<b>B.</b>	<b>MANEJO</b>	
3.	Ubicación	Cercanía a los servicios públicos (Escuela, Hospital, mercados, otros); Distancia a centros metropolitanos; Distancia a las fuentes de trabajo
4.	Disponibilidad de agua para beber	Presencia de fuentes de abastos, cantidad de agua disponible, calidad del agua, otros
5.	Tamaño de las unidades de manejo	Tamaño de los bloques de tierra; Coeficiente de ocupación del suelo (COS); Posibilidad de crecimiento futuro
<b>C.</b>	<b>DESARROLLO Y MEJORA DE LA TIERRA</b>	
6.	Desmonte	Bosque: sotoquema, corte y tala, quema, apilamiento; costo, valor de la madera y del carbón, tiempo necesario para el desarrollo  Malezas persistentes: Control químico, mecánico, o por inundación, etc; costo; periodo necesario para el desarrollo  Piedras y Rocas: Gasto de eliminación
7.	Explanación y nivelación de tierras	Afectación ecológica; Afectación ambiental; Angulo de la pendiente; Macrorrelieve y microrrelieve; Tamaño y forma del terreno, Costo del movimiento de la tierra
<b>D.</b>	<b>CONSERVACIÓN Y EL MEDIO AMBIENTE</b>	
8.	Protección contra inundaciones	Presencia o ausencia; Costo del movimiento de la tierra, Costo de estructuras e insumos
9.	Riesgo de erosión	Control de la erosión, Pérdida máxima aceptable del suelo (t.ha <sup>-1</sup> . año); Angulo de la pendiente, Efectos del clima, Erodibilidad del suelo; Costos
10.	Riesgo de hundimiento	Material de formación del suelo, Presencias de dolinas; comportamiento de la red fluvial

	<b>CUALIDADES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
11.	Riesgos biológicos	Presencias o Ausencia de focos de enfermedades humanas, Necesidad de control biológico de sus vectores
12.	Riesgos Climáticos - Vientos, Tormentas y Huracanes	Frecuencia y severidad; Índice de exposición; Vulnerabilidad de las edificaciones
13.	Riesgos fisiográficos -Inundaciones y/o Penetración marina - Deslizamientos - Temblores y Sismos	Frecuencia y severidad observada, Sitio topográfico Frecuencia y severidad observada; ángulo de la pendiente; intensidad de la lluvia; Susceptibilidad litológica; susceptibilidad a la humedad Frecuencia y severidad; índice de exposición; aspecto
14.	Control a largo plazo del agua subterránea y superficial	Degradación de Cuencas; Protección de Cuencas; Cumplimiento de las regulaciones de las aguas subterráneas; Costos correspondientes
15.	Calidad ambiental	Vulnerabilidad de acuífero, Contaminación de ríos; Contaminación del aire; Contaminación del suelo; Contaminación por Ruidos; Malos olores; otros
16.	Riesgos Tecnológicos	Presencia o ausencia de instalaciones críticas; amenaza de derrame o escape de agentes peligrosos (sustancias tóxicas, radioactivas, etc.); zona de peligro de las instalaciones críticas; vulnerabilidad de los elementos en riesgo
<b>E.</b>	<b>SOCIOECONÓMICO</b>	
17.	Distribución de los servicios	Densidad de población, Superficie del suelo ocupada por el proyecto
18.	Situación actual del sistema de infraestructura	Presencia, estado, costo correspondiente
19.	Otras limitaciones socioeconómicas que puedan ser clasificadoras	Tipología constructiva; División política territorial; Límites de suelo; Índice demográfico; Vulnerabilidad a los accidentes; Tipo de tenencia de la tierra; Presencia de Cárceles; Presencia de Unidades militares; Nivel de presencia del espacio social sobre el natural, Otros

Dentro del grupo de cualidades que afectan al “Manejo” se pueden encontrar la Ubicación, el Tamaño de las unidades de manejo y a la Disponibilidad de agua. La primera se refiere específicamente a la ubicación que tendrá el nuevo asentamiento poblacional con respecto a otros ya existentes, esta cualidad es de vital importancia cuando los asentamientos son construidos para un sector determinado (García y Pat, 2000). Un ejemplo es el Plan Parcial Santa Ana, dirigido a la construcción de 1800 viviendas para los médicos pertenecientes al municipio; por tanto, una característica importante a medir es la distancia del enclave de estas viviendas al hospital donde laboran sus habitantes, pues de ello depende el tiempo de traslado hacia el trabajo, ahorro de combustible, etc.

El tamaño de las unidades de manejo está relacionado con la máxima utilización posible de las Unidades de Tierras para el uso urbano, en función a un número determinado de viviendas. Es decir, si el área es lo suficientemente grande para admitir a todas las viviendas que deben construirse según el plan. Al respecto, Rees (1992) opina que el estudio de este aspecto adquiere pleno significado al aplicarlo al análisis urbano y municipal.

Por último, la cualidad Disponibilidad de agua se refiere tanto a su cantidad como a su calidad para el consumo humano, de tal manera que asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Igual procedimiento puede encontrarse en FAO (1991).

En el grupo de cualidades relacionadas con el “Desarrollo y mejora de la tierra” se encuentra el Desmonte, que aborda las limitaciones que puede tener una UT debido a la presencia de bosques, malezas, piedras o rocas. Según la FAO (1990), en estas zonas se deben tener en cuenta algunos factores, tales como el costo y el tiempo en que se incurre en el proceso de desbroce, así como los efectos posteriores sobre el uso de la tierra. Tampoco se debe olvidar que la destrucción de la capa superficial en las áreas boscosas es muy grave, pues esta contiene la mayoría de los nutrientes; además, debe considerarse la influencia que ejercen los bosques como protectores del medio ambiente, así como el valor de la madera desde el punto de vista comercial (Vargas, 2005).

La importancia que tiene la Explanación y nivelación de tierras en el equilibrio ecológico es marcada, pues en ocasiones puede traer efectos adversos sobre el ambiente, por ejemplo, puede afectar nichos ecológicos existentes en algún lugar determinado con consecuencias negativas para plantas o animales de inestimado valor (FAO, 1990).

En el grupo de cualidades relacionadas con la “Conservación y protección del medio ambiente” se encuentran los riesgos, tales como el de hundimiento, inundación y erosión, entre otros. Su estudio es de vital relevancia para la evaluación de un territorio, dado a las grandes afectaciones en vidas humanas y económicas que estos pueden ocasionar. Por ello se debe tener presente el grado de intensidad y distribución en el territorio, debido a que el uso del suelo (áreas con y sin construcciones) no es uniforme en toda el área (Muñoz–Ramos, 2006). Otras de las cualidades encontradas dentro de este grupo son el Control a largo plazo del agua subterránea y superficial, y la Calidad ambiental. Ambas son muy importantes, pues en muchos trabajos se denuncia el efecto contaminante y destructor de las actividades descontroladas del hombre (Noble et al., 2000; Martínez y García, 2004; Martínez, 2006 y Guzmán et al., 2009).

### 3.2.3 Cualidades seleccionadas para cada CGUT

En la Tablas 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13, se muestran marcadas con uno (1) las cualidades que resultaron de mayor relevancia para el grupo de expertos, en función de las CGUT en consideración. Las mismas resultan una guía efectiva para la Evaluación de Tierras en el municipio y pueden servir de referencia para futuras evaluaciones en el territorio y en otras localidades.

**Tabla 3.10.** Cualidades seleccionadas para evaluar la CGUT Agrícola del municipio San José de las Lajas.

Cualidades	ECGUT	EVC	DI	I
1. Régimen de Radiación	I	R	O	3B
2. Régimen de Temperatura	I	R	O	3B
3. Humedad Disponible	I	F	O	1
4. Oxígeno disponible en la rizosfera	I	F	O	1
6. Capacidad de retención de nutrientes	I	F	O	1
7. Condiciones de enraizamiento	I	F	O	1
8. Condiciones que afectan la germinación y el establecimiento	I	R	O	3A
9. Humedad del aire en cuanto afecta al desarrollo de la planta	L	R	O	3B
10. Condiciones para la maduración	MI	R	O	3B
11. Peligro de inundación	I	F	O	1
12. Riesgos climáticos	I	R	O	3A
13. Exceso de sales	I	R	O	3B
14. Toxicidades del suelo	I	PF	NO	3A
15. Plagas y enfermedades	I	R	NO	3B
17. Posibilidades de mecanización	I	F	O	1
18. Preparación y limpieza de la tierra	I	F	O	3A
19. Condiciones para el almacenamiento y el procesamiento	L	R	O	3A
20. Condiciones que afectan el manejo temporal de la producción	L	R	NO	3A

Cualidades	ECGUT	EVC	DI	I
21. Acceso dentro de la unidad de producción	L	PF	O	3A
22. Tamaño de las posibles unidades de manejo	L	PF	O	3A
23. Ubicación	L	F	O	3A
24. Erosión	I	F	O	1
25. Peligro de hundimiento	I	F	O	1
26. Peligro de deslizamiento	I	F	O	1

**Tabla 3.11.** Cualidades seleccionadas para evaluar la CGUT Forestal no resistente y Forestal resistente al mal drenaje de los suelos del municipio San José de las Lajas.

Cualidades	ECGUT	EVC	DI	I
1. Régimen de radiación.	I	R	O	3B
2. Régimen de temperatura.	I	R	O	3B
3. Humedad disponible	I	F	O	1
4. Drenaje del suelo	I	F	O	1
5. Capacidad de retención de nutrientes.	MI	F	O	1
6. Condiciones de enraizamiento	I	F	O	1
7. condiciones que afectan la germinación y el establecimiento	I	F	O	3A
8. Salinidad/ sodicidad	L	R	O	3B
9. Otras toxicidades	I	PF	O	3A
10. Riesgos climáticos	L	R	O	3A
11. Peligro fisiográficos: inundaciones deslizamientos hundimiento	I	F	O	1
	I	F	O	1
	I	F	O	1
12. Incidencia de pestes y enfermedades.	I	R	O	3A
13. Volumen de madera presente	L	PF	NO	3C
14. Rendimiento estimado de la madera	I	PF	NO	3C
15. Tasas de sobrevivencia de plantas	L	R	NO	3C
16. Rendimiento estimado de productos no maderables	I	R	NO	3C
17. Factores del terreno que afectan las operaciones mecanizadas y el acceso interno	I	F	O	1
18. Condiciones que afectan los sitios de viveros	I	R	O	3A
19. Cubierta de vegetación presente	MI	F	O	3A
20. Tamaño de las unidades de manejo potencial	L	F	O	3A
21. Localización	I	F	O	3A
22. Erosión	I	F	O	1
23. Rendimiento de agua; caudal	L	PF		3A
24. Respuesta prevista del gasto de agua	I	F	NO	3C
25. Tolerancia de la vegetación a la degradación	MI	PF	NO	3A
26. Presencia de especies valiosas de plantas y animales	MI	PF	NO	3C
27. Belleza escénica	MI	PF	NO	3C
28. Recurso para actividades recreativas y turísticas	L	PF	O	3A

**Tabla 3.12.** Cualidades seleccionadas para evaluar la CGUT Ganadera del municipio San José de las Lajas.

<b>Cualidades</b>	<b>ECGUT</b>	<b>EVC</b>	<b>DI</b>	<b>I</b>
1. Régimen de radiación	I	R	O	3B
2. Régimen de temperatura	I	R	O	3B
3. Humedad disponible	I	F	O	1
4. Oxígeno disponible en las raíces	I	F	O	1
5. Capacidad de retención de nutrientes	I	F	O	1
6. Condiciones de enraizamiento	I	F	O	1
7. Salinidad/Sodicidad	L	R	O	3B
8. Toxicidad del suelo	I	PF	O	3B
9. Riesgo de fuego	L	R	NO	3A
10. Peligro de inundación	I	F	O	1
11. Riesgo de congelación	L	R	NO	3A
12. Potencial genético de la vegetación	MI	R	O	3A
13. Facilidad de control de plantas indeseables	Mi	R	O	3A
14. Posibilidad de mecanización	I	F	O	1
15. Tamaño potencial de las unidades de manejo de la tierra	L	R	O	3A
16. Erosión	I	F	O	1
17. Tolerancia a la degeneración de la vegetación	L	PF	NO	3A
18. Disponibilidad de agua para beber	I	F	O	1
19. Riesgos biológicos	I	R	NO	3A
20. Limitaciones climáticas	I	R	O	3B
21. Accesibilidad de los animales	I	F	O	1
22. Condiciones para heno y ensilaje	I	R	O	3B
23. Facilidad de cercas	L	R	NO	3A
24. Localización	I	F	O	3A
25. Peligro de hundimiento	I	F	O	1
26. Peligro de deslizamiento	I	F	O	1

**Tabla 3.13.** Cualidades seleccionadas para evaluar los CGUT Urbana del municipio San José de las Lajas.

<b>Cualidades</b>	<b>ECGUT</b>	<b>EVC</b>	<b>DI</b>	<b>I</b>
1. Factores del terreno que afectan la urbanización	I	F	O	1
2. Propiedades Geotécnicas del suelo	I	PF	O	3 A
3. Ubicación	MI	F	O	3 A
4. Disponibilidad de agua	I	F	O	3 C
5. Tamaño de las unidades de manejo	L	R	O	3 A
6. Desmonte	I	F	O	3 A
7. Explanación y nivelación de tierras.	MI	F	NO	3 A
8. Protección contra inundaciones	I	F	O	3 A
9. Erosión	I	F	O	1
10. Peligro de hundimiento	I	F	O	1
11. Riesgos biológicos	I	F	NO	3 C
12. Riesgos Climáticos	L	R	O	3 A
13. Peligros fisiográficos				
• Inundaciones	I	F	O	1

<b>Cualidades</b>	<b>ECGUT</b>	<b>EVC</b>	<b>DI</b>	<b>I</b>
• Deslizamientos	I	F	O	1
• Temblores y Sismos	I	F	O	1
14. Control del agua subterránea y superficial	MI	MF	O	3 A
15. Calidad ambiental	I	F	NO	3 C
16. Peligros Tecnológicos	I	F	O	1
17. Distribución de los servicios	I	R	O	3 A
18. Situación actual del sistema de infraestructura	I	F	O	3 A
19. Otras limitaciones socioeconómicas	MI	MF	O	3 A

### **3.2.4 Requisitos para cada CGUT**

Como ya se ha señalado, a pesar de los trabajos y estudios realizados sobre factores limitantes para diferentes cultivos, aún existe una gran dispersión de dichos resultados. Al respecto, Ponce-Hernández (1998) plantea la necesidad de compilar todo este conocimiento de manera que esté disponible para su aplicación en estudios relacionados con la aptitud de las tierras. Por otra parte, la aplicación de estos resultados en la Evaluación de Tierras, según el esquema FAO (1976; 2007), tiene la dificultad de que la información disponible no ha sido concebida bajo los preceptos del citado esquema, por lo que en su concepción original no están contempladas las categorías utilizadas por el mismo, como es el caso de la base de datos de los perfiles de suelo del Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25 000. Es por ello que los requisitos establecidos en el presente trabajo tienen como ventaja adicional que están encaminados a asignarle una clase de aptitud a dicha información, con lo que se facilita su empleo en otras partes del país.

Con este fin en el Anexo 7 se exponen los Requisitos de Uso de la Tierra (RUTs) utilizados para evaluar las CGUT Agrícola, Forestal no resistente al mal drenaje de los suelos, Forestal resistente al mal drenaje de los suelos, Ganadera y Urbana de acuerdo con las clases de aptitud física, siguiendo la propuesta de Sys et al. (1993). De esta forma, se indica en cuánto es posible que disminuya la aptitud de cada CGUT ante la presencia de un factor determinado, según el enfoque clásico admitido cuando se analiza la adaptabilidad de un uso a una UT por el factor más limitativo. Además, las tablas de requisitos compiladas son un punto de partida idóneo para la aplicación de los sistemas expertos mediante árboles de decisión, permitiendo con ello considerar la interacción entre los factores.

### **3.2.5 Construcción de los modelos de sistemas expertos**

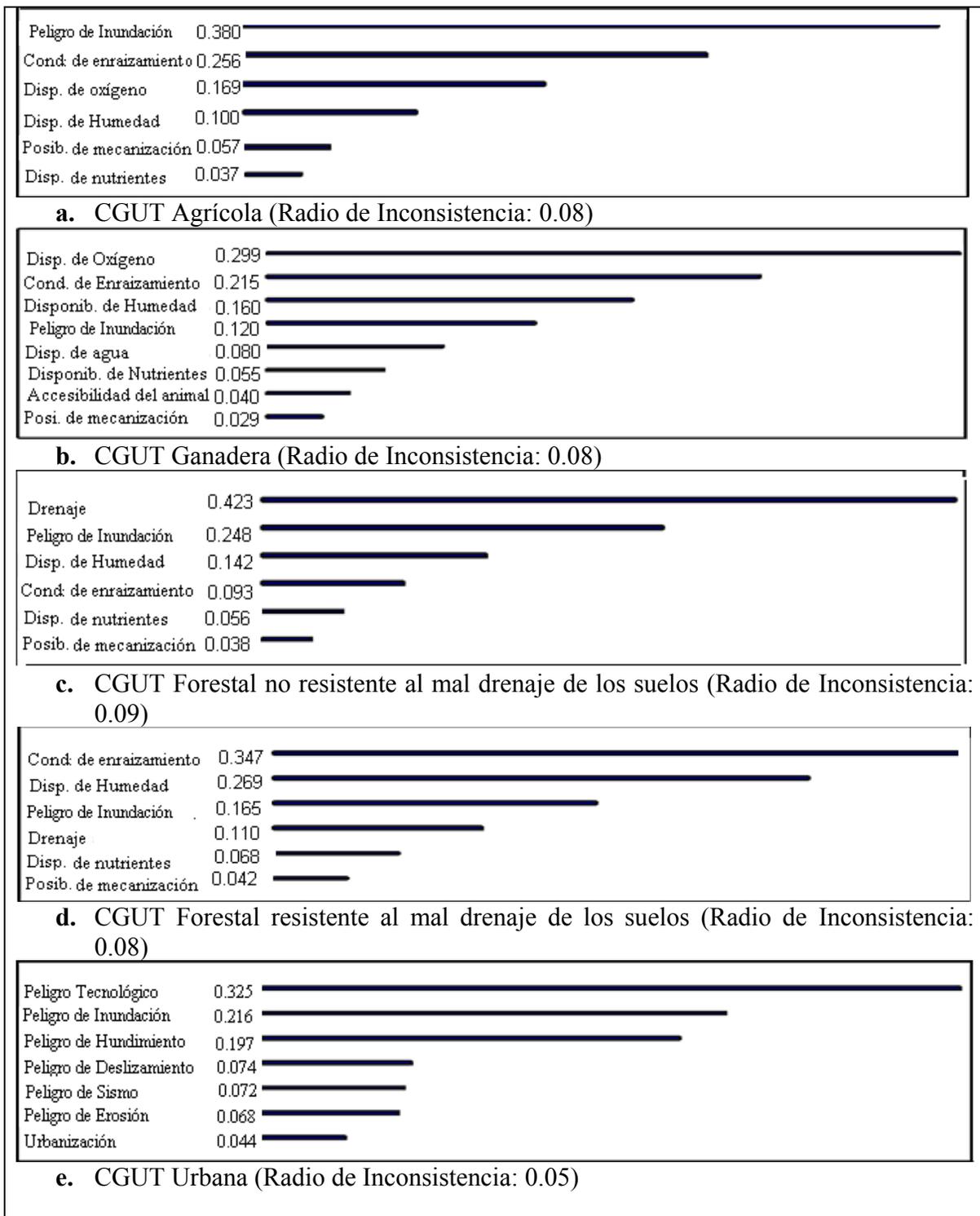
Apoyados en el software ALES, se construyeron 36 árboles de decisión que sirvieron de base para la evaluación de la aptitud de las diferentes Unidades de Tierras para las CGUT evaluadas (CD Anexo). Estos, a pesar de estar compuestos, en algunos casos, por las mismas características, difieren en cuanto a su orden jerárquico, lo que depende de los Requisitos de Uso de la Tierra (RUT). Los mismos pueden ser utilizados para la evaluación de otras zonas de nuestro país con objetivos y condiciones semejantes, o pueden variarse en función de las características específicas de estas.

Con el uso de la teoría de la decisión multicriterio, específicamente del Proceso Analítico Jerárquico (Saaty, 1977), fue posible asignarle los pesos y con ello la jerarquía a cada cualidad dentro de los árboles de decisión utilizados en la Evaluación de Tierras (Figura 3.6). Su utilización constituyó un importante paso de avance, ya que le proporcionó carácter científico al proceso de toma de decisiones y se redujo la subjetividad propia del método (Eastman, 2003).

Además, también fue posible medir la coherencia de los juicios emitidos por los expertos, y por tanto, de la toma de decisiones, lo cual, según Zanazzi (2003), es uno de los puntos de mayor interés y originalidad del método en cuestión. En todos los casos el Radio de Inconsistencia (RI) es menor que el 10 %, admitido como válido en la literatura especializada (Toskano, 2005), con lo que se garantiza la calidad de la información obtenida.

### **3.2.6 Aptitud física de las Unidades de Tierras evaluadas**

A partir del proceso de Evaluación de Tierras fue posible obtener las clases de aptitud física para las diferentes CGUT definidas en el trabajo (Anexo 8). Estas son las bases para poder confrontar los conflictos existentes en cuanto a la oferta ambiental (capacidad productiva del terreno desde un enfoque de sustentabilidad) y la demanda social (el uso de suelo actual como reflejo de esta demanda), conflictos con prioridad a resolver en un plan de manejo sustentable de los recursos naturales del municipio.

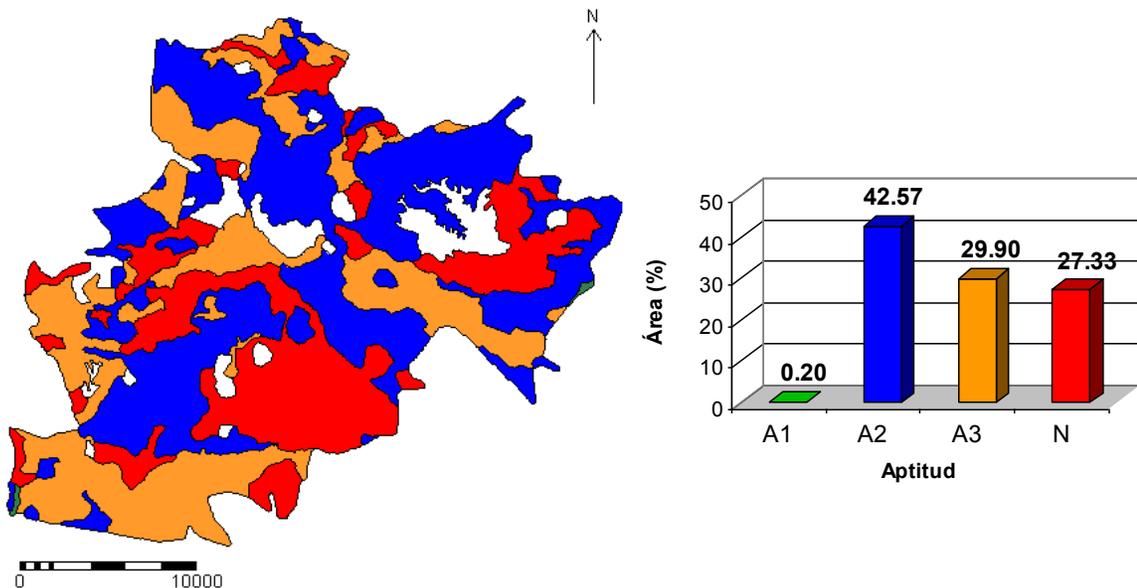


**Figura 3.6.** Pesos asignados a las cualidades en cada CGUT considerada en el proceso de Evaluación de Tierra.

### 3.2.6.1 CGUT Agrícola

Los resultados de la aptitud de las tierras para la CGUT Agrícola se presentan en la Figura 3.7. En la misma se evidencia que aproximadamente el 73 % de la superficie total evaluada del municipio (53 467.75 ha), presentan el Orden de aptitud apta, con lo cual es posible, según FAO (1985a), el uso sostenido de la agricultura en estos escenarios.

Sólo dos UT, que representan el 0.20 % de la superficie total evaluada, presentan la clase de aptitud Sumamente apta (A1); las restantes se comparten en las categorías Moderadamente apta (A2) y Marginalmente apta (A3), con un 42.57 % y un 29.90 % respectivamente. Lo anterior se debe a las limitaciones que imponen las cualidades Humedad disponible del suelo (m), Disponibilidad de oxígeno (w), Peligro de inundación (f) y Condiciones de enraizamiento (r), entre otros.



**Figura 3.7.** Aptitud física de las UT evaluadas para la CGUT Agrícola.

El resto de la superficie evaluada presenta la clase de aptitud No apta (N) para este uso. Lo que se debe, fundamentalmente, a la calidad condiciones de enraizamiento, afectada por el exceso de piedras y gravillas que presentan algunos suelos del municipio como es el caso de los Húmicos carbonáticos y los Esqueléticos que representan el 13 % y 3.4 % del total, respectivamente (Fundora et al., 2000). Ello coincide con Rodríguez et al. (1990), quien plantea que la pedregosidad constituye una limitación desde el punto de vista mecánico para la preparación del suelo, además de ocupar un área donde no pueden crecer las plantas, mientras que la fuerte graviliosidad puede ocasionar la disminución de la profundidad efectiva.

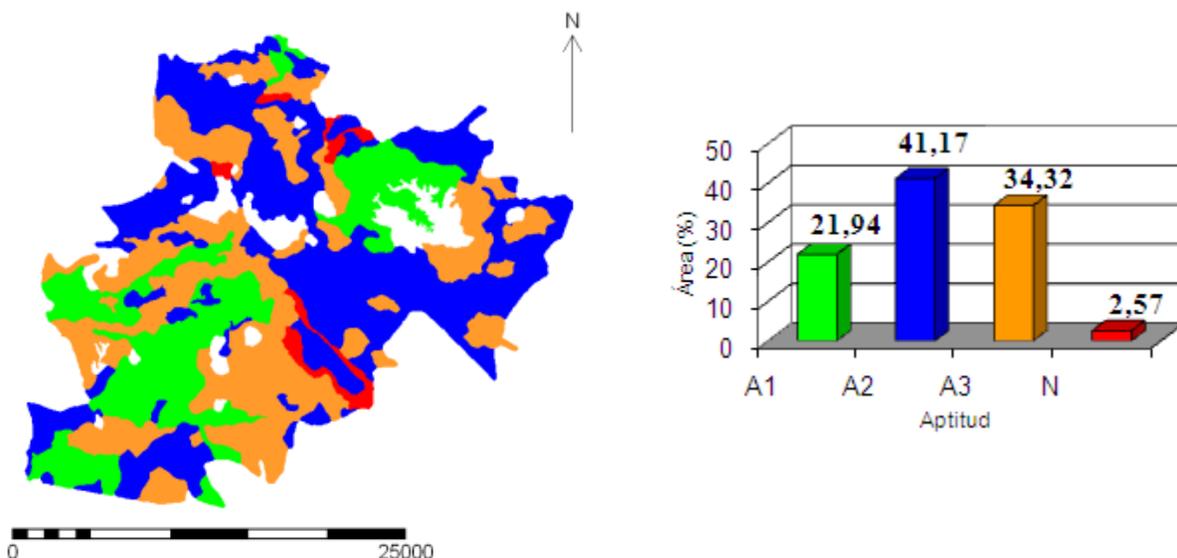
Otras cualidades que afectan la aptitud del uso agrícola de las tierras del municipio son la disponibilidad de humedad que se manifiesta en la ocurrencia de sequías agrícolas, con lo que se afectan los rendimientos de los cultivos (Visser et al., 2005) y la disponibilidad de oxígeno en el suelo, por el efecto para las raíces de las plantas y los microorganismos aeróbicos (Furlani, 2004).

### 3.2.6.2 CGUT Ganadera

Del total de las tierras evaluadas en el municipio, 52 092 ha presentan el orden de aptitud apta para el uso ganadero. De estas, el 21.94 % está en la clase de aptitud A<sub>1</sub>, mientras que las aptitudes A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> están representadas en 41.17 % y 34.32 % respectivamente. Las 1 375.75 ha restantes, correspondientes al 2.57 % del total de las tierras evaluadas, son No aptas (N) para el uso ganadero (Figura 3.8).

Estos resultados se deben, fundamentalmente, a las limitaciones representadas por las cualidades: posibilidad de mecanización y accesibilidad de los animales, lo que está relacionado con la elevada pendiente de algunas zonas.

La accesibilidad de los animales está afectada también, en algunas UT, por el exceso de rocas, que provocan heridas en las patas de los animales, y con ello la posibilidad de producirse cuadros patológicos que disminuyen la producción y en la mayoría de los casos, la muerte de los mismos.



**Figura 3.8** Aptitud física de las UT evaluadas para la CGUT Ganadera.

### **3.2.6.3 CGUT Forestal resistente al mal drenaje y Forestal no resistente al mal drenaje de los suelos**

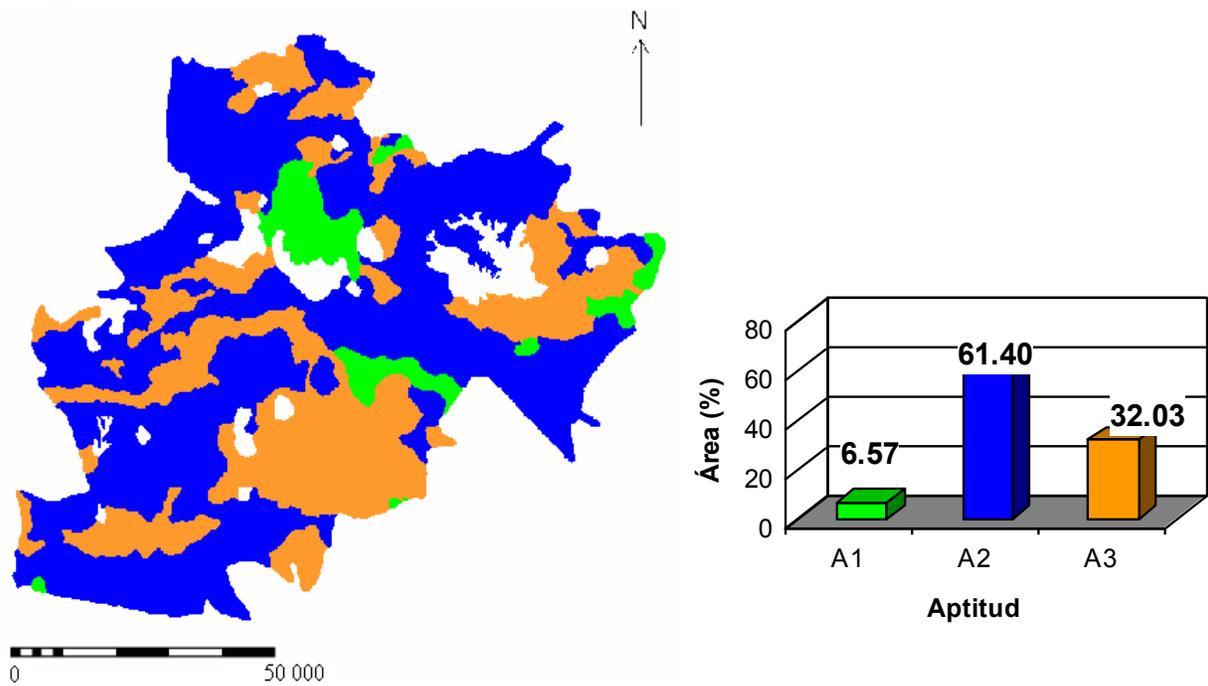
Como se observa en las Figuras 3.9 y 3.10, toda el área evaluada en el municipio puede ser utilizada para el uso forestal. De esta, el 61.40 % corresponde a la clase de aptitud Moderadamente apta y el 32.03 % a la Marginalmente apta para la CGUT Forestal resistente al mal drenaje. Mientras que para la CGUT Forestal no resistente al mal drenaje, el 38.83 % corresponde a la clase de aptitud Moderadamente apta y el 59.57 % restante a la de Marginalmente apta. Ello se debe, principalmente, a la restricción por el peligro de inundación y del mal drenaje de algunos suelos, tales como los Oscuros plásticos (3.78 %) y Ferralíticos Amarillentos (6.43%), con lo que se reduce su aptitud para este uso específico. Al respecto, Marrero et al. (2006) opina que esta afectación constituye uno de los principales factores limitantes de nuestro país, representado por el 40.3 % de la superficie total de los suelos agrícolas.

De igual forma, en el municipio evaluado se encontraron solamente nueve UT con aptitud Sumamente apta para el uso forestal resistente al mal drenaje de los suelos y siete para la Forestal no resistente al mal drenaje de los suelos, lo que representa el 6.57 % y 1.61 % del total del área evaluada, respectivamente.

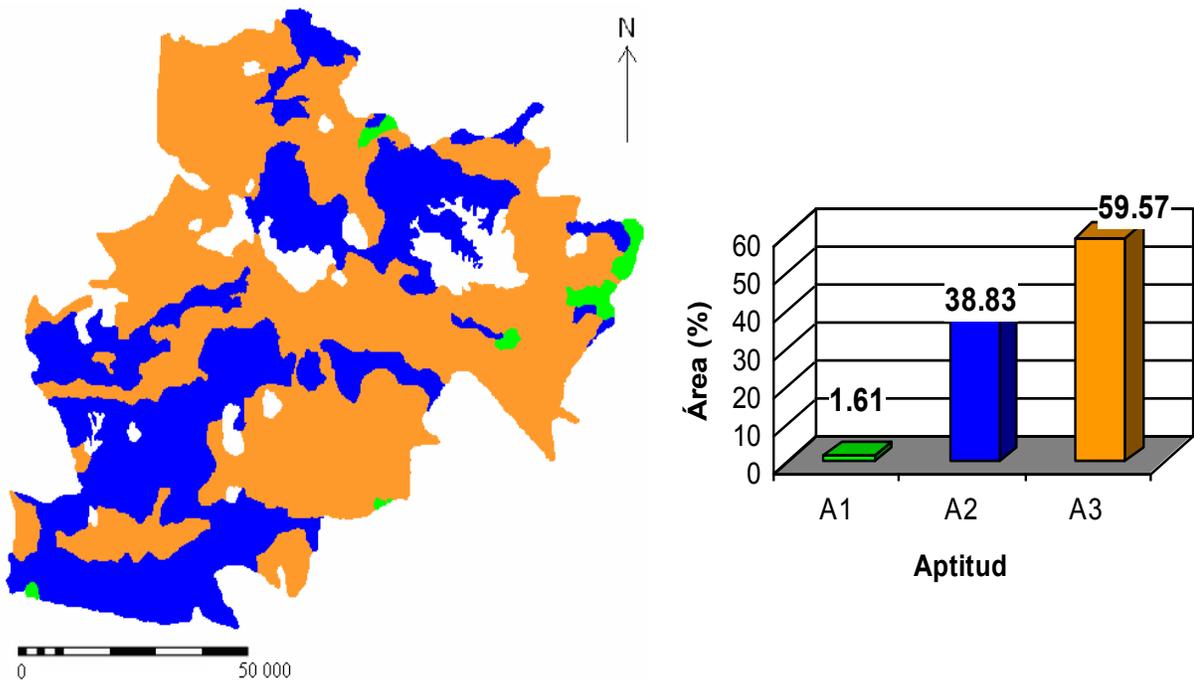
### **3.2.6.4 CGUT Urbana**

Al analizar los resultados obtenidos en la evaluación de la CGUT Urbana (Figura 3.11) se evidenció que todas las UT son aptas, siendo las clases A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> las que predominan, con el 51.17 % y el 35.05 % del total del área evaluada, respectivamente. Ello se debe a la alta incidencia en esta zona de algunos peligros, tales como los de deslizamiento, inundación y tecnológicos. Los primeros se pueden encontrar fundamentalmente alrededores de los poblados de Pedro Pi, Rosafé Signet y Ganuza entre otros, mientras que los peligros de inundación se concentran principalmente alrededor del centro urbano, con un área aproximada a los 200 km<sup>2</sup>, pudiendo afectar, según criterios de Fundora et al. (2000) a más de 45 500 personas en caso de ocurrir lluvias intensas (más de 150 mm).

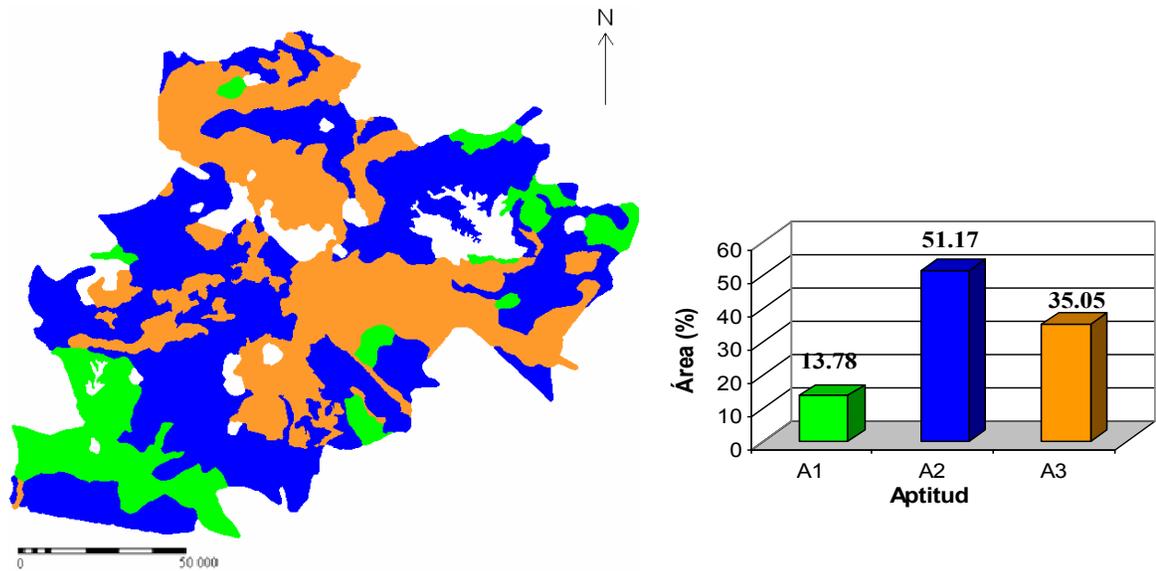
El resto de las UT del municipio, que representan el 13.78 % de la superficie evaluada, presentan la clase de aptitud Sumamente apta para este uso.



**Figura 3.9.** Aptitud física de las UT evaluadas para la CGUT Forestal resistente al mal drenaje de los suelos.



**Figura 3.10.** Aptitud física de las UT evaluadas para la CGUT Forestal no resistente al mal drenaje de los suelos.



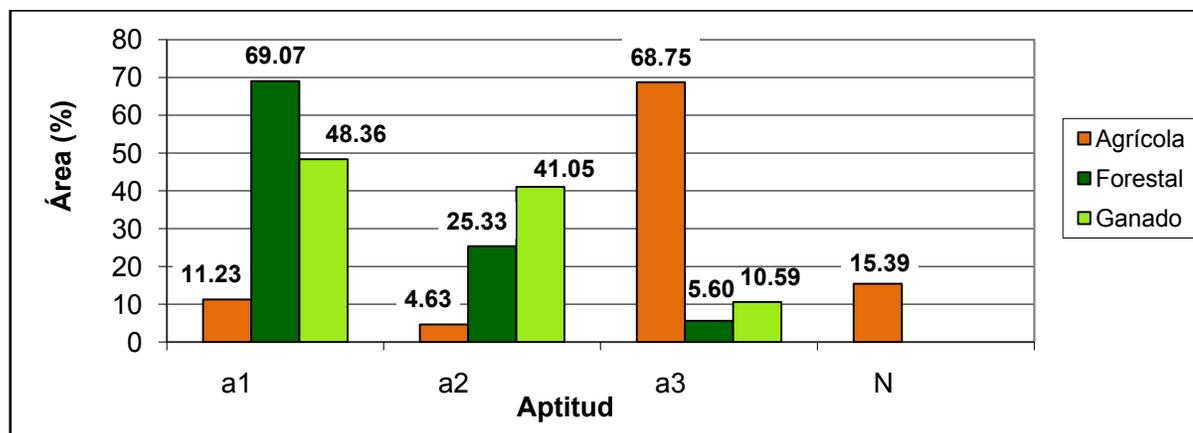
**Figura 3.11.** Aptitud física de las UT evaluadas para la CGUT Urbana.

### 3.2.7 Aptitud ambiental de las Unidades de Tierras evaluadas

En la Figura 3.12 se presenta el resultado de la aptitud ambiental de las Unidades de Tierras para las CGUT evaluadas. En la misma se evidencia que el uso predominante en la categoría Sumamente apta es el forestal, que representa el 69.07 % del total del área estudiada. Le sigue en orden la CGUT Ganadera con el 48.36 % y por último la Agrícola con el 11.23 %. Para la categoría Moderadamente apta predominan la CGUT Ganadera con el 41.05 % y la Forestal con el 25.33 %, seguidas por la Agrícola que representa solamente el 4.63 % de total. Por último en la categoría Marginalmente apta la que predomina es la CGUT Agrícola con el 68.75 %, seguida por la Ganadera con el 10.59 % y la Forestal con solamente un 5.60 % del total de las tierras evaluadas.

De igual forma, en la figura anterior se observa que del total de las tierras evaluadas el 84,61 % presenta el orden de aptitud Apto para el uso agrícola, siendo el 15,39 % restante No apto. No sucede de igual forma para el uso ganadero y el forestal, para los cuales toda el área evaluada posee el orden Apto. Con ello se evidencia que las UT son más vulnerables al impacto producido por los factores de degradación del suelo con la presencia de la CGUT Agrícola que con la Ganadera y la Forestal. Resultados semejantes son expuestos por diversos autores en la literatura especializada tales como: Miklnaek et al. (2004), Lestrelin et al. (2005) y Ni et al. (2006), quienes hacen referencia a la necesidad de usar las tierras de cultivo en forma sostenible con el propósito de reducir el impacto negativo sobre los recursos naturales,

para lo cual se deben maximizar los rendimientos sin poner en peligro la salud y la productividad del suelo (Lestrelin et al., 2005).



**Figura 3.12.** Aptitud ambiental de las UT para las CGUT Agrícola, Forestal y Ganadera.

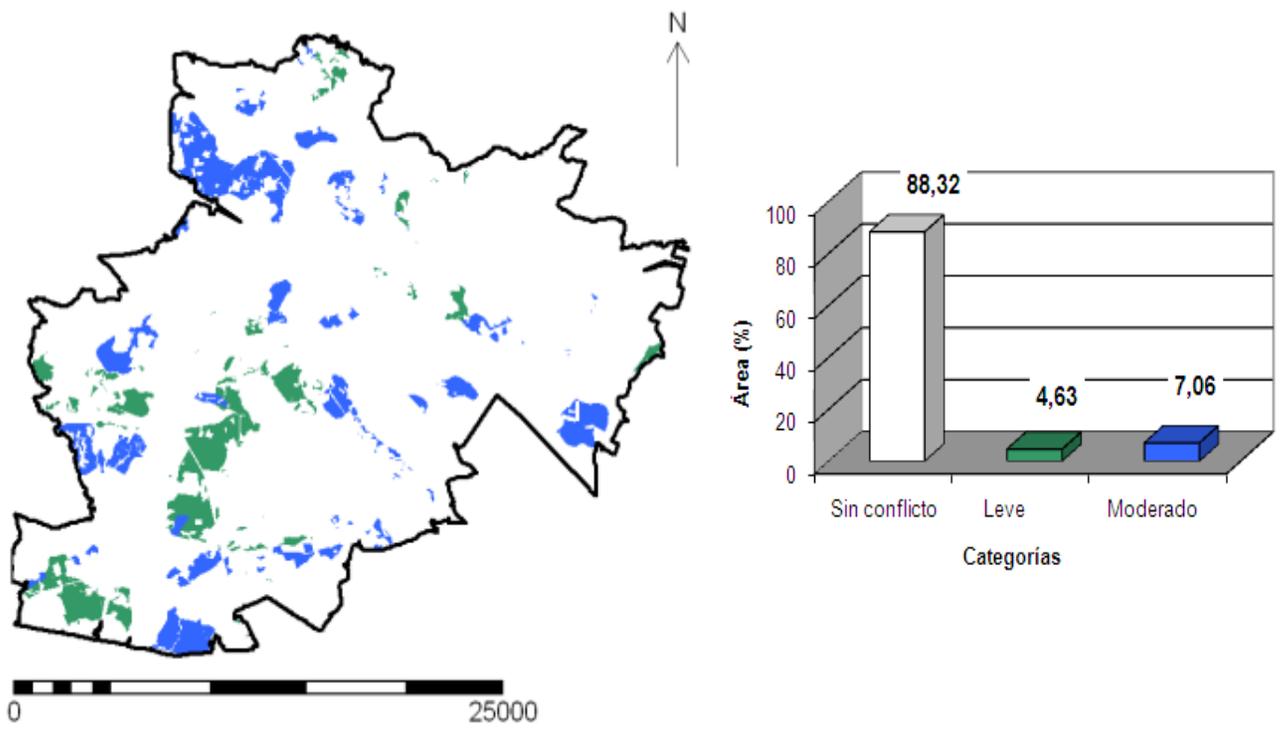
### 3.3 Análisis de la asignación del uso de la tierra en el municipio San José de las Lajas

#### 3.3.1 Análisis de los conflictos de usos de la tierra para las CGUT Agrícola, Forestal y Ganadera

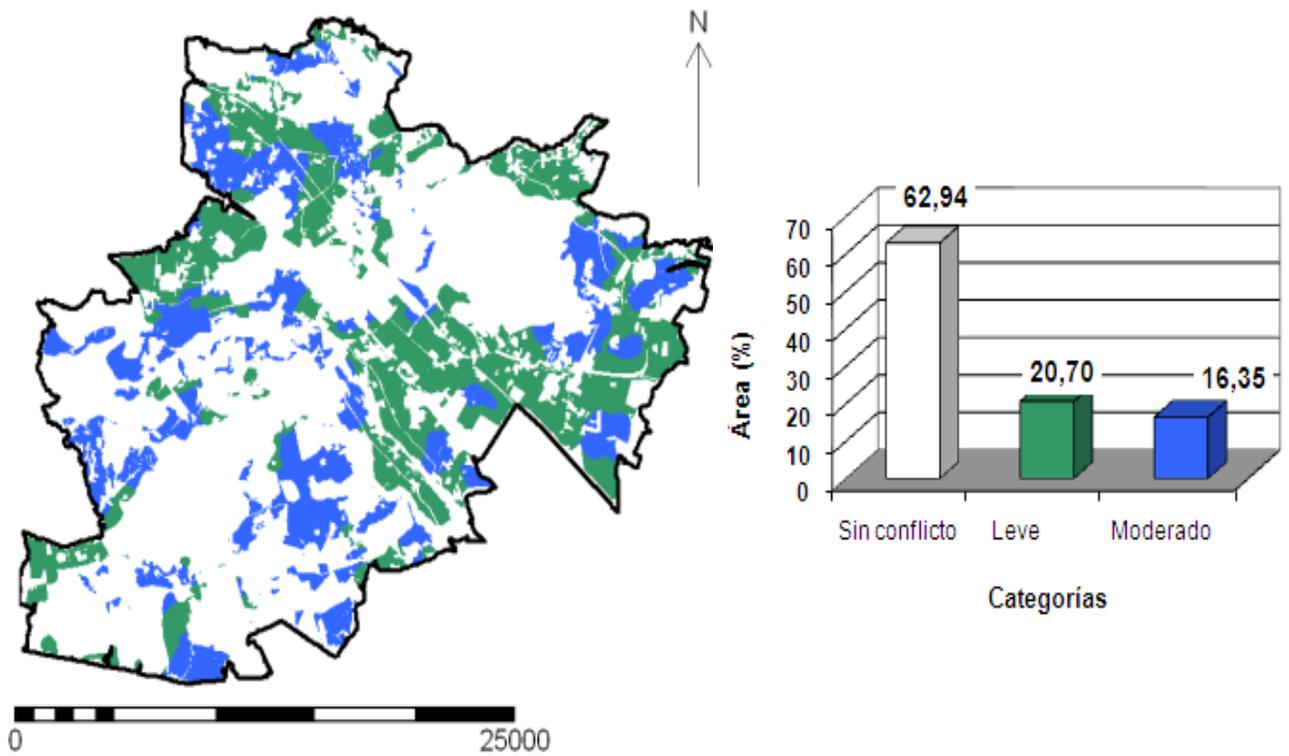
Después de comparar los resultados de la aptitud física de la tierra frente a los usos que se están realizando en la zona de estudio se obtuvieron los conflictos de usos. Al respecto en la Figura 3.13 se muestra que los conflictos de tipo sub-utilización se encuentran en 6 962.5 ha, lo que representa el 11.68 % del área total del municipio. Los mismos se distribuyen en conflicto leve 4.63 % (2 756.75 ha) y conflicto moderado 7.06 % (4 205.75 ha), lo que se debe a que esas UT no son explotadas con la CGUT para la cual tienen mayor potencial.

De igual forma, en el análisis realizado se encontró que el 37.06 % del área total del municipio está afectada por el conflicto de tipo sobre-utilización (Figura 3.14). De esta, el 20.70 % (12338.25 ha) pertenece a la categoría de leve, lo que se debe a que la aptitud física de las UT consideradas es de Moderadamente apta para el uso actual.

En la área estudiada no se encontró conflicto severo de tipo sobre-utilización, mientras que los moderados (UT con aptitud de Marginalmente apta para su uso actual) representan el 16.35 % (9 745.75 ha). Estas zonas poseen mayores restricciones para su uso actual, por lo que su explotación excesiva genera un impacto negativo sobre los escenarios más vulnerables y con ello la degradación de los mismos, que conlleva a la pérdida de la fertilidad y productividad



**Figura 3.13.** Conflicto por sub-utilización de las tierras.

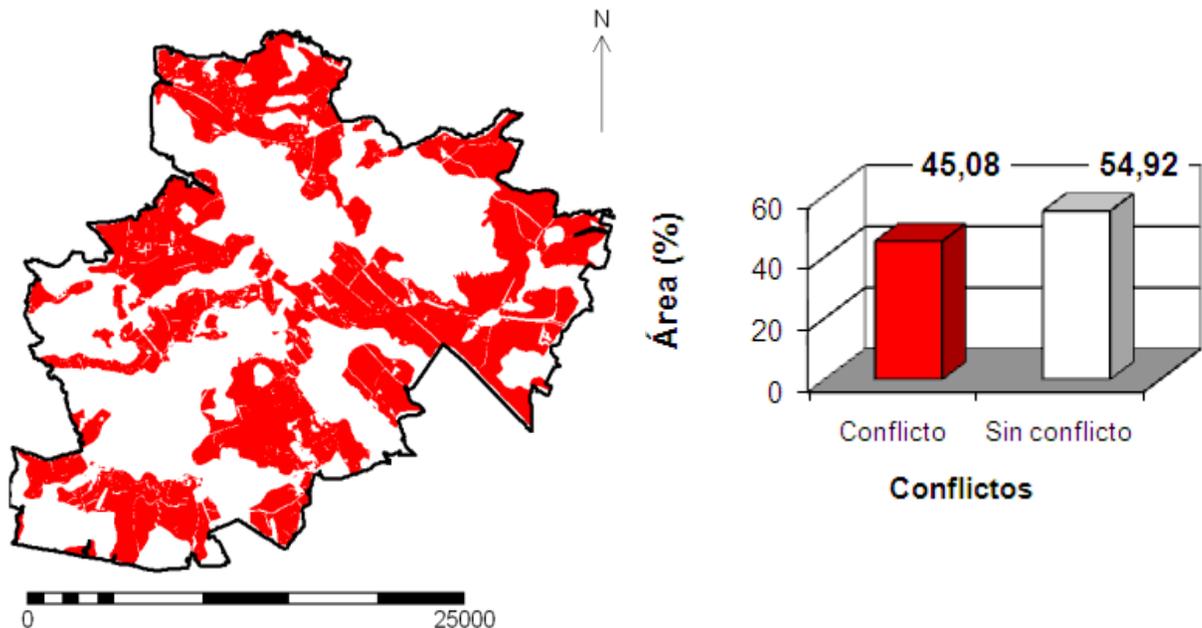


**Figura 3.14.** Conflicto por sobre-utilización de las tierras.

del suelo, causando una reducción de los rendimientos de la producción agropecuaria, lo que afecta la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras (FAO, 2001).

Del análisis anterior se deriva que de un total de 12 338.25 ha con conflictos moderado de tipo sobre-utilización, 4 205.75 ha (área con conflicto moderado de tipo sub-utilización) pueden ser utilizadas a otra CGUT evaluada, para las cuales la oferta ambiental es mayor. Resultados semejantes son reportados por Ramírez et al. (2004) en el macizo Nipe Sagua Baracoa, quienes reportan que el 68.71 % del total del área sometida a la explotación ganadera se encuentra en terrenos no recomendados para esta actividad.

Por otra parte, en el municipio estudiado existen 26 863.25 ha (45.08 %) que poseen la misma categoría de aptitud física para más de una CGUT (Agrícola, Ganadera y Forestal) (Figura 3.15). Ello implica que para la selección del uso más adecuado a establecer en estos escenarios se deben utilizar las Técnicas de Decisión Multicriterio (Bosque Sendra y García, 2000), donde se considere, además de la actitud física de las tierras, otros criterios de selección, tales como los económico, los sociales y los ambientales.



**Figura 3.15.** Conflicto en la asignación del uso de las tierras entre las CGUT Agrícola, Forestal y Ganadera.

Los resultados mostraron los conflictos de usos de la tierra existentes en el municipio, debido al inadecuado ordenamiento territorial de sus recursos. Estos pueden causar la aceleración de

los procesos degradativos en la zona de estudio (Dirección Provincial de Suelos de La Habana, 2004; Febles, 2007).

Ante la evidencia presentada, debe responderse a la pregunta ¿serán el uso y ordenamiento actual del territorio sostenibles en el tiempo? Al respecto, Alier et al. (1996) plantean que las tierras deben dedicarse a los usos que aseguren los mayores beneficios sostenibles, lo que es posible con su ordenamiento integral.

La razón de la existencia de los conflictos presentados y su magnitud han sido reportados en la literatura (Murcia et al., 2007), incidiendo factores como sistemas de producción agropecuarios intensivos, concentración de la población donde se realiza mayor presión, concentración de la propiedad (o tenencia), abandono de las tierras por desplazamiento y falta de incentivos económicos, entre otros.

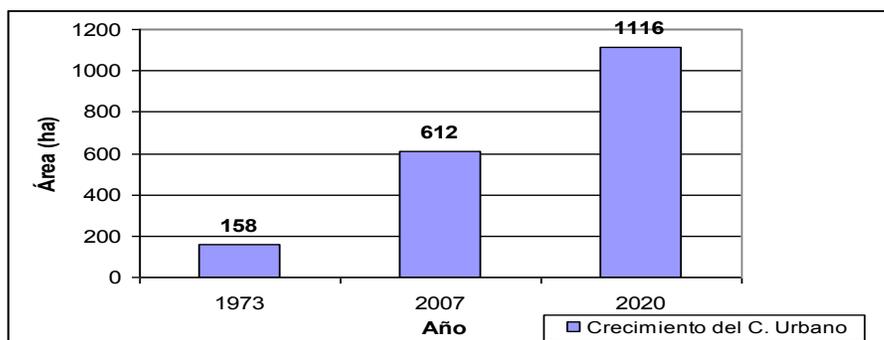
En las condiciones de nuestro país uno de los elementos que más ha influido en el estado de la tierra y en particular del recurso suelo, se relaciona con la aplicación de un modelo de agricultura de altos insumos (Nova, 2006) adoptado en décadas pasadas (años 70s y 80s del pasado siglo). Datos del Instituto de Suelos (2001) ya reportaban un 76,8 % de la tierras productivas afectadas por al menos un factor limitante de su productividad a finales de los años 80s, lo que se acepta como la principal problemática ambiental de Cuba. La tala de los árboles, la excesiva mecanización y aplicación de agroquímicos, y causas sociales como la separación del hombre de la tierra producido por movimientos migratorios no controlados ni planificados hacia las zonas urbanas (Alcaide, 2009), entre otras, son causas conocidas. Por su parte Hernández et al. (2006) aborda el problema desde la perspectiva del efecto de los cambios globales, donde hace énfasis en las consecuencias de la actividad humana sobre el deterioro y degradación de los suelos, los cuales en muchas ocasiones pueden ser irreversibles.

### **3.3.2 Análisis del conflicto generado por el crecimiento del centro urbano del municipio**

En las investigaciones realizadas, apoyados en el método Histórico-lógico, se pudo constatar que la fundación del municipio se remonta a mediados del siglo XVIII con la construcción de una bodega en 1780 en la intersección del antiguo camino de La Habana a Güines y el consiguiente establecimiento de varias edificaciones dando lugar a la formación de un núcleo poblacional. De manera similar surgió el asentamiento de Jamaica, y posteriormente, debido al crecimiento en forma radial a partir de la construcción de viviendas independientes en las cercanías de las principales calles, quedaron ambos asentamientos unidos como uno sólo.

En la actualidad el centro urbano del municipio ocupa un área 3.87 veces mayor que la del año 1973, cuya tendencia, según la DMPF (2008), es a seguir aumentando hasta alcanzar aproximadamente 1116 ha durante los próximos 20 años (Figura 3.16).

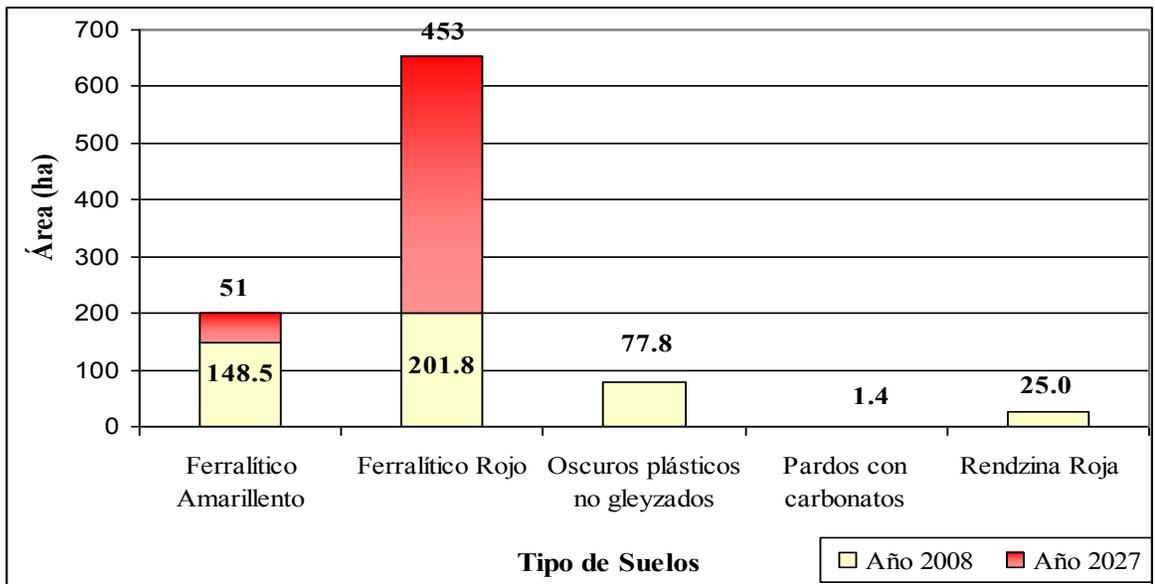
La deficiente selección de los escenarios para el crecimiento urbano, unido a la construcción de viviendas y obras no autorizadas, más la subestimación del valor del recurso tierra que pone en desventaja a los usos agropecuarios, son acciones que favorecen el conflicto. Ello coincide con Alcaide (2009), quien afirma que las actividades humanas no controladas constituyen la principal causa de degradación de los suelos. Situaciones semejantes ocurren en otras partes del país, según se demuestra en los estudios realizados por González (2007) en los municipios de Ciego de Ávila, Baraguá y Chambas.



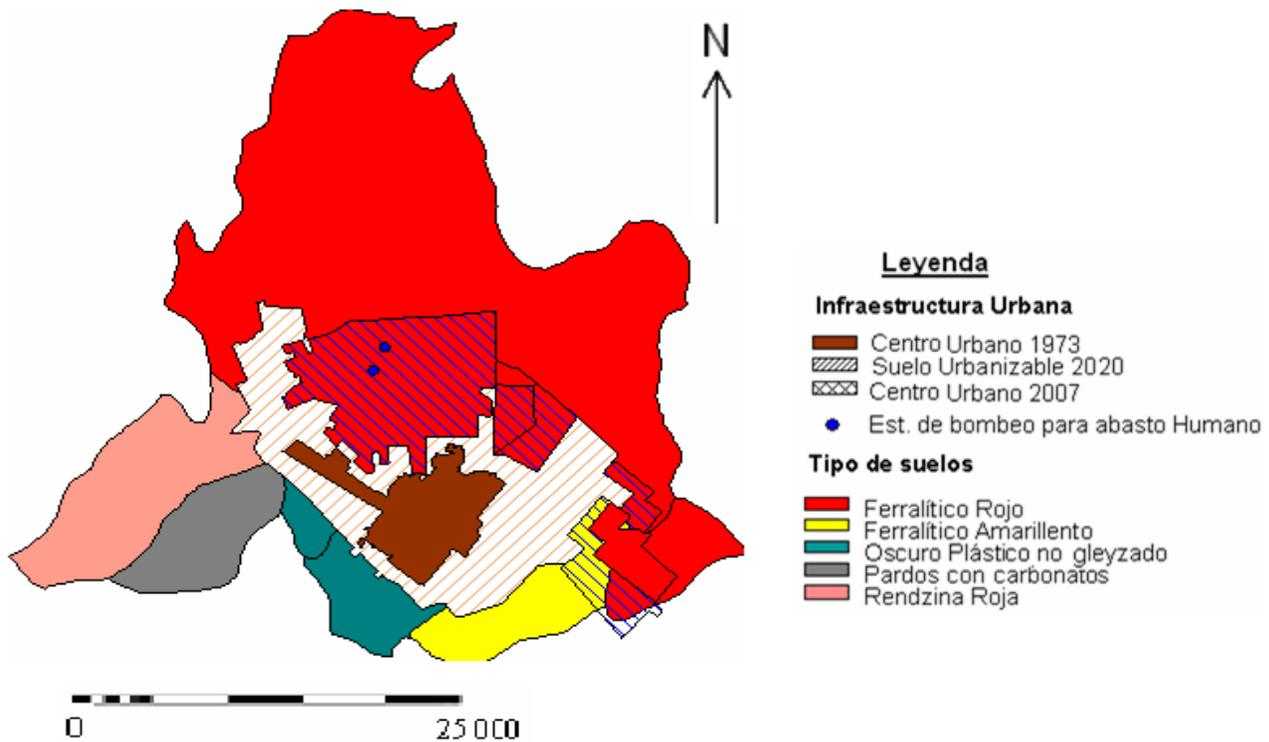
**Figura 3.16.** Crecimiento del centro urbano del municipio San José de las Lajas.

En la Figura 3.17 se puede apreciar que en la zona estudiada los tipos de suelos más afectados por el crecimiento del centro urbano desde el año 1973 hasta el 2008, son el Ferralítico Rojo, considerado de alto potencial agroproductivo (aptitud física para el uso agrícola de la tierra: Moderadamente apto) y el Ferralítico Amarillento, con 201.8 ha y 148.5 ha, respectivamente. Esta situación puede continuar, pues el área propuesta como urbanizable en los próximos 20 años se encuentra sobre 453 ha de suelo Ferralítico Rojo y 51 ha sobre Ferralítico amarillento, con lo que se perdería, de forma irreversible, sus valores naturales (IPF, 2000) y con ello su capacidad de producción.

Con la nueva propuesta de crecimiento del centro urbano (suelo urbanizable), no sólo se pone de manifiesto el conflicto entre la CGUT Urbana y las demás clases de usos del municipio, sino que también se ponen en peligro de contaminación las dos fuentes de abastos de agua potable destinada al abastecimiento del centro urbano, las que podrían quedar altamente contaminadas, y con ello inservibles para su actual uso (Figura 3.18).



**Figura 3.17.** Superficie de suelo ocupado por el centro urbano en el municipio San José de las Lajas.



**Figura 3.18.** Proyección del crecimiento del centro urbano del municipio San José de las Lajas.

La situación anterior da muestra del conflicto de uso de las tierras que existe entre las CGUT estudiadas. Ello se debe, fundamentalmente, a un inadecuado ordenamiento territorial, caracterizado por la poca participación de los actores sociales involucrados en la toma de decisión y por el predominio de escasos criterios de selección, como son los económicos, presencia de redes viales, redes hidráulicas, distribución de los servicios, entre otros. Es decir, no predomina un enfoque donde se contemple la influencia del medio ambiente sobre el uso seleccionado y viceversa, así como una valoración económica que tenga en cuenta el valor de la tierra y el costo ambiental. Además, esta selección se hace mediante un proceso *ad hoc*, con el cual pueden manifestarse algunas desventajas relacionadas con las interacciones humanas, propias del método (Becks et al., 2001).

Una solución para atenuar este problema podría ser la de modificar la tipología constructiva, es decir, fabricar viviendas de más de una planta, criterio que coincide con los de Coca y Medina (2009). Con ello se reduciría la cantidad de suelos a ocupar (COS) y los insumos que conllevan los mismos para el establecimiento de las redes viales, eléctricas, hidráulicas, etc. Sin embargo, la calidad de los materiales constructivos disponibles en la actualidad no permite estas estructuras, con lo que se agudiza aun más el conflicto. Ejemplo de ello, son el Plan Parcial “Asunción” y el Plan Parcial de nuevo desarrollo “Santa Ana” desarrollados en el municipio, en un área de 13.1 ha y 528.72 ha, respectivamente. La primera zona se ubica en tierras de tenencia estatal, perteneciente a la Empresa Pecuaria de Nazareno, anteriormente utilizada por distintos parceleros para el abastecimiento alimentario (DMPF, 2008). No obstante, se liberó para la construcción de viviendas. Una valoración diferente podría derivarse si se considerara el costo ambiental (degradación del suelo y sobreexplotación de los recursos naturales) a mediano y largo plazo, argumentos que son escasos en las investigaciones sobre la temática en nuestro país.

### **3.4 Optimización espacial de las alternativas mediante Técnicas de Decisión Multicriterio**

#### **3.4.1 Análisis de los pesos asignados a las CGUT Agrícola, Forestal y Ganadera**

En las Figuras 3.19, 3.20, 3.21 se muestran los histogramas de frecuencia de los pesos obtenidos del resultado del análisis de las preferencias de los expertos para las CGUT Agrícola, Ganadera y Forestal mediante el proceso de Evaluación Espacial Multicriterio (ESMC), a partir de los cuales se seleccionó la mejor alternativa de uso para cada UT considerada en el análisis.



Los resultados por UT, unido a la caracterización de los expertos utilizados en el análisis se muestran en Anexo 9.

Como se aprecia en dichas figuras, la CGUT Ganadera presentó el valor central más alto, correspondiente a un peso de 0.49, seguidamente se encuentra la CGUT Forestal (0.37) y por último la Agrícola (0.36). El valor modal más alto lo presenta la CGUT Agrícola (0.61) con un área de 6 949.75 ha, mientras que para la CGUT Ganadera y Forestal es de 0.52 en ambos casos, con un área de 5 318 ha para el primer y de 4 201.5 ha para el segundo.

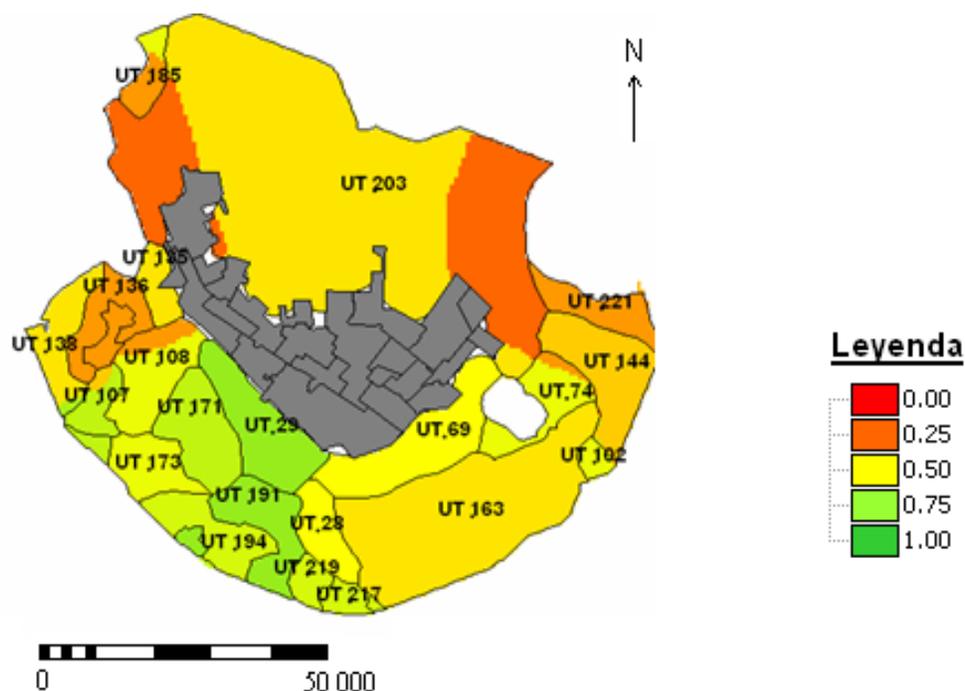
Al analizar variabilidad de los pesos se comprobó, que de las alternativas analizadas, la Forestal presenta una menor dispersión de sus datos, mientras que en la Ganadera y la Agrícola es mayor con un valor de desviación estándar de 0.24 y 0.16, respectivamente. Lo que implica que en el municipio exista mayor cantidad de escenarios más favorables para la CGUT Ganadera y que su uso se encuentre más disperso en toda el área de estudio

En todos los casos el Radio de Inconsistencia (RI) fue menor que el 10 %, lo que valida el consenso participativo entre los expertos y garantiza la validez de los resultados. Al respecto, algunos autores consideran que en muchas ocasiones no es necesario conocer la cantidad del error, sino poder tener la confianza de que el nivel de incertidumbre en esos niveles no pone en riesgo la calidad de los resultados (Hunter y Goodchild, 1995, Gómez y Bosque Sendra, 2004)

#### **3.4.2 Análisis de los pesos asignados a los escenarios urbanos**

En la Figura 3.22 se muestra la propuesta de Ordenamiento Territorial obtenida del resultado del proceso de Evaluación Espacial Multicriterio (ESMC) con el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) para la CGUT Urbana. En la misma se pueden apreciar las diferentes tonalidades de colores, que representan la cuantía de los pesos asignados por los expertos consultados, resaltando con color verde los escenarios más adecuados para el crecimiento urbano.

Un análisis más detallado de lo que se explica anteriormente, se puede encontrar en la Tabla 3.14. En ella se destacan como las más adecuadas para el crecimiento del centro urbano, por poseer los mayores peso, las UT 29 y 191 con un área de 245 ha, seguidas de las UT 171, UT 194, UT 217 y UT 219; todas orientadas al suroeste del centro urbano.



**Figura 3.22** Crecimiento propuesto para el centro urbano del municipio San José de las Lajas mediante las Técnicas de Decisión Multicriterio.

**Tabla 3.14.** Representación de los pesos asignados a las Unidades de Tierra por el método PAJ para el crecimiento urbano del municipio.

Unidad de Tierra	Peso	Área (ha)
UT 163, UT 203	0.18	390,75
UT 108, UT 221	0.28	88
UT 74, UT 102, UT 185	0.3	36,75
UT 136, UT 137	0.32	90,25
UT 107, UT 144	0.4	136,25
UT 135, UT 138	0.44	111,75
UT 163, UT 203	0.45	1336
UT 69	0.49	160,75
UT 28	0.52	60,5
UT 108, UT 173, UT 102, UT 185, UT 74	0.55	246
UT 194, UT 217, UT 219	0.61	132
UT 171	0.67	108,5
UT 29, UT 191	0.73	245

Llama la atención que el nivel de prioridad de la UT 203, área que propone la Dirección Municipal de Planificación Física para el crecimiento del centro urbano, es bajo para este uso. Ello se debe a la existencia de peligros de inundación y peligros tecnológicos en la misma, además, el suelo que se encuentra en este escenario posee una elevada agroproduktividad, con una clase de aptitud física de Moderadamente apta para la CGUT Agrícola.

Por otra parte, es válido recordar que en esta zona también se encuentran ubicadas las fuentes de abasto de agua destinadas para el servicio del centro urbano de San José; por tanto, tal decisión es poco sostenible desde el punto de vista ambiental, debido a la posibilidad de contaminación de sus aguas.

La justificación para la actual orientación del crecimiento del centro urbano es sostenida por los especialistas de planificación física por criterios relacionados con los aspectos constructivos (facilidad de transporte, relieve del terreno, etc.) por encima de otros igualmente importantes, que conlleven a un enfoque holístico del problema y con ello a la adecuada propuesta de ordenamiento territorial.

Por otra parte, los especialistas constantemente se refieren a la poca explotación a que son sometidas gran parte de estas tierras. Sin embargo, el hecho de que los suelos no son explotados como es debido, no justifica para nada que sean sometidos a la urbanización ya que esto los inutilizaría indefinidamente para otros usos. Lo que implica, no sólo un costo ambiental, sino un costo económico, debido a las pérdidas en que se pueden incurrir por no explotar las mismas con el uso para el cual es posible obtener mayores beneficios sin un riesgo inaceptable de daños a los recursos naturales.

### **3.4.3 Análisis de sensibilidad**

En la Figura 3.23 se muestra la distribución espacial de los pesos asignados por los expertos a cada UT para la alternativa agrícola, resultado de maximizar o minimizar un criterio con relación a los demás, así como el gráfico de sensibilidad realizado con el software Expert Choice para la UT 148 (marcada con borde negro), seleccionada para el uso agrícola en el ordenamiento territorial. En este sentido, se observa que al maximizar el criterio ambiental (Figura 3.23 a), el 84,14 % del área evaluada presentó pesos inferiores a 0.50, distribuidos en 15.39 % y 68.75 % para los rangos de 0.0 – 0.25 y de 0.26 – 0.50, respectivamente, mientras que solamente 15.86 % del total de los pesos se encuentran en los rangos superiores a 0.50.

En el caso específico de la UT 148 se observa que las alternativas que se favorecen son la Agrícola y Ganadera con relación a la Forestal. De igual modo, al maximizar el criterio económico con relación a los demás (Figura 3.23 b) el 65.13 % del área evaluada presentó valores de peso inferiores a 0.50 y sólo el 34.87 % se presenta con valores superiores a este umbral, siendo la CGUT Agrícola más favorable que el resto de las alternativas en la UT 148. Resultados semejantes se observan en la Figura 3.23 c, donde al maximizar el criterio aptitud física se favorecieron las alternativas Agrícola y Ganadera con relación a la Forestal en la UT 148. Esto se corrobora con los pesos obtenidos en las otras UT, donde el 57.23 % de los pesos son inferiores a 0.50, lo que se debe a que en la mayoría de los casos la aptitud física de las tierras para el uso agrícola no es Sumamente apta.

Al realizar el análisis de sensibilidad para la alternativa Ganadera se observó que al maximizar el criterio ambiental y minimizar el resto, la mayoría de las UT presentan un peso de preferencia elevado (por encima de 0.50) lo que representa el 89.37 % del total del área evaluada. El 10.63 % de las UT restantes presentaron un peso bajo. Ello se corresponde con el peso alcanzado en la UT 221 (marcada con borde negro) donde las alternativas Ganadera y Forestal poseen los pesos más elevados, quedando inferior la preferencia de la alternativa Agrícola (Figura 3.24 a).

Cuando se maximizó el criterio económico (Figura 3.24 b) se observó que la mayoría de las UT presentaron pesos de preferencias bajos, cuyos valores inferiores a 0.50 representan el 84.63 %, divididos en 59.13 % en el rango de 0.0 – 0.25 y 25.5 % en el de 0.26 – 0.50. El resto del área, entre la que se incluye la UT 221, contienen pesos de preferencia elevados.

Posteriormente, al maximizar el criterio aptitud física, se denotó que la mejor alternativa para la UT 221 fue la Ganadera, seguida por la alternativa Agrícola y la Forestal (Figura 3.24 c).

Del análisis de sensibilidad para la alternativa Forestal se obtuvo, al maximizar el criterio ambiental, que el 94.38 % del total del área evaluada alcanzó un peso superior a 0.50, considerado como alto, el resto del área presentó un peso inferior a este umbral, con un porcentaje de 12 y 5.62 % para los rangos de 0.0 – 0.25 y 0.26 - 0.50 respectivamente (Figura 3.25 a). Al prevalecer el criterio económico se encontró que el 66.54 % del área evaluada obtuvo un peso inferior a 0.25 y un 20.46 % en el rango de 0.25 a 0.50, siendo superior a 0.5 solamente el 13.0 % del total del área evaluada (Figura 3.25 b).