



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Posgrados**

**Generación de metodología para proyectar el incremento de la frontera agrícola en el Cantón Mejía, usando SIG y Teledetección**

**Javier Alejandro Maiguashca Guzmán**

**Richard Resl, Ph.Dc., Director de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de Magister en Sistemas de Información Geográfica

Quito, septiembre de 2014

**Universidad San Francisco de Quito  
Colegio de Posgrados**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Generación de metodología para proyectar el incremento de la  
frontera agrícola en el Cantón Mejía, usando SIG y Teledetección**

**Javier Alejandro Maiguashca Guzmán**

Richard Resl, Ph.D. ....  
**Director de Tesis**

Pablo Cabrera, MSc. ....  
**Miembro del Comité de Tesis**

Richard Resl, Ph.D. ....  
**Director de la Maestría en Sistemas  
de Información Geográfica**

Stella de la Torre, Ph.D. ....  
**Decana del Colegio de Ciencias  
Biológicas y Ambientales**

Víctor Viteri Breedy, Ph.D. ....  
**Decano del Colegio de Posgrados**

Quito, septiembre de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

-----

Javier Alejandro Manguashca Guzmán

C. I.: 1713740379

Quito, septiembre de 2014

## DEDICATORIA

A mis hijos, que son la razón de seguir adelante día a día

## RESUMEN

Este trabajo pretende articular la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica como muestra de las potencialidades que se puede obtener al vincular diferentes técnicas de análisis espacial. La ventaja de almacenar, transformar, procesar y mostrar información de una zona geográfica específica ha sido usado en esta investigación para determinar una metodología innovadora que pueda ser usada en la determinación de la expansión de la frontera agrícola en el Cantón Mejía provincia de Pichincha. Este estudio relaciona las variables biofísicas mostradas en diferentes cartografías temáticas para los años 1999 y 2010, considerando un período de 10 años, de incremento. El esquema metodológico de esta investigación puede ser usada para determinar la zona de crecimiento de la frontera agrícola, usando la ponderación que considera las variables uso y cobertura (10%), textura (30%), sistemas de producción (10%) y la pendiente (30%), se obtuvieron resultados con un índice de correlación de 0,87. El uso de los SIG y la Teledetección en este estudio fueron utilizados como herramientas versátiles complementarias, que facilitaron el manejo de coberturas de distinta índole dando forma a un modelamiento predictivo que puede ser aplicado a los Planes de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del Cantón Mejía.

..

## **ABSTRACT**

This work wants to articulate remote sensing and Geographic Information Systems as an example of the potential that can be obtained from the use of different techniques for spatial analysis of different information, the advantages of storing, transforming, processing, and displaying information in a geographical area specific has been used in this research to determine an innovative methodology that can be used in determine the expansion of the agricultural frontier in the province of Pichincha, region Mejía, this study relates the biophysical variables shown in different thematic maps for the years 1999 and 2010, assuming a 10-year period of increase, the methodological scheme of this research can be used to determine the growth of the agricultural zone, using the weighting variables considering use and cover (10%), texture (30%), production systems (10%) and slope (30%), this work obtain a correlation index of 0,87. The use of GIS and remote sensing in this study were used as complementary versatile tools that facilitated the management of different kinds of toppings shaping a predictive modeling that can be applied to the Plans of Land Use and Development of the Canton Mejía.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
ABSTRACT .....	7
1. ANTECEDENTES .....	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	13
3. OBJETIVOS .....	14
General.....	14
Específicos .....	14
4. MARCO TEÓRICO.....	15
¿Qué es una metodología? .....	15
Definiciones de SIG .....	15
Modelamiento espacial utilizando SIG .....	16
Imágenes satelitales .....	17
Geoestadística .....	19
Frontera agrícola .....	20
5. METODOLOGÍA .....	22
Búsqueda y descarga de imágenes de la zona de estudio .....	22
Tratamiento digital de imágenes .....	22
Obtención de la Máscara de la zona de estudio .....	23
Recopilación, análisis y estandarización de información secundaria .....	23
Generación de geoinformación temática no disponible como información secundaria .....	23
Clasificación supervisada.....	23
Ponderación de Variables para modelamiento.....	24
Biofísicas.....	25

Tablas de Ponderaciones para cada variable.....	28
Evaluación del Modelo.....	33
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	37
7. CONCLUSIONES.....	53
8. RECOMENDACIONES.....	55
9. BIBLIOGRAFÍA.....	56
10. ANEXOS.....	58

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de pendientes de acuerdo al rango. Fuente: MAGAP .....	25
Tabla 2. Descripción de textura. Fuente: MAGAP .....	26
Tabla 3. Descripción Uso del suelo Fuente: MAGAP .....	27
Tabla 4. Descripción sistemas productivos Fuente: MAGAP .....	28
Tabla 5. Ponderación Uso y cobertura del suelo para el año 1999. Elaborado por: Autor .....	30
Tabla 6. Ponderación Uso y cobertura del suelo para el año 2010. Elaborado por: Autor .....	30
Tabla 7. Ponderación de textura. Elaborado por: Autor .....	31
Tabla 8. Ponderación de los sistemas productivos.....	31
Tabla 9. Ponderación para los rangos de pendiente. Elaborado por: Autor .....	32
Tabla 10. Ponderación para tres modelos a evaluar. Elaborado por: Autor.....	32
Tabla 11. Resultados por superficie ponderación 1. Elaborado por: Autor.....	38
Tabla 12. Diferencias usando ponderación 1, años 1999 vs 2010. Elaborado por: Autor .....	40
Tabla 13. Resultados por superficie ponderación 2. Elaborado por: Autor.....	42
Tabla 14. Diferencias usando ponderación 2, años 1999 vs 2010. Elaborado por: Autor .....	44
Tabla 15. Resultados por superficie ponderación 3. Elaborado por: Autor.....	46
Tabla 16. Diferencias usando ponderación 3, años 1999 vs 2010. Elaborado por: Autor .....	48
Tabla 17. Elementos considerados restringidos para las ponderaciones. Elaborado por: Autor .....	52

## LISTADO DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Esquema planteado en Model Builder para los tres modelos. Elaborado por: Autor .....	34
---	----

Diagrama 2. Esquema usado en Model Builder para los tres modelos. Elaborado por: Autor37

## LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Regresión lineal usando modelo de la ponderación 1. Elaborado por: Autor .....	39
Gráfico 2. Regresión lineal usando modelo de la ponderación 2. Elaborado por: Autor .....	44
Gráfico 3. Regresión lineal usando modelo de la ponderación 3. Elaborado por: Autor .....	48
Gráfico 4. Superficie según ponderación, considerando grados de expansión agrícola. Elaborado por: Autor .....	50

## LISTADO DE MAPAS

Mapa 1. Ponderación y cambios de superficie usando modelo de la ponderación 1. Elaborado por: Autor .....	41
Mapa 2. Ponderación y cambios de superficie usando modelo de la ponderación 2. Elaborado por: Autor .....	45
Mapa 3. Ponderación y cambios de superficie usando modelo de la ponderación 3. Elaborado por: Autor .....	49

## LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Uso y cobertura, cantón Mejía, 1999.....	58
Anexo 2. Pendiente, cantón Mejía, MAGAP 2000 .....	59
Anexo 3. Sistema de Producción, cantón Mejía, MAGAP 2000 .....	60
Anexo 4. Textura, cantón Mejía, MAGAP 2000.....	61
Anexo 5. Uso y Cobertura, cantón Mejía, SIGTIERRAS 2010. ....	62

## 1. ANTECEDENTES

Las características edafoclimáticas que posee el Ecuador, hace que la agricultura se expanda sin planificación, la modificación de los espacios agrícolas con el transcurrir del tiempo se debe a la adaptación de los productores a factores naturales, así como a los cambios en los sistemas políticos, ambientales y económicos.

La agricultura tradicional de subsistencia provee alimentos a la familia campesina, y mantienen el equilibrio en los ecosistemas donde se los realiza, esto permite al agricultor conservar de forma racional el recurso suelo por más tiempo; la transformación progresiva a una industria alimenticia y el desarrollo tecnológico, toman un papel preponderante en la diversificación de productos agrícolas, si a esto sumamos el incremento de la población, se hace necesario disponer de una mayor superficie destinada a la agricultura a fin de cubrir las necesidades de alimento de la población.

El incremento no planificado de actividades agrícolas, no considera el análisis de variables biofísicas desde un punto de vista espacial, provocando que estas se desarrollen en zonas de ausencia o exceso de lluvias, zonas de fertilidad variable de suelos, situando actividades productivas en zonas de protección natural.

El desarrollo de los SIG y su vinculación con otras temáticas entre estas la agricultura, provee de una herramienta para el manejo, visualización, manipuleo de diferente información con una visión geográfica del territorio.

La obtención de imágenes por sensores remotos, es una tecnología que permite obtener imágenes u otro tipo de datos de la superficie terrestre, por medio de la captación de la energía reflejada o emitida por la superficie (Gallotti, 2007), es decir conocer las características de diferentes elementos presentes en la tierra sin estar en contacto con estos.

La discriminación de diferentes elementos contenidos en una imagen satelital va a depender de la resolución espacial, temporal y espectral, así como de los costos, presencia de nubes según época del año, y disponibilidad de información.

La información de diferentes variables biofísicas del Ecuador corresponden a antiguas investigaciones como las presentadas en el libro Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador (Cañadas, 1983), el Inventario y cartografía del uso actual del suelo en los andes ecuatorianos (PRONAREG-ORSTOM, 1984), entre otros, las diferentes escalas utilizadas para su representación hacen que sea necesario establecer una metodología que permita estandarizar su uso para la respectiva representación cartográfica a un nivel de detalle (escala) que permita una correcta planificación del territorio.

En el Ecuador desde el año 2009 el estado ha invertido en la obtención de geoinformación<sup>1</sup> de diferentes variables biofísicas para la planificación del territorio, esto con metodologías y procesos estandarizados, a estos procesos se suman otras instituciones públicas (SIGTIERRAS) que generan y utiliza parte de esta información

---

<sup>1</sup> Proyecto “Generación de Geoinformación para la Gestión del territorio y valoración de tierras rurales en la Cuenca del río Guayas, escala 1:25000”, desarrollado por el CLIRSEN (hoy Instituto Espacial Ecuatoriano) 2009.

en los catastros rurales; la SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo) desde el año 2010, encargo al CLIRSEN (hoy Instituto Espacial Ecuatoriano) la ejecución del proyecto “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, escala 1:25000”, esto con la finalidad de obtener información espacial del País que sea utilizada en la planificación del territorio.

Para el desarrollo de esta investigación se ha seleccionado el Cantón Mejía, provincia de Pichincha, esto gracias a que se dispone de geoinformación actualizada al año 2010 de diferentes variables biofísicas todas estandarizadas a escala 1:25000, además de que el Instituto Espacial Ecuatoriano dispone de imágenes satelitales<sup>2</sup> de archivo y actualizadas de esta zona, estas se emplearán en la determinación de variables biofísicas usando teledetección y geoestadística; desde el punto de vista agrícola este cantón presenta una diversidad de productores y la tendencia de crecimiento de la frontera agrícola es hacia los páramos, siendo en un futuro una clara amenaza a la disponibilidad de agua para otros sectores, sumado a la destrucción de ecosistemas sensibles.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

La revisión de literatura realizada hasta el momento ha permitido identificar la falta de generación de cartografía temática relacionada con el análisis de expansión de la frontera agrícola, posiblemente esto se deba a la inexistencia de una metodología

---

<sup>2</sup> Imágenes de archivo Landsat, Aster y RapidEye cantón Mejía (Instituto Espacial Ecuatoriano)

apropiada que no solamente facilite la visualización de cambios en la vegetación natural (estudios multitemporales) a lo largo del tiempo, si no también que permita proyectar las áreas que posiblemente se verán afectadas y que esto facilite a los tomadores de decisiones, especialmente a los GADS (Gobiernos autónomos descentralizados) prever el desarrollo territorial de forma ordenada.

Con lo mencionado se hace imperioso hacer uso de la ciencia, técnicas y herramientas como los SIG articulados con Teledetección que permitan desarrollar una metodología práctica para proyectar en qué porcentaje y dirección se incrementará la frontera agrícola del cantón Mejía en los años futuros.

### **3. OBJETIVOS**

#### ***General***

Proveer de una metodología innovadora que permita determinar probables zonas de expansión agropecuaria (expansión de frontera agrícola), Utilizando variables biofísicas articuladas a técnicas y herramientas como los SIG y la Teledetección.

#### ***Específicos***

- Definir las variables biofísicas que serán utilizadas en la proyección de la expansión de la frontera agrícola.
- Determinar un modelo probabilístico que permita conocer en qué proporción se expandirá la frontera agrícola en el cantón Mejía.

## 4. MARCO TEÓRICO

### *¿Qué es una metodología?*

Una metodología se concibe como un conjunto ordenado de técnicas y procedimientos cuyo propósito fundamental apunta a implementar procesos de recolección, clasificación y validación de datos, experiencias reales y partir de esos datos construir el conocimiento científico. (Molina, 2013).

### *Definiciones de SIG*

Las definiciones que se encuentran en algunos textos de autores como Carter (1989), Aronoff (1989) y algunos documentos de la web, la mayoría coinciden en que un SIG almacena, permite acceso, transforma y muestra información espacial de un territorio geográfico específico, lo que permite estudiar temas particulares de dichos territorios, estas afirmaciones se acerca a la realidad ya que toda la información que podemos obtener de sitios específicos del mundo se deben almacenar pero deben ser fáciles de acceder y con una calidad que permita realizar diferentes estudios temáticos, como es el caso de temas relacionados con el uso de la tierra; la vinculación que permite el SIG de una base de datos y su relación con línea, puntos o polígonos permite conocer diferentes atributos de los elementos geográficos existentes, ahora la información por sí sola no es útil sin no tiene un contexto claro no se determinará la utilidad de conocer una posición geográfica.

Los elementos geográficos identificados y presentados mediante el empleo de puntos, líneas y polígonos, puede contener tantas características de esta, las mismas que se almacenan en una base de datos, si consideramos la definición de SIG de “Un conjunto de procedimientos manuales o computarizados para almacenar y tratar datos referenciados geográficamente” Aronoff (1989), es unir el sistema informático para el manejo de información específica de zonas geográficas, con herramientas de análisis que ayudan en la obtención de información específica.

La importancia de las observaciones de diferentes elementos geográficos se reflejan en la tabla de atributos, pues este es el contenido que indica todas las característica que se desea mostrar, el empleo de productos de sensores remotos ha revolucionado la obtención de información de los elementos de la tierra; la tendencia en mejorar la calidad de estos productos facilita su vinculación a los SIG como un elemento importante dentro del análisis espacial del territorio.

Los conceptos de SIG, que pudieran aparecer en el futuro dependerán en gran medida de los procesos de transformación que sufran los elementos constitutivos de este además de los productos que se puedan generar y sobre todo de la accesibilidad y el nivel de usuarios; se esperaría que pasen a ser de uso del ciudadano común.

### ***Modelamiento espacial utilizando SIG***

Se dice que el modelamiento espacial facilita varios procesos, pues es una herramienta que permite añadir valor a la información primaria disponible (cartografía temática) por lo tanto a través del modelamiento se generan nuevos datos o bases

de datos que describen de alguna manera el comportamiento del mundo real bajo determinadas condiciones y de esta manera es posible plantear posibles soluciones a la problemáticas que se presentan en diferentes espacios físicos.

Por su parte los SIG al ofrecer una herramienta de modelamiento espacial incrementa su potencial para la toma de decisiones a nivel local o regional ya sea en planificación de infraestructura, salud pública, agricultura, recursos naturales, entre otros. Es así que los SIG son utilizados como una herramienta para la descripción, explicación, planificación o predicción en procesos espaciales (Gómez y Barredo, 2005).

### ***Imágenes satelitales***

La imagen satelital es el producto de un sensor remoto óptico electrónico que capta a intervalos regulares la radiación que proviene de la superficie, este intervalo traducido a la superficie terrestre es una porción o área determinada donde el sensor detecta un valor medio de radiancia de todos los objetos que la constituyen. Esa unidad mínima donde se capta energía se denomina "pixel" que viene a ser la unidad visual mínima que aparece en una imagen digital.

El valor de la energía captada, se transforma en valores numéricos a los que se denominan niveles de gris, valor de gris, nivel de brillo, nivel digital. Este proceso de asignación de tonos de grises, es conocido como reconstrucción y es el que nos permite visualizar la información proveniente de los satélites. (Basterra, 2011)

Si representamos un sistema de coordenadas sobre una superficie terrestre, donde X, Y asignan la ubicación espacial del pixel, los valores numéricos asignados a la

reflectancia de esa porción de terreno conformarán una matriz, ahí se explica la definición de que una imagen digital constituye un colección de números organizados en forma matricial.

Las imágenes satelitales, no solo registran valores de energía reflejada en una banda o canal, si no que lo hacen en más de uno, dependiendo del sensor y los distintos canales del espectro electromagnético que se esté captando de ahí su denominación de imagen multiespectral. (Basterra, 2011)

En el contexto de este estudio es necesario brindar algunos detalles respecto a La imágenes del Landsat 5 ya que han sido consideradas como uno de los insumos para este estudio así tenemos entonces que las bandas de este sensor fueron elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación.

Banda 1: (0,45 a 0,52 micrones - azul -) Diseñada para penetración en cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación.

Banda 2: (0,52 a 0,60 micrones - verde -) diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia (o radiancia) verde.

Banda 3: (0,63 a 0,69 micrones – rojo) Es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal.

Banda 4: (0,76 a 0,90 micrones - infrarrojo cercano) Es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.

Banda 5: (1,55 a 1,75 micrones - infrarrojo medio -) Indicativa del contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.

Banda 6: (10,40 a 12,50 micrones - infrarrojo termal) El infrarrojo termal es útil en el análisis del stress de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal. Banda 7: (2,08 a 2,35 micrones - infrarrojo medio) Especialmente seleccionada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidróxilos (OH) y la absorción de agua.

### ***Geoestadística***

La geoestadística es una rama de la estadística que analiza fenómenos espaciales. Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos. Esta herramienta ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad, algunos autores la define como una aplicación de la teoría de probabilidades a la estimación estadística de variables espaciales, Universidad Nacional de Colombia, (2009).

La modelación espacial es la adición más reciente a la literatura estadística. Geología, ciencias del suelo, agronomía, ingeniería forestal, astronomía, o cualquier disciplina que trabaja con datos colectados en diferentes locaciones espaciales necesita desarrollar modelos que indiquen cuando hay dependencia entre las medidas de los diferentes sitios. Usualmente dicha modelación concierne con la

predicción espacial, pero hay otras áreas importantes como la simulación y el diseño muestral.

La geoestadística se emplea en diversas áreas sin embargo cuando se necesita efectuar predicciones ésta utiliza algunas etapas; la primera es el análisis estructural, en el que se describe la correlación entre puntos en el espacio; en la segunda fase se hace predicción en sitios de la región no muestreados por medio de la técnica kriging (proceso que calcula un promedio ponderado de las observaciones muestrales).

Las ciencias que utilizan el modelado espacial (geología, ciencias de suelos, agronomía, ingeniería forestal, astronomía, entre otras.) generalmente trabajan con datos colectados en diferentes locaciones espaciales y la necesidad de desarrollar modelos que indiquen cuando hay dependencia entre las medidas de los diferentes sitios han promovido el uso de esta área estadística. Universidad Nacional de Colombia, (2009).

### ***Frontera agrícola***

El suelo es considerado un recurso limitado, existe en cantidades preestablecidas y no es posible reproducirlo al menos no en corto tiempo.

El suelo destinado a labores agrícolas por su parte ha sido invadido por la expansión de ciudades que demandan tierra para vivienda, vialidad, depósito de desechos, entre otros; en el mismo sentido los agricultores al sentirse desplazados, buscan incorporar nuevas superficies al área agrícola afectando en muchos casos a

ecosistemas como los páramos, bosques, manglares, selva; a este proceso se le considera expansión de la frontera agrícola. (Trápaga, 2014)

En Ecuador según datos de la ESPAC, para el 2011 se registró que 11.659.087 hectáreas estaban destinadas a la labor agrícola, de estas la mayor superficie de tierra cultivable está destinada a Pastos Cultivados con un 29,4%, seguido por Pastos Naturales 11,9%, los Cultivos Permanentes representan un 11,8% y Cultivos Transitorios y Barbecho con el 8,4%. Los datos revelan que un alto porcentaje del suelo está dedicado a Montes y Bosques con 30,3%, tendencia porcentual presente en todas las regiones con más del 20% cada una. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2011).

Los datos expuestos en el párrafo anterior comparados con el año 2010 (11.758.286 ha. Dedicadas a cultivos permanentes) se observa un decremento del 0,86%. Por otro lado la superficie ocupada por montes y bosques registra un crecimiento de 0,92%. (INEC, 2011).

La información expuesta da cuenta de la variación o dinamismo que refleja la actividad agrícola en el país año a año.

## 5. METODOLOGÍA

La metodología que se plantea en este documento se divide en cuatro partes:

### ***Búsqueda y descarga de imágenes de la zona de estudio***

Las imágenes satelitales utilizadas fueron descargadas directamente de la página <http://www.usgs.gov/> y son las siguientes:

- TM\_1999/08/18
- TM\_2002/04/12
- TM\_2013/11/20

Estas imágenes como se describió anteriormente son multiespectrales, poseen una resolución de 30 metros. Además se debe mencionar que dadas las restricciones en la página web para la descarga de estas imágenes, estas únicamente cuentan con las bandas 1, 2 y 3, que permiten hacer una clasificación supervisada.

### ***Tratamiento digital de imágenes***

Para el tratamiento digital de imágenes se utilizó el software ERDAS 9.1. Este paquete informático, permitió unir las bandas que al momento de la descarga estaban por separado.

Posteriormente se realizó la ecualización de histogramas con la finalidad de que los niveles de visualización de la pantalla tengan aproximadamente el mismo número digital de la imagen que se está observando, esto permitirá realizar un mejor trabajo al momento de la clasificación supervisada.

### ***Obtención de la Máscara de la zona de estudio***

Utilizando ArcGis 9.2 se aplicó la herramienta extract by mask utilizando el shp del límite del cantón Mejía y las imágenes ya procesadas para finalmente obtener la imagen cortada al límite de la zona de estudio. Esto para reducir el área efectiva de procesamiento de la imagen.

### ***Recopilación, análisis y estandarización de información secundaria***

Se descargaron y seleccionaron la cartografía temática disponible en formato shp. de las variables biofísicas disponibles en el portal web del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), a escala 1:50.000

Obtención de cartografía temática multipropósito y cartografía base de la zona de estudio elaborada por SIGTIERRAS para el año 2009-2010, escala 1:25000.

### ***Generación de geoinformación temática no disponible como información secundaria***

#### **Clasificación supervisada**

La clasificación es un concepto del procesamiento digital de imágenes, que contempla los procedimientos mediante los cuales una computadora puede agrupar los píxeles de una imagen, en categorías o clases, dentro de un espacio multispectral.

La clasificación supervisada en particular conoce la identidad y localización de algunos tipos de elementos a ser clasificados. Por ejemplo: los bosques, cultivos, zonas urbanas, etc. Esto gracias al trabajo de campo o experiencia personal.

Los sitios específicos elegidos y conocidos, que representan ejemplos homogéneos, son conocidos como "áreas de entrenamiento" puesto que las características espectrales del mismo, servirán para "entrenar" el algoritmo de clasificación.

Para esta clasificación en el cantón Mejía se identificaron 6 clases o áreas de entrenamiento (urbano, cultivos, cobertura natural, nieve, eriales y sin información que corresponden a superficies cubiertas con nubes y su sombra).

Para cada área de entrenamiento, se calculan los parámetros estadísticos (media, desviación estándar, covarianza, etc.), para luego evaluar cada pixel de la imagen, separarlo y asignarlo a una respectiva clase.

El algoritmo utilizado fue el de máxima probabilidad (utilizar los niveles digitales (ND)) lo que permitió realzar los elementos necesarios para la clasificación.

### ***Ponderación de Variables para modelamiento***

Para la ponderación de variables se utilizará la técnica de Evaluación multicriterio que según Barredo, 1996 no es más que un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional. Esta técnica debe ser entendida como un modelo o método para evaluar, ordenar o jerarquizar objetos, basados en una evaluación a la que se le aplicará puntuaciones, valores de preferencia, considerando diversos criterios de acuerdo a las variables.

## Biofísicas

Estas variables comprenden el análisis de fenómenos e indicadores de tipo ambiental, que se relacionan o tienen influencia directa sobre las actividades productivas en la zona de estudio.

Los parámetros establecidos y que se detallan en los cuadros siguientes son limitados y dan cuenta de la disponibilidad de los mismos considerando a todos estos como entes integrados que articulan un sistema.

**Pendiente:** Esta variable determina las zonas aptas para el desarrollo de actividades agrícolas, resultando ésta en una limitante para la expansión de la frontera agrícola

RANGO	DESCRIPCION
0-5	Plano a casi plano
5-12	Suave o ligeramente ondulada
12-25	Moderadamente ondulado
12-25 (m)	Moderadamente ondulado
25-50	Colinado
50-70	Escarpado
>70	Montañoso
Nieve	Nieve
No definido	No definido
Urbano	Urbano

**Tabla 1. Descripción de pendientes de acuerdo al rango. Fuente: MAGAP**

**Textura de Suelos:** se ha considerado esta variable dado que la textura del suelo guarda relación a la fertilidad, siendo un factor que incide directamente sobre la producción por tanto tendrá una valoración importante en la toma de decisiones del modelo a plantear.

DESCRIPCION
Fina
Gruesa
Gruesa - muy fina
Gruesa, moderadamente gruesa, muy fina
Media
Moderadamente gruesa
Moderadamente gruesa - media
Moderadamente gruesa - media - muy fina
Moderadamente gruesa - muy fina
Nieve
Roca
Sin información
Sin suelo
Urbano

**Tabla 2. Descripción de textura. Fuente: MAGAP**

<b>DESCRIPCION</b>
Bosque intervenido (ecosistema arbóreo con intervención humana)
Cuerpo de agua (laguna)
Cuerpo de agua (río doble)
Erial (afloramiento rocoso)
Erosión (Área en proceso de erosión)
Erosión (Área erosionada)
Pasto cultivado (especies herbáceas introducidas - nativas mejoradas)
Pasto natural (especies herbáceas nativas)
Páramo (vegetación herbáceas de páramo)
Uso agrícola (ciclo de producción <= 1 año)
Uso agrícola (invernadero)
Uso conservacionista (vegetación arbustiva)
Uso forestal (bosque plantado)
Uso industrial (agroindustrial)
Uso industrial (metalúrgica)
Uso industrial (minera)
Uso protección (bosque natural)
Área de uso habitacional con servicios básicos

**Tabla 3. Descripción Uso del suelo Fuente: MAGAP**

El Uso y cobertura del suelo así como los sistemas productivos se refieren a la ocupación espacial en la que se evaluó estas variables, pudiendo considerar como actual a las evaluaciones que no superen seis meses de antigüedad.

## Sistemas Productivos:

DESCRIPCION
Asociativo
Combinado
Combinado/marginal
Combinado/mercantil familiar
Empresarial
En transición capitalista
Marginal
Marginal/mercantil familiar
Mercantil familiar
Mercantil familiar/marginal
Sin uso agropecuario

**Tabla 4. Descripción sistemas productivos Fuente: MAGAP**

El área de restricción considerada para este estudio son las reservas naturales definidas por el Ministerio de Ambiente como Patrimonio de Áreas Naturales del Ecuador (PANE), y otras que a continuación se detallan:

### ***Tablas de Ponderaciones para cada variable***

Para la aplicación de las ponderación consideradas para cada variable biofísica, se utilizó la herramienta “Weighted overlay” contenida en el Spatial Analysts, las consideraciones utilizadas fueron:

- Escala de evaluación.- Se considero una escala establecida de 1 a 4 considerando un incremento por unidad.
- Descripción de Niveles.- dentro de la escala el nivel 1 es considerado el de expansión leve, es decir en este se concentran varias limitantes de las variables biofísicas, presentando serios problemas para el desarrollo de nuevas actividades agropecuarias; nivel 2 es considerado el de una expansión

moderada, es decir se reducen las limitantes de las variables biofísicas y se podría incrementar de forma más fácil las producciones agropecuarias; nivel 3 se considera al que posee características para que la expansión sea media y el nivel 4 de expansión fuerte, entre los niveles 3 y 4 se consideran los que mejores condiciones de variables biofísicas presentan para el normal desarrollo o incremento de la frontera agrícola.

- Para cada una de las variables utilizadas en este proceso se determinaron las respectivas áreas de restricción, que son específicas para cada variable; a continuación se presentan los niveles considerados para cada una de las variables usadas en las diferentes ponderaciones:
  - Uso y cobertura

La cartografía que se utilizó y que correspondía al año 1999, se la obtuvo de la clasificación supervisada de la imagen TM\_1999/08/18, y se la organizó de la siguiente manera:

DESCRIPCION	PONDERACIÓN	VALOR
Bosque intervenido	Expansión moderada	2
Bosque natural	Restringido	R
Bosque plantado	Expansión media	3
Complejo industrial	Restringido	R
Cultivo	Expansión fuerte	4
Erial	Restringido	R
Nieve	Restringido	R
Paramo	Restringido	R
Pasto cultivado	Expansión fuerte	4
Pasto natural	Expansión media	3
Urbano	Restringido	R
Vegetación arbustiva	Expansión leve	1

**Tabla 5. Ponderación Uso y cobertura del suelo para el año 1999. Elaborado por: Autor**

- Uso y cobertura

La cartografía que se utilizó y que correspondía al año 2010, se la obtuvo de la cartografía generada para el SIGTIERRAS, dentro del proceso de validación de tierras rurales para catastro rural, se la organizó de la siguiente manera:

DESCRIPCION	PONDERACION	VALOR
Bosque intervenido	Expansión moderada	2
Bosque natural	Restringido	R
Bosque plantado	Expansión media	3
Complejo industrial	Restringido	R
Cultivo	Expansión fuerte	4
Erial	Restringido	R
Nieve	Restringido	R
Paramo	Restringido	R
Pasto cultivado	Expansión fuerte	4
Pasto natural	Expansión media	3
Urbano	Restringido	R
Vegetación arbustiva	Expansión leve	1

**Tabla 6. Ponderación Uso y cobertura del suelo para el año 2010. Elaborado por: Autor**

- Textura

La cartografía que se utilizó y que correspondía al año 2000, se la obtuvo de las cartografías disponibles para descarga del Ministerio de Agricultura y Ganadería, de una escala 1:50000 a nivel provincial, se la organizó de la siguiente manera:

DESCRIPCION	PONDERACION	VALOR
Fina	Expansión leve	1
Gruesa	Expansión fuerte	4
Gruesa - muy fina	Expansión media	3
Gruesa, moderadamente gruesa, muy fina	Expansión moderada	3
Media	Expansión leve	1
Moderadamente gruesa	Expansión media	2
Moderadamente gruesa - media	Expansión moderada	2
Moderadamente gruesa - media - muy fina	Expansión moderada	2
Moderadamente gruesa - muy fina	Expansión moderada	2
Nieve	Restringido	R
Roca	Restringido	R
Sin información	Restringido	R
Sin suelo	Restringido	R
Urbano	Restringido	R

**Tabla 7.** Ponderación de textura. Elaborado por: Autor

○ **Sistemas Productivos Agropecuarios**

La cartografía que se utilizó y que correspondía al año 2000, se la obtuvo de las cartografías disponibles para descarga del Ministerio de Agricultura y Ganadería, de una escala 1:50000 a nivel provincial, se la organizó de la siguiente manera:

DESCRIPCION	PONDERACION	VALOR
ASOCIATIVO	Expansión moderada	2
COMBINADO	Expansión media	3
COMBINADO/MARGINAL	Expansión media	3
COMBINADO/MERCANTIL FAMILIAR	Expansión fuerte	4
EMPRESARIAL	Expansión fuerte	4
EN TRANSICION CAPITALISTA	Expansión moderada	R
MARGINAL	Expansión moderada	1
MARGINAL/MERCANTIL FAMILIAR	Expansión media	3
MERCANTIL FAMILIAR	Expansión moderada	2
MERCANTIL FAMILIAR/MARGINAL	Expansión moderada	2
SIN USO AGROPECUARIO	Restringido	R

**Tabla 8.** Ponderación de los sistemas productivos

- Pendiente

La cartografía que se utilizó y que correspondía al año 2000, se la obtuvo de las cartografías disponibles para descarga del Ministerio de Agricultura y Ganadería, de una escala 1:50000 a nivel provincial, se la organizó de la siguiente manera:

RANGO	DESCRIPCION	PONDERACION	VALOR
25-50	Colinado	Expansión fuerte	4
50-70	Escarpado	Expansión moderada	2
12-25	Moderadamente ondulado	Expansión moderada	1
>70	Montañoso	Expansión moderada	3
Nieve	Nieve	Restringido	R
0-5	Plano a casi plano	Restringido	R
5-12	Suave o ligeramente ondulada	Restringido	R
Urbano	Urbano	Restringido	R

**Tabla 9.** Ponderación para los rangos de pendiente. Elaborado por: Autor

- Ponderación de variables: Los valores considerados dentro de las ponderaciones planteadas se presentan en el siguiente cuadro:

Variable	Ponderación 1	Ponderación 2	Ponderación 3
Uso y cobertura	10	10	50
Textura del suelo	30	50	20
Sistemas Productivos	10	10	10
Pendiente	50	30	20
<b>Total</b>	100	100	100

**Tabla 10.** Ponderación para tres modelos a evaluar. Elaborado por: Autor

- Ponderación 1: se ha considerado la pendiente como la variable que mayor influencia tiene para el avance de la frontera agrícola, seguida de la textura; entre estas dos variables suman el 80 % de la ponderación total, es decir las variables relacionadas a la accesibilidad y fertilidad son consideradas de mayor importancia.
- Ponderación 2: similar a la ponderación 1, las variables relacionadas con la accesibilidad y fertilidad conservan el 80 % de valoración dentro de la ponderación total; de este el 50 % corresponde a la textura de suelo; es decir en esta ponderación se considera de mayor limitación a la fertilidad.
- Ponderación 3: La variable uso y cobertura de suelo es considerada la de mayor impacto dentro del estudio. Si bien esta variable no define fertilidad o accesibilidad a la tierra es posible que sea influyente dado que esta puede orientar hacia diversos niveles de rentabilidad.
- Para los tres escenarios los sistemas productivos han sido considerados con un 10 % de la valoración, esto debido a la escala de trabajo que no permite definir con claridad la tipología del productor asentado sobre la zona de estudio.

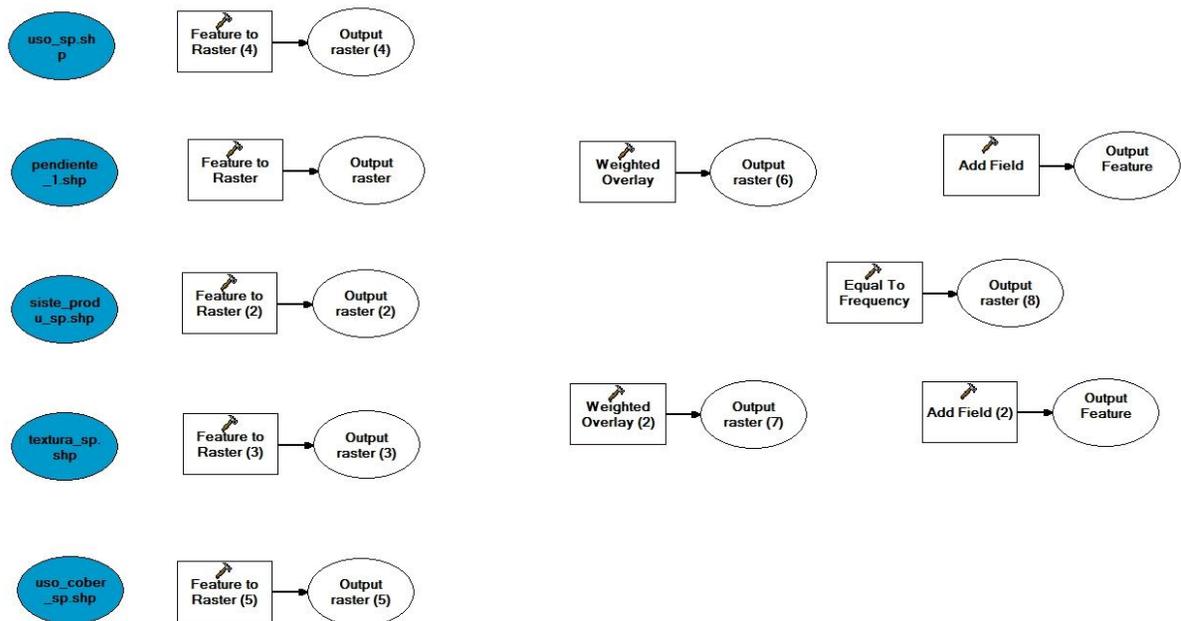
### ***Evaluación del Modelo***

Como se ha indicado este modelo parte de una cartografía de uso y cobertura anterior para este caso fue el uso y cobertura de 1999, obtenido de clasificación supervisada, cabe acotar que coberturas de esta zona de años anteriores a este no

fue posible obtener, las imágenes satelitales disponibles presentaban más de 60% de nubes razón que imposibilitaba la clasificación de elementos, y la cartografía disponible como información secundaria era de escala 1:250000 lo que dificultaba el análisis, se utilizó cartografía secundaria disponible en el Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca de escala 1:50000, la cartografía de uso y cobertura de 1999 se la realizo también en esta escala, considerando la unidad mínima cartografiada (UMC) en  $4000\text{m}^2$  (4ha).

A cada uno de los insumos se le resto la cartografía correspondiente al PANE, ya que esta no se consideró dentro del análisis.

A continuación se presenta el esquema que se utilizo para generar el modelo:



**Diagrama 1.** Esquema planteado en Model Builder para los tres modelos. Elaborado por: Autor

## Insumos

- Uso\_sp.shp.- corresponde a la cartografía de uso y cobertura generada de la imagen TM\_1999, la misma contiene las respectivas descripciones de las diferentes coberturas (ver anexo 1), esta no contiene la superficie correspondiente al PANE.
- Pendiente\_1.- corresponde a la cartografía 1:50000 de pendientes obtenida del MAGAP (ver anexo 2), esta no contiene la superficie correspondiente al PANE.
- Siste\_produ.shp.- corresponde a la cartografía 1:50000 de sistemas de producción agropecuarios obtenida del MAGAP (ver anexo 3), esta no contiene la superficie correspondiente al PANE.
- Textura\_sp.shp.- corresponde a la cartografía 1:50000 de las diferentes texturas obtenida del MAGAP (ver anexo 4), esta no contiene la superficie correspondiente al PANE.
- Uso\_cober\_sp.shp.- corresponde a la cartografía 1:50000 de uso cobertura obtenida desde la cartografía 1:25000 de productos temáticos generados por SIGTIERRAS para este cantón (ver anexo 5), esta no contiene la superficie correspondiente al PANE.

## Herramientas utilizadas

- Feature to raster.- esta herramienta se la utilizo para transformar los archivos tipo vector de los insumos en insumos tipo raster, considerando las

descripciones que se usaron en las ponderaciones, este procedimiento se lo realizo para cada uno de los insumos, tal como se observa en el diagrama 1..

- Weighted Overlay.- esta herramienta del análisis espacial se la usó para la ponderación de las variables en conjunto, se usa dos veces esta herramienta, en la primera ingresan para la ponderación las cartografías de uso y cobertura de 1999, pendiente, textura y sistemas productivos del año 2000; en el segundo weighted overlay se utiliza la cartografía de uso y cobertura del 2010 y pendiente, textura y sistemas productivos del año 2000, este proceso se repite en cada una de las ponderaciones usando los variables y pesos que se indicaron anteriormente.
- Add Field, al raster producto del weighted overlay se le aplico la herramienta para adicionar un campo, este de tipo double para el cálculo posterior de la superficie expresada en ha.
- Equal to Frequency.- los raster generados de las ponderaciones usando las diferentes cartografías de uso y cobertura tanto de 1999 como del 2010, se usaron de insumos para la herramienta equal to frequency, esta evalúa el número de veces que un conjunto de rasters es igual a otra trama en una base de celda por celda.

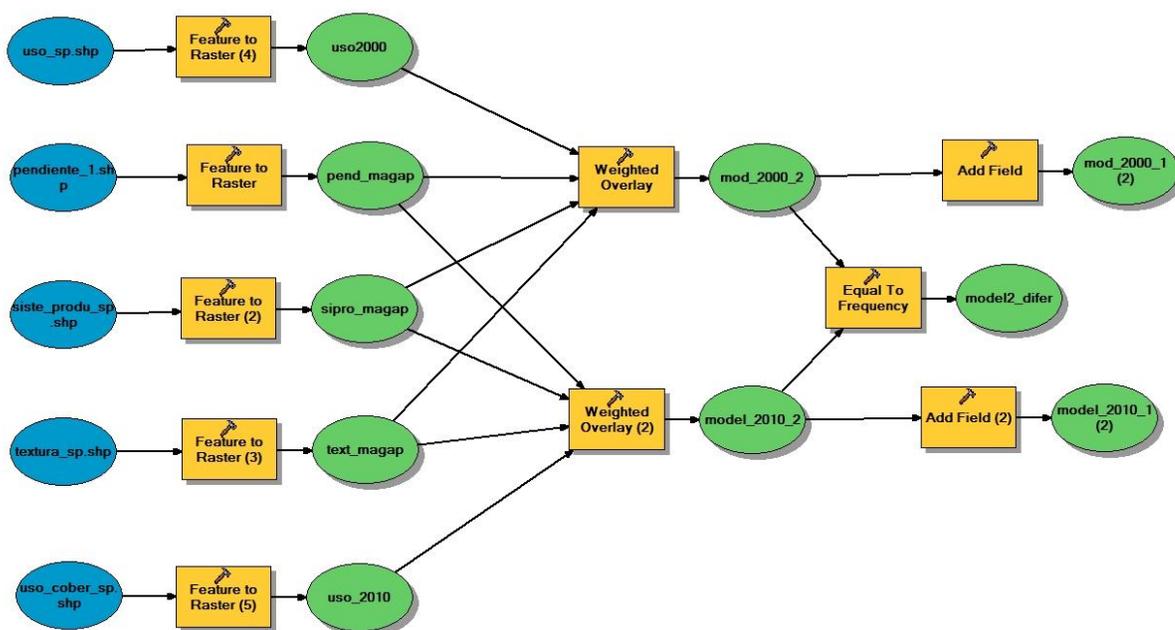


Diagrama 2. Esquema usado en Model Builder para los tres modelos. Elaborado por: Autor

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Ponderación 1.

Como se había indicado para este modelo se consideró:

Uso y Cobertura 10%

Textura del suelo 30%

Sistemas Productivos 10%

Pendiente 50%

Los resultados que se obtuvieron se presentan a continuación:

Leyenda	Color	Año 1999	Año 2010	Diferencia Ha	% incremento 2010	Superficie esperada al 2020
		Cartografía de clasificación	Cartografía SIGTIERRAS			
Expansión agrícola restringida		92588	94368	1780	1,92	96182
Expansión agrícola leve		164	132	-32	-19,51	106
Expansión agrícola moderada		9428	8276	-1152	-12,22	7265
Expansión agrícola media		5776	5172	-604	-10,46	4631
<b>TOTAL</b>		<b>107956</b>	<b>107948</b>	<b>-8</b>		<b>108184</b>

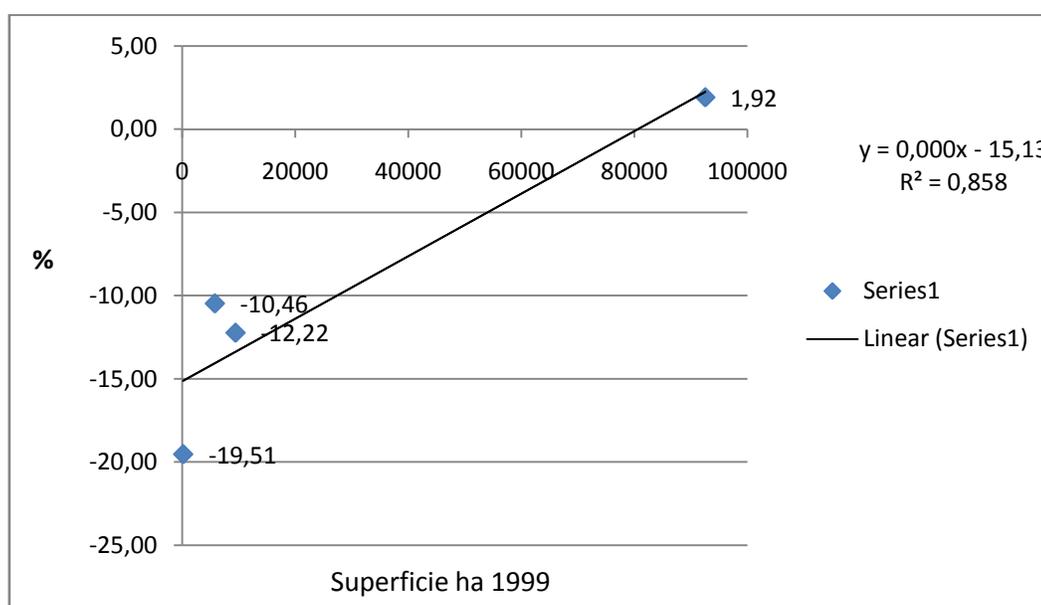
**Tabla 11.** Resultados por superficie ponderación 1. Elaborado por: Autor

Al aplicar esta ponderación los resultados que se obtienen por superficie y que se presentan en la tabla 11 nos indican que:

- a. La diferencia de superficie comprendida entre los años 1999 y 2010, presenta un incremento de la actividad agropecuaria en las zonas consideradas de expansión restringida, con un incremento aproximado de 1780 ha, además se puede observar una reducción en el avance de frontera agrícola de aproximadamente 1788 ha, para las zonas de expansión agrícola leve, moderada y media, porcentualmente la actividad agropecuaria utilizando esta ponderación crece en un 1,92% en zonas restringidas, mientras se reduce drásticamente las zonas de expansión leve con un decremento de 19,51%; la zona de expansión agrícola moderada presenta la mayor superficie de reducción con 1152 ha menos; si utilizamos esta ponderación de modelo para proyectar la frontera agrícola por superficie podemos mencionar que, en las zonas donde se presentan más restricciones para las actividades agropecuarias esta se incrementara para el año 2020 en 1814 ha

aproximadamente, en tanto las restantes zonas seguirán presentando reducción en su superficie.

- b. Cabe notar que la superficie que se considera de expansión fuerte, es decir donde se presentan condiciones favorables para el desarrollo de actividades agropecuarias no presenta cambios en esta ponderación, no se identifican cambios en el período 1999-2010, se puede decir que esta zona con este modelo se mantiene estable.
- c. Considerando a la superficie del año 1999 como variable independiente y el porcentaje de incremento en el período hasta el 2010 como variable dependiente y realizando la regresión lineal (gráfico 1), y obteniendo la respectiva ecuación se puede observar que el  $r^2=0.85$ , es decir son altamente vinculados la superficie de la primera cartografía con el % de incremento considerando la primera ponderación.



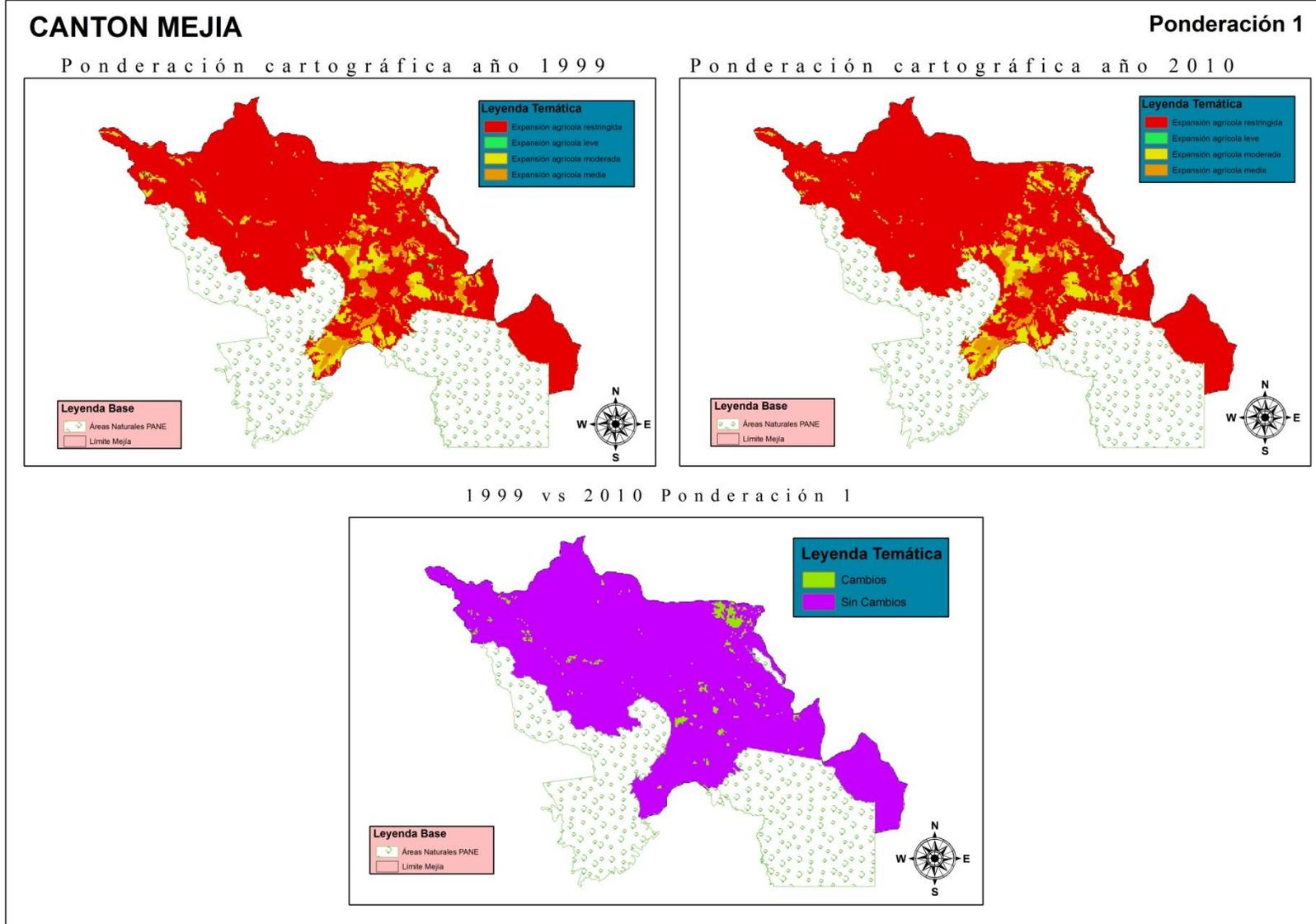
**Gráfico 1.** Regresión lineal usando modelo de la ponderación 1. Elaborado por: Autor

d. Gráficamente se puede observar los cambios en el mapa 1, además como resultado del equal to frequency se puede mencionar que:

		<b>Superficie Ha</b>
<b>Superficie con cambios</b>		<b>2544</b>
<b>Superficie sin cambios</b>		<b>105404</b>

**Tabla 12.** Diferencias usando ponderación 1, años 1999 vs 2010. Elaborado por: Autor

Se puede observar que 105.404ha no han sufrido cambios en el lapso de 11 años, en tanto 2.544ha se han modificado, lo que representa un cambio del 2,35%.



**Mapa 1.** Ponderación y cambios de superficie usando modelo de la ponderación 1. Elaborado por: Autor

## Ponderación 2.

Como se había indicado para este modelo se consideró:

Uso y Cobertura 10%

Textura del suelo 50%

Sistemas Productivos 10%

Pendiente 30%

Los resultados que se obtuvieron se presentan a continuación:

Legenda	Color	Año 1999	Año 2010	Diferencia Ha	% incremento 2010	Superficie esperada al 2020
		Cartografía de clasificación	Cartografía SIGTIERRAS			
Expansión agrícola restringida		92588	94368	1780	1,92	96182
Expansión agrícola leve		116	104	-12	-10,34	93
Expansión agrícola moderada		10536	9156	-1380	-13,10	7957
Expansión agrícola media		4716	4320	-396	-8,40	3957
	<b>TOTAL</b>	<b>107956</b>	<b>107948</b>	<b>-8</b>		<b>108189</b>

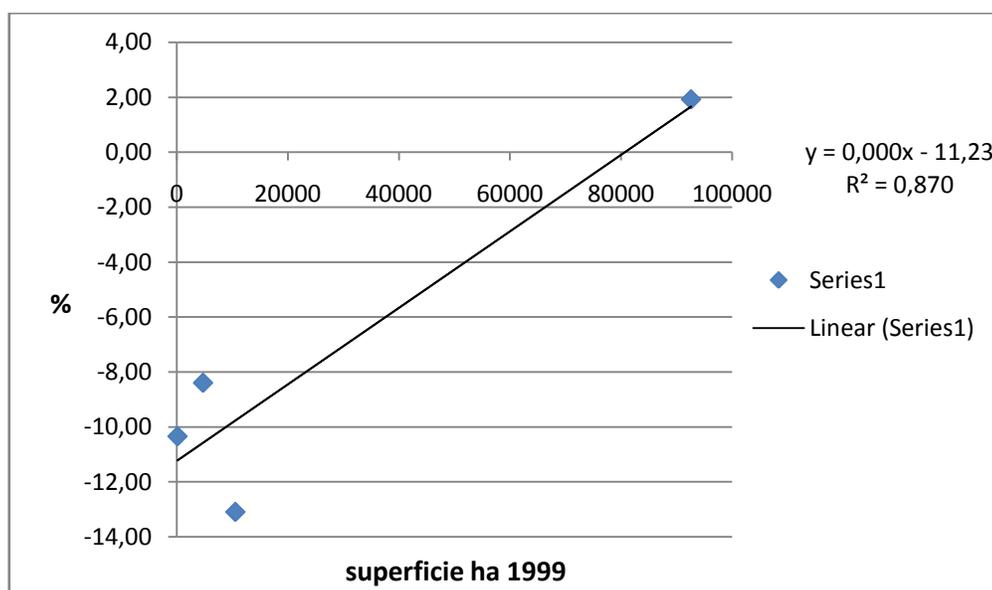
**Tabla 13. Resultados por superficie ponderación 2. Elaborado por: Autor**

Al aplicar esta ponderación los resultados que se obtienen por superficie y que se presentan en la tabla 13 nos indican que:

- a. La diferencia de superficie comprendida entre los años 1999 y 2010, presenta un incremento de la actividad agropecuaria en las zonas consideradas de expansión restringida, con un incremento aproximado de 1780 ha (similar al modelo de la ponderación 1), además se puede observar una reducción en el avance de frontera agrícola de aproximadamente 1788 ha (similar al modelo de la ponderación 1), para las zonas de expansión agrícola leve, moderada y

media, porcentualmente la actividad agropecuaria utilizando esta ponderación crece en un 1,92% en zonas restringidas, mientras se reduce en las zonas de expansión moderada con un decremento de 13,10%, siendo esta la mayor superficie que presenta reducción; si utilizamos esta ponderación de modelo para proyectar la frontera agrícola por superficie podemos mencionar que, en las zonas donde se presentan más restricciones para las actividades agropecuarias esta se incrementara para el año 2020 en 1814 ha aproximadamente (similar al modelo de la ponderación 1), en tanto las restantes zonas seguirán presentando reducción en su superficie.

- b. Cabe notar que la superficie que se considera de expansión fuerte, es decir donde se presentan condiciones favorables para el desarrollo de actividades agropecuarias no presenta cambios en esta ponderación, no se identifican cambios en el período 1999-2010, se puede decir que esta zona con este modelo se mantiene estable.
- c. Considerando a la superficie del año 1999 como variable independiente y el porcentaje de incremento en el período hasta el 2010 como variable dependiente y realizando la regresión lineal (gráfico 2), y obteniendo la respectiva ecuación se puede observar que el  $r^2=0.87$ , es decir son altamente vinculados la superficie de la primera cartografía con él % de incremento considerando la primera ponderación.



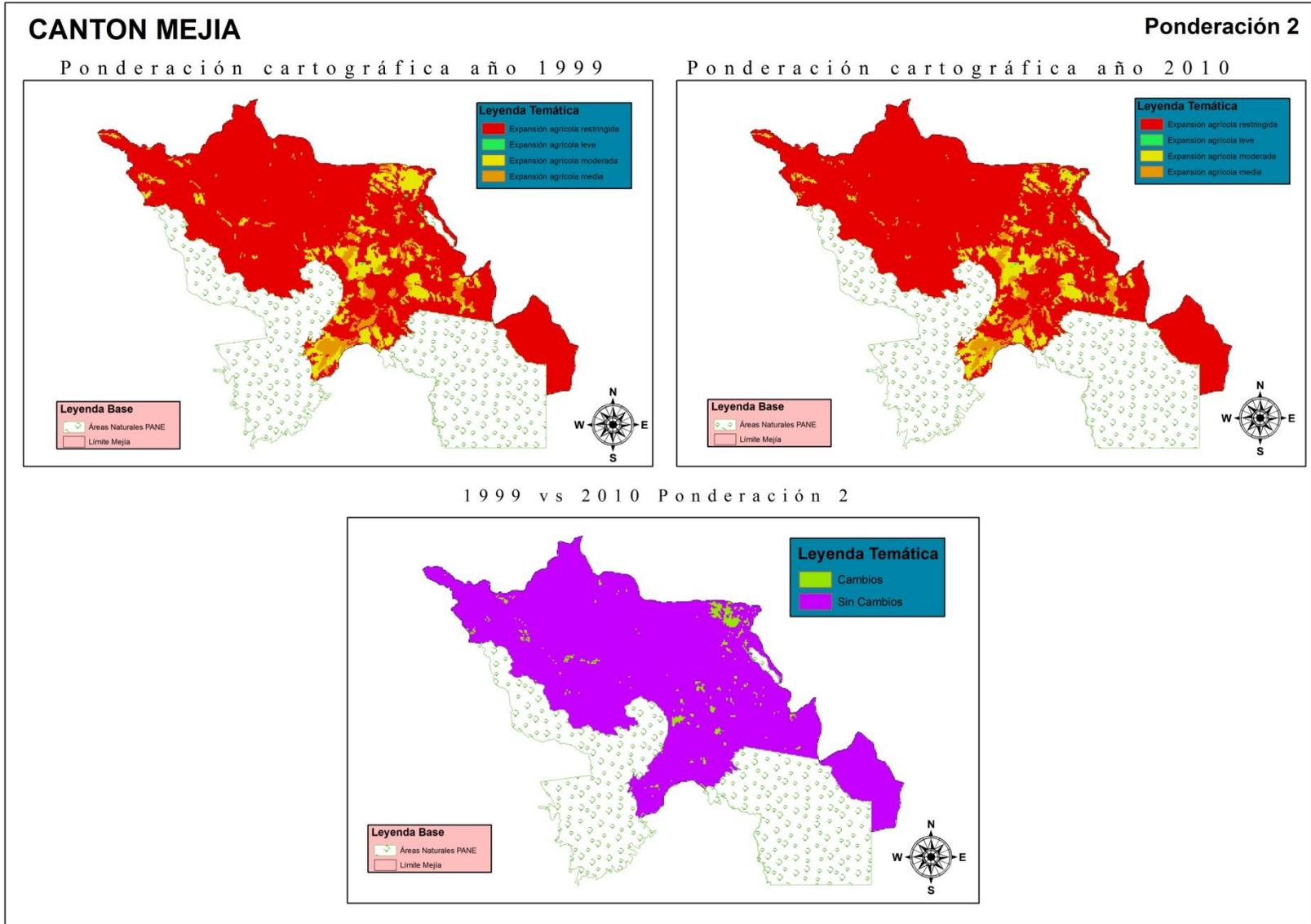
**Gráfico 2.** Regresión lineal usando modelo de la ponderación 2. Elaborado por: Autor

- d. Gráficamente se puede observar los cambios en el mapa 2, además como resultado del equal to frequency se puede mencionar que:

		Superficie Ha
Superficie con cambios		2524
Superficie sin cambios		105424

**Tabla 14.** Diferencias usando ponderación 2, años 1999 vs 2010. Elaborado por: Autor

Se puede observar que 105.424ha no han sufrido cambios en el lapso de 11 años, en tanto 2.524ha se han modificado, lo que representa un cambio del 2,33%.



Mapa 2. Ponderación y cambios de superficie usando modelo de la ponderación 2. Elaborado por: Autor

### Ponderación 3.

Como se había indicado para este modelo se consideró:

Uso y Cobertura 50%

Textura del suelo 20%

Sistemas Productivos 10%

Pendiente 20%

Los resultados que se obtuvieron se presentan a continuación:

Leyenda	Color	Año 1999	Año 2010	Diferencia Ha	% incremento o 2010	Superficie esperada al 2020
		Cartografía de clasificación	Cartografía SIGTIERRAS			
Expansión agrícola restringida		92588	94368	1780	1,92	96182
Expansión agrícola leve		256	80	-176	-68,75	25
Expansión agrícola moderada		856	736	-120	-14,02	633
Expansión agrícola media		13788	12300	-1488	-10,79	10973
Expansión agrícola fuerte		468	464	-4	-0,85	460
	<b>TOTAL</b>	<b>107488</b>	<b>107484</b>	<b>-4</b>		<b>108273</b>

**Tabla 15.** Resultados por superficie ponderación 3. Elaborado por: Autor

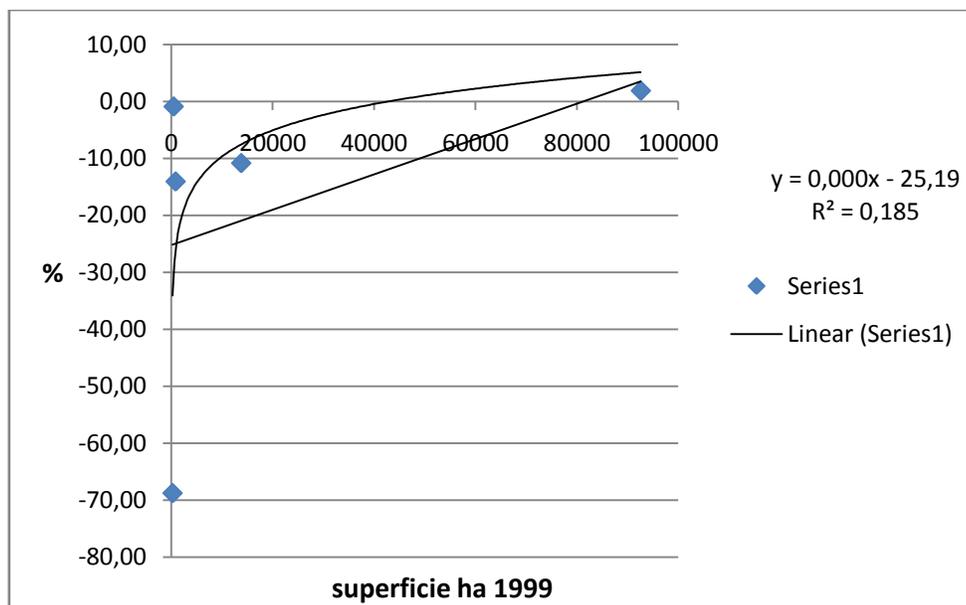
Al aplicar esta ponderación los resultados que se obtienen por superficie y que se presentan en la tabla 15 nos indican que:

- a. La diferencia de superficie comprendida entre los años 1999 y 2010, presenta un incremento de la actividad agropecuaria en las zonas consideradas de expansión restringida, con un incremento aproximado de 1780 ha (similar al modelo de la ponderación 1 y 2), además se puede observar una reducción en el avance de frontera agrícola de aproximadamente 1788 ha (similar al modelo

de la ponderación 1 y 2), para las zonas de expansión agrícola leve, moderada, media y fuerte; porcentualmente la actividad agropecuaria utilizando esta ponderación crece en un 1,92% en zonas restringidas, mientras se reduce de forma brusca en las zonas de expansión leve con un decremento de 68,75%, pero la zona de expansión agrícola media posee la mayor superficie de reducción con 1488 ha menos en el período de 11 años, si utilizamos esta ponderación de modelo para proyectar la frontera agrícola por superficie podemos mencionar que, en las zonas donde se presentan más restricciones para las actividades agropecuarias esta se incrementara para el año 2020 en 1814 ha aproximadamente (similar al modelo de la ponderación 1 y 2), en tanto las restantes zonas seguirán presentando reducción en su superficie.

- b. Cabe notar que la superficie que se considera de expansión fuerte, es decir donde se presentan condiciones favorables para el desarrollo de actividades agropecuarias en este modelo con la tercera ponderación presenta una reducción de 4 ha en el período 1999-2010, se puede decir que esta zona con este modelo cambia de patrón de uso y pondría en riesgo la soberanía y seguridad alimentaria de esta zona.
- c. Considerando a la superficie del año 1999 como variable independiente y el porcentaje de incremento en el período hasta el 2010 como variable dependiente y realizando la regresión lineal (gráfico 3), y obteniendo la respectiva ecuación se puede observar que el  $r^2=0.18$ , es decir no son

altamente vinculados la superficie de la primera cartografía con él % de incremento considerando la primera ponderación.



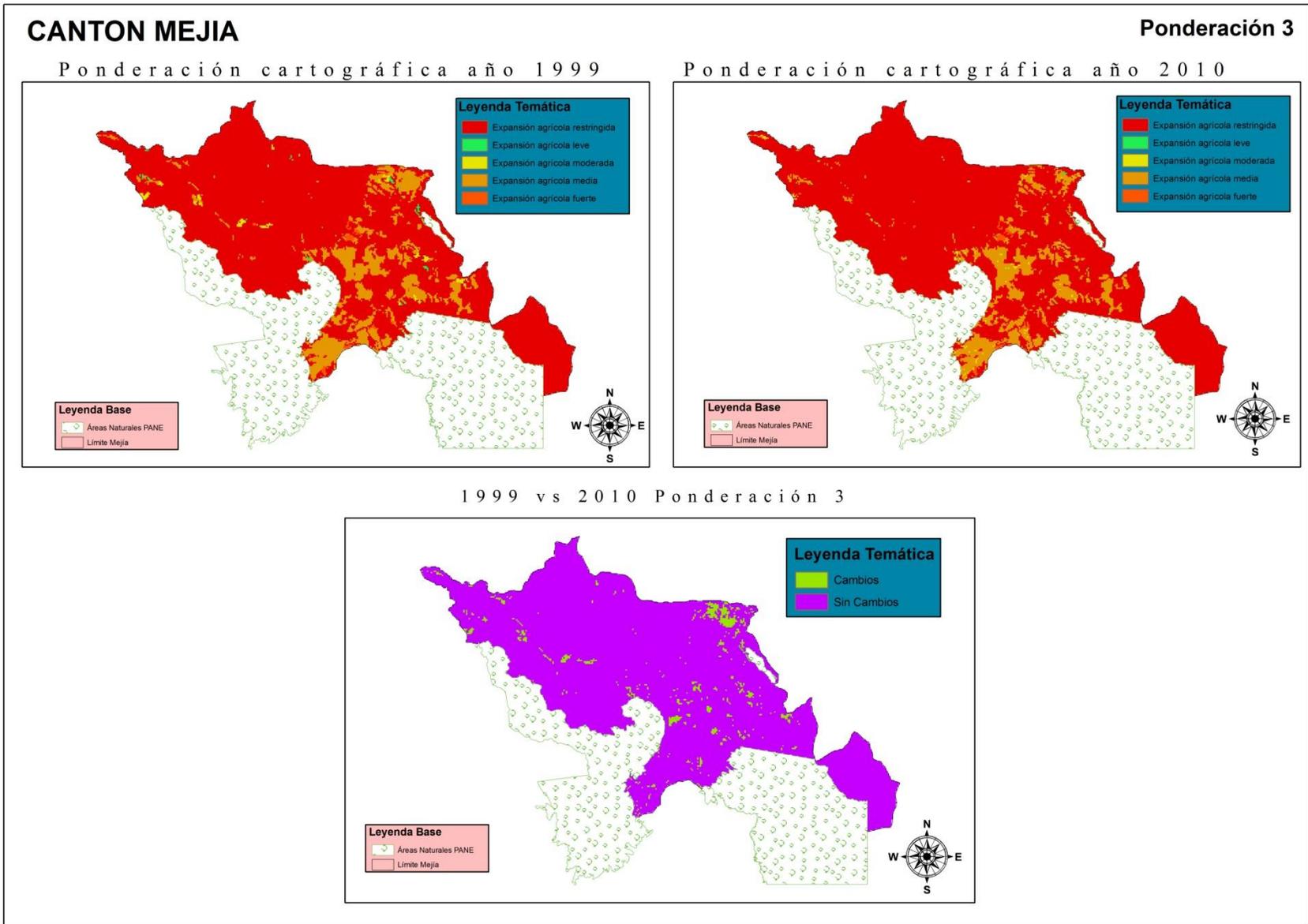
**Gráfico 3.** Regresión lineal usando modelo de la ponderación 3. Elaborado por: Autor

d. Gráficamente se puede observar los cambios en el mapa 3, además como resultado del equal to frequency se puede mencionar que:

		Superficie Ha
Superficie con cambios		3580
Superficie sin cambios		104368

**Tabla 16.** Diferencias usando ponderación 3, años 1999 vs 2010. Elaborado por: Autor

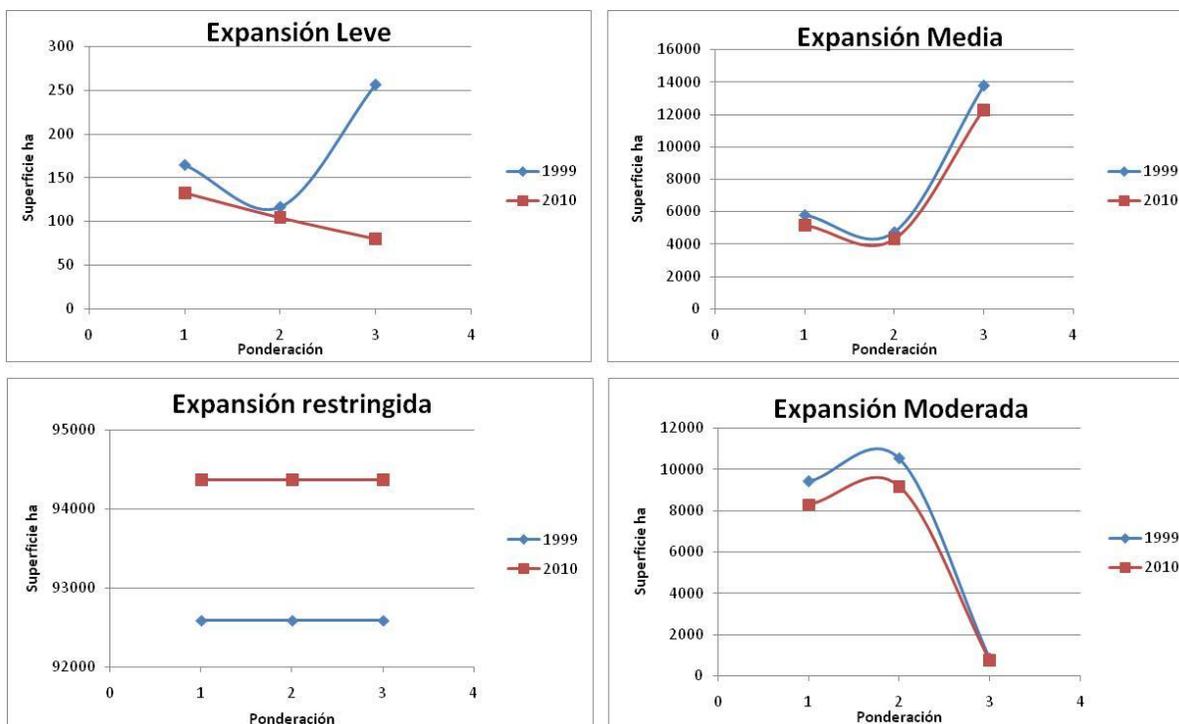
Se puede observar que 104.368 ha no han sufrido cambios en el lapso de 11 años, en tanto 3.580 ha se han modificado, lo que representa un cambio del 3,32%.



**Mapa 3.** Ponderación y cambios de superficie usando modelo de la ponderación 3. Elaborado por: Autor

## Discusión

Las diferencias que se presentan en la superficie según el año y la ponderación, corresponden a:



**Gráfico 4.** Superficie según ponderación, considerando grados de expansión agrícola. Elaborado por: Autor

- Las zonas de expansión media y moderada, presentan similar comportamiento según ponderación y año, cabe anotar que la mayor superficie en ambos casos se presenta en el año 1999.
- Para la expansión restringida, a pesar que poseen similar comportamiento por año y ponderación se nota en la gráfica 4, una diferencia superior a 1000 ha, en este caso las mayores superficies corresponden a las calculadas dentro del año 2010.

- c. La expansión leve es la que presenta mayor diferencia, como se observa en la gráfica 4, en la ponderación 3 la superficie de 1999 se incrementa, mientras la del 2010 mantiene su descenso.
- d. Como se había revisado en las gráficas 1, 2 y 3, los  $r^2$  del año 1999, presentan resultados de 0,85 (ponderación 1), 0,87 (ponderación 2) y 0,18 (ponderación 3), esto se lo podría explicar al revisar la gráfica 4 (en la expansión leve) se puede observar como en la tercera ponderación el valor se incrementa en forma abrupta y no guarda relación o tendencia al comportamiento normal de los datos, de esto podemos decir este es el factor para que la correlación de las variables de la ponderación 3 tengan un  $r^2$  bajo (0,18).

En el caso de las ponderación utilizadas (tabla 10), analizando los resultados obtenidos, en los tres casos la superficie se incrementa en 1,92% para el período de 11 años, es más estable el uso de las ponderaciones dos y tres, dado que estas consideran de mayor relevancia a las variables biofísicas (textura y pendiente), solo en la tercera ponderación el uso y cobertura se considera de mayor importancia con 50%, pero las variables biofísicas le siguen con un 40%, lo que le da cierta estabilidad a la ponderación, en los tres casos los sistemas de producción solo se los considera con un 10%, dado que es un factor cambiante y que implica directamente a los productores y a las escala de representación no se podría representar todos los medios de producción que emplea, siendo por ende esta cartografía una referencia que apoya en la modelo.

<b>Uso y cobertura</b>	<b>PONDERACIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Bosque natural	Restringido	R
Complejo industrial	Restringido	R
Erial	Restringido	R
Nieve	Restringido	R
Paramo	Restringido	R
Urbano	Restringido	R
<b>Textura del suelo</b>	<b>PONDERACIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Nieve	Restringido	R
Roca	Restringido	R
Sin informacion	Restringido	R
Sin suelo	Restringido	R
Urbano	Restringido	R
<b>Sistemas Productivos</b>	<b>PONDERACIÓN</b>	<b>VALOR</b>
SIN USO AGROPECUARIO	Restringido	R
<b>Pendiente</b>	<b>PONDERACIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Nieve	Restringido	R
Plano a casi plano	Restringido	R
Suave o ligeramente ondulada	Restringido	R
Urbano	Restringido	R

**Tabla 17.** Elementos considerados restringidos para las ponderaciones. Elaborado por: Autor

Que se presente el mismo comportamiento en las diferentes ponderaciones, puede deberse a que los elementos de restricción son los mismos paca una de las ponderaciones solo el valor porcentual de la variable se planteo cambiar en el estudio.

## 7. CONCLUSIONES

El proceso metodológico que se presenta en esta investigación puede ser usado para determinar la expansión agrícola, considerando un período de 10 años, de incremento, la ponderación que se debe usar en el proceso debe ser la segunda considerando las variables uso y cobertura (10%), textura del suelo (30%), Sistemas de Producción Agropecuarios (10%) y la Pendiente del Suelo (30%), dado que esta presentó un  $R^2$  de 0,87.

El uso de los SIG y la Teledetección se refleja en la versatilidad y facilidad de análisis espacial de las diferentes cartografías, el proceso se simplifica para la obtención de los resultados, esto se observa gracias a la creación del modelo de ponderación presente en esta investigación donde podemos citar la importancia del uso del model builder para sistematizar el proceso cartográfico de obtención de incremento de frontera agrícola.

La versatilidad que poseen los SIG nos permite incluir niveles y restricciones de elementos dentro de las variables esto en el análisis espacial, lo que brinda al investigador o usuario de estas herramientas una opción para el estudio de diferentes fenómenos y su relación espacial.

Se pudo obtener con las imágenes disponibles una cartografía de uso y cobertura del año 1999 usando técnicas de clasificación supervisadas, considerando que la mayor parte del Ecuador se encuentra cubierto por nubes la mayor parte del año, se debe considerar otras técnicas para la captura de información.

Las variables que se deben usar en la expansión agrícola son la pendiente y la textura del suelo, considerando que son las de las que se dispone cartografías de archivo y son elementos que no sufren cambios en períodos cortos como si lo hacen la cobertura del suelo y los sistemas productivos.

Dado que no se puede obtener información de esta zona de años menores al 2000, esto dificulta que se tenga una cantidad de datos que nos permita determinar un modelo probabilístico de incremento de frontera agrícola.

## 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda usar este esquema metodológico en un cantón de la costa del Ecuador, donde se presenten condiciones de pendiente más homogéneas y se valide las ponderaciones consideradas en esta investigación.

Realizar este proceso metodológico a nivel de finca considerando niveles de fertilidad de suelo, representado como puntos, esto puede favorecer a la aplicación de geoestadística en incremento de zonas productoras a nivel de productor, dado que a nivel cantonal no se cuenta con información que nos permita realizar estos estudios.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aronoff, S (1989). *Geographic Information System: A Management Perspective*. Ottawa, Canada: WDL Publications.
- Barredo, J. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio*. España-Madrid: Ra-Ma.
- Basterra, I. (2011). *Teledetección-Imágenes Satelitales-Procesamiento Digital de Imágenes*. "Cátedra de Fotointerpretación". Chaco-Argentina: Facultad de Ingeniería. pp. 22-33. <http://www.edusig.com.ar/contenido/sig/definiciones-sobre-sig>.
- Calderón, C. & Martínez L. (2008) "*Variabilidad Espacial del Suelo y su Relación con el Rendimiento de Mano (Mangifera indica L.)*" *Revista Brasileira de Fruticultura* Dec. 2008: 1146+. *Gale Power Search*. Web. 10 Mar. 2014  
Document URL  
[http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CA201943749&v=2.1&u=ie\\_e\\_cons&it=r&p=GPS&sw=w&asid=688c12a13fa6bffe81d3781e33f8a09](http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CA201943749&v=2.1&u=ie_e_cons&it=r&p=GPS&sw=w&asid=688c12a13fa6bffe81d3781e33f8a09)
- Carter, J. (1989). On defining the Geographic Information System, in *Fundamentals of Geographic Information Systems*. Bethesda MD: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. pp 3-9
- Gallotti, T. (2007). *Iniciación en Sensoramiento Remoto*. Brasil: Oficina de textos.p.11
- Gómez M., & Barrero J. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio*. Madrid: Ra-Ma, 2005. p. 35
- INEC. "Datos Estadísticos Agropecuarios." Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.2011.INEC.21/07/2014.[http://www.inec.gob.ec/estadisticas/index.php?option=com\\_remository&Itemid=&func=startdown&id=1529&lang=es&TB\\_iframe=true&height=250&width=800](http://www.inec.gob.ec/estadisticas/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=startdown&id=1529&lang=es&TB_iframe=true&height=250&width=800).

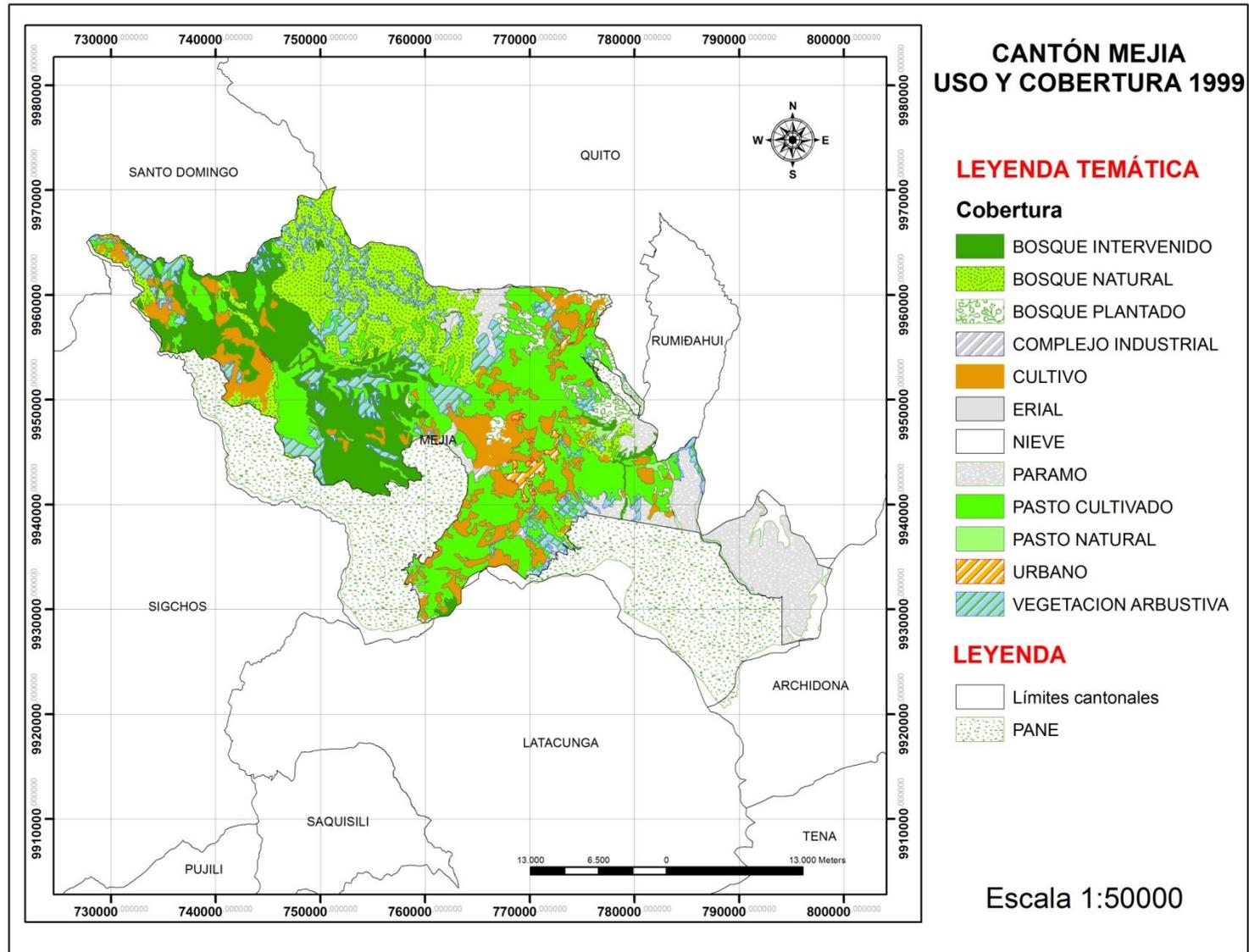
Molina, M. (2013). El Método Científico Global. España: Molwick. pp. 33-34

Trápaga, Y. (2014) El Fin de la Frontera Agrícola y el Acaparamiento de Tierras en el Mundo: Investigación Económica. N°71 (279), pp 71-92. Scielo. 21/08/2014 [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-16672012000100004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16672012000100004&lng=es&tlng=es)

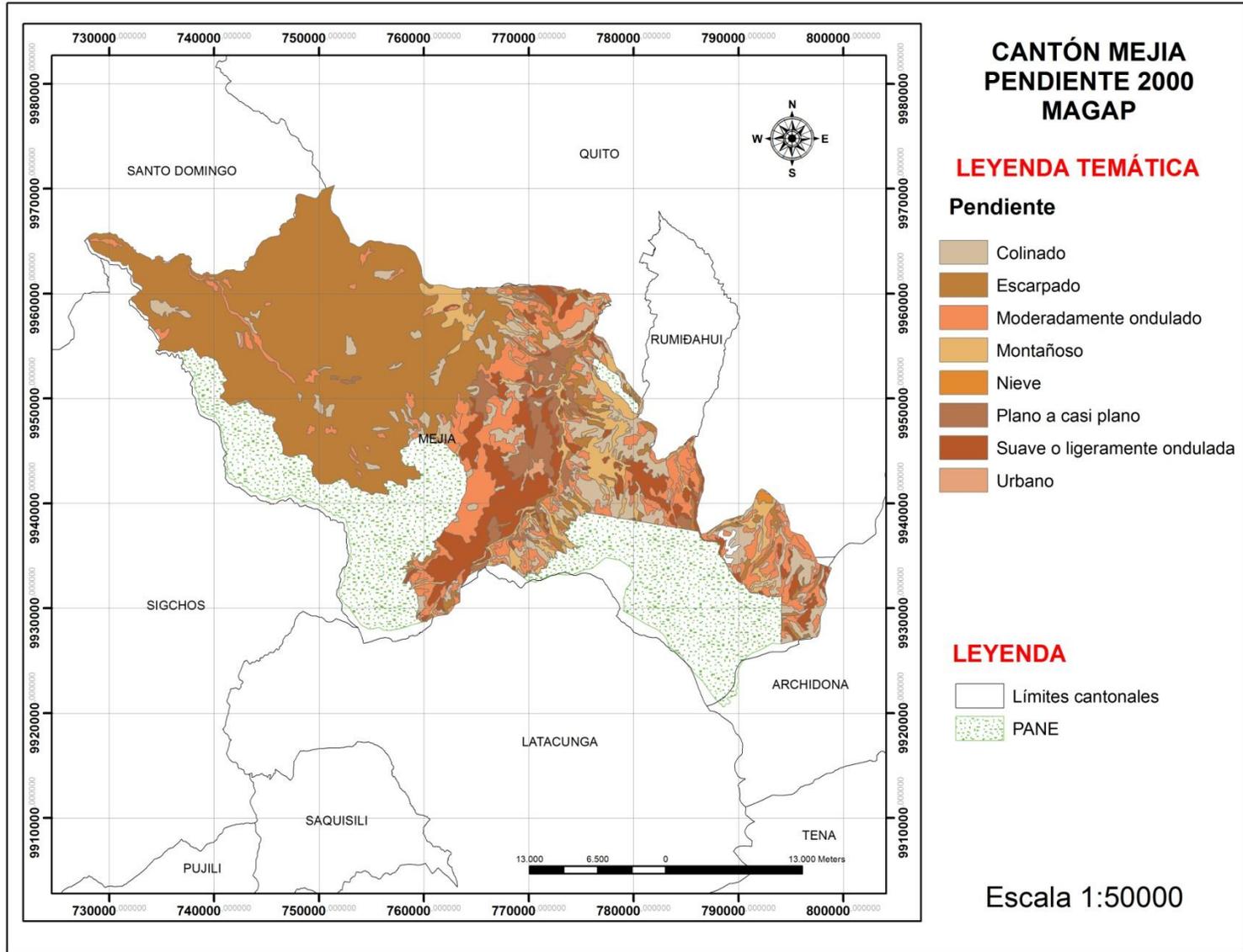
Universidad Nacional de Colombia. (2009). Introducción a la Geoestadística. Bogotá-Colombia: Departamento de Estadística. pp. 17-21-22

## 10. ANEXOS

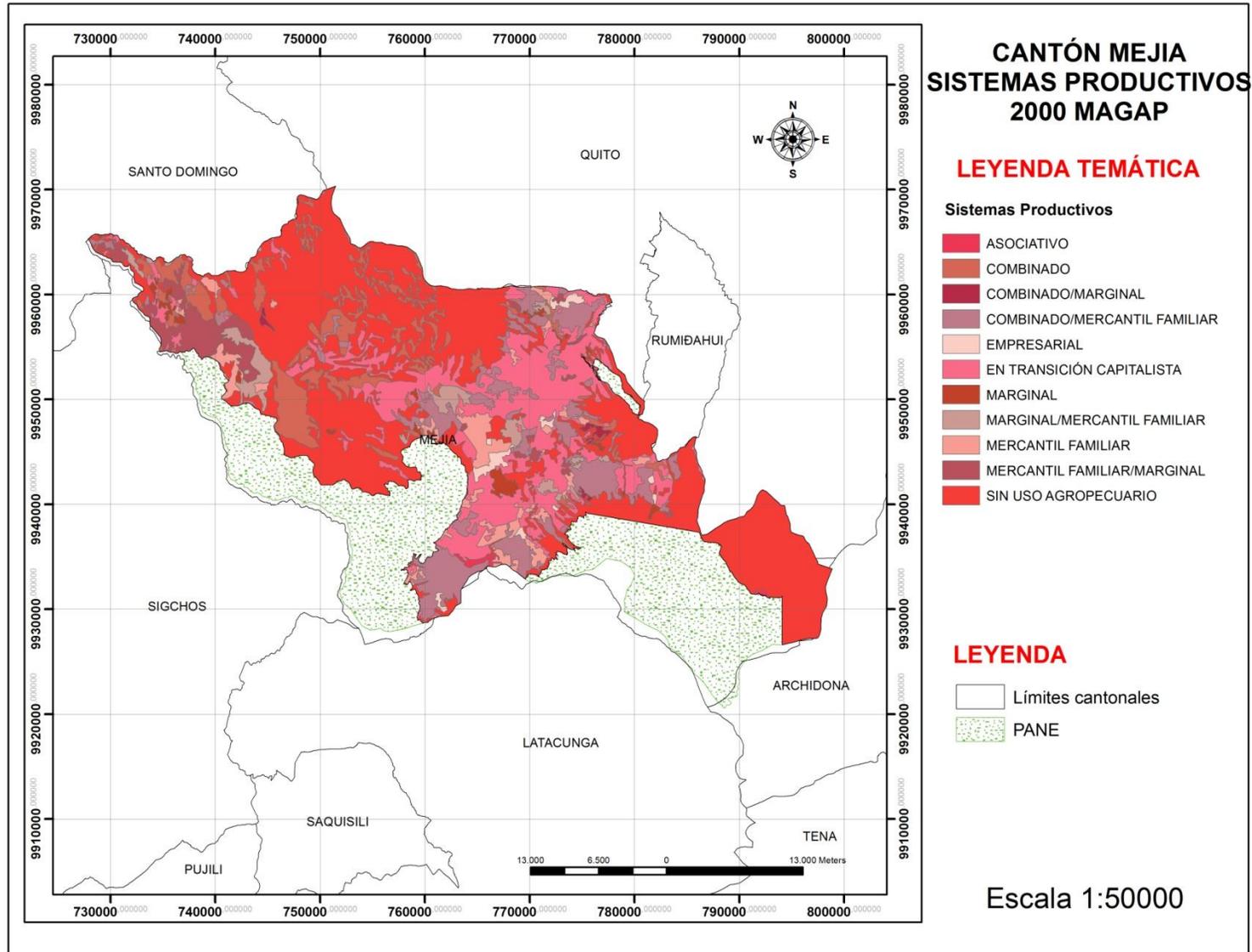
Anexo 1. Uso y cobertura, cantón Mejía, 1999.



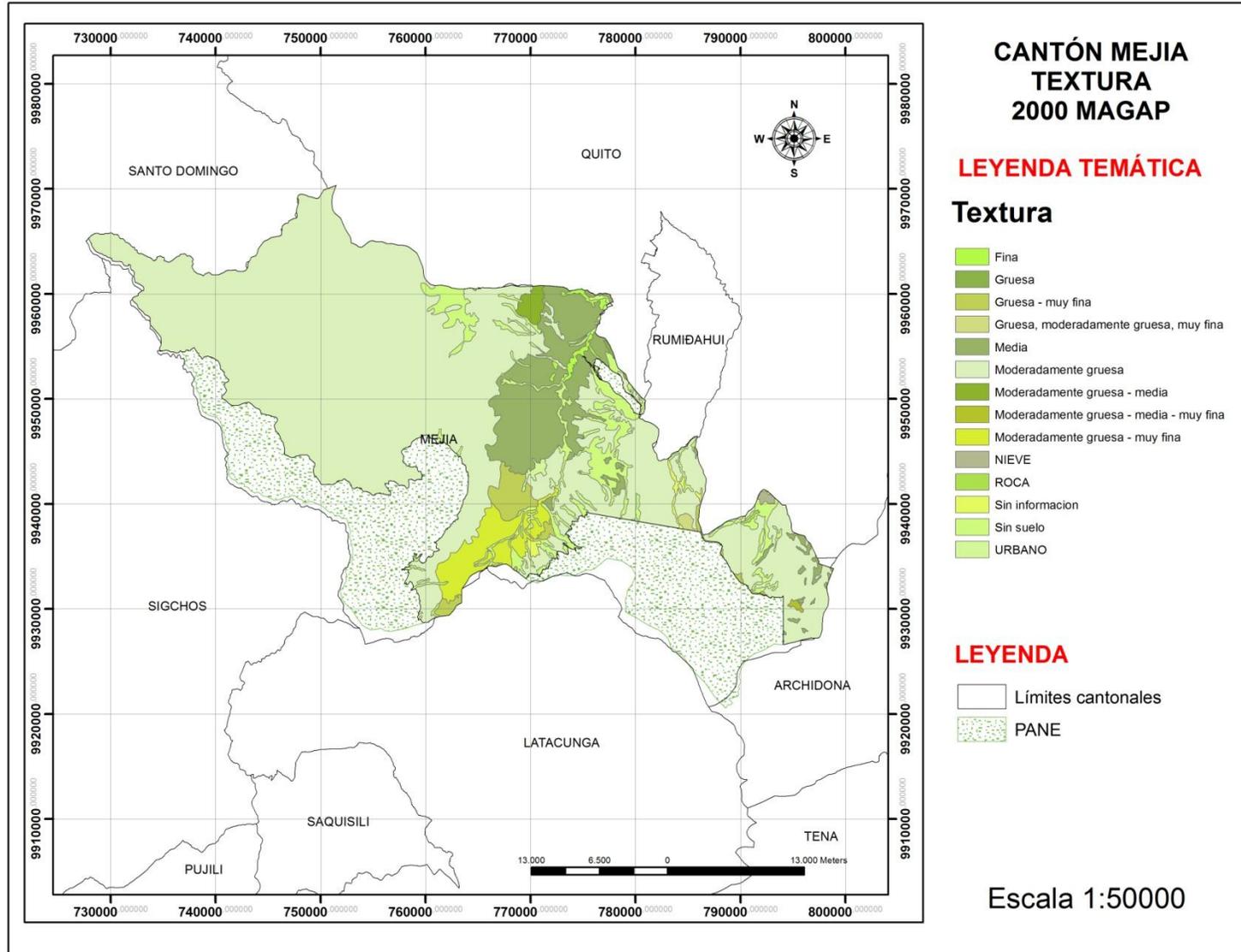
Anexo 2. Pendiente, cantón Mejía, MAGAP 2000



Anexo 3. Sistema de Producción, cantón Mejía, MAGAP 2000



Anexo 4. Textura, cantón Mejía, MAGAP 2000



Anexo 5. Uso y Cobertura, cantón Mejía, SIGTIERRAS 2010.

