



AGRICULTURA DE PRECISIÓN
PRECISION FARMING



ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Zoning of the Territory to Apply Conservation Tillage Mechanics Using the Evaluation Approach

Zonificación del territorio para aplicar labranza de conservación mecanizada utilizando el enfoque de evaluación multicriterio

M.Sc. Lizardo Reyna-Bowen^I, M.Sc Mauricio Reyna-Bowen^{II}, Dr. Lenin Vera-Montengro^I

^I Escuela Superior Politécnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agrícola, Campus Politécnico, Calceta, Manabí, Ecuador.

^{II} Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agrícola, Campus Lodana vía Santa Ana, Manabí, Ecuador.

ABSTRACT. The province of Manabi is one of the main farming areas of Ecuador, and it has seen an increase in land use in response to the demand for food. Unfortunately, this area growth has brought problems such as inadequate field planting techniques and forest destruction. Alternative techniques or processes to improve productivity in the medium and long term should be the guidance for farmers. Soil conservation practices using mechanized tillage, or conservation tillage (CT), could be an effective option. The objective of this research was to determine areas suitable for mechanized conservation tillage using the method of multi-criteria evaluation (ME). A group of specialists from the area, previously selected by area of expertise, appraised land use based on physical characteristics observed through geographic information system (GIS). Following the appraisal of different maps, various levels of adequacy were found, and a final zoning map for mechanized conservation tillage was created. Multi-criteria evaluation showed that Manabi province has 8.68% of total area at the suitable level for mechanized conservation tillage when using crop rotation.

Key words: appraisal, remote perception, NDVI, (agricultural) areas, crop. (land use).

RESUMEN. La provincia de Manabí representa una de las principales zonas de actividad agropecuaria del Ecuador, lo que ha permitido incrementar las superficies de uso, respondiendo a la demanda de los productos alimentarios. Pero este crecimiento de frontera ha traído consigo problemas como: técnicas de siembra de campo inadecuadas y destrucción del bosque. La existencia de alternativas de técnicas o procesos que permitan mejorar la productividad a mediano y largo plazo debe ser la orientación para los productores agrícolas, es allí donde las prácticas de conservación de suelo usando mecanización de siembra directa o labranza de conservación (LC) podría ser la opción efectiva. El objetivo de la presente investigación fue determinar las zonas aptas para la labranza de conservación mecanizada, utilizando el método de la evaluación multicriterio (EM), que consistió en un grupo de especialistas del área previamente seleccionados y cuyas ponderaciones se realizaron sobre la base de la experiencia, teniendo las características físicas como factor principal en el uso del suelo, por medio del sistema de información geográfica (SIG). Los resultados presentan diferentes niveles de aptitudes tras la combinación de distintos mapas ponderados que permitió el logro del mapa de zonificación para la labranza de conservación mecanizada. Se concluye la efectividad de la evaluación multicriterio que describe a la provincia de Manabí con 8,68 % de superficie total para la labranza de conservación mecanizada en el nivel apto, cuando se utilizan cultivos de rotación.

Palabras clave: ponderaciones, percepción remota, NDVI, cultivos, zonas.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Manabí representa el 15,84% con relación a la superficie nacional agrícola, siendo una de la región más importante del sector agropecuario del Ecuador. La imperiosa necesidad de producir alimento como parte de esa demanda poblacional, es lo que ha permitido una amplitud de la frontera agrícola en forma horizontal,

INTRODUCTION

Manabí province is one of the most important agricultural regions in Ecuador, representing 15.84% of the nation's agricultural surface areas. The necessity to increase food production to meet population demand has led to a horizontal increase in agricultural areas, according to INEC (2010). Inadequate plant-

tal como lo ha planteado el INEC (2010); que junto a inadecuadas técnicas de siembra Reyes (1996), incremento de la extensión territorial agrícola y la destrucción de bosques, son las consecuencias de no aplicar sistemas alternativos de conservación de los recursos naturales.

Un sistema alternativo es la labranza de conservación, la cual comprende una serie de técnicas que tienen como objetivo fundamental conservar, mejorar y hacer un uso más eficiente de los recursos naturales mediante un manejo integrado del suelo, agua, agentes biológicos e insumos externos FAO (2002). Dentro de los beneficios de este sistema se destacan: la productividad, disminución de la erosión, conservación de la humedad del suelo, mayor actividad biológica del suelo y reducción de los costos de producción.

Un sistema alternativo es la labranza de conservación, la cual comprende una serie de técnicas que tienen como objetivo fundamental conservar, mejorar y hacer un uso más eficiente de los recursos naturales mediante un manejo integrado del suelo, agua, agentes biológicos e insumos externos FAO (2002). Dentro de los beneficios de este sistema se destacan: la productividad, disminución de la erosión, conservación de la humedad del suelo, mayor actividad biológica del suelo y reducción de los costos de producción¹.

La aplicación de este sistema se puede basar en la metodología de multicriterio, herramienta para la ayuda a la toma de decisiones en proyectos de desarrollos complejos, donde se llega a un acuerdo consensuado para tomar la mejor alternativa de solución (Grajales-Quintero *et al.*, 2013). El proceso de decisión requiere de la comparación entre las alternativas sobre las que se puede optar frente a cierta disyuntiva presente. Según Saaty y Sagir (2009), ésta descompone un problema complejo en una estructura de varios niveles, objetivos, criterios, subcriterios y alternativas. La literatura reporta acuerdos consensuados para la toma de la mejor alternativa a un problema, utilizando este enfoque metodológico en el sector agrícola (Lee, 2005; Abdulai *et al.*, 2011; Mariano *et al.*, 2012; Roco *et al.*, 2012; Vera-Montenegro *et al.*, 2014).

Para la zonificación de un territorio, la agricultura moderna se apoya en herramientas específicas como los sistemas de información geográfica (SIG), que mediante la conjunción de elementos lógicos y físicos, guardan y procesan datos georreferenciados con el fin de producir información útil, que sirva en la toma de decisiones.

La actual situación agrícola requiere mejorar los sistemas de producción, aumentando la productividad y conservación de los recursos naturales a mediano y largo plazo. De allí que en la presente investigación se plantea la determinación de las zonas aptas para la labranza de conservación mecanizada, utilizando la metodología del enfoque de evaluación multicriterio (EM), como una herramienta alternativa.

MÉTODOS

La provincia de Manabí está ubicada en la Región Litoral de Ecuador, representando una de las principales provincias. Se encuentra a una latitud sur 1° 3' 8" y longitud oeste 80° 27' 20", con condiciones climáticas que oscila subtropical seco a tropical húmedo. La estación invernal que se inicia a principios de diciembre y concluye en mayo es calurosa debido a la influencia de la corriente calientada del Niño.

El verano que va de junio a diciembre es menos caluroso y está influenciado por la corriente fría de Humboldt. La temperatura no es uniforme en toda la provincia, la temperatura media

ing techniques Reyes (1996), increased agricultural territory, and forest destruction are the consequences of not applying alternative systems of natural resource conservation.

An alternative system is conservation tillage, which consists of a series of techniques to conserve, improve, and efficiently use natural resources through the integrated management of soil, water, biological agents, and external inputs FAO (2002). The benefits of this system are: productivity, decrease in erosion, conservation of soil moisture, greater soil biological activity, and reduction in production costs.

Application of this system can be determined by the multicriteria method, a tool that assists in decision making in complex development projects, where the best solution alternative is chosen by consensual agreement (Grajales-Quintero *et al.*, 2013). The decision process requires comparison among several alternatives to face a certain dilemma. According to Saaty y Sagir (2009), this method breaks down a complex problem into a structure of various levels, objectives, criteria, subcriteria, and alternatives. The literature demonstrates the use of this methodology of consensual agreements to find alternative solutions in the agricultural sector (Lee, 2005; Abdulai *et al.*, 2011; Mariano *et al.*, 2012; Roco *et al.*, 2012; Vera-Montenegro *et al.*, 2014).

In the zoning of a territory, modern agriculture uses specific tools such as geographic information systems (GIS), which in conjunction with logical and physical elements, saves and processes georeferenced data to produce useful information for decision making.

The current agricultural situation requires an improvement in production systems to increase the productivity and conservation of natural resources in the medium and long term. To this end, the current investigation proposes to define the zones adequate for mechanized conservation tillage as an alternative tool, using the method of multicriteria evaluation (ME).

METHODS

Manabi, one of the major provinces in Ecuador, is located in the coastal region. Located at latitude 1°3'8"S and longitude 80°27'20"W, Manabi has climatic conditions that oscillate between subtropical dry and tropical wet. The wet season, beginning at the start of December and ending in May, is hot due to the influence of the warm ocean current el Niño.

The dry season, from June to December, is less hot and is influenced by the cold current Humboldt. The temperature is not uniform throughout the province: the mean temperature in the mainland capital, Portoviejo, is around 25°C, while it is around 23°C in the coastal port city, Manta (Gobierno Provincial de Manabí, 2012).

The principal sources of information used in this study were SIN (Sistema Nacional de Información) and FAO. These allowed us to obtain documents, land use plans, and satellite images (Landsat, corresponding to 2003), which served as

¹ RHADADES, R.: Las múltiples facetas del investigador agrícola, en socio-economía, problemas de definición de objetivos, SNT-3P, 1994.

en Portoviejo, la capital, es de $\sim 25^{\circ}\text{C}$ y en la ciudad puerto, Manta, de $\sim 23^{\circ}\text{C}$ (Gobierno Provincial de Manabí, 2012).

Las principales fuentes de información utilizadas en este estudio fueron: SIN (Sistema Nacional de Información), FAO. Estas permitieron la obtención de documentos, planes de ordenamiento territorial e imagen satelital (Landsat, correspondiente al 2003), que sirvieron de insumos para la generación de nueva información. Igualmente de la base de datos de la FAO se obtuvo la información sobre la labranza de conservación.

La información cartográfica utilizada fue:

Macro zonificación

- Mapa de suelo al nivel nacional con atributos de capa freática, pendiente, pedregosidad, profundidad efectiva, textura, en formatos shp, a escala 1: 200 000
- Curvas de nivel de todo el Ecuador

Micro zonificación

- Mapas a 1: 25 000 de dos cantones de Manabí, 24 de mayo, y Pajan de cobertura y uso
- Imagen Landsat 5 del 2003

data inputs for the generation of new information. Information about conservation tillage was obtained in a similar way as the FAO database.

The following describes the cartographic information used:

Macro Zonification

- Map of the soil at a national level showing attributes such as water tables, slope, stoniness, effective depth, and texture in .shp format scaled at 1: 200,000
- Contour maps of all Ecuador.

Micro Zonification

- Coverage and land use maps scaled 1:25,000 of two cantons in Manabi: 24 de mayo and Pajan.
- Image Landsat 5 of 2003.

Additionally, our investigation procedures relied on work completed by the project “Geo-información” which consisted of the digitalization of the official map (CLERSEN 2011).

The procedures including the multicriteria evaluation method are outlined in the flowchart below (Figure 1).

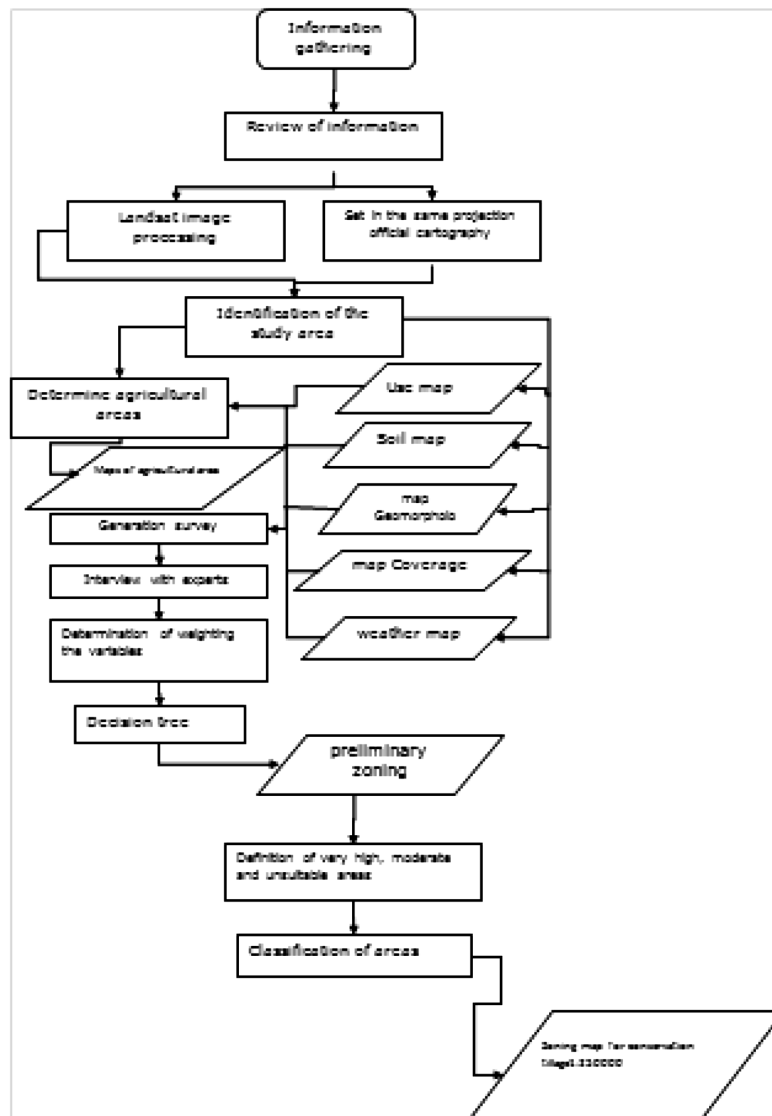


FIGURE 1. Systematizing of the process in a flowchart.
FIGURA 1. Sistematización del proceso en un flujograma.

Complemento a la metodología se contó con trabajos realizados del proyecto de “Geo-información para el desarrollo sustentable del sector agropecuario del Ecuador”, que consistió en la digitalización de mapa oficial CLERSEN².

La sistematización del proceso fue realizado en el flujograma siguiente (Figura 1).

Sistema de referencia

Obtenidos los insumos de mapas y cartografía oficial, se llevó todo a un mismo sistema espacial de referencia utilizando el Software Arcgis 10 con la herramientas Project, donde a los mapas que se encontraban en el Datum Psad 56 y se transformaron al Datum WGS84, tomando en cuenta el número 6 en las herramientas para ajustar como constante de transformación, ajustando mejor las transformaciones.

Al realizar la transformación las sobre posiciones de mapas no tenían problemas para el análisis de varias capas de mapas continuos.

Grupo multicriterio

La opinión de expertos en áreas afines a este estudio, se obtuvo a través de una encuesta realizada vía internet, a continuación se listan los colaboradores:

- Especialista en Agricultura Sustentable.
- Especialistas en Suelos.
- Especialista en Recursos Hídricos.
- Especialista en Mecanización Agrícola.
- Especialista en Agronomía.

La ponderación realizada por el grupo de expertos seleccionados fue de manera cualitativa, realizando la jerarquización. Con ese orden, se procedió a dar valores de 0 a 100 simulando un sistema de porcentajes. Se obtuvo las variables principales con sus respectivos valores tanto cuantitativo como cualitativo, se procedió hacer la misma ponderación de 0 a 100 con los atributos de cada variable. Para que las variables sean equitativas se dividió en cuatro (4) atributos a cada uno, así se generó el árbol de decisiones con una equidad, no favoreciendo por mayoría de atributos, a ninguna variable principal.

Mapas como factor limitante

Se tomó factores limitantes, para que el software no tenga el poder de decisión en esas zonas, y hacer mejor distribución de la ponderación a los demás atributos y variables, siendo estas: Parques Nacionales, Reservas Naturales, Población, Camaroneras, Zona mecanizable y Zona agrícola de cultivos perennes.

Los mapas de población, camaroneras, parques nacionales y reserva naturales se obtuvieron con la codificación cero, mientras que el resto de la áreas el valor de uno, así se generaron estos mapas individuales. Estos mapas se les transformo a raster y después se unifico con la herramienta del Software ILWIS 3.3 – operations – rasteroperations – cross, para hacer un solo mapa llamado limitación. El mapa de zona mecanizable se obtuvo por medio del mapa de pendiente en donde se colocó valor 1 hasta 12 % y 0 para los demás porcentajes y con un mapa de atributos se obtuvo el mapa de zona mecanizable. Todos estos mapas se los pasó hacer raster con 2 atributos numéricos únicamente, donde 1 significa que el programa si calcule las áreas y 0 no pueda calcular las áreas restringidas.

Reference System

Having obtained the inputs for the maps and official cartography, they were applied to the same spatial reference system using the software Arcgis 10 with the Project tools; the maps were found at Datum Psad 56 and changed to Datum WGS84 using number 6 in Project tools to adjust the transformation constant to improve the transformations. No problems were encountered in the analysis of various layers in continuous maps.

Multicriteria Group

Experts opinions in the areas related to this study were obtained through an internet survey. The collaborators are listed below:

- Specialist in sustainable agriculture
- Specialist in soil
- Specialist in Water resources
- Specialist in Agricultural mechanization
- Specialist in agronomy

Each expert selected from the group of specialists evaluated the soil attributes in a qualitative manner, creating hierarchies of soil attributes. With this hierarchical order, values between 0 and 100 simulated a percentage system. The principal variables were determined by their respective quantitative values and qualitative descriptions. The same evaluation on the scale of 0 to 100 was then made with the attributes of each variable. To equalize the variables, each variable was divided into 4 attributes and applied to a decision tree representing each of the equal parts. In this manner, an equitable decision could be made without unfairly favoring any variable.

Maps as Limiting Factor

Limiting factors were applied to prevent the software from making decisions in those areas, and to make better distributions of the evaluations of attributes and variables. The variables were the following: national parks, natural reserves, populated areas, shrimp farms, mechanizable zone, and agricultural zone with perennial crops.

Individual maps of each area were generated; such maps of populated zones, shrimp farms, national parks, and natural reserves were coded 0, while maps of mechanizable zone and agricultural zone were coded 1. These maps were transformed to a raster graph and then united with a tool in Software ILWIS 3.3: operations - raster operations - cross. Thus, a single map was created named “limitation.” The map of mechanizable zones was created using a maps of slopes, where slopes up to 12% received code 1 and any higher percentages received code 0. All of these maps were passed through the raster tool with only two numerical attributes, or codes, where the software could calculate the areas with code 1 and could not calculate the restricted areas with code 0.

Agricultural Areas of Crop Rotation

The agricultural attributes were grouped by a criterion of conservation and divided into two groups: Agricultural

Zonas agrícolas de cultivos de rotación

Los atributos agrícolas se asociaron por un criterio de conservación y se definieron en dos clases: “zonas agrícolas de rotación y no aplica”, en las zonas agrícolas de rotación están inmersos los atributos de cultivos de ciclo corto de rotación, pasto cultivado, cultivos de arroz, maíz entre otros, y en el grupo de no aplica, está inmerso todo lo que es bosque primario, secundario, bosque sembrado, cultivos perennes, cacao, café, forestales, poblaciones, cuerpos de agua, camaronerías, y los atributos que se encontraron mixtos, el que tenía mayor porcentaje de ocupación dominio, por ejemplo; 70 % de bosque y 30 % de pasto cultivado, este atributo iba al grupo de los que “no aplica”, luego de clasificar en los dos grupos, se generó un mapa de zonas agrícolas procediendo a verificar la información obtenida con la imagen Landsat 5 del año 2003 mediante interpretación visual en el Software ILWIS 3.3 con el Índice de Vegetación (NDVI).

Obtenida la clasificación de los dos grupos se utilizó la herramienta del ArcGis 10, ArcToolbox - Data Management Tools - Generalization - Dissolve, para generar un mapa por cada atributo de información, mediante la herramienta resample, se hizo que las imágenes tengan el mismo tamaño de celda para sobreponer los mapas obtenidos con un mismo sistema de referencia. El análisis visual se realizó en grupos homogéneos para mejorar las interpretaciones. En estos grupos se tienen los siguientes:

- Bosques
- Poblaciones
- Camaronerías
- Zonas agrícolas
- Parques y reservas nacionales

Solo se priorizó las zonas antropizadas, (las de uso agrícola de cultivos de rotación), ya que el objetivo intrínseco de este proyecto es tratar de optimizar estas áreas para elevar su productividad a mediano y largo plazo, manteniendo un suelo sustentable para las demás generaciones.

Procesamiento de la imagen Landsat

De la imagen se extrajo la mayor información de la cobertura de la superficie mediante el uso de índice de vegetación (NDVI), para resaltar y diferenciar la cobertura vegetal, obteniendo la información requerida. Se superpuso el mapa de uso y cobertura del año 2002 para verificar las zonas con mayor biomasa, ya que el estudio está enfocado a trabajar en estos lugares ya antropizados, se verificó que los atributos del mapa estuvieran concordando con la imagen satelital.

El uso del índice de vegetación es una herramienta fundamental para este tipo de extracción de información, el cual consistió en la combinación de las bandas de la imagen del satélite LandSat 5, Banda 4 que se encuentra en el rango espectral de la región del infrarrojo próximo, TM entre 0,76 – 0,90, la Banda 3 se encuentra en el rango espectral de la región visible rojo, TM 0,63 – 0,69. La combinación de estas bandas permiten que la masa de vegetación más vigorosa se refleje de color blanco, en donde el resultado está entre el rango de -1 hasta 1, donde 1 indica la vegetación más viva y -1 los cuerpos de agua que existen. La fórmula utilizada para procesar esta combinación de bandas fue: $(B4 - B3) / (B4 + B3)$, la cual se ejecutó en Map-calculator.

Árbol muticriterio para la zonificación

En este proceso se generó mediante el Software ILWIS 3.3, en la herramienta de árbol de decisiones, para el cual el proceso de creación de este árbol requirió los insumos de mapas como Textura,

rotation zone and Not applicable. The following attributes were included in the Agricultural rotation group: short rotation cycle crops, cultivated grains/grasses, rice crops, corn crops, and others. The Not applicable group included the following attributes: primary forest, secondary forest, planted forest, perennial crops, cocoa, coffee, forest plantations, bodies of water, and shrimp farms. Attributes that were found to be mixed were classified into the group with a majority composition; for example, an attribute with the composition 70% forest and 30% cultivated grain/grass would be classified to the Not applicable group. After classification into the two groups, a map of agricultural zones was generated. It was then verified by data obtained with the image Landsat 5 from 2013 through visual interpretation using the software ILWIS 3.3 with Índice de Vegetación (NDVI).

Having classified the attributes into two groups, a map was generated for each attribute using the tool in ArcGis 10, Arc Toolbox - Data Management Tools - Generalization - Dissolve. Using the Resample tool, all images were resized to the same cell size in order to overlay the maps in the same reference system. A visual analysis was conducted in homogenous groups to improve the interpretations. The groups consist of the following:

- Forest
- Population
- Shrimp Farm
- Agriculture zone
- National Park

Only anthropized/cultivated zones, those which use crop rotation, were prioritized, as the intrinsic objective of this project was to optimize these areas for increased productivity at the medium and long term while maintaining the soil sustainably for future generations.

Landsat Image Processing

The majority of the required data about surface coverage were extracted from the image using the índice de vegetación (NDVI), which highlighted and differentiated vegetation coverage. To verify that the attributes of the map corresponded with the satellite image, a map of coverage and land use from 2002 was superimposed over our map to verify the zones with greatest biomass. This verification procedure was adequate as our study focuses on the areas already anthropized/cultivated.

The use of índice de vegetación is a fundamental tool for this type of data extraction, which consists of the combination of the satellite band image LandSat 5, Band 4 found in the near-infrared spectral range TM 0.76-0.90 and Band 3 found in the visible red spectral range TM 0.63-0.69. The combination of these bands allows the most vigorous vegetation mass to reflect as white; the result is in the range -1 to 1, where 1 indicates the most vigorous vegetation and -1 represents bodies of water. The formula $x=(B4-B3)/(B4+B3)$ was executed in Map-calculator to process the combination of bands.

Profundidad, Pedregosidad, Pendiente y Nivel freático. Ya con sus respectivos pesos que se obtuvo de las encuestas y entrevistas con los expertos, el resultado de los formularios recibidos se realizó un promedio y se obtuvo un solo valor para cada variable y atributos y se procedió a dar a cada atributo su valor ponderado, después se generó un mapa de atributos con las columnas de puntuación y así se obtuvieron los mapas de cada variable con las puntuaciones de los atributos. Con la herramientas del Software ILWIS 3.3 – operations – Raster operations – Spatial Multi – Criteria Evaluation, donde se usó el método directo de ponderación. Se añadieron los factores y limitaciones. Esos pesos se estandarizaron automáticamente de 0 a 1 para que las variables tengan un solo resultado como mapa de salida. El mapa resultó con una información de valores entre 0 a 1 donde la que tiene el valor de 1, son las zonas más aptas para la labranza de conservación mecanizada y 0 es no apta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de zonas agrícolas

El Cuadro 1 presenta la clasificación obtenida de acuerdo a los atributos agrícolas asociados. Allí se observa el mayor porcentaje de ocupación para la “Zona Agrícola de rotación”, esto posiblemente debido a que presenta suelos de origen sedimentario y por ende son muy fértiles para la actividad agrícola. Esta acción corrobora con los datos del INEC (2010), y además manifiesta que la provincia de Manabí se ha convertido en una de las principales provincias productoras agrícolas.

Como resultado de este cuadro clasificado en dos grupos se demostró que el mayor porcentaje de ocupación lo tiene la “Zona Agrícola de rotación”, ya que los suelos son de origen sedimentario y por ende los suelos son muy fértiles para esta actividad, y esto concuerda con los datos de INEC (2010), donde

Multicriteria Tree for Zoning

With all data gathered and processed, the final step was multicriteria evaluation in the Software ILWIS 3.3. A decision tree was created using the decision tree tool and map data inputs such as Texture, Depth, Stoniness, Slope, and Water Table Level. Using the raw values of appraisals from the expert surveys and interviews, average values were calculated for each variable and attribute. These average values were put in columns to create a map of each variable, with each map showing the attribute values of each variable. Factors and limitations were added using a direct evaluation/weighted method with the tools of Software ILWIS 3.3 - operations - Raster operations - Spatial Multi-criteria Evaluation. The weights were standardized automatically to obtain only one value between 0 and 1 for each variable. With these data, a final output map was obtained, with values ranging from 1, representing the most appropriated zones for mechanized conservation tillage, to 0, not apt.

RESULTS AND DISCUSSION

Determination of Agricultural Areas

Table 1 shows the classifications obtained according to the associated agricultural attributes. A greater proportion is occupied by Rotational Agriculture Zone. This may be due to the presence of soil of sedimentary origin, which is more fertile for agricultural activity. This finding supports the data from INEC (2010), which demonstrated that Manabí province has become one of the main agricultural producers.

TABLE 1. Classification of soil use according to the conservation criteria. Classification obtained from the analysis of the land use map, visual interpretation, and NDVI

CUADRO 1. Clasificación del uso del suelo según el criterio de conservación, cuadro obtenido del resultado del análisis del mapa de uso e interpretación visual y NDVI

Attributes of Map	Group
100% Tropical Arboriculture	Does not apply
100% Eroded area	Does not apply
100% Sand Shoals	Does not apply
100% Natural forest	Does not apply
100% Shrimp Farm	Does not apply
100% Natural water	Does not apply
100% Mangrove swamp	Does not apply
100% Urban area	Does not apply
50% Tropical Arboriculture with 50% Planted pastures	Does not apply
50% Natural forest with 50% Tropical Arboriculture	Does not apply
50% Natural forest with 50% Planted pastures	Does not apply
50% Fruit trees with 50% Planted pastures	Does not apply
70% Tropical Arboriculture with 30% Planted pastures	Does not apply
70% Disturbed forest with 30% Shrubby vegetation	Does not apply
70% Natural forest with 30% Tropical Arboriculture	Does not apply
70% Natural forest with 30% African Palm	Does not apply

Attributes of Map	Group
70% Coffee with 30% Planted pastures	Does not apply
70% Fruit trees with 30% Disturbed forest	Does not apply
100% Rice	Agricultural Rotation
100% Short cycle crops	Agricultural Rotation
100% Planted pastures	Agricultural Rotation
100% Natural pastures	Agricultural Rotation
100% Shrubby vegetation	Agricultural Rotation
50% Short cycle crops with 50% Planted pastures	Agricultural Rotation
70% Short cycle crops with 30% Natural Pastures	Agricultural Rotation
70% Planted pastures with 30% Banano	Agricultural Rotation
70% Planted pastures with 30% Disturbed forest	Agricultural Rotation
70% Planted pastures with 30% Short cycle crops	Agricultural Rotation
70% Planted pastures with 30% fruit trees	Agricultural Rotation
70% Shrubby Vegetation with 30% Short cycle crops	Agricultural Rotation

dice que la provincia de Manabí se ha convertido en unas de las principales provincias productoras agrícolas.

Ponderación de variables del grupo multicriterio

El peso de las variables fue proporcionado por el valor mayor en la sumatoria de atributos y será más apto para la labranza de conservación. Se tomó en cuenta la limitante de las pendientes, ya que es una labor agrícola mecanizada el límite de la pendiente es máximo 12 %, poblaciones, parque nacionales, camaroneras y zonas protección (Cuadros 2 y 3).

Weighting Variables of Multicriteria Group

Aptness of each attribute for conservation tillage in percent and fraction form is shown in Tables 2 and 3. The values were divided by the greatest value in the sum of attributes. Slope was a limiting factor, as the maximum slope for mechanized agricultural labor is 12%. Other limiting factors included populated areas, national parks, shrimp farms, and protected areas like parks and national reserves.

TABLE 2. Weighting variable of multicriteria group
CUADRO 2. Ponderación de variables principales del grupo de expertos

Variables	Hierarchy order	Punctuation %	/100
Texture	Slope	39,17	0,39
Slope	Depth	20,83	0,21
Depth	Stoniness	18,00	0,18
Stoniness	Water table	13,33	0,13
Water table	Texture	8,67	0,09
Total percentage		100%	

TABLE 3. Weighting divided by the greatest value in the sum of attributes
CUADRO 3. Ponderación individual de los atributos de cada variable principal

Variables	Attributes	Punctuation	/100
Texture	Thick	18,33	0,18
	Moderate	28,33	0,28
	Median	40,00	0,40
	Fine	13,33	0,13
Slope 12 %	0-5%	61,67	0,62
	5-12%	31,67	0,32
	12 - 25 %	4,17	0,04
	25 - 50%	1,33	0,01
	50-70%	0,83	0,01
	Mayor of -70%	0,33	0,00
Depth	Superficial	15,00	0,15
	Little deep	31,67	0,32

Variables	Attributes	Punctuation	/100
Stoneniess	Moderate	25,50	0,26
	Very deep	29,50	0,30
	Without	65,00	0,65
	Infrequent	32,50	0,33
	Abundant	2,50	0,03
Water table	Rocky	0,00	0,00
	Superficial	3,83	0,04
	Little deep	30,00	0,30
	Deep	44,17	0,44
	Very deep	22,00	0,22

Árbol de decisión multicriterio para zonificación de labranza de conservación mecanizada

La zonificación resulto ser: un área mecanizable para la labranza de conservación de la provincia de Manabí de 165 683 ha, que representa el 8,68 % de la superficie total y esto se debe a que la mayor superficie que tiene la provincia está a más de los 12 % de pendiente, como se puede apreciar en la Figura 2.

En el Cuadro 4 se representa la leyenda del mapa de zonificación de labranza de conservación.

Multicriteria Decision Tree for Zoning Mechanized Conservation Tillage

The area suitable for mechanized conservation tillage in Manabi is 165,683 ha, or 8.68% of the province area. It is such a small area due to the fact that the majority of the province has a slope greater than 12%, as it is seen in Figure 2.

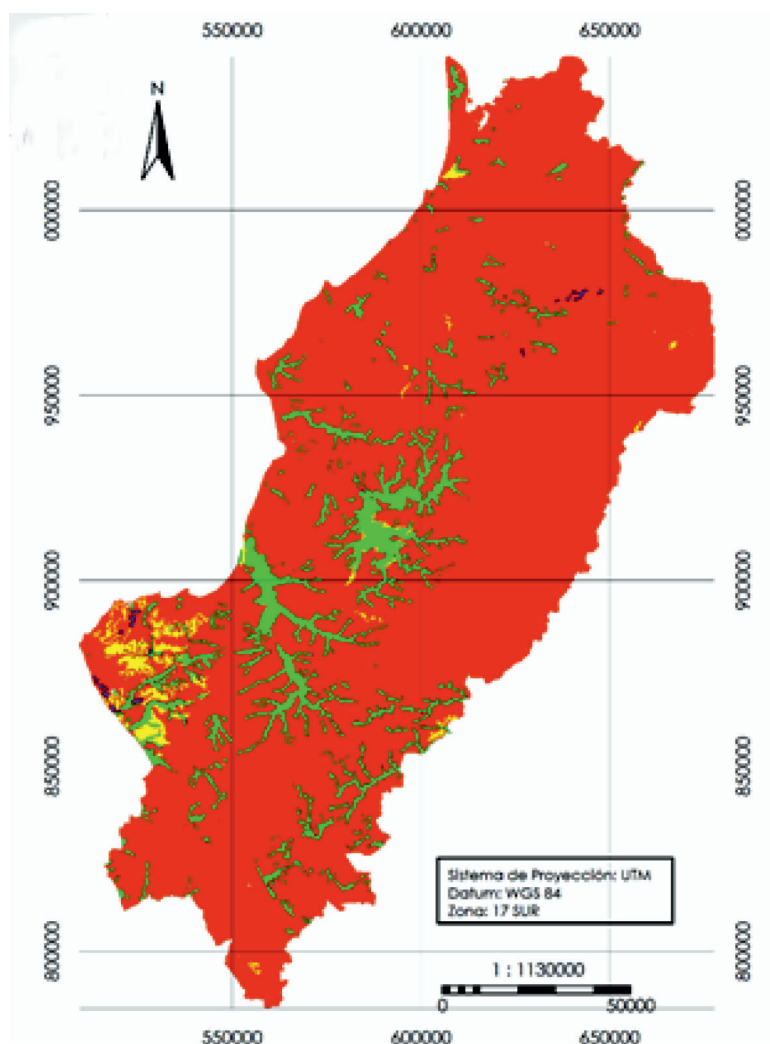


FIGURE 2. Zoning map for the implementation of conservation tillage in the province of Manabí.
FIGURA 2. Mapa de zonificación para la aplicación de labranza de conservación en la provincia de Manabí.

TABLE 4. Legend of conservation tillage zoning map
CUADRO 4. Leyenda del mapa de zonificación de labranza de conservación

Capable Level	Area (ha)	Percentage (%)	Legend
Not	1742468	91,3	
Little	5351	0,3	
Moderate	33081	1,7	
Suitable	127251	6,7	
Very Suitable	0	0,0	

CONCLUSIONES

- Se concluye que la provincia de Manabí tiene una superficie con 1 105 000 ha en la categoría de “Zonas Agrícolas de rotación” que representa el 59 % de ocupación de la superficie total y el área mecanizable para la labranza de conservación es de 165 683 ha, que representa 8.68 % de la superficie total.
- La variable más importante, significativa y dominante en orden jerárquico y porcentual es la pendiente, como resultado de las ponderaciones. Siendo la metodología de multicriterios efectiva para la toma de decisiones en la labranza de conservación mecanizable.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente al grupo de expertos, que por motivo de muchas ocupaciones laborales, igual manera prestaron la ayuda necesaria para compartir sus experiencias en este proyecto.

CONCLUSIONS

- It was found that Manabi province, with 1,105,000 ha of rotational agriculture zones, representing 59% of the total area, has an area of 165,683 ha suitable for mechanized conservation tillage, which is 8.68% of the total area.
- The most important, significant and dominant variable in the hierarchical order or percentage is slope, as determined by the results of expert evaluations. The method of multicriteria evaluation was found to be effective for decision making in the zoning of mechanized conservation tillage.

ACKNOWLEDGEMENTS

Agradecemos principalmente al grupo de experto que por motivo de muchas ocupaciones laborales, igual manera prestaron la ayuda necesaria para compartir sus experiencias en este proyecto. We would like to thank the group of experts who contributed their time and effort in sharing their experiences in this project.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULAI, A.; OWUSU, V.; BAKANG, J.-E.A.: “Adoption of safer irrigation technologies and cropping patterns: Evidence from Southern Ghana”, *Ecological Economics*, 70(7): 1415-1423, 2011, ISSN: 0921-8009, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.03.004.
- FAO: *Agricultura de conservación: estudio de casos en América Latina y África*, ser. Boletín de servicios agrícolas de la FAO, no. ser. 78, Ed. FAO, Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, Roma, 74 p., 2002, ISBN: 978-92-5-304625-6.
- GOBIERNO PROVINCIAL DE MANABÍ: “Datos Geográficos”, *Manabí - Gobierno Provincial*, 2012, Disponible en: <http://www.manabi.gob.ec/datos-manabi/datos-geograficos/>, [Consulta: 10 de octubre de 2012].
- GRAJALES-QUINTERO, A.; SERRANO-MOYA, E.D.; VON-H, C.M.H.: “Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación”, *Revista Luna Azul*, (36): 285-306, 2013, ISSN: 1909-2474.
- INEC: “Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador, fascículo Provincial”, [en línea], En: 2010, Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>, [Consulta: 23 de noviembre de 2012].
- LEE, D.R.: “Agricultural Sustainability and Technology Adoption: Issues and Policies for Developing Countries”, *American Journal of Agricultural Economics*, 87(5): 1325-1334, 2005, ISSN: 0002-9092, 1467-8276, DOI: 10.1111/j.1467-8276.2005.00826.x.
- MARIANO, M.J.; VILLANO, R.; FLEMING, E.: “Factors influencing farmers’ adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines”, *Agricultural Systems*, 110: 41-53, 2012, ISSN: 0308-521X, DOI: 10.1016/j.agsy.2012.03.010.
- REYES, S.: “Resultados y proyecciones del Mejoramiento del Maíz para Tolerancia a Sequía en Ecuador”, [en línea], En: *Developing Drought and Low N-tolerant Maize*, Ed. CIMMYT, El Batán, México, pp. 438-442, Google-Books-ID: t3FEQDyDNAC, 1996, ISBN: 978-968-6923-93-3, Disponible en: <https://books.google.com/cu/books?id=t3FEQDyDNAC>, [Consulta: 26 de noviembre de 2016].
- ROCO, F.L.; ENGLER, P.A.; JARA, R.R.: “Factores que influyen en la adopción de tecnologías de conservación de suelos en el secano interior de Chile Central”, *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 44(2): 31-45, 2012, ISSN: 1853-8665.
- SAATY, T.L.; SAGIR, M.: “Extending the measurement of tangibles to intangibles”, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 8(1): 7-27, 2009, ISSN: 0219-6220, 1793-6845, DOI: 10.1142/S0219622009003247.
- VERA-MONTENEGRO, L.; BAVIERA-PUIG, A.; GARCÍA-ÁLVAREZ-COQUE, J.-M.: “Multi-Criteria Methodology: AHP and Fuzzy Logic in the Selection of Post-Harvest Technology for Smallholder Cocoa Production”, *International Food and Agribusiness Management Review*, 17(2): 107-124, 2014, ISSN: 1559-2448.

Recibido: 08/05/2015.

Aprobado: 14/11/2016.

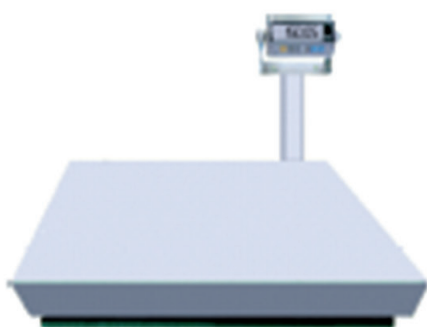
Lizardo Reyna-Bowen, Profesor Escuela Superior Politécnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agrícola, Campus Politécnico, Calceta, Manabí, Ecuador
Correo electrónico: lizardorb2021@gmail.com

Mauricio Reyna-Bowen, Correo electrónico: farlizx@gmail.com

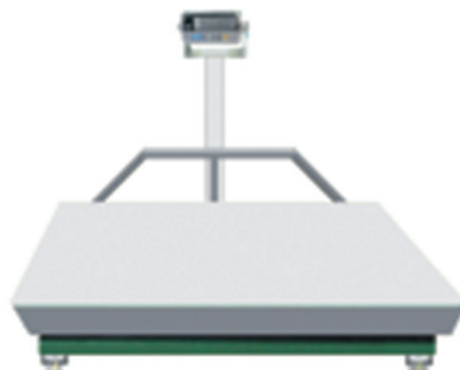
Lenin Vera-Montengro, Correo electrónico: lo_vermon@yahoo.com



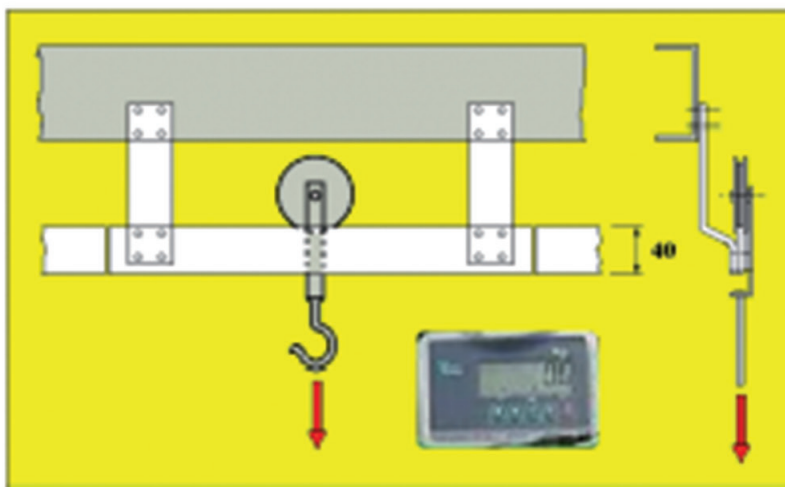
BÁSCULAS ELECTRÓNICAS PARA LA GANADERÍA Y OTROS USOS



**PESA PARA PRODUCTOS
CEMA-TED 150 P**



**PESA PARA ALMACEN
CEMA-TED 300 A**



PESA PARA LINEA DE MATADERO CEMA-TED 300 G