

ARTÍCULO ORIGINAL

Contribución metodológica para la creación de zonas agrológicas como parte de un sistema de desarrollo agrícola para caña de azúcar

Methodological contribution for the establishment of agrological zones as part as sugar cane development for agricultural system

Javier Arcia¹, Elier Pérez², Aleida Leiva³ y Teresa López⁴

RESUMEN. Se establecen los principios metodológicos para la creación de zonas agrológicas como parte de un sistema de desarrollo agrícola para la caña de azúcar, se presenta ejemplo de caso con la aplicación de los conceptos metodológicos.

Palabras clave: suelo, factor edáfico, tecnología agrícola.

ABSTRACT. The methodological principles to create agrological zones as part as sugar cane development for agricultural system are setting up. This study presents an example of an implementation case for the methodological concepts.

Keywords: soil, edafic factor, agricultural technology.

INTRODUCCIÓN

Durante miles de años, las sociedades humanas han adaptado el medio ambiente en el que viven para poder sobrevivir, desarrollando ingeniosos sistemas agrícolas para garantizar su seguridad alimentaria, sus medios de vida y superar condiciones climáticas extremas, el aislamiento geográfico o la escasez de recursos naturales (FAO 2006).

Odúm *et al.*, (2001), definen los sistemas agrícolas, como conjuntos de explotaciones agrícolas individuales con recursos básicos, pautas empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general similares, a los cuales corresponderían estrategias de desarrollo e intervenciones parecidas, según su alcance pueden agruparse por rubros. Otros autores presentan otras definiciones (Power 1997; Kenn 1980; Moore y Chang 1980).

Según FAO (1983, 1985, 1991 y 1996), las zonas agroecológicas se definen como aquellas que tienen combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial biofísico para la producción agrícola, éstas también se consideran como unidades de tierra que se conforman para poder asignar un manejo diferenciado a un área determinada. Este proceso de asignación puntual de estos parámetros y la forma en que a su vez constituyen estas demarcaciones, se basa en un grupo de factores que han sido elegidos debido a su participación en los criterios de decisión. El objetivo del presente artículo es precisar los elementos metodológicos para la formación de zonas agrológicas y un ejemplo de caso, como parte del esquema de desarrollo de sistema agrícola para el cultivo de la caña de azúcar establecido por Arcia *et al.*, 2010.

Recibido 17/09/10, aprobado 10/12/11, trabajo 09/12, artículo original.

¹ Ing., Inv. Titular, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera CUJAE km 2½, Boyeros, La Habana, Cuba, E-✉: javier@inica.minaz.cu

² Ing., Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera CUJAE km 2½, Boyeros, La Habana, Cuba.

³ M.Sc., Inv., Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Carretera de Fontanar km 2½, Reparto Abel Santamaría, Wajay, La Habana.

⁴ Dr. C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar km 2½, Reparto Abel Santamaría, Wajay, La Habana.

MÉTODOS

La filosofía y estructura en la que Arcia *et al.*, 2010, fundamentan el sistema de desarrollo agrícola y que toma el cultivo de la caña de azúcar como rubro fundamental, se sustenta en un modelo de agricultura multifuncional. En su concepción, los criterios metodológicos que se plantean, se proyectan de lo general a lo particular, aumentando la precisión progresivamente, hasta alcanzar el nivel de explotación por sitio específico, al que se llega por etapas que pueden ser más o menos largas y complicadas en dependencia de la complejidad de la zona de estudio, fundamentalmente en lo relacionado con el suelo y de manera específica con factores limitantes de la producción.

Los criterios sobre los que se fundamenta la creación de zonas agrológicas, dentro del desarrollo del sistema agrícola para el cultivo de la caña de azúcar (Figura 1), parte de que el suelo (sus propiedades), determina el uso de fertilizantes, enmiendas, técnicas de preparación de suelo, cultivo, actividades de drenaje, normas de riego, etc.

Para la formación de las zonas agrológicas, se toma como fuente de información la base de conocimientos existentes durante el desarrollo del estudio de las propiedades del suelo, a partir de perfiles y puntos de observación tomados en esa etapa de desarrollo del sistema agrícola. En todos los casos esa información está debidamente georreferenciada y su densidad corresponde a la posible representación de un mapa escala 1:50000.

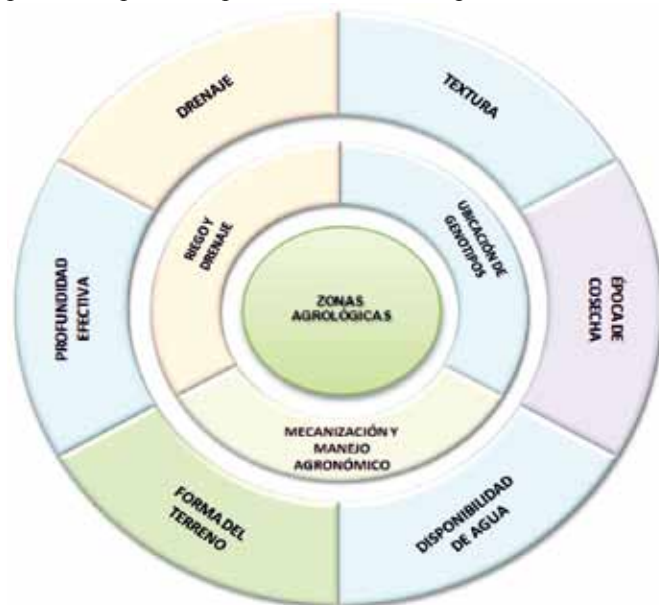


FIGURA 1. Esquema conceptual para definir zonas agrológicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La creación de las zonas agrológicas, según Arcia *et al.*, 2010, se ubica en la ETAPA III del desarrollo del sistema (Figura 2) y corresponden a unidades de tierra que se conforman para poder asignar un manejo determinado a un área determinada. El proceso de asignación puntual de las características del suelo y la forma en que a su vez se constituyen estas demarcaciones, se basa en un grupo de factores que han sido elegidos debido a su participación en los criterios de decisión.

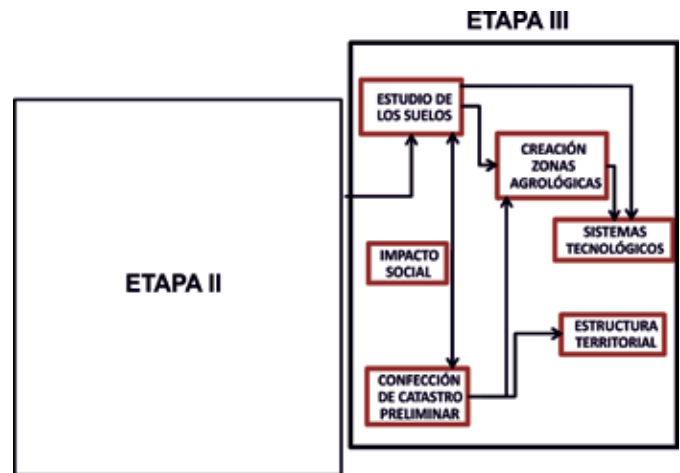


FIGURA 2. Aspectos más relevantes de la ETAPA III del desarrollo del sistema agroindustrial.

Las tareas correspondientes a esta fase de trabajo, se ejecutan en dos momentos; en la fase de inversión (cuando se conforman las zonas agrológicas para determinar las tecnologías y calcular la maquinaria e insumos que servirán de base en la elaboración de las fichas técnicas) y en la fase de ejecución, cuando se fijan las tecnologías y se realizan las recomendaciones por sitio específico para su explotación.

Como resultado del estudio de las características del suelo, se debe llegar a conocer los factores que pueden determinar el manejo diferenciado de las áreas. Un ejemplo de caso se muestra, al interpretar el análisis de la variabilidad observada de la información resultante del estudio de suelo (Figura 3) a partir de un análisis de correspondencia simple. En el mismo se aprecia que las observaciones varían en dos sentidos fundamentales; el vector 1 donde se encuentra la textura relacionada de forma negativa con el punto de marchites y la capacidad de campo (propiedades asociadas con la textura) y el vector 2 donde se encuentran la profundidad efectiva y la compactación relacionadas negativamente con el drenaje, la pendiente la altitud y la erosión. Estas variables identificadas (profundidad efectiva, compactación y drenaje) son las que conforman, los diferentes patrones edáficos que más probablemente se encuentren en las áreas estudiadas y por lo tanto son las que determinarán las variantes tecnológicas que se recomendarán en las diferentes zonas agrológicas.

La asignación de la tecnología se basa en el efecto que sobre las actividades que la integran ejercen un grupo de propiedades medidas en el estudio de suelos. El Tabla 1, muestra la relación que pueden tener los factores edáficos y los componentes tecnológicos. En una matriz de doble entrada donde se han considerado 13 actividades necesarias para conformar las tecnologías, para el cultivo de la caña de azúcar, se consignan como impactos "x" los cambios que ejercen sobre ellas las variaciones de los factores edáficos.

Descomponiendo una matriz de relación, obtenida durante el proceso de consulta a expertos, entre los componentes tecnológicos y los factores de suelo considerados como principales, se determinan que los factores que más relación tienen en la aplicación de las tecnologías: textura, profundidad efectiva,

compactación, forma del terreno, drenaje, altitud e intensidad de la erosión, aunque pueden variar de acuerdo a las condiciones particulares de cada sistema. Así, por ejemplo, diferente textura, puede modificar la forma de trabajar la tierra, el tipo de equipo y la potencia necesaria a emplear, el agregado a emplear, la densidad y época de siembra, entre otros componentes tecnológicos, el sistema, sencillo y robusto, pues es poca la variación entre los factores medidos para conformar las tecnologías, se basa en cinco indicadores fundamentales, donde la textura del suelo que afecta 100% de los componentes tecnológicos, el drenaje 76,9%, profundidad efectiva 69,2%, forma del terreno 46,2% y la compactación 38,5% de los componentes.

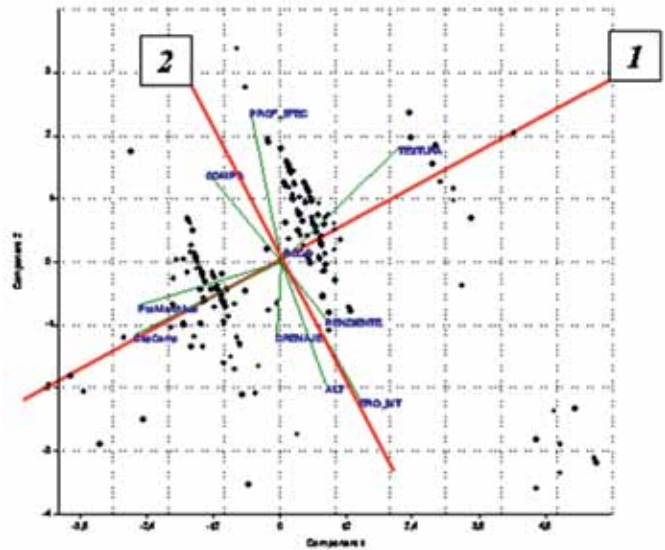


FIGURA 3. Análisis de correspondencia (estudio de caso). En rojo líneas con los vectores de mayor variación.

TABLA 1. Matriz de relación entre componentes tecnológicos y factores de suelo

	Componentes tecnológicos													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Principales factores	Formas de trabajar la tierra	Equipos y potencia necesaria	Agregados	Época de siembra	Densidad de siembra	Genotipos	Ciclo de reposición	Dosis portadores y momento de fertilizar	Tipos formas y métodos de control de malezas	Tipos formas y métodos de sanidad vegetal	Formas y momento de cosecha	Tipo, normas y frecuencia de riego	Tipo y forma de establecer el drenaje	Total
Textura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
Profundidad efectiva	X	X	X		X	X	X	X			X	X	X	9
Compactación	X	X	X				X	X						5
Forma del terreno	X	X	X		X		X							5
Drenaje	X	X	X	X		X	X	X			X	X	X	10
Altitud	X					X	X				X	X	X	6
Intensidad de la erosión	X	X	X		X	X	X	X				X	X	9
Total	8	7	7	2	4	5	8	5	1	1	4	5	5	57

Para conformar las tecnologías se combinan las diferentes categorías de los factores considerados (Tabla 2) donde se muestra el resultado obtenido en un polígono en estudio. En estas combinaciones se pueden encontrar relaciones ilógicas como son los casos 16 y 17, las que se desechan.

Por último, la formación de unidades de tierra, se logra reduciendo las zonas agrológicas y relacionándolas con el es-

pacio que ocupan. Para ello, se asigna un valor a cada zona, a partir de las nominalización de los factores, o sea, se designa a cada conjunto un nombre que lo caracteriza y al mismo tiempo lo diferencia de los demás, posteriormente, es necesario jerarquizar los efectos en función del objetivo previstos.

La mayoría de las combinaciones de trabajo que se forman son muy grandes, siendo necesario, para fines prácticos, redu-

cirlas, ya que un elevado número de variantes dificulta la planificación, complica la ejecución y entorpecen el sistema. La “red neuronal” o “árbol de decisiones” es un paso en el trabajo de conformación de las unidades de tierra. Consiste en establecer una red de caminos donde se integran los factores seleccionados para definir una tecnología y determinar cuántas terminaciones o salidas tiene el polígono en donde se desarrolla el sistema agrícola. Un ejemplo de red neuronal se presenta (como estudio de caso) para el polígono Cojedes, en la República Bolivariana de Venezuela (Figura 4). Una vez elaborada la red neuronal, el siguiente paso es confeccionar un cuadro de múltiples entradas donde se consigna a cada una de las terminaciones la probabilidad relativa asociada a su contingencia, ello consiste en el cociente entre las veces que se ha observado la combinación en cuestión entre el total de observaciones, expresada como porcentaje.

TABLA 2. Denominación de las combinaciones que originan cambios de tecnología (Zonas Agrologicas)

No.	Forma del terreno	Textura, profundidad efectiva y compactación	Drenaje
1	Planos.	Ligeros, profundos o poco profundos.	Bien o excesivamente drenados.
2	Planos.	Ligeros, muy poco profundos.	Bien o excesivamente drenados.
3	Planos.	Pesados o medios, profundos o poco profundos, compactados.	Bien o excesivamente drenados.
4	Planos.	Pesados o medios, profundos o poco profundos, no compactados.	Bien o excesivamente drenados.
5	Planos.	Pesados o medios, muy poco profundos.	Bien o excesivamente drenados.
6	Planos.	Ligeros, profundos o poco profundos.	Mal drenado.
7	Planos.	Ligeros, muy poco profundos.	Mal drenado.
8	Planos.	Pesados o medios, profundos o poco profundos, compactados.	Mal drenado.
9	Planos.	Pesados o medios, profundos o poco profundos, no compactados.	Mal drenado.
10	Planos.	Pesados o medios, muy poco profundos.	Mal drenado.
11	Ondulados.	Ligeros, profundos o poco profundos.	Bien o excesivamente drenados.
12	Ondulados.	Ligeros, muy poco profundos.	Bien o excesivamente drenados.
13	Ondulados.	Pesados o medios, profundos o poco profundos, compactados.	Bien o excesivamente drenados.
14	Ondulados.	Pesados o medios, profundos o poco profundos, no compactados.	Bien o excesivamente drenados.
15	Ondulados.	Pesados o medios, muy poco profundos.	Bien o excesivamente drenados.
16	Ondulados.	Pesados o medios, profundos o poco profundos, compactados.	Mal drenado.
17	Ondulados.	Pesados o medios, profundos o poco profundos, no compactados.	Mal drenado.
18	Ondulados.	Pesados o medios, muy poco profundos.	Mal drenado.

La asignación espacial de las Zonas Agrologicas, se consigue a partir de un sistema que permita el análisis geoespacial por medio de interpolación de los puntos georreferenciados producto de las características de la tierra. Como generalmente el número de combinaciones resultante es alto, que unido a la dispersión, hace inmanejable e inoperante el sistema de recomendaciones por zona agrologica, y lo que es peor, sin que mejore la precisión correspondiente limitada por otras diversas causas.

Con vistas a resolver la referida situación, se utilizará el criterio de calidad de Pareto, el que plantea, que un bajo número de factores son responsables de la mayor parte de las variaciones, mientras que un

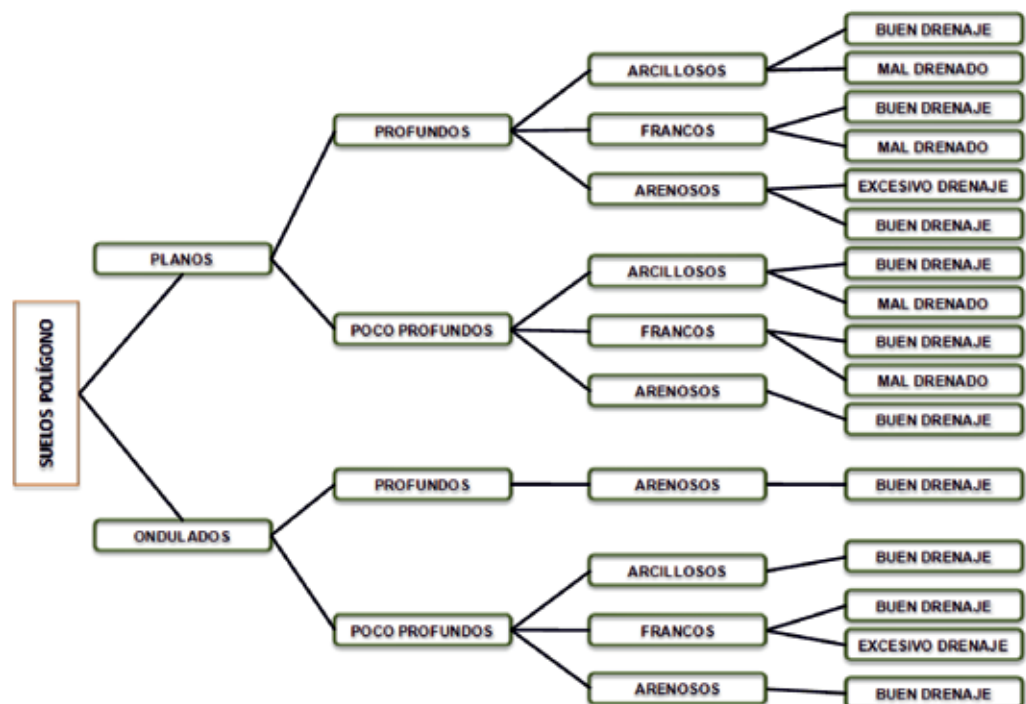


FIGURA 4. Red neuronal primaria para la toma de decisiones en el polígono Cojedes.

alto número de factores son responsables de muy poca variación, dicho de otra manera, con un bajo número de combinaciones se puede lograr una alta respuesta por lo que es necesario definir con cuántas y cuáles combinaciones (mínimas) se puede lograr la máxima respuesta. Las combinaciones resultantes, se ubican de acuerdo con el nivel de probabilidad de ocurrencia ya previamente observado de mayor a menor. El Tabla 3 y la Figura 5, muestran en el ejemplo de caso que con 6 combinaciones se da respuesta 89 % del área. El mapa resultante de las zonas agrologicas es mostrado en la Figura 6.

TABLA 3. Organización de los resultados tomando como referencia la probabilidad de ocurrencia, para desarrollar el gráfico de pareto. Ejemplo de caso

Forma del terreno	Profundidad efectiva	Textura	Drenaje	Total de observaciones	Probabilidad relativa (%)
Planos (96,83%)	Poco profundos (77,46%)	Francos (55,40%)	Bueno	117	52,70
Planos (96,83%)	Poco profundos (77,46%)	Arcillosos (19,36%)	Bueno	32	14,41
Planos (96,83%)	Profundos (19,37%)	Francos (10,36%)	Bueno	19	8,56
Planos (96,83%)	Profundos (19,37%)	Arcillosos (7,66%)	Bueno	13	5,86
Planos (96,83%)	Poco profundos (77,46%)	Arcillosos (19,36%)	Malo	11	4,95
Planos (96,83%)	Poco profundos (77,46%)	Francos (55,40%)	Malo	5	2,25
Planos (96,83%)	Profundos (19,37%)	Arcillosos (7,66%)	Malo	4	1,80
Planos (96,83%)	Profundos (19,37%)	Francos (10,36%)	Malo	4	1,80
Planos (96,83%)	Poco profundos (77,46%)	Arenosos (2,70%)	Bueno	4	1,80
Ondulados (3,15%)	Profundos (1,35%)	Arenosos (1,35%)	Bueno	3	1,35
Planos (96,83%)	Profundos (19,37%)	Arenosos (1,35%)	Bueno	2	0,90
Ondulados (3,15%)	Poco profundos (1,80%)	Francos (0,90%)	Bueno	2	0,90
Planos (96,83%)	Profundos (19,37%)	Arenosos (1,35%)	Excesivo	1	0,45
Planos (96,83%)	Poco profundos (77,46%)	Francos (55,40%)	Excesivo	1	0,45
Planos (96,83%)	Poco profundos (77,46%)	Arenosos (2,70%)	Excesivo	1	0,45
Planos (96,83%)	Poco profundos (77,46%)	Arenosos (2,70%)	Malo	1	0,45
Ondulados (3,15%)	Poco profundos (1,80%)	Arcillosos (0,45%)	Bueno	1	0,45
Ondulados (3,15%)	Poco profundos (1,80%)	Arenosos (0,45%)	Bueno	1	0,45

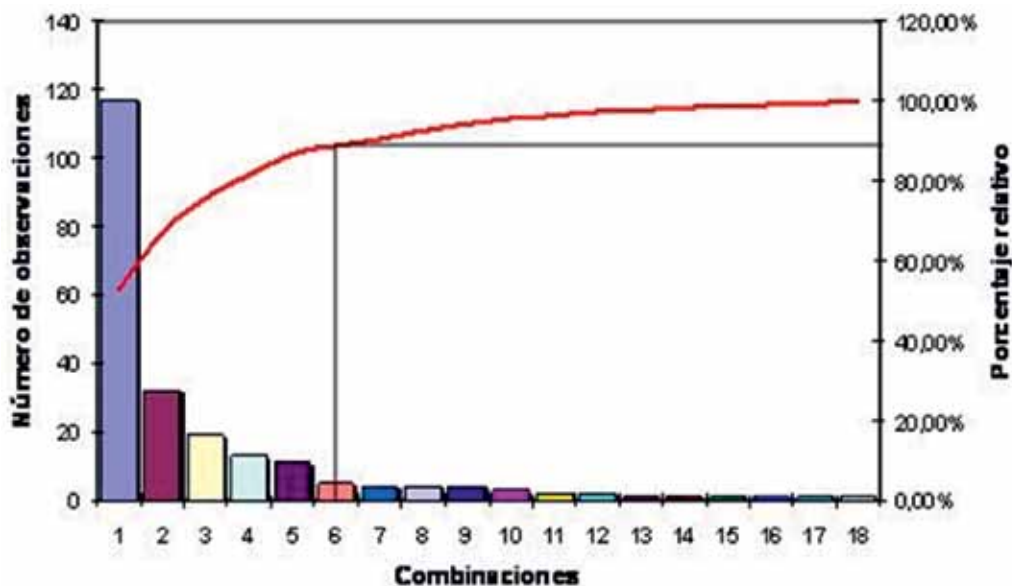


FIGURA 5. Combinaciones que determinan la variación de las zonas en el polígono Cojedes.

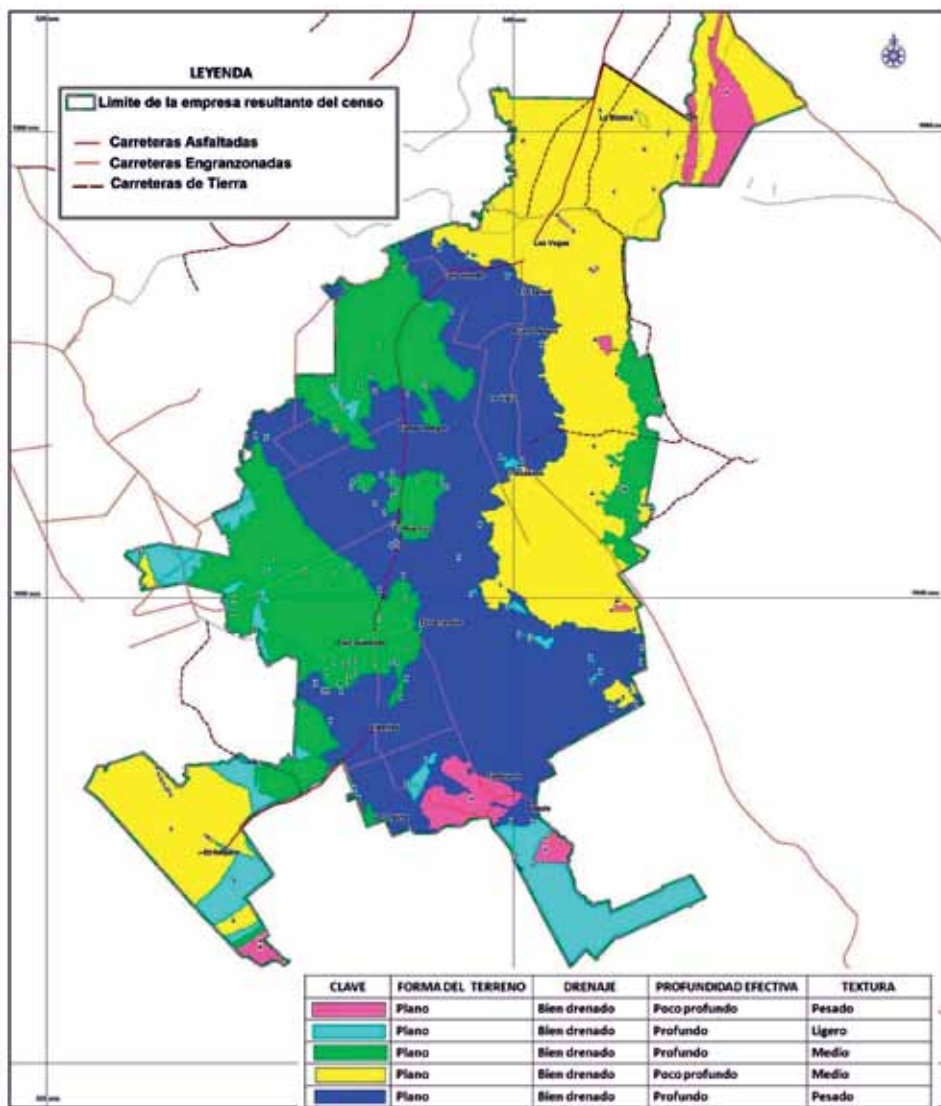


FIGURA 6. Representación geográfica de las zonas agrologicas en el polígono Cojedés.

CONCLUSIONES

- Las zonas agrológicas corresponden a unidades de tierra que se conforman para poder asignar un manejo determinado a un área determinada.
- Los factores que más relación tienen en la aplicación de las tecnologías: textura, profundidad efectiva, compactación, forma del terreno, drenaje, altitud e intensidad de la erosión, aunque pueden variar de acuerdo a las condiciones particulares de cada sistema.
- El estudio de caso presentado, aplicando la contribución metodológica, muestra seis combinaciones para el manejo tecnológico del área que da respuesta 89% del área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCIA, J.; A. MENÉNDEZ; M. SANTANA; R. VILLEGAS; E. PÉREZ; E. GARCÍA Y I. MACHADO: Principios metodológicos para el establecimiento de sistemas agrícolas, En: **Memorias XVII Congreso Científico Internacional del INCA**, ISBN 978-859-7023-48-7, San José de las Lajas, La Habana, 22-26 noviembre, 2010.

FAO: *Conservación y uso sostenible de sistemas agrícolas*, En Foro Mundial de Desarrollo Rural FAO, Roma, 2006.

FAO: *Guidelines: land evaluation for extensive grazing*, Soils Bulletin 58, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1991.

FAO: *Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture*, Soils Bulletin 55, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1985.

FAO: *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture*, Soils Bulletin 52, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1983.

FAO: La metodología ZAE/SIRT de la FAO: herramientas para el manejo integrado y sostenible de los recursos de tierras, En: **Taller Regional sobre Aplicaciones de la Metodología de Zonificación Agro-Ecológica y los Sistemas de Información de Recursos de Tierras en América Latina y El Caribe**, 146pp., Santiago de Chile, octubre 1996, Chile, 1996.

KEEN, P. G. W.: *Decision support systems: a research perspective*, Decision support systems: issues and challenges, G. Fick and R. H. Sprague, Oxford, New York, Pergamon Press, New York, 1980.

MOORE, J.H. and M.G. CHANG: "Design of Decision Support Systems", Data Base, Vol.12, No.1 & 2, 1980.

ODUM, H.T.; E.C. ODUM; M.T., BROWN; D. LAHART; C. BERSOK y J. SENDZIMIR: *Sistemas agrícolas*. En: *Sistemas ambientales y políticas públicas*, Capítulo 18. Programa de Economía Ecológica, Phelps Lab, Universidad de Florida, Gainesville, USA, 2001.

POWER, D. J.: "What is a DSS?" *The On-Line Executive Journal for Data-Intensive Decision Support*, 1(3), 1997.