

**IX SIMPOSIO NACIONAL DE DESARROLLO URBANO Y PLANIFICACION
TERRITORIAL, Cuenca, Ecuador, octubre 2014.**

**ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE OpenRULES COMO HERRAMIENTA DE APOYO EN
LA PLANIFICACIÓN DE USOS DEL SUELO EN EL ECUADOR.
Aplicación en el Cantón La Troncal, Provincia del Cañar.**

INDICE

INTRODUCCIÓN	3
1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AYUDA A LA DECISIÓN ESPACIAL, OpenRULES	5
1.1. Módulo de evaluación de tierras	5
1.2. Módulo de optimización de superficies.....	5
1.3. Módulo de localización espacial de los usos del suelo.....	6
2. ANÁLISIS DE LOS PLANES CANTONALES ZONA 6 DEL ECUADOR	6
3. APLICACIÓN DE OpenRULES EN EL CANTÓN LA TRONCAL	9
4.COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR OPENRULES CON EL PLANEAMIENTO VIGENTE DEL CANTÓN LA TRONCAL, 2011.	13
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	19
6. BIBLIOGRAFÍA.....	21
LISTADO DE FIGURAS.	
Figura 1. Mapa de usos del suelo obtenido mediante el Simulated Annealing.	13
Figura 2. Mapa de asignación de usos del suelo del cantón La Troncal.....	14
Figura 3. Localización de Superficies de usos mayormente coincidentes entre OpenRULES y el PDOT del cantón La Troncal obtenido mediante la herramienta Crosstab de IDRISI.	17
Figura 4. Mapa de predicción de usos de suelo del cantón La Troncal para el año 2031 obtenido mediante el Simulated Annealing.	18
LISTADO DE TABLAS	
Tabla 1. Usos de suelo a localizar, según superficie, peso y grupo asignados.	11
Tabla 2. Matriz de confusión.	17

**ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE OpenRULES COMO HERRAMIENTA DE APOYO EN
LA PLANIFICACIÓN DE USOS DEL SUELO EN EL ECUADOR.
Aplicación en el Cantón La Troncal, Provincia del Cañar.**

Natalia Pacurucu Cáceres

Arquitecta, Máster en Gestión sostenible de la Tierra y el Territorio.

Universidad de Cuenca

0986442648, naelypc@hotmail.com

natalia.pacurucu@ucuenca.edu.ec

RESUMEN

Al coexistir una diversidad de ámbitos y culturas en cada uno de los territorios, la zonificación de usos de suelo adquiere una connotación de política pública, cuyo objetivo es gestionar el uso de la tierra, estableciendo especificaciones para determinados tipos de actividades, proceso que cada vez se ha vuelto complejo por diversos factores que intervienen en el desarrollo del territorio.

Para solventar los problemas que aparecen en dicho proceso se han formulado variedad de metodologías que guían la ordenación, unas caracterizadas por su tradición y otras que intentan aprovechar la tecnología ya sea para gestionar datos o como medio de automatización de los mismos. En este marco los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial, constituyen técnicas computarizadas destinadas a asistir a los usuarios para el análisis, planeación y manejo en la toma de decisiones, produciendo y evaluando soluciones alternativas para el problema a resolver.

A lo largo del tiempo varios países han generado propuestas alternativas objetivadas a solucionar los problemas relacionados tanto con la aptitud, asignación o localización de los usos del suelo y se han convertido como herramientas de apoyo en los diversos campos de la ordenación territorial como es la formulación de planes de ordenamiento territorial.

Uno de estos sistemas es OpenRULES creado en la comunidad autónoma de Galicia en España, que ha logrado agrupar las tres fases propuestas por la FAO para la planificación de usos del suelo, además de contar con un plus adicional de ser un sistema que trabaja con un interfaz de acceso gratuito para el usuario.

Es así como OpenRULES se plantea como una herramienta alternativa a ser usada en la planificación de usos de suelo a nivel cantonal en Ecuador, debido a que el país no cuenta con experiencias en cuanto a la utilización de los mismos y las metodologías usadas abarcan herramientas viejas y recicladas.

Este estudio se centra en el análisis y validación de la herramienta a través de la aplicación de la misma en el cantón La Troncal y la comparación con su Plan de Ordenamiento Territorial, que ha permitido determinar las ventajas y desventajas en el uso de la misma así como los aspectos a ser modificados para adaptar al herramienta al contexto ecuatoriano.

De esta manera se podrá contar con un SADE que apoye en la elaboración de los planes cantonales, puesto que el nivel cantonal tienen la competencia exclusiva de planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial, con el fin principal **de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural**; contando así con planes que proporcionen veracidad, participación pública, se utilice toda la información disponible y sobre que se construyan de manera ágil y con mayor facilidad.

INTRODUCCION.

Los procesos de planificación de usos de suelo cada vez se han vuelto más complejo, debido al incremento del conflicto de intereses, las necesidades de participación pública, el incremento de demanda para obtener cada vez una mejor información y justificación de decisiones y la reducción de tiempos para el diseño de los planes. Para dichos procesos se han creado un sinnúmero de herramientas, siendo una de estas la zonificación que ha adquirido una connotación de política pública, cuyo objetivo es gestionar el uso de la tierra, estableciendo especificaciones para determinados tipos de actividades (Benabent, 2006).

En cuanto a metodologías de zonificación, se han diseñado en gran variedad y difieren en cada país, dependiendo del tipo de ordenación que se proponga, así como del período y la experiencia en este proceso.

En este contexto, Ecuador se sitúa como un territorio joven en el que la ordenación territorial es un proceso de reciente aplicación, específicamente desde el año 2007 en el que se formula el primer Plan Nacional del Buen Vivir (Plan Nacional del Buen Vivir, 2007) y se afianza con las competencias establecidas en la Constitución 2008 y luego

con el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización – COOTAD; que ha sido utilizado a nivel cantonal en la formulación de los Planes de Ordenación cantonal y urbanística, que son competencia de los gobiernos municipales, como se estipula en el Art. 264 de la Constitución Política 2008.

Sin embargo, en la actualidad, la mayoría de los planes del país han sido construidos a través de metodologías tradicionales de ordenación territorial, en (especial en cuanto a la asignación de usos de suelo) y sólo se cuenta con el referente teórico elaborado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo –SENPLADES –(SENPLADES, 2011), que establece criterios de planificación en base a la zonificación y formulación de estrategias. Además de este documento, en el país no se han establecido otro tipo de metodologías en cuanto a la asignación de usos de suelo.

La situación expuesta determina la necesidad de contar e implementar sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE), existiendo varios modelos unos, para el análisis de la aptitud del suelo, como ALES (Rossiter, 1990), MicroLEIS (De la Rosa et al., 1992) o ArcviewLESA; otros dedicados al análisis de la superficie destinada a cada uso de suelo, como GOAL-QUASI (van Ittersum, 1995) y ADELASI (Siskos et al., 1994); y, otros como IDRISI, What-If (Klosterman, 1999), SIRTPLAN (FAO, 2000) y OpenRULES (Santé, 2005), que, además de incluir los análisis anteriores, proporcionan la ordenación o localización espacial de múltiples usos del suelo. De estos últimos, sólo SIRTPLAN y OpenRULES están disponibles gratuitamente.

A pesar de que SIRTPLAN también es un sistema que incorpora las tres etapas para el proceso de planificación, y que también es gratuito, no presenta una metodología estrictamente definida a diferencia de OpenRULES, en el que sus tres módulos están interconectados y los resultados de uno son input en otros, siendo completamente versátil, por lo que puede ser aplicado en diferentes territorios y ofrece un amplio espectro de herramientas para probar su eficacia; además, permite su adaptación y modificación a nuevas necesidades.

Las razones expuestas justifican la selección de la herramienta OpenRULES para estudiarla y determinar su adaptabilidad en Ecuador, siendo este el principal objetivo de este estudio, que consiste en la aplicación de OpenRULES en un cantón de la zona de planificación 6 del territorio Ecuatoriano y una comparativa entre la zonificación del plan y los resultados obtenidos mediante RULES con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Troncal, 2011; que han contribuido a valorar las ventajas y/o limitaciones de la herramienta en el proceso de zonificación. Además, los

resultados de la comparativa han servido de modelo-insumo para la innovación o generación de herramientas en el proceso de ordenación territorial, así como, para el diseño de ajustes y mejoras de la herramienta para su adaptación en el contexto ecuatoriano.

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AYUDA A LA DECISIÓN ESPACIAL, OpenRULES.

OpenRULES es un sistema de ayuda a la decisión espacial, concebido a partir de la problemática y limitantes en la formulación de planes de asignación de usos de suelo, planificación en donde se contempla a través de una valoración sistemática del potencial de la tierra, las alternativas de uso de suelo y las condiciones socioeconómicas, en función de los objetivos fundamentales de eficiencia, aceptabilidad y sostenibilidad (FAO, 1993). OpenRULES, integra tres fases para la definición de un plan de usos de suelo: a) Evaluación de tierras; b) Optimización de la superficie de los usos agroforestales; y, c) Asignación espacial de los usos. Estas fases engloban a la mayor parte de las 10 etapas que propone la FAO para el desarrollo de un plan de usos del suelo (FAO, 1993); en el sistema, los tres módulos están conectados funcionalmente y pueden ser ejecutados a través del árbol de algoritmos de Sextante, accesible mediante de la interfaz de gvSIG.

1.1. Módulo de evaluación de tierras.

Este módulo es la base para una planificación armónica de los usos de suelo de un territorio, identifica las potencialidades exclusivas del territorio y localiza las áreas con mayor aptitud para su mayor productividad, realiza el análisis de las características biofísicas como de la aptitud física, la viabilidad económica, las consecuencias sociales y el impacto ambiental. En este módulo se generan los principales mapas de aptitud, siendo estos el punto de partida para un plan de asignación de usos del suelo (Santé, 2005); y, además, incluye tres técnicas para su desarrollo: a) suma lineal ponderada, b) análisis del punto ideal y c) esquema FAO con puntuación de las limitaciones. Estos tres métodos pueden considerar criterios de evaluación socioeconómica y conseguir mapas de aptitud continuos.

1.2. Módulo de optimización de superficies.

El objetivo de esta etapa es explorar las variadas posibilidades de distribución de la superficie del territorio, considerando aspectos económicos, sociales y

medioambientales. La programación lineal multiobjetivo es la técnica que permite alcanzar este propósito, incluyendo los aspectos antes mencionados, en donde las variables de decisión corresponden a la superficie de cada uso de suelo (Santé, 2005). Los diferentes aspectos económicos, sociales y ambientales se expresan a través de seis funciones objetivo, tomándose en cuenta también posibles restricciones.

OpenRULES plantea algunas técnicas de programación lineal multiobjetivo, que se enmarcan dentro de tres grupos principales: a. Técnicas generadoras con asignación de preferencias a posteriori; b. Técnicas generadoras o con asignación de preferencias a priori: programación por metas; c. Técnicas con asignación interactiva de preferencias.

1.3. Módulo de localización espacial de los usos del suelo.

Para este módulo la información de partida a utilizar son los mapas de aptitud y la superficie óptima para cada uso del suelo. El objetivo de esta etapa es conseguir un mapa de uso del suelo final para el plan. En OpenRULES se han implementado dos métodos de asignación espacial desarrollados anteriormente: la optimización jerárquica, que es aplicable cuando se han establecido las prioridades de los usos y el análisis del punto ideal, en el cual se asignan los pesos numéricos de cada uso. Estos dos métodos basan la asignación de los usos del suelo exclusivamente en la aptitud de cada unidad de tierra para el uso al que es asignada.

Además como un aporte importante, en OpenRULES se ha desarrollado un algoritmo heurístico basado en el *simulated annealing* (Kirkpatrick et al. 1983), el cual trata de alcanzar una compatibilidad de las áreas que se asignan para cada uso de suelo, y de esta manera evitar la localización irregular de los usos en pequeñas zonas dispersas y desconectadas.

2. ANÁLISIS DE PLANES CANTONALES ZONA 6 DEL ECUADOR.

En Ecuador a partir de la constitución y el COOTAD, la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo –SENPLADES- ha elaborado un documento denominado “Guía de contenidos y procesos para la formulación de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de provincias, cantones y parroquias” (SENPLADES, 2011), que describe criterios y esquemas para la formulación de un PDOT, en esta guía se propone 5 estrategias para la utilización del territorio.

Con esta base se realizó el análisis de tres planes de ordenamiento de los cantones Cuenca, Cañar, Paute, así como del PDOT del cantón La troncal; constatando si en

estos se ha seguido los lineamientos antes descritos o qué tipo de criterios se tomaron para elaborar el plan, así como la metodología usada y las herramientas que apoyan el proceso en cuanto se refiera a la asignación de usos de suelo.

Los cantones fueron seleccionados tanto por la disponibilidad de información, su relativa cercanía, cuanto por las condiciones sociales y económicas que los vinculan, pues siendo el cantón Cuenca el centro urbano de mayor importancia de la zona, provoca un gran número de desplazamientos de la población de los cantones en estudio, principalmente para la provisión de bienes y servicios, además por ser el centro de trabajo de la población, constituyendo un polo de desarrollo económico, político, social y cultural de la región.

Los cantones de Cañar, Paute y La Troncal tienen un carácter más bien rural, siendo su principal actividad económica la agricultura, por lo que los usos de suelo están condicionados por ésta y por lo tanto su ordenación y asignación deberá ser más minuciosa ya que es importante mantener esta actividad pues es la principal fuente de trabajo y generadora de los mayores ingresos para sus poblaciones; por lo tanto se debe tener especial cuidado con la aptitud del suelo de sus territorios así como con el crecimiento urbano de los mismos.

Todos estos factores hacen interesantes a estos cuatro cantones para analizar los criterios que se emplearon en sus planes de ordenamiento para la zonificación y asignación de usos del suelo, permitiendo compararlos entre sí de dicho análisis se obtuvo las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas.

- Al realizar la asignación de usos de suelo a través de categorías de ordenación, permite considerar tanto los nuevos usos como los existentes como una categoría de ordenación, ya que éstas se definen de forma “voluntarista”, esto es, considerar las zonas ya ordenadas en las que ni interesa ni es posible cambiar su uso por lo que pasan al modelo como categorías predefinidas (Gómez Oréa, 2007), como por ejemplo los espacios naturales protegidos o las zonas de conservación.
- El uso de unidades ambientales es útil para avanzar en el trabajo de diagnóstico y por supuesto para la toma de decisiones para la ordenación, por lo que pueden ser consideradas como unidades operacionales, constituyendo una manera práctica de volver operativa la gran cantidad de información recopilada para la fase de diagnóstico.

- Además del uso planteado para cada categoría de ordenación, sobre estas se pueden planificar otros usos, actividades, criterios de tipo zonal, de accesibilidad, de oportunidad de intervención, de afecciones normativas, de facilidad de gestión, de propiedad, entre otros.
- La metodología usada permite definir las actividades a ordenar y las que pueden o no desarrollarse a posteriori en cada categoría de ordenación.

Desventajas.

- Tanto la determinación de la capacidad de acogida del territorio, como de las categorías de ordenación exigen un gran esfuerzo de creatividad por parte del planificador contando para ello con unas buenas fases de partida que faciliten y orienten el “lapsus creativo” para desarrollar dicha actividad (Gómez Oréa, 2007). Siendo así, al utilizar esta metodología, es complejo determinar si la experiencia de un planificador es la suficiente y necesaria para la toma de decisiones, por lo que no se puede controlar la subjetividad con la que se desarrollen estas actividades.
- El grado de homogeneidad que alcanzan tanto las unidades ambientales como las categorías de ordenación es relativo y depende del nivel de detalle o escala con la que se trabaja, por lo que si no dispone de una escala adecuada se puede obviar detalles y errar en la asignación de los usos de suelo.
- La metodología utilizada requiere un proceso relativamente largo y la definición de las unidades ambientales, la capacidad de acogida, las actividades a ordenar y las categorías de ordenación surgen a partir de amplias discusiones, análisis y revisión por parte de un equipo multidisciplinario, por lo que si no se cuenta con un personal suficiente mal puede desarrollarse el proceso.
- La metodología no precisa con exactitud la definición de la superficie para cada categoría de ordenación territorial y está sujeta a un análisis más complejo y subjetivo que depende del equipo planificador.
- La localización de los usos de suelo se justifican principalmente por la determinación de la capacidad de acogida del territorio, sin embargo ésta ha sido obtenida de una manera poco eficiente, puesto que al determinar las unidades ambientales solo se cruzan dos capas de información del territorio, obviando otros factores que influyen en dicha capacidad de acogida.

Identificados estos aspectos se puede decir que la fortaleza de las metodologías usadas es la capacidad de incorporar tantos criterios como se disponga o se crea conveniente sobre las categorías de ordenación territorial, pudiendo hacerlas a estas cada vez más complejas y acoplándolas a la realidad del territorio, sin embargo, su

punto débil recae sobre la falta de juicios al momento de definir dichos criterios y sobre los procesos que son llevados a cabo para obtener las llamadas categorías de ordenación que definen el uso del territorio, así como la falta de justificación de las áreas establecidas para las mismas.

3. APLICACIÓN DE OpenRULES EN EL CANTÓN LA TRONCAL.

Del módulo de evaluación de tierras se ha seleccionado el esquema FAO, debido a que es el más aplicado en Sudamérica (p. ej., Banda et al., 2001; Cantero et al., 1999), es uno de los más sencillos, es adaptable a cualquier territorio y además permite incorporar aspectos económicos y sociales, así como criterios de la población, en cuanto se refiere a la valoración de cada factor de evaluación con los que cuenta el territorio (Santé, 2005).

Para aplicar el esquema FAO es necesaria la definición de los tipos de utilización de la tierra, para el área de estudio se consideraron los usos de suelo establecidos en el PDOT cantonal, tanto los que se quieren reordenar como los nuevos que se desean planificar, estos son: Arroz, Banano, Bosque intervenido, Cacao, Caña de azúcar, Ganadería, Pasto cultivado, Núcleos de población (asentamientos mayores), Centro agroindustrial (nuevo uso). Además de estos, el cantón La Troncal cuenta con dos usos adicionales –ladrillera y concesiones mineras- los cuales no han sido considerados para la evaluación de tierras, debido a que la delimitación de estos usos ya está predefinida, como es el caso de las concesiones mineras, puesto que esta actividad sólo podrá desarrollarse en el área donde se encuentren los recursos naturales, permaneciendo su localización y superficie de la misma manera que la actual.

Una vez definidos los usos, se determinaron los factores de evaluación, es decir, las cualidades de la tierra que cada tipo de utilización exige para su manejo, adaptación o explotación sostenible y económicamente viable, utilizando los siguientes: uso actual del suelo, pendientes, distancia a carreteras, distancia a núcleos de población, distancia a ríos, clases de suelo (taxonomía), precipitaciones, temperatura, geomorfología, riesgos, distancia a equipamientos de salud, educación, servicio urbano y de administración. Para la elección de estos factores, se realizó una revisión detallada de la cartografía disponible.

Determinados los factores de evaluación y realizadas las respectivas operaciones para obtener sus capas ráster, se definió la puntuación de las limitaciones con cada uno de

los usos y sus respectivos factores, tomando en cuenta que no todos los usos consideran los mismos factores de evaluación, esto depende del uso considerado así como de la decisión del planificador.

Para los usos de suelo arroz, cacao, banano, caña de azúcar y pasto cultivado, se definieron las puntuaciones a partir de la investigación de las condiciones mínimas y suficientes que debe contar un área para receptor estos usos, obtenidas de guías para la plantación y producción de dichos cultivos (INIAP, 1987; Ecuacuímica, 2011; Torres, 2012; Subirós Ruíz, 1995).

El módulo de optimización de superficies no fue aplicado debido a que se tomaron las superficies de usos propuestas en el planeamiento vigente, para conseguir una mejor comparación de los resultados de OpenRULES y el plan actual. Además este módulo se enfoca principalmente en los usos de suelo rural y se debe cumplir con las seis funciones objetivo, lo cual depende de la información disponible del territorio, que para el caso ecuatoriano no ha sido posible considerar.

Del módulo de localización espacial se aplicó el algoritmo *simulated annealing* o “recocido simulado” que, por una parte facilita la asignación de crecimiento urbano y los usos rurales y, por otra, este algoritmo no sólo maximiza la aptitud de la tierra para los usos asignados como lo hacen las otras dos técnicas, sino que también maximiza la compactación de las zonas asignadas a cada uso. A cada uso se le asignó un peso y un grupo (en función de la relación entre usos) como se puede ver en la Tabla 1. Los usos arroz, banano, cacao y caña de azúcar tiene un mismo peso debido a que son los usos con mayores superficies a localizar en el área de estudio y de mayor importancia. Le siguen en importancia los asentamientos mayores con un peso de y las zonas de conservación activa. El uso pasto cultivo es el siguiente uso en importancia y finalmente están los usos ganadería y centro agroindustrial que se puntúan con 0.05 debido a que cuenta con las superficies más pequeñas a asignar. Para el esquema de enfriamiento (Temperatura inicial=1273, Movimientos por $T=20000000$, N° de temperaturas=200, Cte. de enfriamiento=0.98) y la función de optimización (Aptitud=0.05, Compactación=0.4, Compactación de grupo=0.1) se han aceptado los valores por defecto.

Tabla 1. Usos de suelo a localizar, según superficie, peso y grupo asignados.

USO	SUPERFICIE (ha)	PESO	GRUPO
ASENTAMIENTOS MAYORES	1483.97	0.125	1
ARROZ	2725.57	0.15	2
BANANO	7152.21	0.15	2
CACAO	3615.05	0.15	2
CAÑA DE AZUCAR	11816.21	0.15	2
GANADERIA	146.43	0.05	3
PASTO CULTIVADO	738.29	0.075	3
CENTRO AGROINDUSTRIAL	66.15	0.05	4
CONSERVACIÓN ACTIVA (BOSQUE INTERVENIDO)	1747.05	0.1	5

Fuente: *Elaboración Propia.*

Además de esta primera aplicación se realizó una segunda, considerando superficies para cada uso de suelo estimadas a partir de la predicción de crecimiento del cantón La Troncal, puesto que el planeamiento vigente no considera la evolución de los usos del suelo y el plan esta objetivado a la consolidación de los mismos; sin embargo, de acuerdo a los datos de vivienda del INEC del año 2001 y 2010, se pudo constatar que hubo un crecimiento del 37,74% de viviendas, tanto urbanas como rurales; y si se considera que el año horizonte del PDOT es el año 2031 (20 años a partir de su elaboración), es evidente que habrá un crecimiento en el cantón.

A partir de estos datos se calculó la probabilidad de crecimiento del área para asentamientos humanos y por lo tanto la disminución de superficie para los usos que estarían afectados por dicho crecimiento. Según estos datos, la superficie del uso “asentamientos mayores” aumentará en un total de 1244.61 ha en 2031. Se ha estimado que esta expansión se producirá a expensas de los usos adyacentes a este uso, en concreto el uso “caña de azúcar” en un 80% ya que es el uso que está más próximo al uso anterior y por lo tanto el mayor crecimiento sería hacia esta zona, del uso “banano” en un 10%, y para el uso “arroz” y “cacao” un 5%.

La aplicación del esquema FAO, proporcionó 9 mapas de aptitud de la tierra. Las zonas con mayor aptitud para el arroz se encuentran mayoritariamente en la zona centro oeste del territorio, observándose también que gran parte de la superficie es apta para este uso a excepción de las zonas en donde se encuentran asentamientos humanos, la zona de conservación y otras partes relativamente pequeñas. En el caso del banano, las zonas más aptas se encuentran a lo largo de todo el territorio y como el caso anterior se excepcionan las zonas de los asentamientos mayores. Las tierras que presentan mayor potencial para el uso bosque, que posteriormente se considera

como zonas de conservación, se encuentran en gran medida dispersas hacia la parte noroeste y una parte mayor concentrada en la parte oriental del cantón. En cuanto al uso de suelo cacao, se puede observar que gran parte del territorio podría receptor este uso y con mayor aptitud la parte sureste del área de estudio. Las zonas más aptas para el cultivo de caña de azúcar se encuentran en la zona este, pero así mismo la mayor parte del territorio presenta una aptitud media alta para acoger este tipo de cultivo.

Para el caso de la ganadería se hallan dos zonas principales con mayor aptitud, una en la parte sureste del cantón y la otra en la sur oeste, sin embargo hacia la parte norte también se encuentra una gran superficie con una aptitud media y ya en menor medida en el resto del territorio. Hacia la parte centro este de La Troncal, se encuentran las zonas con mayor aptitud para el pasto cultivado y se observa que en el resto del cantón también presenta una aptitud media excepcionando las zonas urbanas y de conservación.

La mayor aptitud para los asentamientos poblacionales, como era de esperar, se localiza donde actualmente se desarrolla este uso y, con menor medida, en las posibles zonas de expansión de estos asentamientos.

Para el nuevo uso “centro agroindustrial” se observa que las zonas más aptas recaen sobre la parte en donde se encuentran los asentamientos mayores, sus posibles zonas de expansión y en menor extensión hacia las proximidades de las vías de comunicación.

Como resultado de aplicar el tercer módulo se obtuvo el mapa de localización espacial de los usos de suelo (Ver Figura 1), el cual se zonifica de la siguiente manera:

El cultivo de arroz se localiza en la zona suroeste del cantón mayoritariamente. El banano se encuentra concentrado en mayor medida hacia la parte noreste del territorio y también se encuentran dos zonas importantes en la parte sur. El área para la conservación activa se encuentra bien definida al extremo sureste del cantón, en donde se encuentran las pendientes más pronunciadas. En el caso del cacao, se ha localizado en la parte sur, en donde se encuentra mayormente concentrado y en mínima superficie hacia el centro del área de estudio.

En cuanto al nuevo uso propuesto “centro agroindustrial”, se localiza principalmente en el centro del cantón, cerca de la cabecera cantonal de La Troncal. La caña de azúcar es el cultivo con mayor superficie y se encuentra concentrado en mayor parte en tres zonas bastante identificables hacia el este y sureste del cantón. El pasto cultivado se

halla en la parte norte y el centro del territorio, el uso ganadería también se encuentra cerca del uso anterior pero se encuentra mucho más disperso.

Finalmente el área para los asentamientos mayores recae sobre el área ya existente, pudiéndose identificar con claridad el asentamiento de mayor jerarquía que es la cabecera cantonal y tres asentamientos de menor superficie.

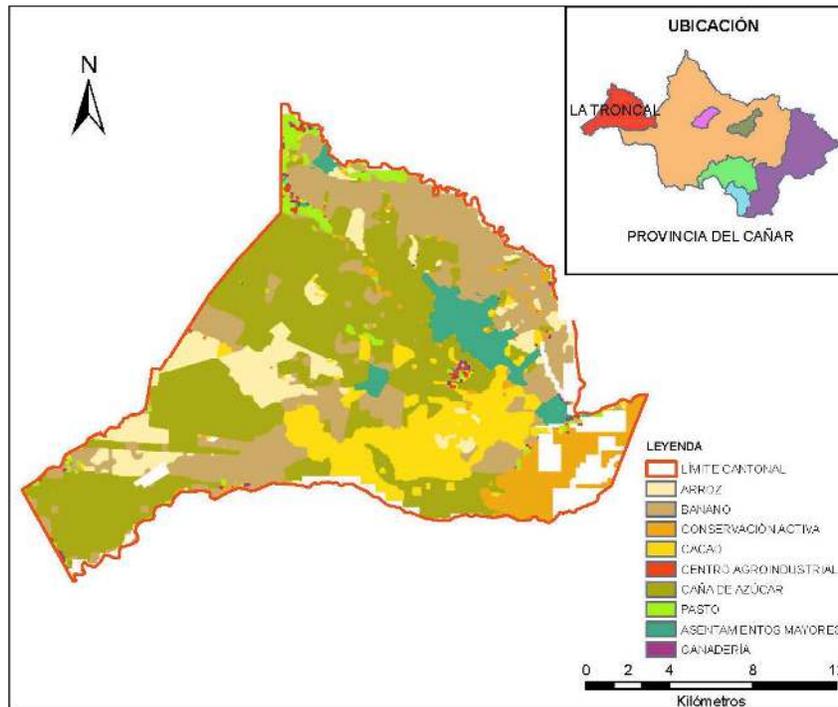


Figura 1. Mapa de localización de usos del suelo obtenido mediante el *Simulated Annealing*.

4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR OpenRULES CON EL PLANEAMIENTO VIGENTE DEL CANTÓN LA TRONCAL.

De acuerdo al análisis del PDOT del cantón La Troncal se observó que la asignación de usos de suelo se realizó a través de 7 categorías de ordenación territorial.

La categoría de Conservación Activa que enmarca al uso actual bosque intervenido; la categoría Agricultura que abarca los usos de suelo arroz, banano, caña de azúcar y cacao principalmente; la de Ganadería que considera los usos de ganadería y pasto cultivado; la categoría Explotación de arcilla que enmarca al uso ladrilleras; las categorías Explotaciones mineras tanto activas como en exploración.

La categoría Centro Agroindustrial que es el único nuevo uso de suelo propuesto en el plan y finalmente la categoría Asentamientos Mayores.

Las áreas propuestas para estas categorías de ordenación son las mismas que tienen los usos actuales que se encuentran dentro de cada una de éstas, puesto que el plan no considera la expansión de los usos urbanos o la evolución de otros usos del suelo y su propósito es más bien su consolidación.

Este mapa final de asignación de usos de suelo (Ver Figura 2) del PDOT se comparó de forma visual con el mapa de localización de usos obtenido con OpenRULES, para posteriormente proceder a una comparación más cuantitativa con una matriz de confusión de los dos mapas.

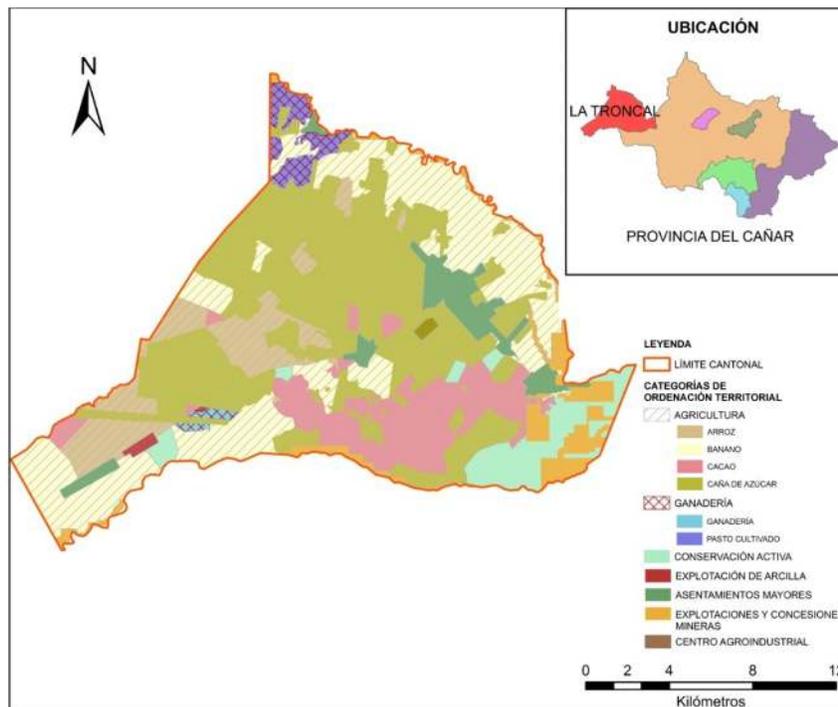


Figura 2. Mapa de asignación de usos del suelo del cantón La Troncal.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del PDOT de La Troncal (2011).

En una segunda aplicación del módulo de localización espacial se utilizaron las superficies de usos del suelo resultantes de extrapolar al año 2031 la evolución del número de viviendas en los últimos 10 años. El algoritmo proporcionó para estas superficies el mapa “óptimo” de localización de los usos de suelo para el año horizonte del planeamiento. De esta manera, se ha considerado en la zonificación de los usos del suelo la probable evolución de los mismos en el área de estudio a través del tiempo, lo cual resulta interesante en una zona en la que se registran cambios de usos del suelo muy activos. Este análisis permite considerar parámetros que condicionarán la ordenación y que en el planeamiento vigente no han sido tomados en cuenta.

Comparando el primer mapa obtenido (Figura 1.) con el de asignación de usos del PDOT del cantón La Troncal (Figura 2.), se observa que en general la localización de los usos determinada por RULES es coincidente con la del planeamiento, sobre todo para los usos arroz, banano y cacao, a pesar de ello se hallan pequeñas porciones de estos usos en nuevas zonas en donde el sistema ha localizado una mejor aptitud.

La localización del uso “conservación activa” que designa RULES es bastante similar a la del plan del cantón, sobre todo en la parte sureste, en donde se encuentra la mayor superficie de este uso, no obstante, se puede apreciar que hacia la parte central se encuentran diseminadas mínimamente parte de este tipo de suelo.

El cultivo de la caña de azúcar se presenta en gran mayoría en la parte central del cantón al igual que en la propuesta del PDOT, sin embargo presenta un cambio importante en su localización en la zona suroeste del territorio, ya que en el planeamiento vigente casi toda esta área se encuentra designada para el uso “banano”. Es decir, que la herramienta ha considerado este espacio como más apto para el cultivo de caña de azúcar, pudiendo coexistir estos dos usos o en futuro pensar en un posible cambio de uso.

El uso “pasto cultivado” es el que ha sufrido un cambio más importante en su localización, puesto que OpenRULES asigna este uso de una forma sumamente dispersa, coincidiendo mínimamente con el mapa de asignación de usos de suelo del planeamiento vigente. En el caso del uso ganadería la localización obtenida mediante la herramienta no coincide con la asignación del plan del cantón y se observa que este uso se encuentra totalmente disperso sobre todo por la parte norte y hacia el centro del territorio.

En cuanto al uso “asentamientos mayores” es bastante coincidente en la localización en ambos mapas, pero no tanto en superficie, puesto que el obtenido por RULES da la impresión que se suprimió el asentamiento Cabecera Parroquial de Pancho Negro situado al sur oeste y que este ha sido ocupado por el cultivo caña de azúcar, sin embargo se puede observar claramente que esta superficie se encuentra contigua a la cabecera cantonal, es decir, que esta nueva localización puede ser aprovechada para una futura expansión de la ciudad.

En el caso del centro agroindustrial, OpenRULES lo ha localizado en la parte central cerca de la cabecera cantonal de La Troncal, muy cercano a la localización de la propuesta del PDOT. No toda la superficie se encuentra en este mismo sitio, pues el

resto de esta aparece hacia la zona noreste del territorio, por lo tanto RULES ha localizado otras zonas aptas para este nuevo uso, lo cual no ha sido considerado en el planeamiento vigente.

Para aseverar las afirmaciones anteriores se realizó una matriz de confusión (Ver Tabla 2) que permite un análisis más cuantitativo de la localización de los usos considerados para el estudio.

En la matriz se observa el número de celdas y el porcentaje que cada uso del mapa de OpenRULES (columnas) coincidente con el uso del mapa del plan del cantón La Troncal (filas), los resultado marcados en azul muestran los usos que coinciden en su localización en mayor cantidad, como el arroz con un 80,6%, el cacao con un 80.9%. En porcentajes similares se encuentran los usos banano y conservación activa (bosque intervenido), con el 73,5 y 76,4% respectivamente. La caña de azúcar cuenta con un 79.8% de pixeles coincidentes con la zonificación del plan y se observa un importante 14,5% que ha sido localizada sobre el uso banano.

El uso “asentamientos mayores” es el que mayormente coincidente en su localización en las dos propuestas con un 85,9% de pixeles, anteriormente se dijo que el resto de la superficie se encuentra contigua a la coincidente situándose sobre los usos del planeamiento como caña de azúcar (8,6%), banano (2,4%) y pasto (3,0%).

Así mismo se confirma que el uso ganadería del mapa obtenido por RULES no es concurrente con el del plan, como se muestra en amarillo en la matriz. En el caso del pasto cultivado, la herramienta OpenRULES ha situado mayoritariamente esta superficie sobre el uso caña de azúcar propuesto en el PDOT, sin embargo se puede observar que el 32,7% del total de celdas sí se solapan con las del mapa del planeamiento.

Finalmente, para el centro agroindustrial, no existen celdas coincidentes en los mapas, la mayor parte de estas RULES las ha localizado sobre el uso de suelo pasto cultivado (45,3%) y en el uso cacao (33,1%), siendo estas zonas posibles alternativas para receptor este nuevo uso en el cantón La Troncal. Las zonas que no han sido coincidentes OpenRULES las ha identificado como zonas en las que el uso que se está desarrollando en las mismas no es el óptimo, puesto que presentan mayores aptitudes para los usos que el sistema ha localizado en el territorio (Ver Figura 3).

Tabla 2. Matriz de confusión.

USO	USOS Open RULES									Total
	ARROZ	BANANO	CON. ACTIVA	CACAO	CANA DE AZUCAR	GANADERIA	PASTO CULTIVADO	ASENT. MAYORES	C. AGRO-INDUSTRIAL	
ARROZ	24403 (80.6)	1601 (2.0)	64 (0.3)	403 (1.0)	3789 (2.9)	69 (4.2)	51 (0.6)	0 (0)	11 (1.5)	30391
BANANO	1484 (4.9)	58415 (73.5)	1319 (6.8)	48 (0.1)	15175 (11.6)	546 (33.6)	1939 (23.6)	389 (2.4)	84 (11.4)	79399
CON. ACTIVA	207 (0.7)	1244 (1.6)	14827 (76.4)	1074 (2.7)	1984 (1.5)	53 (3.3)	80 (1.0)	12 (0.1)	0 (0)	19481
CACAO	681 (2.2)	2315 (2.9)	986 (5.1)	32488 (80.9)	3207 (2.4)	94 (5.8)	375 (4.6)	2 (0.01)	4 (0.5)	40152
CANA DE AZUCAR	2989 (9.9)	10580 (13.3)	2138 (11.0)	5838 (14.5)	104714 (79.8)	392 (24.1)	2846 (34.7)	1425 (8.6)	243 (33.1)	131165
GANADERIA	66 (0.2)	1529 (1.9)	25 (0.1)	0 (0)	4 (0.003)	0 (0)	4 (0.05)	0 (0)	0 (0)	1628
PASTO CULTIVADO	448 (1.5)	3611 (4.5)	53 (0.3)	207 (0.5)	33 (0.03)	358 (22.0)	2686 (32.7)	490 (3.0)	333 (45.3)	8219
ASENT. MAYORES	6 (0)	174 (0.2)	0 (0)	3 (0.01)	1744 (1.3)	115 (7.1)	222 (2.7)	14171 (85.9)	60 (8.2)	16495
C. AGRO INDUSTRIAL	0 (0)	0 (0)	0 (0)	106 (0.3)	641 (0.5)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	747
Total	30284	79469	19412	40167	131291	1627	8203	16489	735	327677

() PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CELDAS DE LA LOCALIZACION DE Open RULES COINCIDENTES CON LOS USOS ASIGNADOS EN EL PDOT DE LA TRONCAL

Fuente: *Elaboración propia.*

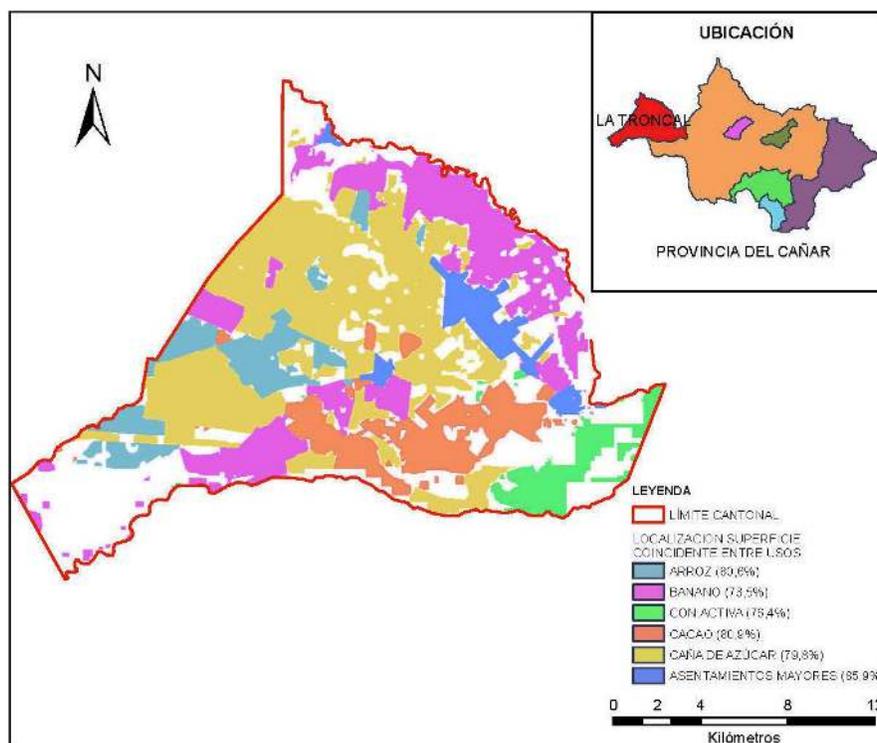


Figura 3. Localización de Superficies de usos mayormente coincidentes entre OpenRULES y el PDOT del cantón La Troncal obtenido mediante la herramienta Crosstab de IDRISI.

Con la segunda aplicación de RULES para la asignación de usos del suelo, se puede observar la futura expansión de los asentamientos mayores, los cuatro asentamientos existentes presentan un crecimiento considerable hacia sus áreas de influencia inmediata (Ver Figura 4). En el caso anterior se vio que sobre el asentamiento Cabecera Parroquial de Pancho Negro situado hacia la zona suroeste RULES localizó como uso la caña de azúcar y en este mapa la herramienta recién prevé esta zona para la futura expansión. Con esto se puede decir que esta zona tiene una mayor aptitud para el cultivo de caña de azúcar pero que también puede receptor asentamientos humanos que ya actualmente están establecidos. También se halla una nueva localización para asentamientos humanos hacia el norte del cantón y una pequeña zona en el centro del territorio.

El resto de usos en su mayoría coinciden con la propuesta del planeamiento y por lo tanto con el primer mapa obtenido con OpenRULES. El cuanto al uso centro agroindustrial se muestra una localización muy dispersa al igual que en el caso anterior y mayormente cerca de las áreas de expansión de los asentamientos humanos.

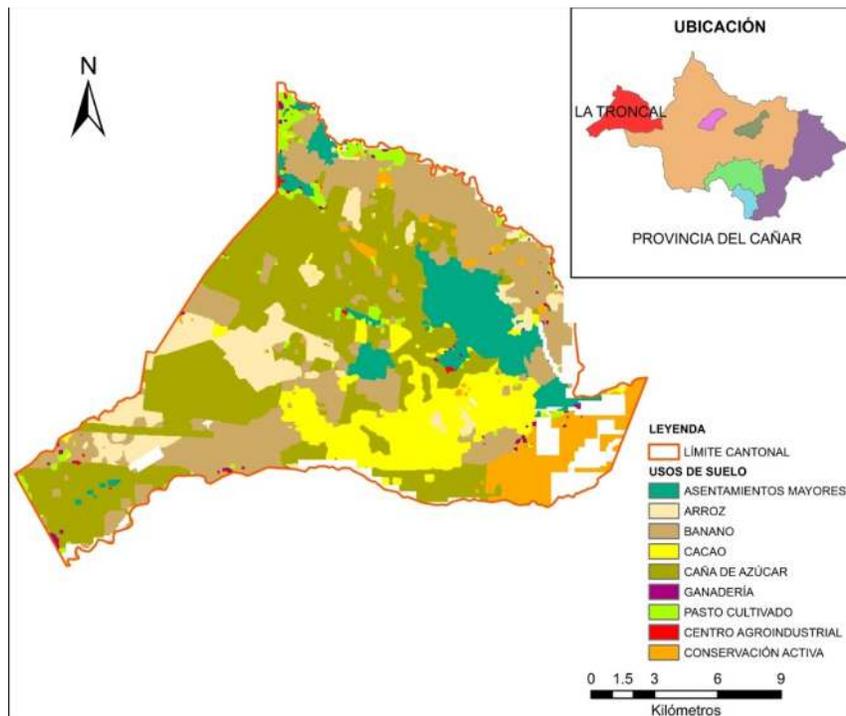


Figura 4. Mapa de evolución de usos de suelo del cantón La Troncal para el año 2031 obtenido mediante el Simulated Annealing.

Por último, cabe decir que estas situaciones podrían haber sido consideradas para la asignación de usos del suelo en el planeamiento vigente ya que permite prever cómo

seguirán desarrollándose los usos y si es necesario proponer nuevos usos o a su vez consolidar o potenciar los actuales.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

El análisis de los cuatro planes de ordenamiento de los cantones, demuestra que la metodología empleada para la asignación de usos de suelo no es precisa y está sujeta a un alto grado de subjetividad por parte de los planificadores, lo que la hace menos eficiente al momento de planificar el uso del territorio. Además, no utiliza la gran cantidad de información que se obtiene en la fase de diagnóstico del plan, puesto que para la construcción de las categorías de ordenación en la mayor parte de los casos sólo se utiliza dos capas base de información, olvidando el resto de factores que condicionan el uso del territorio, obviando así la aptitud del mismo a pesar de que se determina la capacidad de acogida para este.

Estas falencias hacen que el proceso utilizado no sea tan eficaz ni tan confiable para una actividad que marca el desarrollo de un territorio, por lo que debería apoyarse con algún tipo de herramienta que no solo agilite el proceso sino que garantice veracidad. De cara a esto, la aplicación de OpenRULES ha permitido constatar que esta herramienta es una buena opción para apoyar el planeamiento de usos de suelo y es aplicable en Ecuador por las siguientes razones:

De la comparativa tanto visual como de la matriz de confusión, se constata que el sistema proporciona una solución coherente, que refleja la realidad del territorio, puesto a la gran coincidencia de la localización de usos de suelo con la del planeamiento vigente, siendo significativo que la distribución de OpenRULES coincida con las zonas más aptas que albergan los usos actuales, lo cual permite llegar a una definición más específica de los usos de suelo.

La herramienta no sólo ha permitido la asignación de los usos, además ha determinado otras posibles localizaciones tanto para usos actuales como para otros nuevos que pueden ser propuestos en los planes de ordenamiento. De este modo se pueden considerar diversas actividades que se pueden emplazar en el territorio y en qué lugares son más aptas para desarrollarse, así como considerar el crecimiento urbano y en donde se podrían emplazar nuevos asentamientos, como se observó en el mapa de predicción, lo que con la metodología usada hasta ahora no se precisaría con exactitud, como se vio en el plan del cantón La Troncal que sólo contempló lo existente, pretendiendo que a futuro se realice de la misma manera pero sin criterios establecidos, solo basándose en una realidad conocida pero no en lo que realmente el

territorio está dispuesto a soportar. De esta manera tampoco se contempla si las categorías de ordenación albergan usos para los que el territorio presenta una baja aptitud, situación que el sistema ha sido capaz de identificar, puesto que ha detectado zonas en las que el uso que se está haciendo de las mismas no es el óptimo.

OpenRULES considera al mismo tiempo un gran número de factores que permiten definir de mejor manera la aptitud de la tierra al aplicar el módulo de evaluación y por lo tanto definir los usos de suelo en base a lo que el territorio puede soportar, ayudando a simplificar el análisis.

De acuerdo a esto se pueden realizar tantas aplicaciones como sean necesarias generando rápidamente varios mapas-alternativas que podrán ser evaluadas por el equipo planificador y escoger la más favorable para el territorio, e incluso permite la participación pública en este proceso incluyendo las necesidades de la población.

El sistema no sólo permite la planificación de usos detallados sino que también se pueden usar categorías de ordenación, por lo tanto se puede continuar usando la metodología usada hasta ahora en Ecuador pero mejorando la misma con OpenRULES. Además, los módulos de este sistema no son separados sino que comparten información, las de salidas de unos son utilizadas como input en los otros, por lo que se convierte en un sistema flexible e interactivo, que puede ser aplicado en contextos de planificación diferentes. Es también una herramienta transparente, ya que el usuario puede ver cómo se manipula la información.

Una de las razones más significante para usar OpenRULES, es el estar basada en una metodología cuantitativa que ayuda a reducir la subjetividad en la toma de decisiones, permite que los planes sean adaptables a la realidad y con la ventaja de usar menos tiempo, esfuerzo y recursos; sin embargo, no se conseguirá una propuesta perfecta y todo dependerá de cómo el planificador haga uso del sistema, puesto que no se puede reemplazar el criterio humano y mecanizar los procesos.

Con la aplicación de la herramienta se ha podido identificar un posible inconveniente en el sistema que da paso a las recomendaciones para su implementación en el país.

El conflicto se encuentra en el módulo de optimización de superficies debido a que conlleva un proceso algo complejo para la determinación de las mismas, requiriendo datos muy precisos y detallados de los coeficientes técnicos necesarios para su aplicación. Por lo que se recomienda mejorar este módulo, o a su vez implementar otro tipo de algoritmo para cuantificar áreas, pero que siga considerando los tres

escenarios que propone, así se podrá seguir contando con un planeamiento para el ámbito social, económico y ambiental. En resumen, el sistema OpenRULES puede ser ajustado para la planificación de usos de suelo a nivel cantonal de Ecuador con miras a fortalecer la ordenación territorial del mismo.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Asamblea Constituyente del Ecuador (2008). *Constitución Nacional del Ecuador*, Quito.
- BANDA, C., García, M., & Muñoz, J. (2001). *Caracterización del área de interés silvoagropecuario para ser incorporada al plan regulador intercomunal caso: comuna de Quillota, Chile*. Documento de campo No 5. Santiago de Chile: FAO.
- BARREDO, J. I. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio*. Madrid: Ed. Rama.
- BENABENT, M. (2006). *La Ordenación del Territorio en España. Evolución del concepto y de su práctica en el siglo XX*. Colección Kora. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Sevilla.
- CANTERO, A., Gil, G., Becerra, V. H., Cisneros, J. M., & Bricchi, E. M. (1999). Un índice de aptitud relativa de las tierras con fines catastrales. Aplicación al Departamento Río Cuarto (Córdoba, Argentina). *Investigación agraria. Producción y protección vegetales*, 14(1), 259-272. Disponible en: http://www.inia.es/gcontrec/pub/22.G.CANTERO_1048157175875.pdf
- CONSULCENTRO C+C (2011). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón La Troncal, Cuenca.
- DE LA ROSA, D., Moreno, J. A., García, L. V. y Almorza, J. (1992). MicroLEIS: A microcomputer-based Mediterranean land evaluation information system. *Soil Use and Management*, 8, 89-96.
- Ecuaquímica (2011). Arroz del Ecuador. Guayaquil. Disponible en: http://www.ecuaquimica.com/info_tecnica_arroz.pdf
- FAO. (1976). *Esquema para la Evaluación de Tierras*. Roma: FAO.
- FAO. (1993). *Guidelines for Land-Use Planning. FAO Development Series*. Roma: FAO.
- GAD Intercultural del Cantón Cañar (2013). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cañar. Cañar.

- GAD Municipal de Paute (2012). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Paute. Paute.
- GÓMEZ ORÉA, D. (2007). *Ordenación Territorial* (2ª ed.) Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Ilustre Municipalidad de Cuenca, Universidad del Azuay (2011). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca. Cuenca.
- INEC (2013a). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo de población y vivienda 2001. En línea. Consultado 28 de mayo de 2014. <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2001&MAIN=WebServerMain.inl>
- Instituto Nacional de Investigaciones agropecuarias (1987). *Manual Agrícola de los principales cultivos del Ecuador*. Quito: INIAP. Disponible en: http://books.google.com.ec/books?id=m5kzAQAAMAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- KLOSTERMAN, R. E. (1999). The WhatIf? Collaborative Planning Support System. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26, 393-408.
- Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados (2011). *Código orgánico de Organización Territorial, Autonomía y descentralización*. COOTAD. Quito.
- ROSSITER, D.G. (1990). ALES: A framework for land evaluation using a microcomputer. *Soil Use and Management*, 6 (1), 1990, 7-20.
- SANTÉ RIVEIRA, Inés. (2005) *Diseño de una metodología y un sistema de ayuda a la decisión espacial para la planificación de los usos del suelo rural. Aplicación a la comarca de Terra Chá*. Universidad de Santiago de Compostela, Escuela politécnica superior, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Lugo.
- SANTÉ-RIVEIRA, Inés; Crecente Maseda, Rafael; Miranda Barrós, David. (2008) GIS-based planning support system for rural land-use allocation. Land Laboratory, Department of Agricultural and Forestry Engineering, University of Santiago de Compostela, Spain.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2007). *Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir*, Quito.

- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2010). *Agenda Zonal 6 para el Buen Vivir, Propuestas de desarrollo y lineamientos para el Ordenamiento territorial*. Quito.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Subsecretaría de Planificación Nacional, Territorial y Políticas Públicas (2011). *Guía de contenidos y procesos para la formulación de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de provincias, cantones y parroquias*. Quito.
- SUBIRÓS RUÍZ, F. (2000). *El cultivo de la caña de azúcar* (reimp. De la 1 ed.). San José, C.R: EUNED. Disponible en: http://books.google.com.ec/books?id=2wpC1j2AmkAC&pg=PA177&lpg=PA177&dq=manual+de+cultivo+de+la+ca%C3%B1a+de+azucar+ecuador&source=bl&ots=B-kQENiozP&sig=Ml1uqrp-1gp0xzXvi71YK_tuw-E&hl=es&sa=X&ei=ly51U9L7O8To7AbT3oHABw&ved=0CHwQ6AEwCQ#v=onepage&q=manual%20de%20cultivo%20de%20la%20ca%C3%B1a%20de%20azucar%20ecuador&f=false
- TORRES GUTIÉRREZ, L. (2012). *Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico*. Tesis de grado sin publicación, Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3250/1/TESIS.pdf>
- VAN ITTERSUM, M. K. (1995). *Description and User Guide of GOAL-QUASI: an IMGLP Model for the Exploration of Future Land Use*. Wageningen: DLO-Research Institute for Agrobiolgy and Soil Fertilization.