

**CENTRO AGRONÓMICO Y TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA,
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADUADOS**

Biblioteca Comemorativa
ORTON - IICA - CATIE

28 NOV 2001

RECIBIDO

Turrialba, Costa Rica

**MODELO DE USO DE LA TIERRA DE SABANA OCCIDENTE.
CUNDINAMARCA, COLOMBIA**



Tesis sometida a la consideración de la Escuela de posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la conservación del Centro Agronómico y Tropical de Investigación y Enseñanza y como requisito para optar al grado de:

Magíster Scientiae

Por

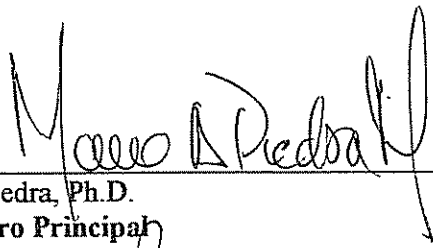
LUZ ANGELA RODRÍGUEZ ESCOBAR

Turrialba, Costa Rica
2001.

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



Mario Piedra, Ph.D.
Consejero Principal

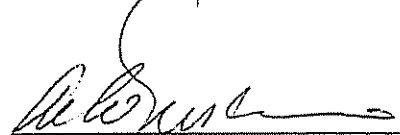


Jeffrey Jones, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

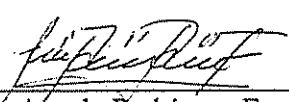


Eliécer Vargas, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Irma Barquero, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
Director Escuela de Posgrado



Luz Angela Rodríguez Escobar
Candidata

DEDICATORIA

A mi señora madre, por todo el afecto, comprensión y solidaridad que siempre me brinda y porque ha sido un ejemplo de valor, amor e inteligencia para vivir.

Al amor de mi vida, Jaime, por su amor, por su permanente apoyo y por su paciencia para ir construyendo nuestro proyecto de vida.

A mis hermanas y hermanos, amigas y amigos, que saben solidarizarse y emocionarse conmigo así como alentarme a seguir adelante. Y porque ellos hacen de cada momento compartido un motivo para soñar. Especialmente a ti Nidia, compañera y amiga caminante.

A mi país, al que llevo en el alma y espero ver siempre verde y algún día en paz.

A Dios por iluminar mi camino y darme la fortaleza para buscar realizar los sueños.

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Mario Piedra por su orientación y asesoría para hacer realidad este proyecto. A los doctores Eliécer Vargas y Jeffrey Jones, quienes como miembros del comité asesor de tesis contribuyeron con valiosas observaciones en la elaboración del trabajo. A los investigadores del SIG en CATIE, especialmente a Sergio Velásquez, por sus enseñanzas y su colaboración.

Al doctor Alvaro Uribe por su diligencia para hacer posible que Corpoica financiara parcialmente mis estudios e hizo posible la realización de mi tesis en Colombia. A las doctoras Elizabeth Orjuela y Nora Julieta Díaz, por su colaboración en Corpoica. A los investigadores de Corpoica, especialmente a los doctores Irma Baquero, Mandius Romero, Guillermo Carvajal y Carlos Abaunza, por su orientación y sugerencias. Al doctor Carlos Herrera, quien permitió que me integrara al equipo de Investigadores de sistemas de Producción en la Regional Uno de Corpoica. A todos los miembros del equipo de Sistemas de Producción y de Bacata de la Regional Uno, quienes fueron mis asesores y quienes con su dinamismo y empeño contribuyeron permanentemente en mi trabajo.

Al doctor Carlos Castro del Instituto geográfico Agustín Codazzi, por asesoría y apoyo permanente. A los investigadores del Departamento de Planeación y de la URPA de la Gobernación de Cúndinamarca por la información suministrada. A los investigadores de la Corporación Autónoma Regional – CAR – por la información suministrada.

A los directores de las Unidades Municipales del Ministerio de Agricultura en los diez municipios del área de estudio, por su colaboración e interés en la investigación. A las personas responsables de las Oficinas de Planeación de las Alcaldías Municipales por su colaboración y suministro de información sobre los Planes de Ordenamiento Territorial.

A los doctores Luis Lorente y Mario García, por su orientación en el proceso investigativo y sus enseñanzas en economía y, especialmente, por inducirme en el camino de la investigación.

BIOGRAFIA

LUZ ANGELA RODRÍGUEZ ESCOBAR nació en 1969 en Bogotá, Colombia. En 1995 se graduó de economista en la Universidad Nacional de Colombia, su tesis de grado fue premiada como la mejor tesis de economía de año por la Fundación Mobil. De 1995 a 1998 fue investigadora del Centro de Estudios Ganaderos y Agrícolas, CEGA. Durante 1999 realizó estudios de posgrado en Población y Desarrollo Sustentable en la Universidad de Chile, en la ciudad de Santiago de Chile, su tesina de grado fue presentada en el V Congreso Internacional Gestión en Recursos Naturales realizado en noviembre del 2000 en Valdivia, Chile. Actualmente se encuentra vinculada en calidad de tesista a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA.

CONTENIDO

	PAG.
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE ECUACIONES.....	IX
RESUMEN.....	X
SUMMARY.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.4 HIPOTESIS.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 MODELOS ESPACIALES DE USO DE LA TIERRA.....	4
2.2 MODELO ECONOMICO DE USO DE LA TIERRA.....	6
2.3 MODELO ECONOMETRICO DE USO DE LA TIERRA.....	8
2.4 MODELO LOGIT MULTINOMIAL DE USO DE LA TIERRA.....	10
3. MATERIALES Y METODOS.....	13
3.1 LOCALIZACION DEL ESTUDIO.....	13
3.2 GENERACION DE LA BASE DE DATOS.....	18
3.2.1 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	18
3.2.2 CLASIFICACIÓN ACTUALIZADA DE LOS USOS DE LA TIERRA.....	21
3.2.3 UNIDAD DE INFORMACIÓN.....	23
3.2.4 ORGANIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS ESPACIAL.....	24
3.2.5 MUESTREO.....	26
3.2.6 CAPTURA DE LA INFORMACIÓN ESPACIAL.....	29
3.2.7 ESQUEMA METODOLOGICO DEL ESTUDIO.....	30
3.3 MODELOS DE USO DE LA TIERRA EN SABANA OCCIDENTE.....	30
3.3.1 COSTO DE ACCESO COMO COSTO DE TRASPORTE.....	31
3.3.2 ATRIBUTOS DE SITIO.....	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1 MODELO BASICO EMPÍRICO.....	40
4.2 MODELO AMPLIADO EMPÍRICO.....	48
4.3 EFICIENCIA DE PREDICCIÓN.....	52
5. CONCLUSIONES.....	54
5.1 POTENCIALIDADES DE LA METODOLOGÍA.....	54
5.2 LIMITACIONES.....	57
5.3 PUNTOS CRITICOS.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXO 1.....	67
ANEXO 2.....	69

LISTA DE CUADROS

		PAG.
Cuadro 1	Área y Población de los Municipios de Sabana Occidente.....	15
Cuadro 2	Producción Agropecuaria de Sabana Occidente por Municipio...	17
Cuadro 3	Información Cartográfica de Sabana Occidente.....	19
Cuadro 4	Mapas que Conforman la Base de Datos Espacial Provincia de Sabana Occidente, año 1993.....	20
Cuadro 5	Categorías de Usos de la Tierra en Sabana Occidente.....	21
Cuadro 6	Tamaño de Búfer para la Creación del Mapa de Incertidumbre..	25
Cuadro 7	Atributos de Sitio Incorporados en la Literatura de Modelos de Uso de la Tierra.....	37
Cuadro 8	Variables Explicativas del Uso de la Tierra en Sabana Occidente	38
Cuadro 9	Vector de Probabilidades Estimadas a partir del Modelo Básico..	40
Cuadro 10	Efectos Marginales de los Usos de la Tierra Estimados a partir del Modelo Básico.....	41
Cuadro 11	Matriz de Predicción de Usos de la Tierra de la Estimación del Modelo Básico.....	47
Cuadro 12	Vector de Probabilidades Estimadas a partir del Modelo Ampliado.....	49
Cuadro 13	Efectos Marginales del Modelo Ampliado de Uso de la Tierra...	50
Cuadro 14	Matriz de Predicción de los Usos de la Tierra de la Estimación del Modelo Ampliado.....	52
Cuadro 15	Dirección de los Efectos Marginales para dos Clasificaciones de Uso de la Tierra en Sabana Occidente.....	60

LISTA DE FIGURAS

		PAG.
Figura 1:	Representación del Modelo de Von Thunen: Renta de Ubicación en Función de la Distancia a la Ciudad.....	7
Figura 2:	Colombia en América	14
Figura 3:	Cundinamarca en Colombia.....	14
Figura 4:	Provincias del Departamento de Cundinamarca.....	14
Figura 5:	Los Municipios de la Provincia de Sabana Occidente y su Limite con Bogotá.....	16
Figura 6:	Proceso de Obtención del Mapa de Usos de la Tierra.....	19
Figura 7:	Categorías de Uso de la Tierra En Sabana Occidente.....	22
Figura 8:	Distribución de Usos de la Tierra.....	24
Figura 9:	Tendencia de la Varianza Muestral en Función del Tamaño de Muestra.....	27
Figura 10:	Distribución de los Usos de la Tierra en La Población y en La Muestra.....	28
Figura 11:	Obtención de la Información Muestral de la Capa de Usos de la Tierra.....	29
Figura 12:	Esquema Metodológico para la Estimación del Modelo de Uso de la Tierra en Sabana Occidente.....	30
Figura 13:	Mapa vial de Sabana Occidente.....	33
Figura 14:	Mapa de Costo de Acceso al Mercado de Bogotá, calculado en Minutos.....	35
Figura 15:	Distribución Espacial del Uso Agrícola sobre el Mapa de Accesibilidad.....	42
Figura 16:	Distribución Espacial del Uso Bosques sobre el Mapa de Accesibilidad.....	44
Figura 17:	Distribución de los usos de la Tierra con base en los Efectos Marginales Estimados a partir del Modelo Básico.....	46

LISTA DE ECUACIONES

	PAG.
Ecuación 1: Valor presente neto de la renta.....	8
Ecuación 2: Función de producción tipo Cobb-Douglas.....	9
Ecuación 3: Precios de los productos y costo de los insumos en función del costo de acceso al mercado	9
Ecuación 4: Modelo econométrico para la renta.....	9
Ecuación 5: Modelo econométrico simplificado para la renta.....	9
Ecuación 6: Modelo Logit Multinomial.....	10
Ecuación 7: Modelo Logit Multinomial para la categoría base.....	11
Ecuación 8: Efectos Marginales del modelo Logit Multinomial.....	12
Ecuación 9: Varianza estimada de una proporción.....	26

RESUMEN

La presente investigación hace una aplicación de los modelos logit multinomial para explicar el uso de la tierra en una región de Colombia en función de factores económicos, biofísicos y geográficos específicos de sitio. Estos modelos son de carácter estático, haciendo énfasis en las relaciones de las variables en el espacio y por ello retoman y procesan la información con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica.

El área de estudio fue la Provincia de Sabana Occidente, localizada en Cundinamarca, en el centro de Colombia. Esta provincia se tomó como un estudio de caso para hacer una aplicación crítica de este tipo de modelos y analizar su potencial como herramienta para el desarrollo de modelos descriptivos y explicativos del uso de la tierra en las regiones de Colombia que den pautas para el ordenamiento territorial.

Los modelos estimados de uso de la tierra en Sabana Occidente contribuyeron en parte a describir y explicar los efectos de las variables económicas y específicas de sitio sobre las probabilidades de los usos de la tierra y dieron señales para predecir el impacto de un cambio en estas variables explicativas. El primer modelo estimó el uso de la tierra en función del costo de acceso al mercado y permitió explicar la distribución global de los usos. El segundo modelo incorporó al modelo anterior atributos de sitio como variables explicativas: altura, pendiente, erosión, horizonte argílico, distancia a ríos y cantidad de pozos; éste modelo estimó apropiadamente dos usos de la tierra y exhibió una eficiencia de predicción global del 57%.

Los modelos de uso de la tierra son una herramienta útil para el proceso de planificación del territorio que ayuda a superar la tradición de hacer planes basándose solo en modelos ideales que no consultan la realidad. Estos modelos contribuyen a guiar la formulación de políticas para ordenar el uso de la tierra de acuerdo a sus condiciones biofísicas y a las necesidades y demandas de los productores.

Es importante señalar que estos modelos son una herramienta más para la planificación regional, que son construidos sobre supuestos simplificadores de la realidad por tanto

requiere que se tenga cuidado en la interpretación de sus resultados y que se tenga en cuenta sus limitaciones para no abusar de sus potencialidades.

Finalmente, se resalta la importancia de este tipo de trabajos para mostrar los logros de la teoría económica en la incorporación de la dimensión espacial explícitamente. Con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica, los modelos de uso de la tierra contribuyen a hacer una expresión geográfica de la decisión de los agentes económicos sobre la ubicación de su actividad económica.

SUMMARY

The present investigation makes an application for the Multinomial Logit Models to explain land use in a region of Colombia in function biophysics and socioeconomic factors processing from the GIS and support in economic theory. The study area was Province of Sabana Occidente, in the center of Colombia. This was a referring case to carry out a critical application this methodology how tool for the development of regional models of descriptive and explanatory to give direction for territorial order in Colombia.

The elaborated models to explain land use in Sabana Occidente partly contributed to describe and to explain the effect of the economic and biophysics variables in the probability of uses of land use, giving signals to predict the impact of those explanatory variables. A first model considered land use in function from access cost to the market, allowing to explain the global distribution of the uses. A second model was considered incorporating site attributes, with it a better explanation for the extensive uses of the region was obtained. Capacity of prediction of second model was 57%.

This type of models appear as a useful tool to consider in the planning of territorial ordering that helps to overcome the tradition to plan based on ideal models that do not consult the reality of regions. Those models contribute to guide the formulation of policies to order land use according to their biophysical condition and to the demands and necessities of producers.

It is important to emphasize that the model is another tool for the analysis and the regional planning, that this support in simplifying assumptions of the reality and therefore requires a careful interpretation of its results and that must have in mind his limitations in order not to abuse his potentialities.

Finally, land use models show to the importance to include the space dimension in economics explicitly. Advances of the GIS contribute substantially to make a geographic expression of the decision of the economic agents on the location of their economic activity.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Desde principios de la década de los noventa la Agenda 21, fruto de la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, reconoció la necesidad de planificar el uso y ocupación de la tierra como una estrategia fundamental para alcanzar el desarrollo sostenible. En ella se acepta que los patrones de distribución espacial de la tierra tienen importantes consecuencias en todas las dimensiones del desarrollo impactando la calidad de vida de la población.

En Colombia la Constitución Política vigente desde 1991 reconoce esta necesidad y proporciona elementos conceptuales que permiten comprender el Ordenamiento Territorial como instrumento de planificación y consagra como "entidades territoriales" a los municipios y las Provincias, entre otros. En la Ley 388 de 1997 se reglamentó la realización obligatoria y puesta en práctica de planes de ordenamiento territorial por parte de los municipios.

Sin embargo, en el momento de llevar a la práctica la planificación del uso de la tierra en un territorio específico existen problemas al carecer de herramientas que guíen la formulación de políticas encaminadas a ordenar los usos de la tierra, de acuerdo a su vocación ecológica y a las demandas y necesidades de sus pobladores (GEA, 1992).

Las entidades de gobierno y los centros de investigación relacionados con el recurso tierra han sido convocados por los gobiernos locales para que proporcionen herramientas y pautas para el ordenamiento del uso de la tierra en cada región. Esta labor investigativa y propositiva requiere partir por consultar la realidad y establecer cuáles son los determinantes del actual uso de la tierra para conducir el ordenamiento territorial.

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –CORPOICA, ha venido desarrollando trabajos en esta dirección y la presente investigación se suma a estos esfuerzos institucionales desde el ámbito de la economía ambiental.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las teorías económicas dirigidas a explicar los patrones de uso de la tierra junto con los avances en Sistemas de Información Geográfica de las últimas décadas, han permitido desarrollar nuevas fuentes de datos y nuevas herramientas para realizar estudios empíricos de economía regional.

Fruto de lo anterior, es el desarrollo de modelos econométricos de uso de la tierra que tienen como fuente de información la cartografía de un determinado territorio, permiten identificar relaciones espaciales y hacer pronósticos sobre usos futuros probables. Este tipo de modelos aparece como un potencial instrumento para explicar el uso de la tierra y dar elementos de juicio para la formulación de políticas eficaces en el manejo del recurso tierra. (Briassoulis 2000).

No obstante, los modelos de uso de la tierra están en una etapa emergente del conocimiento científico, manifestando cada vez más su potencial para abordar nuevas preguntas relacionadas con el recurso tierra y dando pautas para su adecuado manejo.

Por tal motivo, la presente investigación hace una aplicación de los modelos económicos espaciales para explicar los usos de la tierra en una región de Colombia, Provincia de Sabana Occidente, en función de factores tanto biofísicos como económicos procesados a partir de los Sistemas de Información Geográfica.

La aplicación de esta metodología a la Provincia de Sabana Occidente se presenta como un caso o referente metodológico a partir del cual se hace una aplicación crítica de esta herramienta para el desarrollo de modelos regionales de tipo descriptivo y explicativo que sean la línea base para analizar el uso de la tierra en Colombia.

La elección de la zona de estudio se realizó teniendo en cuenta que fuera: una zona con información geográfica y socioeconómica; con posibilidades de realizar trabajo de campo; y con importantes impactos en el uso de la tierra en la última década.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar modelos de análisis regional para explicar el uso de la tierra a partir de factores económicos, geográficos y biofísicos, destinados a servir de base para la formulación de políticas y la toma de decisiones relacionadas con el ordenamiento territorial en las regiones de Colombia.

Objetivos Específicos

- Estimar la influencia de las variables económicas, geográficas y biofísicas en los usos de la tierra en Sabana de Occidente.
- Diseñar un modelo explicativo del uso de la tierra en la Provincia de Sabana Occidente.
- Ofrecer pautas para la planificación regional del uso de la tierra en Colombia.

1.4 HIPÓTESIS

Los factores económicos, biofísicos y geográficos inciden en los usos diferenciados de la tierra en el ámbito regional.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 MODELOS ESPACIALES DE USO DE LA TIERRA

Briassoulis (2000) señala que existen diferentes enfoques para abordar el estudio del uso de la tierra y los clasifica en 3 grupos: teorías asociadas a economías regionales y urbanas, teorías sociológicas y de economía política y, teorías que estudian la relación sociedad y naturaleza.

La mayoría de ellas se basan en el comportamiento individual de los hogares o las firmas, a partir de los cuales se construyen modelos espaciales basados en las unidades de toma de decisión.

Otra vía de análisis del uso de la tierra es la formulación de modelos estadísticos de corte transversal. Para este tipo de modelos no hay una teoría específica subyacente a los modelos, sino que la teoría aparece como un instrumento que tiene un rol secundario brindando supuestos para la construcción de modelos.

Independiente de la vía que se elija para estudiar el uso de la tierra, es necesario tener en mente la relación entre el fenómeno que se quiere explicar y las teorías que tienen relación con él. Para efectos de la presente investigación, las teorías económicas están en la base de la formulación del modelo de uso de la tierra regional al considerar que detrás de cada uso hubo una decisión de algún agente económico.

Se parte de la premisa de que la decisión del agente es una decisión racional, en el sentido que se tomó considerando que era la mejor alternativa entre todas las posibles. Esta premisa equivale a afirmar que el productor actúa racionalmente y elige según su criterio la mejor opción entre las posibilidades que enfrenta.

En este sentido, modelar la decisión del agente por un tipo de uso de la tierra en función de varias variables, unas asociadas a las características biofísicas del suelo y otras asociadas a características económicas que influyen en la elección de ese tipo de uso, ayuda a incorporar más elementos realistas a la teoría económica, pues como lo

menciona Smith (1996), citado por Bockstael (1996) generalmente los economistas introducen la dimensión espacial como una restricción, un hecho exógeno, que rara vez se intenta explicar como una dimensión de la decisión económica.

Desde la perspectiva econométrica, varios trabajos apuntan a incorporar la dimensión espacial de forma explícita en la decisión del uso de la tierra, uno de los trabajos más citados es el de Chomitz y Gray (1996). Este trabajo retoma la teoría de Von Thünen e incorpora la dimensión espacial en la decisión económica a través de la consideración de que la distancia a mercados afecta la rentabilidad de la actividad económica, por tanto la distancia es una variable explicativa, entre otras, de la rentabilidad. Los autores asumen que hay una renta potencial ligada a cada uso de la tierra y por ello es posible considerar la elección de un tipo de uso de la tierra como el uso de mayor rentabilidad frente a las otras opciones posibles.

En la literatura se encuentran estudios empíricos sobre el uso de la tierra o el cambio del uso de la tierra que usan la información geográfica proveniente de imágenes de satélite, fotos aéreas y cartografía convencional como fuente de información básica para la elaboración de modelos econométricos. Ejemplo de ello son los trabajos de Chomitz y Gray (1996), Bockstael (1996), Turner, Wear, y Flamm (1996), Nelson y Hellerstein (1997) y Barito (2000). Este tipo de modelos espaciales se inscribe dentro de una nueva clase de econometría conocida como econometría espacial, la cual aborda toda una gama de temas o problemáticas asociadas al uso de la tierra y en general a los modelos tradicionales de ciencia regional. (Moreno y Vayá, 2000)

Bockstael (1996) señala que hay muchos fenómenos económicos y ecológicos que son fundamentalmente procesos espaciales, enfatizando la importancia de la perspectiva espacial tanto en la disciplina económica como en la ecológica y la necesidad de la transdisciplinariedad para dar cuenta de problemas de interés común, por ejemplo, los problemas ambientales.

Nelson y Hellerstein (1997) desarrollan un modelo empírico que predice el uso de la tierra, incorporando datos geográficos espaciales y datos socioeconómicos. Los autores asumen una función de producción Cobb-Douglas ponderada por un índice de

factor geográfico de parcela, tal como tipo de suelo y elevación que afecta la productividad y modelan los usos en función de variables biofísicas del sitio y el costo de acceso al mercado o distancia de mínimo costo.

Actualmente la literatura sobre el tema está en constante crecimiento, ejemplo de ellos son los trabajos de Mertens, Kaimowitz, Puntodewo y Vanclay (1999), Barito (2000), Mertens y Lambin (2000) y Mertens, Sunderlin, Undoye, Lambin (2000).

Cabe señalar que varios de los artículos revisados presentan sus resultados desde una perspectiva metodológica, lo que es un indicador del estado emergente de esta vía de análisis.

2.2 MODELO ECONOMICO DEL USO DE LA TIERRA

El análisis de los patrones de uso de la tierra en la microeconomía ha sido influenciado fundamentalmente por la teoría de la renta de ubicación, desarrollada por Von Thünen en 1826, (Briassoulis, 2000)

Von Thünen consideró una situación hipotética en la cual una ciudad es abastecida por los vecinos, que son productores de bienes básicos, venden todo en el único mercado que existe en la ciudad, y además, toda la región tiene condiciones homogéneas para la producción.

La renta de ubicación refleja la ganancia que se genera por la ventaja de la cercanía de la fuente de producción al mercado, son esos ingresos adicionales obtenidos que no se atribuyen a ningún aumento del esfuerzo por parte del productor sino que se debe únicamente a la ubicación del terreno. (Polèse, 1998)

La renta de ubicación parte de considerar que la producción de bienes primarios requiere una gran área circundante, por eso las granjas se ubican a diferentes distancias del mercado central y los productos tienen que ser llevados hasta el mercado de la ciudad, incurriendo en costos de transporte diferenciados según sea la ubicación de la granja.

La renta de ubicación se genera, entonces, por la diferencia entre la ganancia obtenida por la venta del producto menos los costos de transporte. Por tanto, un cambio de precio del producto hará que la competitividad se mantenga porque afecta a todos por igual, pero una variación en el precio del transporte cambia la rentabilidad de la producción y la competitividad.

Si se aceptan los supuestos de que la región tiene características uniformes, la renta de ubicación variará solo con la distancia al mercado, como se aprecia en la Figura 1. (Fujita, Krugman, Venables 2000)

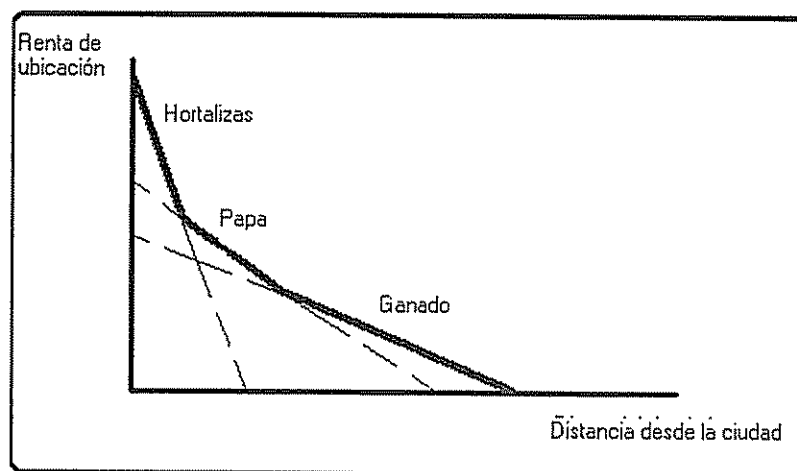


Figura 1: Representación del Modelo de Von Thünen: la Renta de Ubicación en Función de la Distancia a la Ciudad.

La Figura 1 representa para los usos de la tierra en una región dada, la relación entre distancia al mercado y la renta de ubicación. El eje horizontal representa la distancia que hay desde el mercado ubicado en la ciudad, la cual crece a medida que nos movemos hacia la derecha. El eje vertical mide la renta de ubicación. El uso de la tierra en el cultivo de hortalizas, por ejemplo, es el uso que está ubicado más cerca del mercado y que presenta la mayor renta de ubicación.

2.3 MODELO ECONOMETRICO DEL USO DE LA TIERRA

La teoría de Von Thünen ha sido fuente de inspiración para la formulación de modelos econométricos que respondan las preguntas sobre el dónde y qué se produce, en otras palabras que explique el modo en que se usa la economía en el espacio.

Con los desarrollos recientes de los Sistemas de Información Geográfica, han surgido trabajos que buscan responder esta pregunta y parten de medir el efecto de las distancias en la distribución espacial del uso de la tierra.

En esta dirección se encuentran los trabajos de Chomitz y Gray (1996) y Nelson y Hellerstein (1997), los cuales retoman el modelo de la renta de Von Thünen y lo transforman en un modelo econométrico de uso de la tierra, incorporando explícitamente atributos específicos del sitio. Nelson y Hellerstein (1997) consideran que la decisión de hacer un uso particular en una parcela surge de comparar el valor presente neto del beneficio obtenido entre posibles usos, lo cual se expresa matemáticamente en la Ecuación 1.

$$R_{hLT} = \int_{t=0}^{\infty} (P_{hLT+t} Q_{hLT+t} - C_{hLT+t} X_{kLT+t}) e^{-i \cdot t} dt \quad (1)$$

Donde R_{hLT} es el valor presente neto de la renta, P es el precio del producto, Q es la cantidad producida, C es el vector de costos de insumos, X es el vector de insumos; i es la tasa de descuento; h es un uso de la tierra, L es la localización y T es el tiempo.

Este modelo considera que cada productor enfrenta una función de producción tipo Cobb-Douglas ponderada por un factor de productividad generado por las condiciones del sitio donde producen, como se expresa en la Ecuación 2.

Donde Q es la cantidad producida por el uso de la tierra h ; (G_L) , es un índice de factores de sitio que afectan la productividad, el subíndice L se refiere a cada parcela; X_j son los insumos de producción:

$$Q_h = G_L \prod_j X_j^{\alpha_{hj}} \quad (2)$$

Se asume que la tecnología de producción tiene la siguiente restricción:

$0 < \alpha_{hj} < 1 \Rightarrow$ Los factores de producción son inelásticos

$0 < \sum_j \alpha_{hj} < 1 \Rightarrow$ Los rendimientos son decrecientes a escala

$G_L = \prod_{r=1}^R G_R^{\eta_r}$ Representa una combinación multiplicativa de factores

específicos de sitio que afectan el uso de la tierra.

Los trabajos de Chomitz and Gray (1996) y Nelson and Hellerstein (1997) consideran que la renta de ubicación puede modelarse como una función de utilidad aleatoria, que incorpora la función de producción. Para ello, parten del supuesto que los precios de los productos, P, y los costos de los insumos, C, son una función exponencial del costo de acceso al mercado.

$$P_{hL} = \exp(\gamma_{0h} + \gamma_{1hL} D_{hL}) \quad (3)$$

$$C_{hL} = \exp(\delta_{0h} + \delta_{1hL} D_{hL})$$

Donde D es una medida del costo de acceso desde una parcela h que tiene el uso de la tierra L hasta el Mercado. La Ecuación 2 conlleva dos supuestos:

$\gamma_{1hL} < 0 \Rightarrow$ El precio del producto, P, decrece cuando el costo de acceso aumenta.

$\delta_{1hL} > 0 \Rightarrow$ El costo de los insumos crece cuando el costo de acceso aumenta.

Combinado las Ecuaciones 1,2 y 3, Nelson y Hellerstein (1997) deducen un modelo econométrico para la renta:

$$\ln(R_{hLT}) = \eta_{0h} + \sum_i \eta_{1i} D_i + \eta_{2h} \ln G_h + \eta_{3h} \ln i_L + \mu_{hL} \quad (4)$$

$$= \nu_h N_L + \mu_{hL} \quad (5)$$

La Ecuación 5 se puede simplificar en dos componentes como lo muestra la Ecuación 6, donde $v_h N_L$ es el componente sistemático y μ_{hL} es el componente aleatorio. Si se asume que el componente aleatorio tiene una distribución Weibull, la Ecuación 5 puede expresarse como un Modelo Logit Multinomial:

$$Prob(y = h) = \frac{e^{V_L \beta_h}}{\sum_{k=1}^J e^{V_L \beta_k}} \quad h = 1, 2, \dots, J \quad (6)$$

Donde V_L es una matriz que contiene 3 conjuntos de variables explicativas X : costo de acceso, variables geográficas específicas de sitio, variables geográficas con efectos espaciales, β_h es el vector de coeficientes de las variables explicativas para el uso h .

Siguiendo a Kennedy (1998), la Ecuación 6 se puede leer de la siguiente manera: la probabilidad de que un productor particular elija un uso de la tierra h está dado por la probabilidad que la renta de la alternativa h sea mayor que la renta de las otras alternativas. Y tal como lo expresa la Ecuación 4, la renta de la tierra está en función de la distancia al mercado y un factor de productividad dado por las características del sitio.

2.4 MODELO LOGIT MULTINOMIAL DEL USO DE LA TIERRA

Las recientes aplicaciones empíricas de los modelos de uso de la tierra basados en modelos multinomiales logísticos parten de obtener una muestra de información espacial tanto para la variable de respuesta, las categorías de uso de la tierra, como para las variables explicativas consideradas en el modelo. Esta información es obtenida de los Sistemas de Información Geográficos existentes para una región determinada.

De acuerdo con la teoría económica, se espera que el coeficiente que relaciona la distancia con la renta sea negativo, indicando una relación inversa: a mayor distancia

del mercado central menos renta de ubicación. Se espera que las variables biofísicas beneficiosas para la productividad de la tierra tengan un signo positivo, indicando que a mejores condiciones de productividad mayor renta de ubicación. Finalmente, se espera que las variables geográficas de sitio tengan el signo correspondiente al efecto general en la producción, por ejemplo, si la altura favorece ciertos usos entonces su signo debería ser positivo.

Para la adecuada interpretación de la estimación del modelo logístico multinomial se deben tener en cuenta algunas características básicas de este tipo de modelos:

Normalización. Dado que tenemos una ecuación para cada uso de la tierra, que relaciona su probabilidad con las variables explicativas, se requiere definir una categoría base que permita resolver el sistema de ecuaciones de nuestro modelo logit multinomial (Maddala, 1994).

Si tenemos $h+1$ usos de la tierra, definimos el uso $h+1$ como categoría base, que corresponde a $Y=0$, lo cual significa que para ese uso los parámetros son iguales a cero.

Siguiendo a Greene (1993), tenemos que el modelo logit multinomial para las h categorías está dado por la Ecuación 6 presentada arriba mientras que el modelo logit multinomial para la categoría base del modelo es expresado por la Ecuación 7.

$$\text{prob} (y = 0) = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^J e^{V_L \beta_k}} \quad (7)$$

La Ecuación 7 refleja el supuesto de normalización, es decir que para el uso cero los parámetros toman valor cero, en otras palabras, este uso no es explicado por las variables incluidas en el modelo.

Efectos Marginales. Un aspecto a tener en cuenta en la estimación de un modelo logit multinomial es que la interpretación económica directa de la estimación está

relacionada con los efectos marginales de los parámetros estimados, que permite capturar el efecto de un cambio en una variable explicativa sobre la probabilidad de un uso de la tierra determinado.

La Ecuación 8 muestra que la interpretación del efecto marginal de una variable X_i sobre la probabilidad de una categoría h depende tanto del parámetro estimado en esa categoría como de las probabilidades y los parámetros en todas las categorías. (Greene, 1993)

$$\frac{\partial P_h}{\partial X_i} = P_h \left[\beta_h - \sum_{k=1}^J P_k \beta_k \right] \quad (8)$$

Las probabilidades incluidas en el lado derecho de la Ecuación 7 hacen referencia al **vector de distribución de probabilidades estimadas** para cada una de las categorías de uso, que son calculadas con base en los valores medios de las variables.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en la Provincia de Sabana Occidente localizada en la Cuenca Media del Río Bogotá, a 2600 m.s.n.m. Esta Provincia es parte del departamento de Cundinamarca, en el centro de Colombia, como se aprecia en las Figuras 2, 3 y 4.

Sabana Occidente se encuentra entre las siguientes coordenadas: por el extremo norte se encuentra a los 4°59 de latitud norte, en el extremo sur a los 4°37 de latitud norte; por el extremo occidental a los 74°05 de longitud oeste y por el extremo occidental a los 74°27 de longitud oeste.

Aunque la Provincia es parte de la cordillera oriental de Colombia, su relieve es mayoritariamente plano con presencia de algunos cerros y terrenos de montaña con pendientes de más del 20%.

Toda la Provincia presenta condiciones climáticas similares, predominando la zona de vida de bosque húmedo montano bajo en el 88% de la región, con temperatura entre 12 y 18°C (Herrera, 1998).

Sabana Occidente tiene una extensión de 106.091 hectáreas, equivalente a 1.060 Kms² y está conformada por 10 municipios que albergan una población de 243736 habitantes, que en promedio presentan una densidad poblacional de 230 habitantes por km².

La información censal del año 1993 para cada municipio se presenta en el Cuadro 1. Es de notar que en Sabana Occidente el 75,86% de la población está asentada en zonas urbanas y el 24,14% en las zonas rurales.

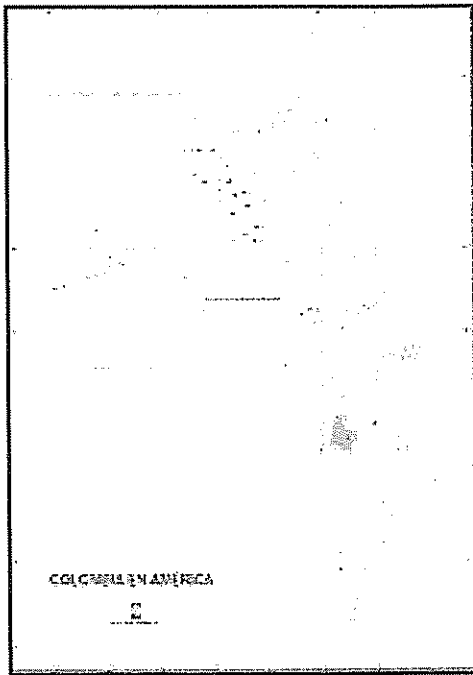


Figura 2: Colombia en América

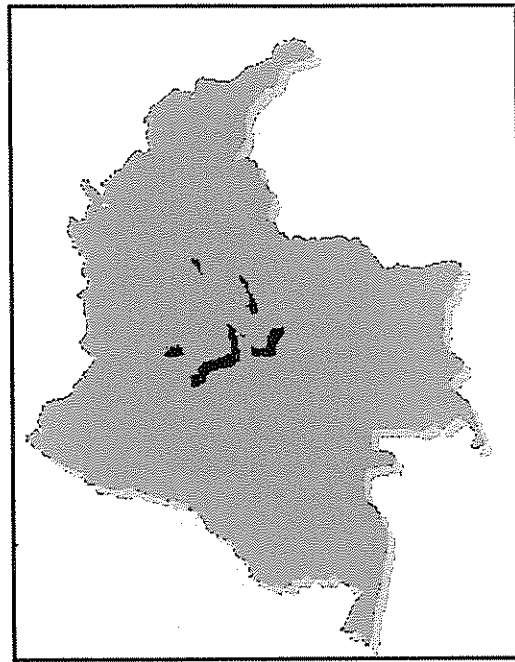


Figura 3: Cundinamarca en Colombia

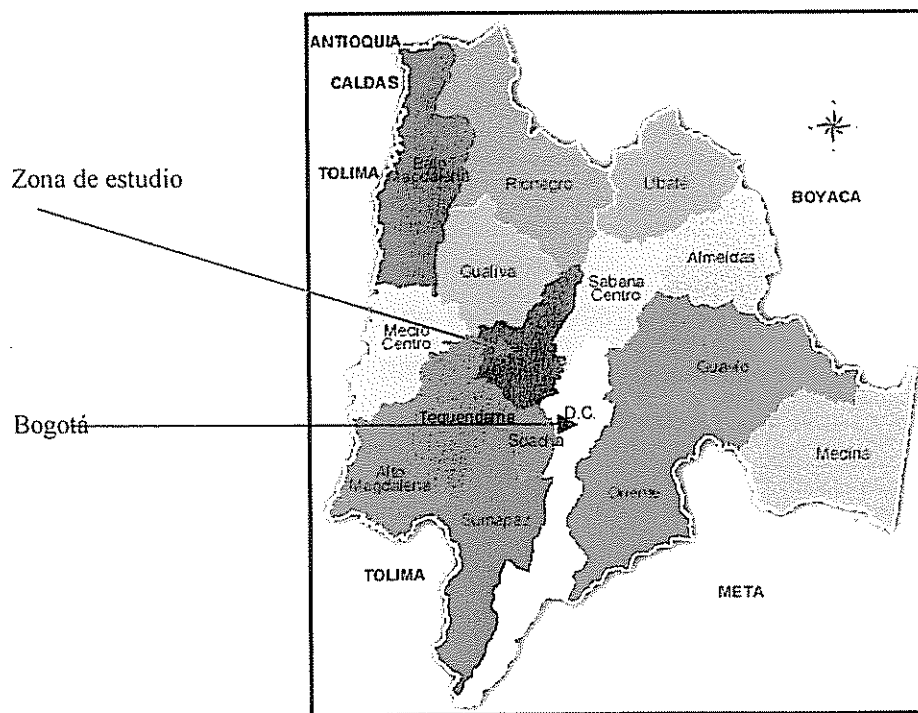


Figura 4: Provincias del Departamento de Cundinamarca

Cuadro 1: Área y Población de los Municipios de Sabana Occidente

Municipios	Población- censo 93	Extensión- Km2	Densidad de Población	%Población urbana	% Población Rural
Bojacá	5278	100.86	52	64.48%	35.52%
Cota	12790	53.21	240	43.05%	56.95%
El Rosal	7262	86.48	84	60.59%	39.41%
Facatativá	74995	155.93	481	90.52%	9.48%
Funza	43259	67.72	639	91.26%	8.74%
Madrid	44050	116.92	377	84.45%	15.55%
Mosquera	24005	101.89	236	86.42%	13.58%
Subachoque	11128	216.33	51	27.10%	72.90%
Tenjo	16626	113.81	146	13.00%	87.00%
Zipacón	4345	53.89	81	25.16%	74.84%
Total	243738	1067.04	228	75.86%	24.14%

Al combinar la información estadística por municipio con la distribución espacial de los municipios, como se muestra en la Figura 5, resalta el carácter de zona de interfase rural urbana de la Provincia puesto que los municipios más densamente poblados son aquellos cercanos a la ciudad de Bogotá.

La Provincia de Sabana Occidente limita por el oriente con la ciudad de Bogotá, que es la capital de Colombia y la ciudad más grande del país con alrededor de 8 millones de habitantes (Figura 5).

De acuerdo con el estudio de Barco (1998), siete de los municipios que conforman Sabana Occidente hacen parte del área metropolitana de la ciudad de Bogotá, por tener fuertes relaciones funcionales, demográficas, geográficas y de servicios públicos con la capital.

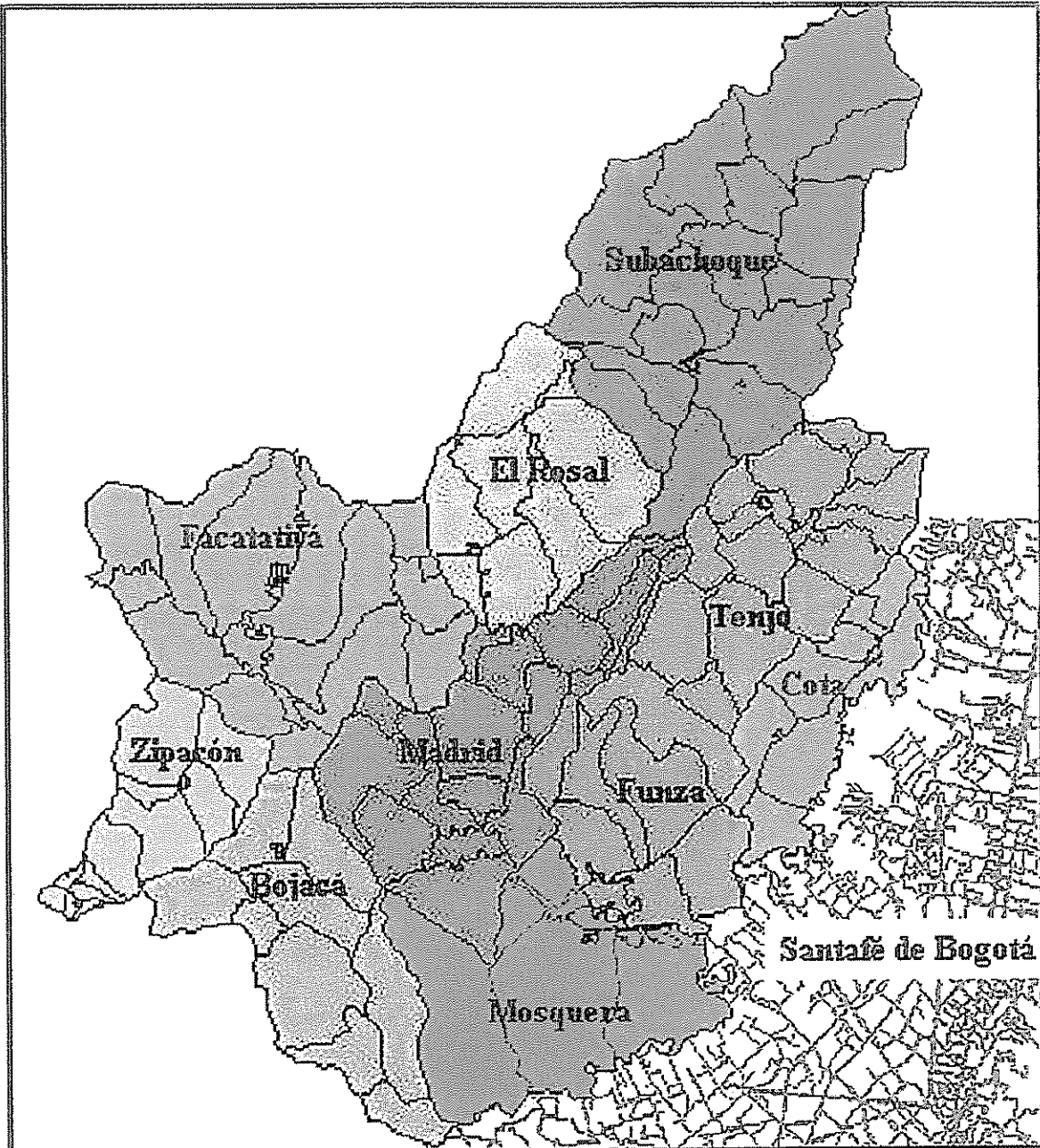


Figura 5. Los Municipios de la Provincia de Sabana Occidente y su Limite con Bogotá

En el aspecto económico, Sabana Occidente presenta el segundo PIB municipal más alto del Departamento de Cundinamarca, es el primer productor de leche y el segundo productor agrícola, especialmente de cultivos transitorios como la papa y las hortalizas. (Gobernación de Cundinamarca, 1999).

El Cuadro 2 muestra la importancia del sector primario en la economía de la Provincia de Sabana Occidente durante 1998, que resulta aun más fortalecida por la presencia de la floricultura en casi todos los municipios. Según el informe de la Gobernación de Cundinamarca (1999), las flores conforman el subsector más dinámico en términos económicos y orienta toda su producción al sector externo.

Cuadro 2: Producción Agropecuaria de Sabana Occidente por Municipio-1998

Municipios	Area (has) Cosechada Cultivos	Producción Agrícola (toneladas)	Area (has) pastos	Vacas de ordeño	Producción de Leche L./dia	Area (has) Flores
Bojacá	1100	8225	2844	1216	13376	96.85
Cota	755	19160	4800	5600	44800	138.50
El Rosal	1040	15825	5300	2847	37011	
Facatativá	355	6581	7500	6080	60800	290.36
Funza	1158	24836	4690	6409	80115	362.91
Madrid	3715	76417	5100	5896	85492	827.60
Mosquera	370	5487	6300	4732	56784	67.55
Subachoque	2425	43480	12180	5259	42072	445.46
Tenjo	242	3236	8237	5300	68900	254.97
Zipacón	13	594	2220	600	5400	
Total	11173	203841	59171	43939	494750	2484.20

Los municipios de Madrid y Subachoque se destacan por su participación en la producción agrícola, al igual que en la actividad pecuaria junto con el municipio de Funza.

Aunque las cifras oficiales del año 1998 muestran que la actividad agropecuaria de la Provincia es la actividad económica principal, Montañés (1992) presenta la evolución del sector agropecuario entre las décadas del 60 al 90, y observa que el sector agropecuario ha presentado un importante cambio cualitativo y cuantitativo en su estructura, mostrando tendencia a abandonar la agricultura tradicional, a especializarse en la producción agroindustrial destinada al mercado externo y a convertir en praderas

sus mejores tierras con propósitos de especulación inmobiliaria previa a la urbanización.

Herrera (1998) señala que la aptitud de los suelos de la Sabana de Occidente es mayoritariamente agrícola; sin embargo, el uso actual del suelo presenta conflictos de uso, especialmente por usar zona de potencial agrícola en praderas.

Como se desprende de lo anterior, hay necesidad de ahondar en las relaciones espaciales entre Bogotá y Sabana Occidente, colocando especial atención al patrón de uso de la tierra que existe en la Provincia y las causas que lo explican.

3.2 GENERACION DE LA BASE DE DATOS

3.2.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la aplicación del modelo explicativo de uso de la tierra en la Sabana de Occidente, se tomó como fuente de información básica espacial la cartografía elaborada por diversas fuentes oficiales al nivel de los municipios, del departamento y del país.

El modelo propuesto es de carácter estático. Por tanto el análisis es semejante a analizar una foto de la región en un tiempo dado, en este caso fue el año 1993, año en el que se realizó la actualización del mapa temático de usos de la tierra en la región por parte de la Gobernación de Cundinamarca. En este año también se realizó el censo de población y vivienda de Colombia, lo cual contribuye a suministrar información detallada sobre los municipios para complementar la información cartográfica.

El Cuadro 3 presenta la información cartográfica recopilada y el tipo de formato en que se suministró dicha información por parte de entes institucionales oficiales.

Cuadro 3: Información Cartográfica de Sabana Occidente

Area temática	Fuente	Formato	Escala
Usos de la tierra	Gobernación de Cund	Autocad y analogo	1:25,000
Rios y vías	Gobernación de Cund	Autocad	1:25,000
Suelos	Corpoica	Ilwis	1:100,000
pozos	CAR	Autocad	
Curvas de nivel	CAR	Autocad	1:25,000
Veredas	Alcandías Municipios	Analogo	1:25,000

Haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica, la cartografía recopilada fue llevada a un solo formato que permitiera hacer comparaciones y relaciones entre ellas. Para esta labor se utilizaron diversos software, pues cada uno presenta ventajas y desventajas en la realización de algunos procedimientos.

La información del mapa de usos, que se encontraba en formato de AUTOCAD y separada por municipio fue procesada al nivel de provincia y convertida al formato de ARCVIEW para su análisis posterior. En la Figura 6 se presenta el procedimiento de obtención del mapa final de usos para toda la provincia, que como se ilustra conllevó varios pasos.

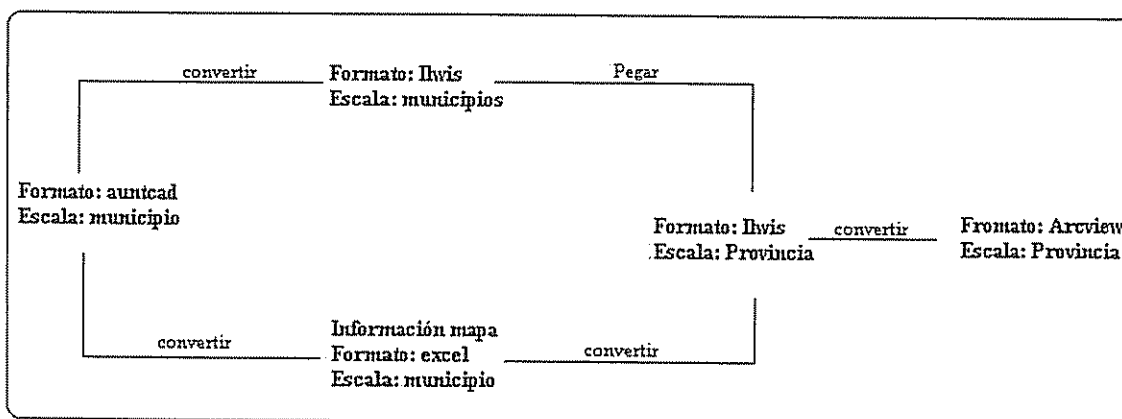


Figura 6: Proceso para Obtención del Mapa de Usos de la Tierra

Un procedimiento similar fue realizado con la información cartográfica de suelos, ríos y vías. La información de pozos y veredas que se encontraban en formato análogo fue digitalizada primero en ILWIS y posteriormente llevada a ARCVIEW.

La información cartográfica de curvas de nivel fue procesada inicialmente en ARCINFO, para valorar las curvas cada 50 metros, y posteriormente en ARCVIEW para hacer la interpolación y obtener el Modelo de Elevación Digital de Terreno –MED–.

Los mapas que conforman la base de datos espacial en ARCVIEW y la información asociada a cada uno de ellos se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Mapas que Conforman la Base de Datos Espacial
Provincia de Sabana Occidente, año 1993

Area temática	Tipo de capa	Información
Usos de la tierra	Poligonos	Usos de la tierra
Rios y vías	lineas	rios y vias
Suelos	Poligonos	erosión, hte argilico y otros
pozos	Puntos	pozos
MED	Grid	Altura, pendiente
Veredas	Poligonos	Población

Una vez obtenidos los mapas en un mismo formato fue necesario hacer un proceso de homogenización de límites externos, pues no siempre coincidieron. Se privilegió mantener los límites del mapa de usos y el mapa de suelos por ser los de mayor interés para la presente investigación.

Por otro lado, se realizaron visitas a la zona de estudio y reuniones con informantes claves en cada uno de los municipios, entre los que se destacan las entrevistas con los técnicos agropecuarios de las Secretarías de Agricultura municipales y las entrevistas con los responsables de las oficinas de Planeación en las alcaldías municipales, quienes en su mayoría suministraron información sobre los recientes planes municipales de ordenamiento territorial. Durante las entrevistas se solicitó información socioeconómica más detallada y se realizó una prueba de valoración de posibles variables claves para explicar la distribución del uso de la tierra.

Así mismo se realizaron entrevistas con informantes claves en instituciones departamentales y nacionales, con las cuales se estableció un intercambio de información y se pudo constatar la importancia de avanzar en éste tipo de análisis,

pues aun cuando varias de las instituciones visitadas cuentan con información cartográfica de la zona, poco se conocen metodologías para utilizar toda esta información en la toma de decisiones.

Para complementar lo anterior, se contó con información poblacional del censo de 1993 elaborado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE y el censo económico de Cundinamarca del 2000, así como diversos diagnósticos e investigaciones sobre la Sabana y sobre Bogotá.

3.2.2 CLASIFICACIÓN ACTUALIZADA DE USOS DE LA TIERRA

El mapa de uso y cobertura de la tierra de Sabana Occidente elaborado por la Gobernación de Cundinamarca tiene una clasificación de 32 tipos de uso de la tierra. Para los propósitos de la presente investigación esos usos fueron reclasificados en 6 categorías, tomando como base la clasificación propuesta por la FAO (1995) (citada en Briassoulis, 2000)

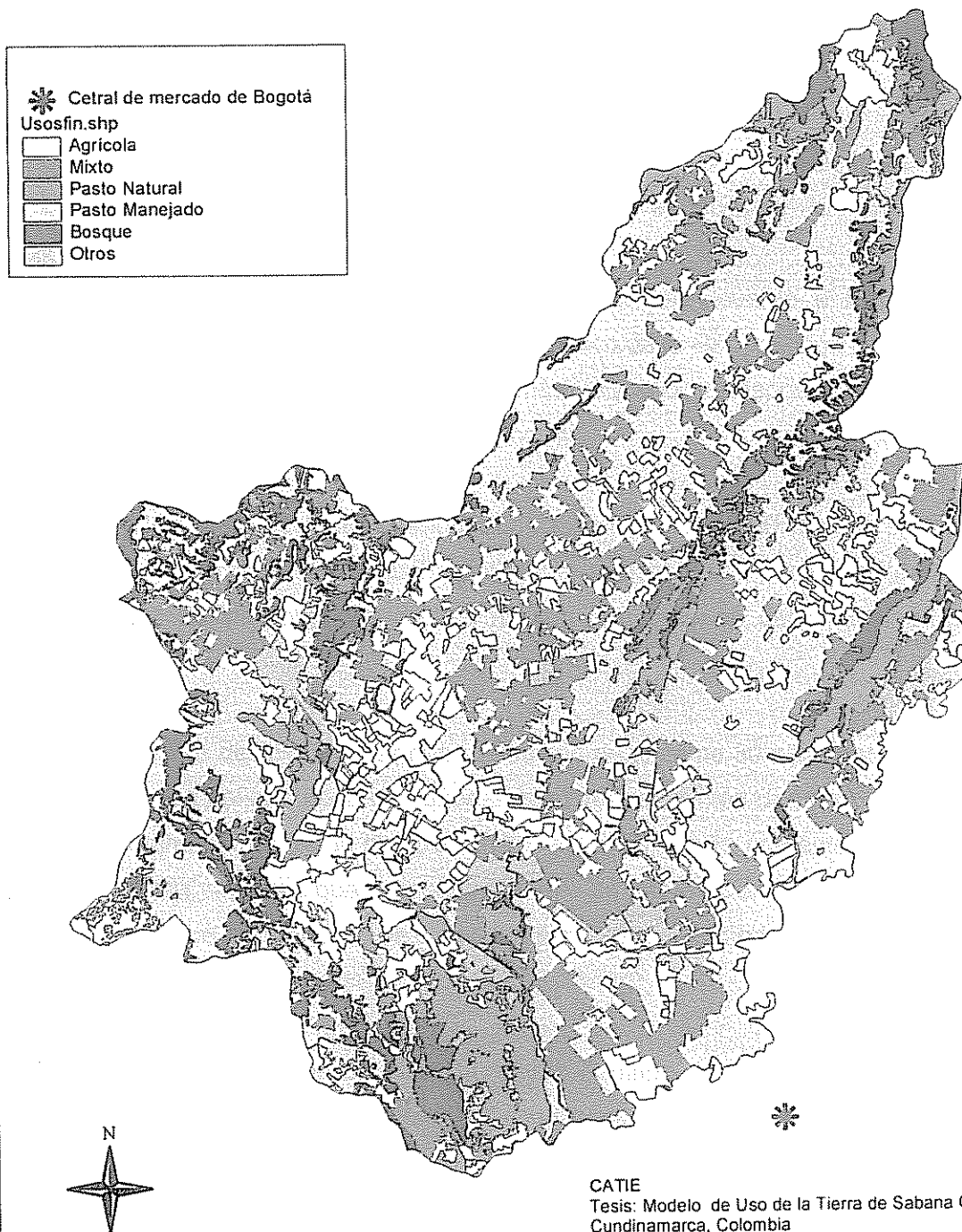
Las seis categorías de uso de la tierra presentadas en el Cuadro 5 y la Figura 7 responden a los usos mayores en la región y representan una desagregación de las actividades económicas.

Cuadro 5: Categorías de Usos de la Tierra en Sabana Occidente

Categorías de Uso	Usos Incluidos	Area (has)
Agrícola	arveja, cebada, café, maíz, hortalizas, papa, invernaderos	16691.47
Mixto	combinación de cultivos con pasto	19312.59
Pasto Natural	pasto natural, rastrojo	9097.19
Pasto Manejado	pasto manejado	48759.40
Bosque	bosque de plantación, bosque natural, vegetación de paramo	9041.98
Otros	lagos, lagunas, ríos, afloramiento rocoso, canteras, urbano.	4592.42

Esta agrupación de usos permiten apreciar la distribución espacial de la tierra y por ello se constituye en la variable de respuesta o explicada del modelo a estimar en la presente investigación.

USO DE LA TIERRA EN SABANA OCCIDENTE



CATIE
Tesis: Modelo de Uso de la Tierra de Sabana Occidente.
Cundinamarca, Colombia
Autora: Luz Angela Rodríguez Escobar

Fuente original: Gobernación de Cundinamarca

Figura 7: Categorías de Uso de la Tierra en Sabana Occidente

3.2.3 UNIDAD DE INFORMACIÓN

Para elegir el tamaño del píxel al cual se crean las cuadrículas del formato "raster" de los mapas se tuvo en cuenta la resolución del mapa de usos y el polígono más pequeño de uso de la tierra en Sabana Occidente.

El mapa de Usos de la Tierra de la Provincia elaborado por parte de la Gobernación de Cundinamarca en el año 1993 tiene una resolución espacial de 30 x 30 metros.

Este mapa contiene 39 tipos de usos distintos, de acuerdo a la clasificación de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Económico de la Gobernación de Cundinamarca. De estos 39 usos, el polígono de uso más pequeño corresponde al uso de Bosque secundario con una extensión de 2508 metros.

Un píxel de 50 x 50 metros tendría una extensión de 2500 metros el cual permite capturar el polígono más pequeño del mapa de usos. Pero si se tiene en cuenta que las formas de los polígonos de uso no son regulares, se debe elegir un píxel más pequeño.

Por lo tanto se decidió trabajar con un tamaño de píxel de 30 x 30 metros, asegurando que todos los polígonos de uso quedan capturados en más de un píxel. Este tamaño de píxel también facilita la comparación o extensión de la presente investigación con otros análisis similares que usan como fuente de información geográfica las imágenes de satélite, que para el caso de Colombia son imágenes Landsat de resolución 30 x 30 metros.

Con un tamaño de píxel de 30 x 30 metros el mapa de los usos de la tierra para la Provincia Sabana Occidente tiene 1194446 píxeles, distribuidos como aparece en la Figura 8.

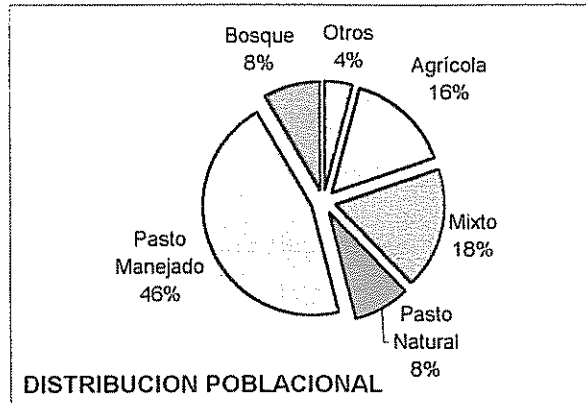


Figura 8: Distribución de los Pixeles del Mapa de Usos de la Tierra.

La Provincia Sabana Occidente tiene aproximadamente la mitad de su área dedicada al uso de Pasto Manejado, uso que se asocia a la actividad ganadera, especialmente la producción de leche. En términos de área, el segundo uso es Mixto, que combina pasto manejado con cultivos y se considera que responde a unas condiciones ambientales y económicas distintas al uso de Pasto Maneja. De todas maneras se destaca la presencia de pastos en la mayoría del territorio de Sabana Occidente.

En tercer lugar esta el uso Agrícola, que ocupa un 16% de área pero como se mencionó anteriormente es una actividad económica importante para la región. Tanto el uso de Bosque como el de Pasto Natural ocupan un 8% del área.

3.2.4 ORGANIZACIÓN DE BASE DE DATOS ESPACIAL

Los mapas temáticos en formato de ARCVIEW pueden ser vistos como un conjunto de capas, cada una de ellas con diferente unidad cartográfica. A excepción del mapa de pozos y el MED, el análisis visual de las capas mostró que había diferencias en los límites para algunos polígonos comunes a más de una capa. Por ejemplo, un río en la capa de usos no coincidía exactamente con la ubicación del mismo río en la capa de ríos y vías.

Ello se debe a que se están utilizando diferentes fuentes de información, lo que implica procesos de creación de datos y digitalización diferentes, además con escalas diferentes, que de todas maneras siempre tienen asociado algún grado de error de ubicación.

Por lo tanto es necesario realizar una depuración de la información espacial antes de entrar a utilizarla para la creación de datos del modelo, de tal manera que se tenga mayor certeza respecto a que la información que se tome realmente presente la realidad.

Para la depuración de la información fue creado un mapa de incertidumbre basado en la creación de bandas o búfer alrededor de las divisiones de polígonos. El ancho de cada búfer se definió a partir del error de ubicación espacial deducido de la escala del mapa. El Cuadro 6 muestra los tamaños de búfer.

Cuadro 6: Tamaño de Búfer para la Creación del Mapa de Incertidumbre

Capa temática	Escala	Búfer (metros)
Usos de la tierra	1:25,000	25
Rios y vías	1:25,000	25
Suelos	1:100,000	50
Veredas	1:25,000	25

Nótese que el tamaño del búfer es equivalente a la escala del mapa excepto para el caso del mapa de suelos porque se consideró que un búfer mayor podría hacer perder información sobre algunos polígonos pequeños que existen en la región.

El mapa resultante de la unión de todos los búfer es un mapa de zonas de incertidumbre respecto a la información contenida en las capas. Al sobreponer este mapa de incertidumbre sobre una máscara o mapa base con los límites externos de la zona de estudio y hacer una resta entre estos dos mapas, se obtiene el **Marco Espacial** de la Provincia Sabana Occidente, que representa las zonas susceptibles de ser seleccionadas (Muestreo) para la toma de información de las variables del modelo.

3.2.5 MUESTREO

La definición del tamaño de muestra es crucial para los modelos econométricos espaciales porque con ella se busca garantizar dos fundamentos básicos de los problemas de econometría espacial: tener estimadores asintóticos y minimizar la autocorrelación espacial

Nelson y Hellestein (1997) afirman que tener un número relativamente grande de observaciones permite tener estimadores con propiedades asintóticas. Este argumento a favor de las muestras grandes se contrarresta con el problema de dependencia espacial, según el cual sería preferible tomar una muestra de píxeles que estén separados en el espacio.

Por tanto hay necesidad de tener criterios para elegir el tamaño de muestra que cumpla las propiedades asintóticas y la no autocorrelación. En la presente investigación se tomaron diversas muestras de diferente tamaño en forma aleatoria, luego se calculó la varianza para la proporción de cada uno de los usos de la tierra en cada tamaño de muestra, como lo muestra la Figura 9.

Puesto que el uso la tierra es una variable categórica nominal, se calculó la proporción de cada uso y se calculó la varianza de cada proporción usando la fórmula de varianza para variables categóricas con población finita indicada en la Ecuación 9. Scheaffer y Mendenhall (1986)

$$s^2 = \frac{p * q}{n - 1} * \frac{N - n}{N} \quad (9)$$

Este criterio sigue los planteamientos de Barito (2000) y fue usado para obtener un tamaño de muestra que sea representativa y eficiente. El procedimiento para la generación de muestras se hizo utilizando una extensión de ARCVIEW para crear puntos aleatorios sobre el marco espacial. Luego se sobrepuso estos puntos sobre el mapa de usos de la tierra en formato raster y se extrajo la información de usos correspondiente a cada tamaño de muestra.

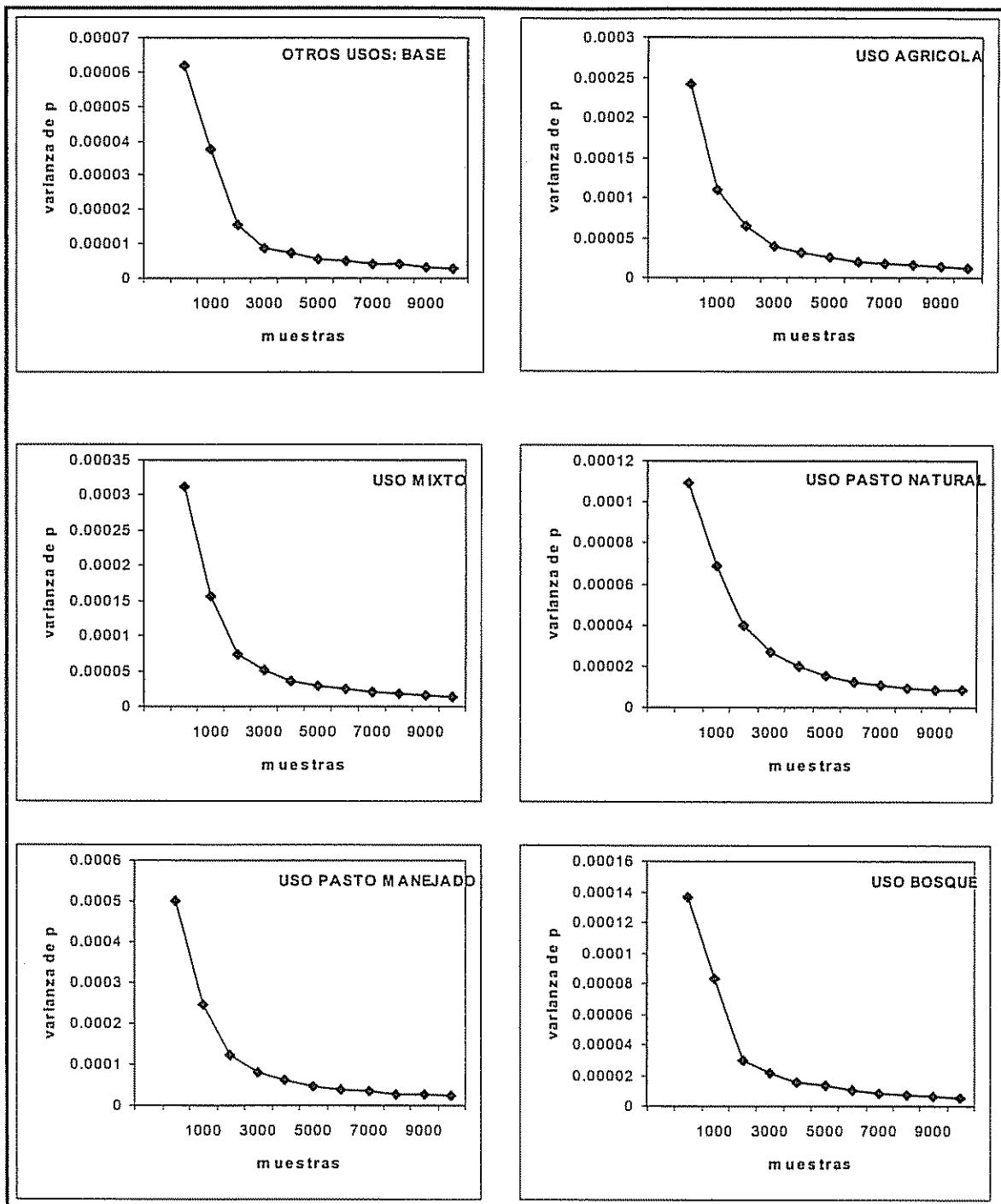


Figura 9: Tendencia de la Varianza Muestral en Función del Tamaño de Muestra.

Como se aprecia en la Figura 9, a medida que el tamaño de la muestra aumenta la varianza de la proporción en todos los usos se va reduciendo: para tamaños de muestra menores a los 2000 puntos la caída de la varianza es fuerte pero a medida que aumenta el tamaño de muestra la reducción de la varianza es menor y hacia los 9000 puntos casi no se aprecia una reducción de la varianza al aumentar el tamaño de muestra.

Con base en el análisis de las anteriores gráficas se concluyó que una muestra mayor a 10000 puntos no contribuirá con una mayor eficiencia en la estimación, por lo tanto éste fue el tamaño de muestra elegido con el cual se garantiza propiedades asintóticas. Este tamaño de muestra es aproximadamente el 1% de la población.

Una vez elegido el tamaño de muestra, se verificó que no hubiera puntos contiguos con lo cual se buscó contribuir a garantizar que la información estuviese separada en el espacio.

De esta forma se obtuvo una selección de puntos de muestreo óptima de tamaño 9418 píxeles. La información muestral tomada con base en los puntos seleccionados captura la distribución poblacional de Usos de la Tierra en Sabana Occidente, como se aprecia en la Figura 10.

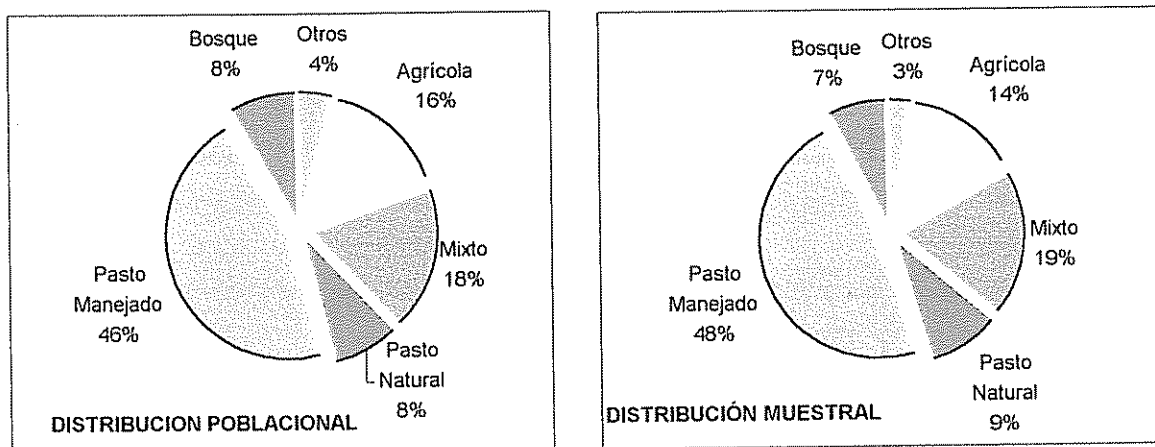


Figura 10: Distribución de los Usos de la Tierra en la Población y en la Muestra.

3.2.6 CAPTURA DE LA INFORMACIÓN ESPACIAL

Una vez definido el tamaño de muestra y generado los puntos que componen la muestra en el espacio de la zona de estudio, se procedió a capturar la información correspondiente en cada capa de mapa.

El procedimiento para la captura de la información muestral fue realizado en ARCVIEW, usando el comando "summarize zone". A manera de ejemplo se presenta la captura de información espacial en el mapa de usos de la tierra y se sigue un procedimiento equivalente para los demás mapas temáticos. En una misma vista de ARCVIEW se coloca el mapa o capa de puntos muestrales en formato vectorial y el mapa o capa de usos de la tierra en formato de grillas y se combinan los dos mapas usando el comando "summarize zone". Este comando realiza la tarea de tomar las coordenadas de cada punto muestral y buscar la información correspondiente en la capa de usos de la tierra, generando una tabla de datos que contiene una columna con el identificador único para cada punto muestral y otra columna con el identificador de cada tipo de uso existente en el lugar donde cayó el punto muestral, como se muestra en la Figura 11.

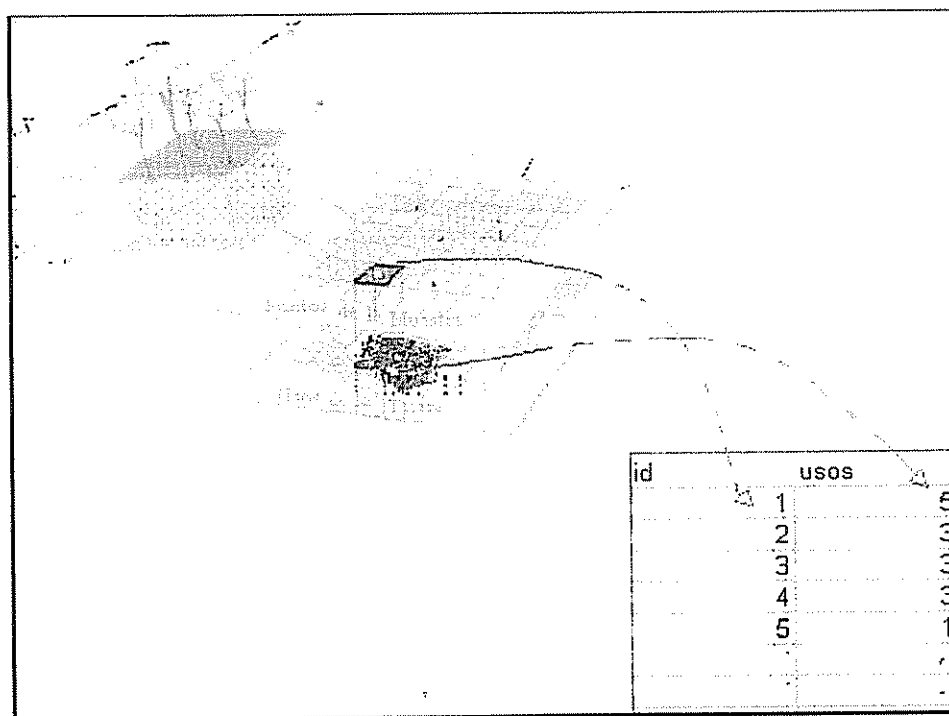


Figura 11: Obtención de la Información Muestral de la Capa de Usos de la Tierra.

El procedimiento se repitió con cada una de las capas cartográficas y se conformó la base de datos numérica para la estimación del modelo.

3.2.7 ESQUEMA METODOLOGICO DEL ESTUDIO

A manera de síntesis, en la Figura 12 se presenta el procedimiento para la estimación del Modelo de Uso de la Tierra para la Provincia de Sabana Occidente.

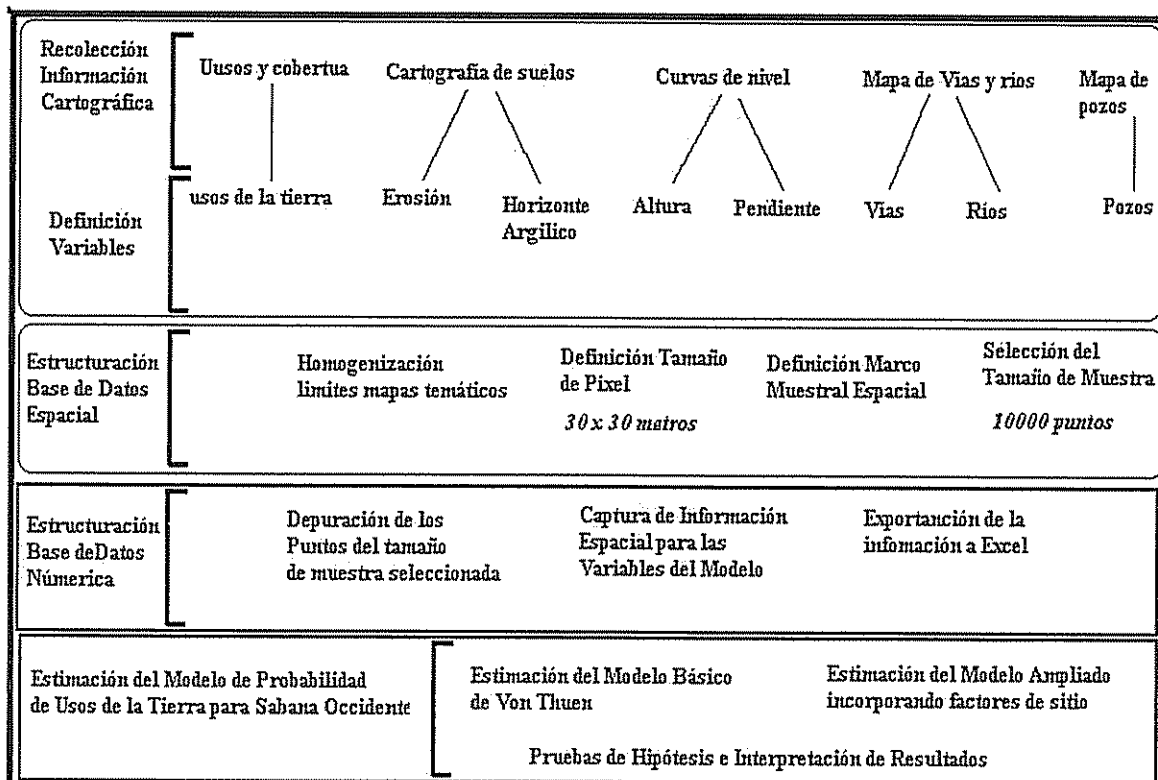


Figura 12: Esquema Metodológico para la Estimación del Modelo de Uso de la Tierra en Sabana Occidente

3.3 MODELOS DE USO DE LA TIERRA EN SABANA OCCIDENTE

La presente investigación retoma la propuesta econométrica de Chomitz y Gray (1996) y Nelson y Hellerstein (1997) para diseñar un modelo de uso de la tierra en la Provincia de Sabana Occidente. La combinación de estos dos trabajos es la base para

especificación y para la interpretación del modelo de uso de la tierra. Es por ello que el procedimiento para la obtención de los resultados se realizó en dos partes:

La primera parte estima las probabilidades de los usos de la tierra en función del costo de acceso, que es la variable que captura los costos de transporte. Este modelo considera que el costo de acceso es el único factor que afecta la distribución espacial de la tierra, con lo cual se captura exclusivamente el efecto del costo de transporte sobre cada uno de los usos para establecer la correspondencia entre éste estudio de caso y la teoría de Von Thünen. Por ello nos referiremos a estos resultados como El Modelo Básico.

La segunda parte amplía el modelo anterior, incorporando explícitamente los aspectos biofísicos y geográficos que tienen incidencia sobre la productividad de la tierra. Se espera que este modelo ampliado genere un mejor ajuste de las probabilidades de distribución espacial y en las predicciones de cada uso.

Las variables explicativas tanto del Modelo Básico como del Modelo Ampliado, tiempo de acceso al mercado central de Bogotá y de atributos de sitio, se generaron siguiendo los planteamientos que aparecen en la literatura y las recomendaciones de los investigadores y expertos de la zona de estudio. A continuación se presenta el procedimiento que se siguió para obtener las variables explicativas de los modelos.

3.3.1 COSTO DE ACCESO COMO COSTO DE TRANSPORTE

Para el caso de Sabana Occidente se especificó el Modelo Logit Multinomial del tipo expresado en la Ecuación 4, en el cual se estima la probabilidad para cada categoría de uso de la tierra en función de los costos de acceso al mercado, como única variable explicativa.

Las categorías de uso de la tierra consideradas en el modelo se definieron en el capítulo anterior y son las descritas en el Cuadro 6. El costo de acceso al mercado central fue calculada utilizando el mapa de vías de la región y la ubicación de la Central

de Mercados de Corabastos ubicado en la ciudad de Bogotá, fuera de la Provincia de Sabana Occidente, aunque muy cerca del límite entre ésta y Bogotá, tal como se aprecia en la Figura 13. Este mercado funciona como un gran atractor donde se comercializan la Mayoría de los productos de la región estudiada.

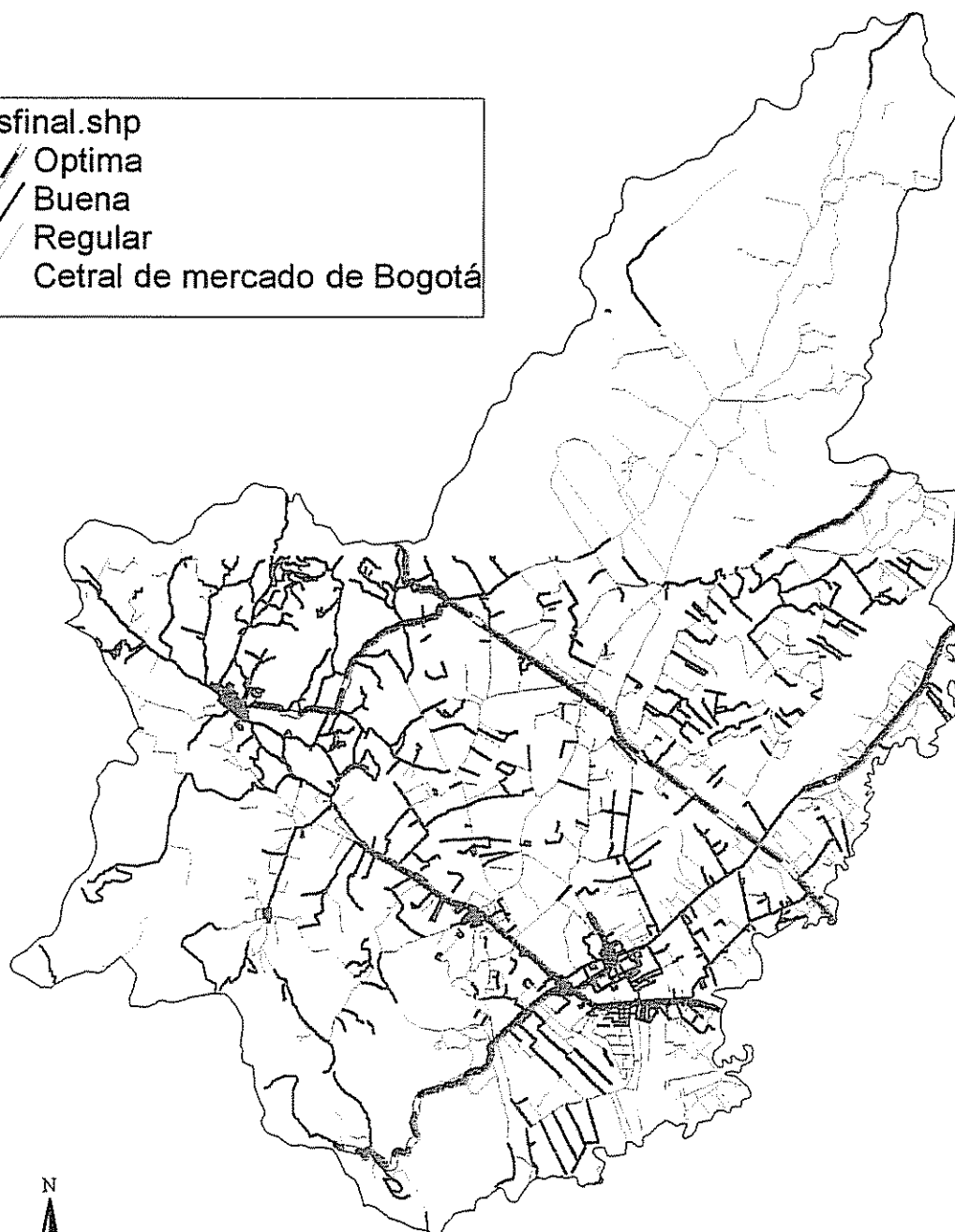
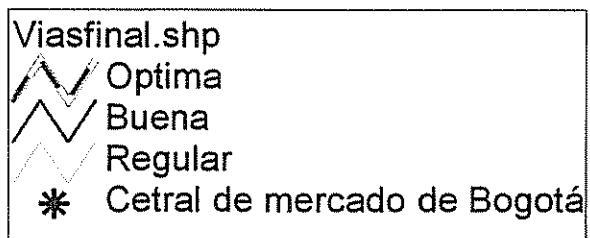
El cálculo de los costos de acceso como una variable que mide los costos de transporte parte de calcular la distancia desde cualquier punto de la región hasta el mercado central. Esta distancia en metros puede ser convertida a tiempo asumiendo una velocidad de desplazamiento, con lo cual es posible interpretar la distancia como el tiempo de acceso desde cualquier lugar de la región a la central de mercado de Bogotá.

El mapa vial presentado en la Figura 13 permite apreciar que toda la Provincia dispone de vías de acceso que la conecta con la ciudad de Bogotá.

Nótese que no todas las vías tienen las mismas condiciones y por tanto el costo de acceso al mercado se ve afectado por el tipo de vía disponible para desplazarse. La cartografía vial de la región que se presenta en la Figura 13 combina dos fuentes de información: el mapa vial elaborado por la Gobernación de Cundinamarca, que distingue las vías entre las nacionales, departamentales y municipales y, el mapa vial de la Corporación Autónoma Regional, que distingue entre carreteras de 2 vías, carreteras de una vía pavimentada y carreteras una vía sin pavimentar.

Con base en estas dos fuentes de información es posible crear una única clasificación vial distinguiendo tres tipos de vías: Primero tendríamos las vías óptimas que en general agrupan las vías nacionales que son de doble carril y permanecen en buenas condiciones; segundo las vías buenas, que son vías rápidas y pavimentadas que tienen tramos de dos carriles y otros de un carril. Tercero, las vías que pueden considerarse regulares y hacen referencia principalmente a vías veredales, algunas sin pavimentar y angostas.

VIAS DE SABANA OCCIDENTE



CATIE
Tesis: Modelo de Uso de la Tierra de Sabana Occidente.
Cundinamarca, Colombia
Autora: Luz Angela Rodríguez Escobar

Fuente original: Gobernación de Cundinamarca

Figura 13: vías de Sabana Occidente

Para incorporar la calidad de las vías en la medición de la distancia al mercado central se definió un factor de fricción para cada una de ellas. Esta fricción lo que haría es alargar o acortar la distancia, dependiendo la vía por la que se desplace. Por ejemplo si un productor se encuentra en el municipio de Subachoque puede elegir entre varias alternativas de vías para llegar a Bogotá, si elige transitar por las vías regulares su tiempo de desplazamiento será mayor que si elige desplazarse por las vías óptimas, ya que estas últimas son pavimentadas, tienen dos carriles y por ello tienen una velocidad de desplazamiento mayor.

Teniendo en cuenta una velocidad promedio de desplazamiento de las vías óptimas se establecieron factores de fricción o ponderadores de velocidad para cada tipo de vía. Si en la vía óptima se logra una velocidad promedio de 100 km/hora, entonces se aproxima el incremento en tiempo que ocasionaría recorrer la misma distancia por una vía buena o una regular. Los valores de fricción resultantes de este razonamiento fueron: vía óptima =1, vía buena =1.33 y vía regular = 2, los cuales son valores arbitrariamente elegidos para mostrar un comportamiento creciente del tiempo necesario para recorrer una misma distancia a medida que se cambia de tipo de vía.

Para obtener un dato de distancia en cada píxel de la zona de estudio y para condicionar el cálculo de distancia preferentemente por la red vial, es necesario considerar una fricción de usos suponiendo que por donde no hay vía se desplaza a pie.

Finalmente, se llega a la obtención del mapa de distancia al mercado para cada punto del mapa teniendo en cuenta el tipo de vía y el tipo de uso por el que se desplaza. El cálculo del mapa resultante fue hecho utilizando el Programa IDRISI, con el menú de costo de distancia incorporando las fricciones señaladas anteriormente como un mapa de fricción. Con la opción "map calculator" se realizó la conversión del mapa de distancia medida en metros al mapa de costos de acceso medida en minutos, y luego exportado a ARCVIEW para hacer parte de la base de datos espacial, como se muestra en la Figura 14.

ACCESIBILIDAD AL MERCADO

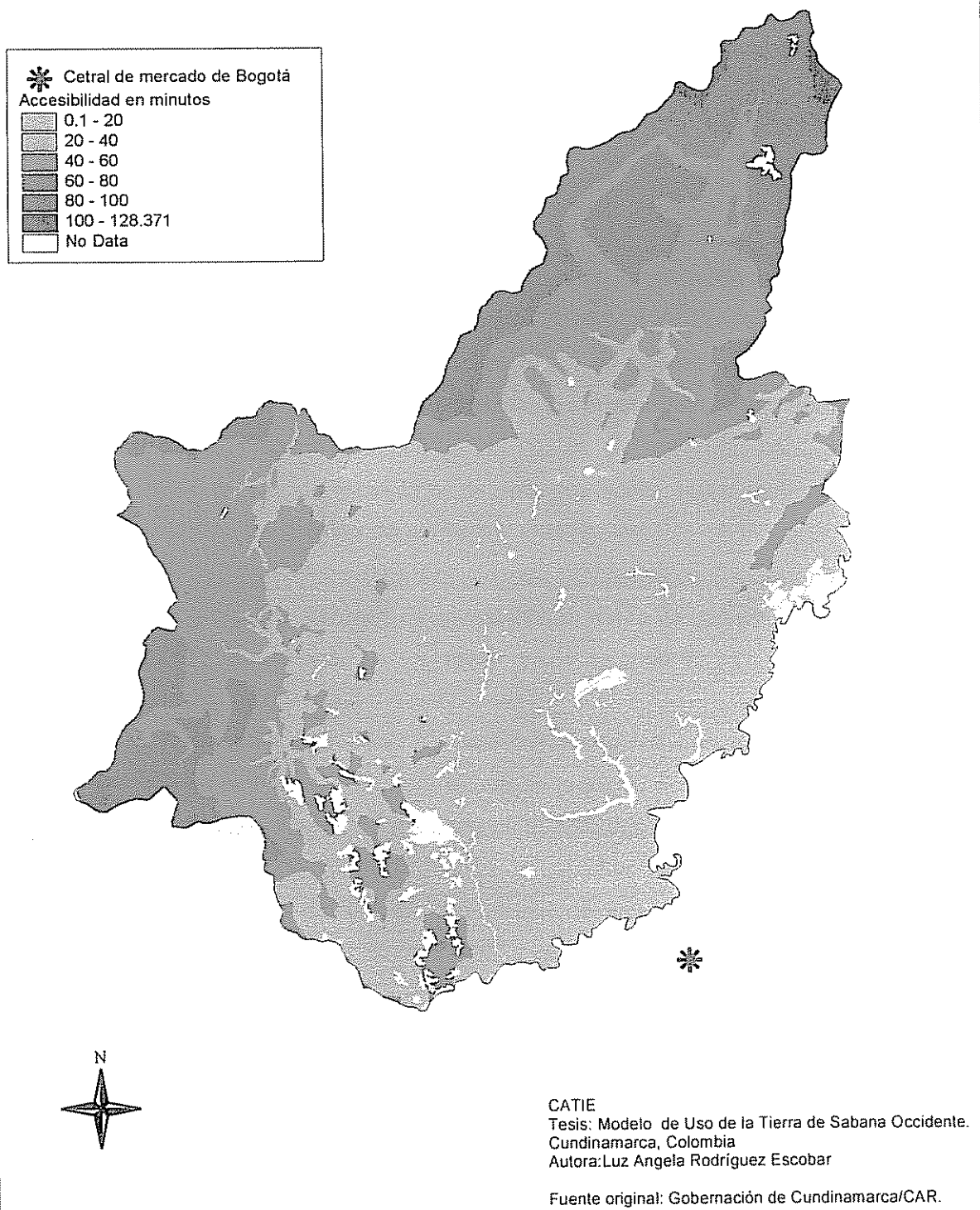


Figura 14: Costo de Acceso al Mercado, calculado en minutos

La Figura 14 muestra el mapa de costos de acceso calculada como minutos que demora un productor ubicado dentro de la Provincia en acceder a la Central de Mercado de Bogotá. Este mapa indica que cualquier productor ubicado en La zona de color morado claro logra acceder al mercado central de Bogotá en menos de una hora. Este resultado así obtenido es una buena aproximación del costo de transporte en la zona de estudio.

3.3.2 ATRIBUTOS DE SITIO

La economía desde los clásicos ha reconocido la importancia de las características del recurso tierra en todo el sistema económico. Desde 1820, David Ricardo hizo énfasis en la fertilidad de la tierra para explicar su teoría de la Renta. Ricardo planteó que a medida que la demanda por bienes aumenta, los productores van incorporando tierras menos fértiles al proceso productivo, las cuales al tener una productividad menor hacen que el precio de equilibrio de los productos suba y genere una renta extraordinaria para los dueños de las tierras más fértiles.

Más recientemente, los trabajos de investigación sobre el uso de la tierra incorporan una serie de atributos de sitio para modelar el uso de la tierra.

El Cuadro 7 presenta una serie de atributos biofísicos que diferentes autores han considerado relevantes para explicar el uso de la tierra, aunque hay otra literatura que aborda el tema, solo se retoman los trabajos que abordan el tema con una metodología similar a la aquí usada pues la dispersión en cantidad y tipo de variables incluidas es muy alta. La columna 5 del Cuadro 7 muestra que hay una especie de consenso con relación a los atributos geográficos: Altura y Pendiente. Pero respecto a los atributos biofísicos no. Ello se explica porque la elección de los atributos biofísicos variará según el sitio o región analizando.

Cuadro 7: Atributos de Sitio Incorporados en la Literatura de Modelos de Uso de la Tierra

Autores	Area de Estudio	Variable de Respuesta	Factores Biofísicos	Atributos Geográficos	Variables socioeconómicas
Barito , F [2000]	Cordillera Costa de Venezuela	Cambio de Uso de la tierra	Dist Precipitación Uso Previo de la Tierra	Altura Pendiente	Distancia a vías Distancia a quebradas Parque nacional
Nelson y Hellerstein [1997]	Mexico Central	Uso de la tierra	Calidad del suelo Intensidad Radiacion solar	Altura Pendiente	Distancia a caminos Distancia a Pueblos
Chomitz y Gray [1996]	Sur de Belize	Uso de la tierra	Porcentaje de Nitrogeno Disponibilidad de fosforo Ph del suelo Humedad Riesgo de inundación Precipitación	Pendiente	Distancia a mercado Area de Reserva Area de tierra nacional
Veldkamp y Fresco [1997]	Costa rica	Uso de la tierra	Suelos Variabilidad climatica	Altitud Pendiente	población fuerza laboral agricola

De todas maneras, el criterio para seleccionar los atributos biofísicos dentro del modelo de uso de la tierra se encuentra en la teoría económica que subyace al modelo econométrico. Tal como lo presenta Chomitz y Gray (1996), los atributos biofísicos y geográficos específicos de sitio a tener en cuenta contribuyen a explicar la variación en la productividad potencial del recurso tierra en el proceso productivo. Estos atributos entran dentro de la función de producción como un factor de productividad tal como se mostró en la Ecuación 2.

Para el caso de Sabana Occidente se retomaron los atributos biofísicos señalados por expertos de la región que fueron entrevistados. Ellos señalaron la importancia en la región de dos variables claves: la disponibilidad de agua y el tipo de suelo.

Respecto a la disponibilidad de agua fue necesario considerar dos tipos de información, la referente a agua superficial y la referente a agua subterránea. El agua superficial fue aproximada a través del cálculo de la distancia mínima a ríos mientras que el agua subterránea fue aproximada a través del cálculo del número de pozos por polígono.

Respecto al tipo de suelo, en teoría existen diversos atributos que permiten hacer esta caracterización. Sin embargo, Sabana Occidente es una región homogénea en

términos agrológicos, varios de éstos atributos no cambian dentro de ella y por lo tanto no serían variables para incluir en el modelo.

La sugerencia de los expertos entrevistados fue trabajar con una variable índice de horizonte argílico, que caracteriza la existencia o no de una capa arcillosa en el subsuelo, la cual divide los suelos entre pobres y no pobres. También se sugirió considerar las variables de erosión en la región, información que se encuentra vinculada al mapa de suelos de Sabana Occidente y cuyo procesamiento para obtener la base de datos numérica se explica más arriba.

El Cuadro 8 presenta las variables que finalmente se decidió incorporar en el Modelo Ampliado de Uso de la Tierra en Sabana Occidente.

Cuadro 8: Variables Explicativas del Uso de la Tierra en Sabana Occidente

Tipo de Variable	Variables Explicativas	Símbolo	Unidad
Atributos Geográficos	Altura	ALTURA	m.s.n.m.
	Pendiente	PENDI	Grados
Factores Biofísicos	Horizonte Argílico	HTARGI	Índice*
	Erosión	EROSI	5 categorías**
	Distancia mínima a ríos y distrito de riego	DISAGUA1	metros
	Disponibilidad de agua subterránea	NPOZOS	cantidad de pozos
Variable económica	Accesibilidad	ACCES	minutos

(*) El índice tiene valor 0 para suelos sin horizonte argílico y 1 para suelos con horizonte argílico.

(**) Las categorías de erosión son: 1 sin evidencia de erosión; 2 erosión ligera; 3 erosión moderada; 4 erosión severa; 5 erosión muy severa.

La relación entre las variables explicativas y el Uso de la tierra puede preverse con base en el conocimiento científico y empírico existente. Los efectos esperados para los atributos geográficos varían para cada tipo de uso. Por ejemplo, se espera que la altura tenga un efecto positivo con el uso bosque pero con cultivos o pasto su efecto sea negativo.

Respecto a los atributos biofísicos, se espera que el horizonte argílico tenga un efecto negativo en el uso agrícola o mixto principalmente, pues en suelos con existencia de horizonte argílico la productividad agrícola sería baja. (Romero y Abaunza, 2001). En el caso de la erosión se espera tenga un efecto negativo con el pasto manejado porque un adecuado manejo del pasto se relaciona con suelos poco erosionados.

Los atributos de disponibilidad de agua deberían presentar un vínculo directo con el uso agrícola y mixto, pues el tipo de cultivos de la zona requieren de riego.

Pero más allá de verificar si los atributos tienen el efecto esperado sobre cada categoría de uso de la tierra, lo que se espera probar con la estimación del modelo ampliado es que la incorporación de los atributos de sitio contribuye a aumentar la capacidad predictiva del modelo básico.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MODELO BASICO EMPIRICO

Con la información muestral de los usos de la tierra y el costo de acceso se estimó el modelo Logit Multinomial para las probabilidades de uso de la tierra tal como el especificado en la Ecuación 6, utilizando el programa econométrico LIMDEP.

El primer resultado analizado de la estimación de éste modelo es la prueba conjunta para todos los parámetros estimados. Para ello se realiza la Prueba de Razón de Verosimilitud RV.

$$RV = 2(\text{modelo restringido} - \text{modelo sin restringir}) = 918,12$$

Grados de libertad =5

Nivel de significancia =0.0000

Comparando la Razón de verosimilitud, RV, con el estadístico Ji cuadrado de tabla para 5 grados de libertad y un nivel de significancia del 0.001%, se concluye que hay evidencia estadística de que por lo menos un coeficiente estimado es distinto de cero. Por lo tanto tiene sentido interpretar sus resultados.

La estimación del modelo de uso de la tierra en función del costo de acceso al mercado central de Bogotá muestra 3 resultados interesantes:

Primero: el vector de probabilidades medias. El Cuadro 9 presenta los valores de probabilidades medias para las categorías de usos al estimar el modelo básico.

Cuadro 9: Vector de Probabilidades Estimadas para el Modelo Básico

CATEGORIA DE USO	probab.vector medio
AGRICOLA	0.149
MIXTO	0.183
PASTO NATURAL	0.086
PASTOMANEJADO	0.507
BOSQUE	0.065
OTROS	0.009

En el Cuadro 9 se aprecia la distribución de probabilidades estimadas entre las distintas categorías de uso, destacándose el uso de pasto manejado que representa la mitad de la probabilidad. Estas probabilidades son similares a la distribución de usos de la tierra que realmente existe en la Provincia mostrada en la Figura 10 y por lo tanto se puede considerar que el modelo estimado captura el patrón de distribución espacial.

Segundo: Efectos Marginales. El costo de acceso al mercado resultó una variable significativa en todas las categorías de uso de la tierra como lo muestra el Cuadro 10 de efectos marginales, aun cuando los valores de los coeficientes son muy bajos.

Formalmente, los efectos marginales presentados en el Cuadro 10 muestran que ante un aumento del 1% en el tiempo de acceso promedio al mercado con relación a la categoría "otros" como base, los usos agrícola y mixto ven reducida su probabilidad de ocurrencia.

Cuadro 10: Efectos Marginales de los Usos de la Tierra a partir del Modelo Básico

Usos	costo de acceso		Prob
	b	b/St.Er	
Agrícola	-9.7520E-04	-4.41	0,000
Mixto	-4.7670E-03	-18.86	0,000
Pasto Natural	2.4250E-03	18.38	0,000
Pasto Manejado	1.4130E-03	4.83	0,000
Bosque	2.2200E-03	20.51	0,000
Otros	-3.1510E-04	-5.78	0,000

Estos efectos marginales son las primeras derivadas de la probabilidad de ocurrencia de un uso en respecto a los costos de acceso. En el caso del uso agrícola el efecto marginal resulta negativo, indicando que cuando aumenta el costo de acceso se reduce la probabilidad de encontrar un uso agrícola. La Figura 15 ilustra el caso del uso agrícola, aquí se retoma el mapa de costos de acceso mostrado en la Figura 14 y se sobrepone las regiones correspondientes al uso agrícola para mostrar que la mayoría de los usos agrícolas ciertamente están ubicados a menos de una hora del mercado central de Bogotá.

USO AGRICOLA Y COSTO DE ACCESO

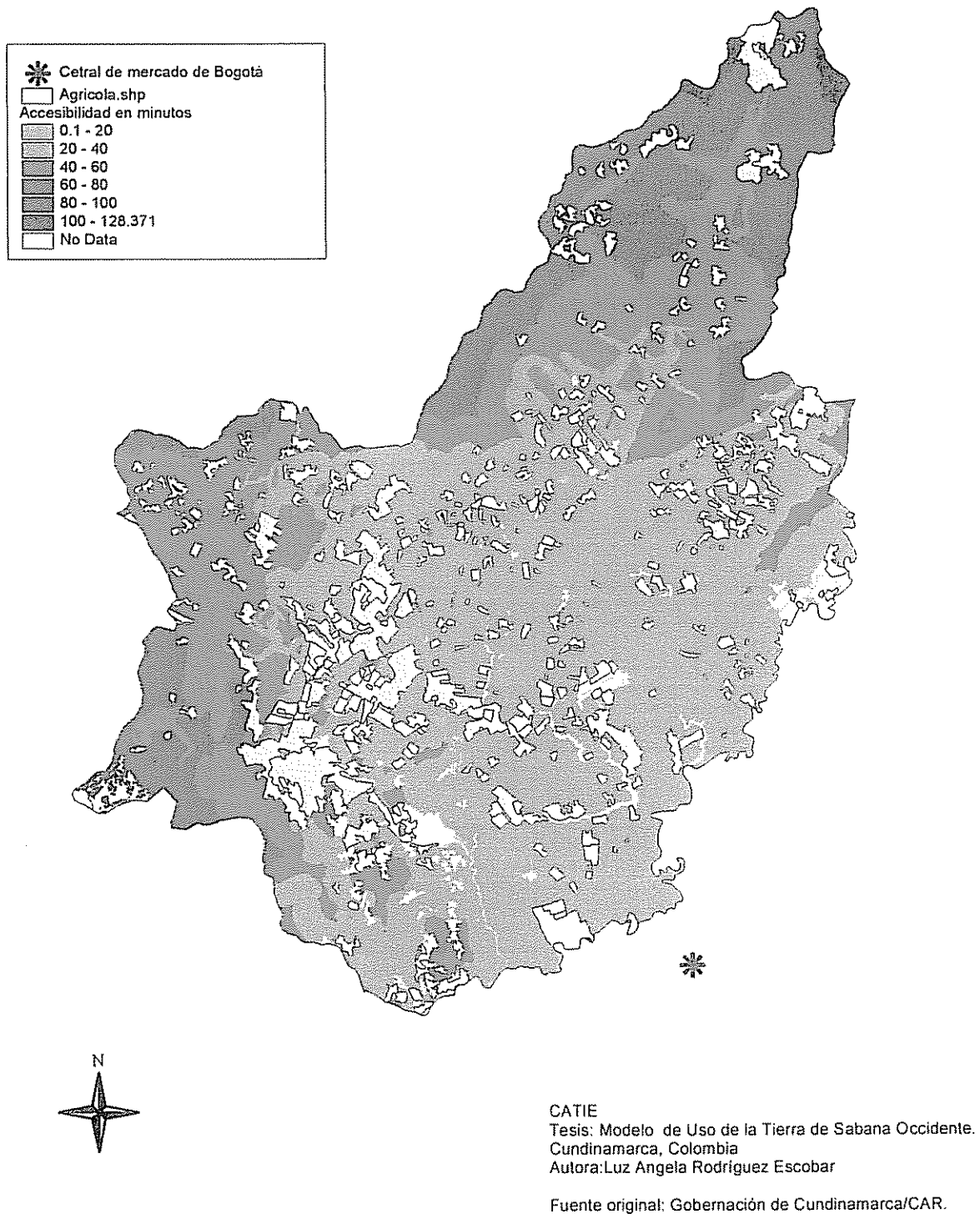


Figura 15: Relación Espacial Uso Agrícola y Costo de Acceso

En el caso del uso mixto el efecto marginal también es negativo, por lo tanto se puede decir que manera equivalente que a mayor cercanía al mercado (menor distancia o tiempo de acceso) existe una mayor probabilidad de encontrar el uso mixto. Además de interpretar el signo del efecto marginal, se puede apreciar que el valor del efecto marginal del costo de acceso es mayor para el uso mixto que para el uso agrícola, lo cual indica que el uso mixto está más cerca del mercado.

Para las categorías de Pasto Natural, Pasto Manejado y Bosque, un aumento del 1% en el costo de acceso promedio al mercado con relación a la categoría de "otros" como base, aumenta la probabilidad de encontrar estos usos. Nótese que los efectos marginales para los pastos muestran una relación directa, indicando que a mayor distancia del mercado central de Bogotá mayor probabilidad de encontrar estos usos.

En términos espaciales para el uso de bosques resulta muy evidente este resultado. Como se aprecia en la Figura 16 la mayoría de los bosques están ubicados en las zonas periféricas en la Provincia por lo tanto resulta coherente que la probabilidad de encontrar bosques aumente cuando el tiempo de acceso aumenta.

USO DE BOSQUE Y COSTO DE ACCESO

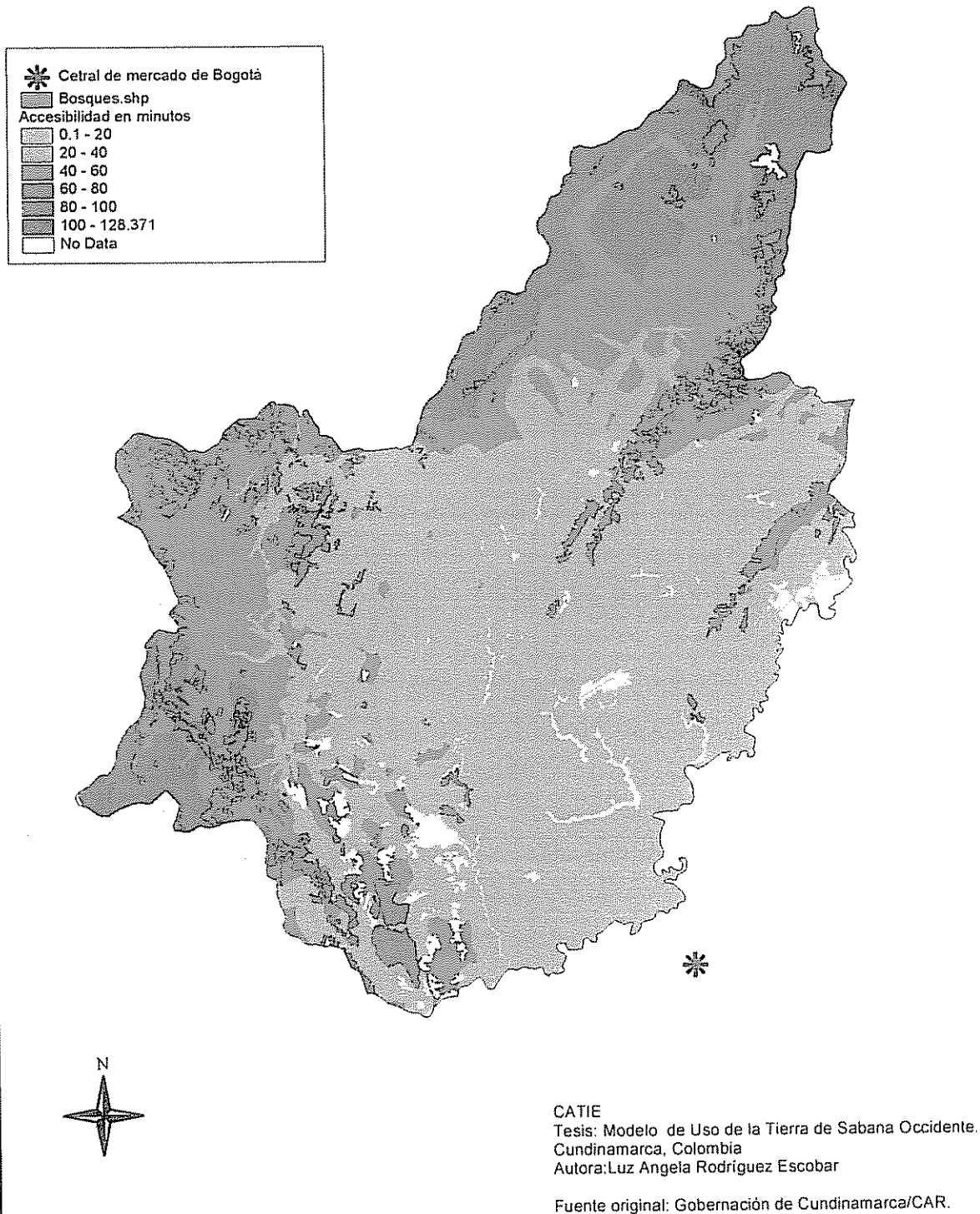


Figura 16: Relación Espacial Uso Agrícola y Costo de Acceso

Para el caso de los Pastos es menos evidente el resultado obtenido con el modelo estimado puesto que los Pastos representan más de la mitad del área de la Provincia y se encuentran dispersos por toda la región. Por ello, el cálculo de los efectos marginales resulta útil, pues capturan las diferentes respuestas de los usos a las variaciones en el costo de acceso.

Con base en los resultados del modelo presentados en el Cuadro 11, se puede concluir que el mercado central de Bogotá **no** es un atractor para los usos de pastos y bosques. Una explicación de este resultado puede encontrarse en la comercialización de los productos derivados de estos usos. Como se mencionó en el capítulo 2 la teoría económica que está detrás del Modelo Logit Multinomial de Usos de la Tierra descansa sobre varios supuestos, uno de los cuales consiste en asumir que hay un solo mercado a donde son llevados todos los productos.

En el caso de Sabana Occidente este supuesto tiene mayor correspondencia con la realidad de la producción agrícola pero no resulta plausible en el caso de la producción pecuaria o de la producción forestal.

Para el caso de los Pastos el producto principal es la producción de leche sin procesar, éste producto no se comercializa en el mercado central sino que se vende a las lecherías y a las industrias lácteas, que en su mayoría están ubicadas fuera de la gran ciudad. Para el caso de bosques ocurriría algo similar, pues los aserraderos en general no se ubican dentro de la ciudad sino fuera de ella.

En todo caso la estimación del Modelo Básico permite apreciar la distribución del espacio de la Provincia Sabana Occidente. Estos resultados pueden ser apreciados en forma gráfica, como lo muestra la Figura 17.

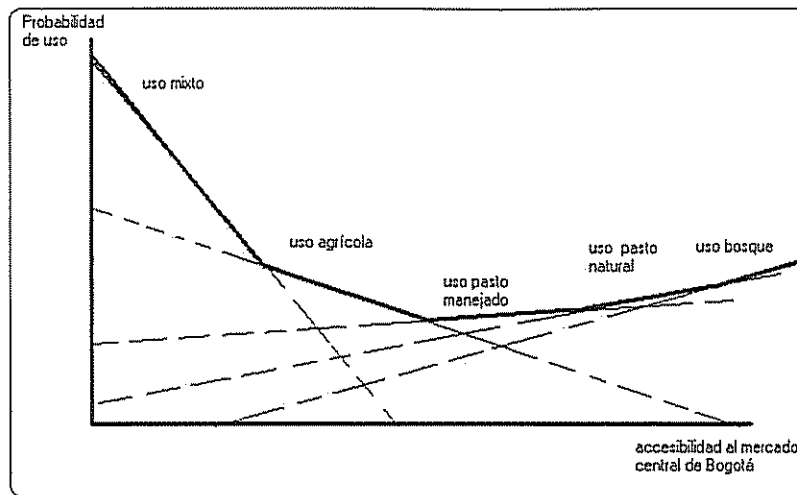


Figura 17: Distribución de los usos de la Tierra en Sabana Occidente
 Con base en los Efectos Marginales Estimados a partir del Modelo Básico

A la luz de la teoría económica, éstos resultados muestran que el uso mixto tiene una mayor probabilidad de encontrarse cerca al mercado, lo cual indica que ésta es la actividad que ésta dispuesta a pagar la renta de ubicación más alta. Posteriormente estaría la actividad agrícola. Además, tanto el uso mixto como el uso agrícola aparecen sensibles a la cercanía al mercado, lo cual se traduce en que las decisiones de producción se ven afectadas por los costos de transporte y a la cercanía de los demandantes de estos productos. Con los usos de pastos y bosques se tendría la situación contraria.

De todas maneras, hay que tener presente los supuestos que fue necesario hacer para construir el modelo de uso de la tierra, pues en la medida que se puedan ir relajando uno a uno los supuestos se tendrá un mejor análisis de la realidad. Un ejemplo de ello es precisamente la ampliación del modelo básico que hacen Chomitz y Gray (1996) al introducir explícitamente los factores de sitio dentro del modelo de uso de la tierra, en orden a eliminar el supuesto de condiciones homogéneas de la tierra de la teoría de Von Thünen.

La necesidad de revisar con cuidado los resultados del modelo básico empírico queda evidenciado cuando se revisa la eficiencia del modelo para predecir.

Tercero: Matriz de Predicción. La matriz de predicción de uso de la tierra de este modelo básico, Cuadro 11, muestra que solo el uso de pasto manejado, que es el uso dominante en la zona, captura un nivel alto de predicción, siendo los demás usos confundidos con pasto manejado.

Cuadro 11: Matriz de Predicción de Usos de la Tierra
En la Estimación del modelo Básico

Usos	Agrícola	Mixto	Pasto Natural	Pasto Manejado	Bosque	Otros	Total
Agrícola	0	0	0	1348	6	0	1354
Mixto	0	0	0	1844	0	0	1844
Pasto Natural	0	0	0	857	14	0	871
Pasto Manejado	0	0	0	4546	2	0	4548
Bosque	0	0	0	698	11	0	709
Otros	0	0	0	92	0	0	92
Total	0	0	0	9385	33	0	9418

Aunque la estimación del modelo básico arroja un vector de probabilidades medias que captura la distribución espacial de los usos de la tierra, como se mostró en el Cuadro 9, la matriz de predicción muestra que el modelo se equivoca al asignar el uso correspondiente a cada píxel. En otras palabras el modelo básico da cuenta de los usos de la tierra en el nivel global pero no logra dar cuenta de cada píxel en particular, pues predice en el lugar equivocado y hace equivaler todos los usos a la categoría dominante, que es Pasto Manejado.

Los resultados anteriores estarían revelando la necesidad de tener cuidado en la interpretación de los resultados del modelo, puesto que la predicción de los usos de la tierra del modelo básico empírico es muy pobre. Para entender y mejorar este resultado hay varias alternativas.

Primero, el modelo usado tiene supuestos muy restrictivos que no se cumplen en la realidad, por lo tanto habría que revisar la teoría y flexibilizar los supuestos para que se ajuste mejor a la realidad de la región. Segundo, sea más apropiado hacer otra aproximación econométrica utilizando otras técnicas de estimación o de predicción.

Hay que tener en cuenta que dentro de la metodología hay otros aspectos poco claros que abren aún más el espectro de análisis. Es el caso de la puesta en tela de juicio de por qué si los sistemas de información geográfica permiten tener información completa para una región, estilo censo, la modelación de la tierra sigue un procedimiento basado en una muestra. Este tema se menciona para motivar futuras reflexiones.

Otra razón para la poca capacidad de predicción podría deberse a que incluir únicamente la variable costos de acceso como variable explicativa de la distribución espacial de los usos de la tierra en Sabana Occidente es insuficiente. Tal como lo sugiere la revisión de literatura de este tipo de modelos, las variables específicas de sitio podrían ser fundamentales para la explicación de los usos de la tierra. Esta es la vía de análisis que sigue a continuación.

4.2 MODELO AMPLIADO EMPIRICO

La especificación del modelo econométrico de uso de la tierra en Sabana Occidente incorporando los atributos geográficos y biofísicos junto con los costos de acceso se ha denominado Modelo Ampliado y sigue la forma del modelo Logit Multinomial expresado en la ecuación 6.

Una vez creada la base de datos con las variables explicativas señaladas en el Cuadro 12 se estimó el Modelo Ampliado Empírico utilizando el programa econométrico LIMDEP.

El primer resultado analizado fue de nuevo la Razón de Verosimilitud, la cual con 35 grados de libertad y a un nivel de significancia del 0,001% permite concluir que hay evidencia estadística de que por lo menos un coeficiente estimado es distinto de cero.

$$RV= 2(\text{modelo restringido} - \text{modelo sin restringir}) = 9184,066$$

Grados de libertad =35

Nivel de significancia =0.0000

En segundo lugar se analizó las probabilidades medias de la estimación de efectos marginales del modelo ampliado. Estas probabilidades se presentan en el Cuadro 12, en ellas se destaca el hecho de que solamente arrojan valores diferentes de cero para las categorías de uso mixto y de pasto manejado.

Cuadro 12: Vector de Probabilidades Estimadas
A partir del Modelo Ampliado

Categoría de Uso	Probabilidad Media
Agrícola	0,00
Mixto	0.23
Pasto Natural	0,00
Pasto Manejado	0.77
Bosque	0,00
Otros	0,00

La estimación del modelo ampliado arroja una distribución de probabilidades estimadas que no capturan la distribución de usos de la Tierra de la Provincia, éste modelo solo reconoce dos categorías de uso: Mixto y Pasto manejado.

Este resultado indica que efectos marginales sólo explican la variación en las categorías de uso mixto y pasto manejado. Tal como se señaló en el capítulo 3 (Ecuación 8) éstas probabilidades entran en la definición de los efectos marginales y al ser cero anulan todo el efecto. Por lo anterior, solo fue posible analizar los resultados de la estimación de los efectos marginales para las categorías de uso Mixto y de Pasto Manejado. Valga recordar que estos dos usos representan el 63% del área en la Provincia de sabana Occidente.

El Cuadro 13 presenta la estimación de los Efectos Marginales para los Usos Mixto y Pasto Manejado. Las columnas representan las variables explicativas y las filas los usos o variables de respuesta. En el cruce de columnas y filas aparece el valor del efecto marginal, el valor del estadístico t y la probabilidad de rechazo o significancia.

Cuadro 13: Efectos Marginales del Modelo Ampliado de Uso de la Tierra

Categoría de Uso	costo-Acceso	Altura	Pendiente	Htarg	Erosi	Disagua1	Npozos
Mixto	-0.0064	0.0007	-0.00557	-0.035	0.0233	-7.7E-05	-0.0011
b/St.Er	-10.7	13.9	-8.9	-2.45	1	-8.7	-32.1
Significancia	0,000	0,000	0,000	0,0142	0,0489	0,000	0,000
Pasto Manejado	0.00645	-0.0007	0.00557	0.0355	-0.0233	7.7E-05	0.0012
b/St.Er	10.75	-13.9	0.99	2.44	-1.97	-8.745	32.28
Significancia	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0144	0,0487	0,000

Como se mostró en la metodología, los efectos marginales son las primeras derivadas de una variable explicativa respecto a la probabilidad de un uso, por tanto el signo del efecto marginal señala el sentido o dirección de la variación en la probabilidad de uso cuando varía el promedio de la variable explicativa en una unidad.

El efecto marginal del costo de acceso sobre el uso Mixto y sobre el uso de Pasto manejado nuevamente exhibe el mismo signo que el obtenido al estimar el modelo básico. Una reducción del tiempo de desplazamiento promedio, ya sea por estar cerca a la ciudad o en una zona con buenas vías que lo conecten al mercado, incrementa la probabilidad de encontrar un uso mixto y genera un efecto inverso sobre la probabilidad de encontrar el uso de pasto manejado.

La estimación del efecto marginal de los atributos de sitio resulta significativa a un nivel de significancia del 5%. Las variables geográficas, altitud y pendiente, no resultan susceptibles de interpretar en términos marginales.

Con las variables biofísicas es posible hacer una interpretación conjunta de los atributos de sitio como escenarios favorables para aumentar la probabilidad de encontrar la categoría de uso mixto o de pasto manejado.

En el caso de zonas donde no hay presencia de horizonte argílico y la erosión se incrementa, la probabilidad de encontrar un uso mixto es mayor. Mientras que en zonas donde hay presencia de horizonte argílico y reducción de la erosión, hay mayor probabilidad de encontrar el uso de pasto manejado.

Es interesante resaltar la coherencia de estos resultados con lo que señaló Romero y Abaunza (2001) pues según los expertos un manejo adecuado de los pastos contribuye a solucionar problemas de erosión del suelo mientras que el uso agrícola intensivo genera problemas de erosión.

Respecto a la variable de agua superficial, el modelo muestra una mayor probabilidad de uso mixto cerca a las fuentes de agua superficial y es claro que la producción agrícola se ve favorecida al tener disponibilidad de agua para riego. Por otro lado, la variable de agua subterránea estaría mostrando que un incremento en el número de pozos favorecería la probabilidad de encontrar el uso de pastos manejados.

En términos del atributo de agua en la zona se tiene que la disponibilidad de agua superficial incentivará el uso mixto mientras que la disponibilidad de agua subterránea incentivará el pasto manejado. Este resultado resulta novedoso puesto que no era un resultado obvio al inicio de la investigación y porque además puede llegar a ser una herramienta útil para la definición de una política de manejo de recurso hídrico y para las políticas de incentivos al sector agropecuario.

Los resultados presentados en el Cuadro 14 para el caso de Sabana Occidente permiten hacer una comparación con investigaciones similares realizadas en otros países en las que básicamente se ha estimado un modelo de uso de la tierra siguiendo la misma metodología.

Aunque cada investigación y cada estudio de caso tienen rasgos que los distinguen y los hacen únicos, es posible hacer una comparación entre los resultados obtenidos para Sabana Occidente y los resultados de la investigación de Nelson y Hellerstein (1997).

Nelson y Hellerstein (1997) estiman un modelo de uso de la tierra en México Central y presentan los resultados obtenidos para 2 tipos de uso entre 7 incluidos en el modelo. Los usos que ellos analizan son Bosque y Tierra cultivada. Sus resultados muestran que los efectos marginales de las variables de distancia a caminos y pueblos tienen un

efecto positivo respecto al uso de bosques y negativo respecto al uso de tierra cultivada. Pero no obtienen resultados significativos respecto al efecto de la variable acceso a centros poblados grandes.

Hay concordancia entre los resultados obtenidos para el caso de México Central y los obtenidos en el caso de Sabana Occidente, respecto a que la relación entre las variables que aproximan los costos de transporte tiene un efecto negativo sobre los usos relacionados con la actividad agrícola, tal como lo señala la teoría económica. Además, las variables geográficas y biofísicas resultan significativas para los dos usos.

Sin embargo, no se comparte la especificación del modelo realizada por Nelson y Hellerstein pues la inclusión de distintas variables de distancia como aproximaciones de costo de transporte pueden llevar a problemas de multicolinealidad en el modelo.

4.3 EFICIENCIA DE PREDICCIÓN

Finalmente, se obtuvo la matriz de predicciones asociada a la estimación del modelo de uso de la tierra en función de variables económicas y atributos de sitio (Cuadro 14). Al sumar las predicciones acertadas para cada uso, se obtienen 5351 píxeles acertados entre 9418, lo que arroja un nivel de eficiencia en la predicción global de 57%.

Cuadro 14: Matriz de Predicción de los Usos de la Tierra
en la Estimación del Modelo Ampliado

Usos	Agrícola	Mixto	Pasto Natural	Pasto Manejado	Bosque	Otros	Total	% de Predicc.
Agrícola	542	437	82	251	42	0	1354	40%
Mixto	233	643	66	860	42	0	1844	35%
Pasto Natural	76	63	593	41	98	0	871	68%
Pasto Manejado	229	771	99	3402	47	0	4548	75%
Bosque	56	53	282	147	171	0	709	3%
Otros	34	40	1	17	0	0	92	0%
Total	1170	2007	1123	4718	400	0	9418	57%

Este resultado muestra que la estimación del modelo incorporando atributos de sitio genera un aumento en la capacidad de predicción a escala de cada píxel aunque no captura la distribución global de los usos de la tierra en la región.

Este resultado es justamente el inverso al obtenido con la estimación del modelo básico. Lo que se tendría es un "trade off" entre la estimación del patrón de distribución global de usos de la tierra y la predicción de uso en un píxel particular. Los dos resultados son útiles para objetivos propuestos pues confirma la importancia de los costos de transporte para explicar la distribución de usos de la tierra y a la vez la incidencia de los factores de sitio para decidir el uso de una parcela determinada.

Aunque se considera que un 57% de eficiencia es baja, este nivel es mayor al alcanzado en otras investigaciones similares. El modelo de uso de la tierra para México Central de Nelson y Hellerstein (1997) logra una eficiencia del 43%.

Sin embargo, el resultado más interesante de la estimación del modelo ampliado es la diferenciación de los tipos de uso de la tierra que se logra predecir al tomar en cuenta las variables biofísicas junto con las económicas, lo cual demuestra la importancia de hacer análisis transdisciplinarios en el ámbito de la economía espacial.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 POTENCIALIDADES DE LA METODOLOGÍA

La metodología aplicada para explicar el uso de la tierra en Sabana Occidente contribuye en parte a describir y explicar el efecto de las variables económicas y biofísicas en la probabilidad de usos de la tierra, dando señales para predecir el impacto de esas variables explicativas. La respuesta al problema confirma la hipótesis de que factores económicos y biofísicos son importantes para explicar la forma en que los entes racionales hacen la asignación de sus recursos y más específicamente, la forma en que deciden el uso de la tierra.

En esa medida, la metodología aplicada aporta elementos para establecer una zonificación del recurso tierra a partir de lo que se observa en una región específica. Por ello, se presenta como una herramienta a tener en cuenta en la formulación de planes de ordenamiento territorial que ayuda a superar la tradición de planificar basado en modelos ideales que no consultan la realidad.

Es importante resaltar que el modelo es una herramienta más para el análisis y la planificación regional, que está basada en supuestos simplificadores de la realidad y por tanto requiere una interpretación cuidadosa de sus resultados y presenta limitaciones, que deben tenerse en mente para no abusar de sus potencialidades.

El caso de Sabana Occidente permite ejemplificar las potencialidades y limitaciones de la metodología. A continuación se presenta una interpretación de los resultados del modelo aplicado que muestra la utilidad de estos resultados como instrumento de apoyo e interpretación de la producción en el territorio, dando señales para la formulación de políticas dirigidas a fomentar el desarrollo sostenible.

En concreto, los resultados del modelo de uso de la tierra para Sabana Occidente permite prever el efecto que tendría la realización de un proyecto de infraestructura vial en el uso de la tierra. Por ejemplo una nueva vía nacional que atravesase los municipios

de Subachoque, Tenjo y Cota hasta el centro de la ciudad de Bogotá, convertiría estos municipios que actualmente son predominantemente rurales en zonas con usos intensivos y con mayor presión urbana. Por tanto se prevé que este tipo de políticas de desarrollo favorece la agricultura intensiva y el uso mixto en las zonas más accesibles a la ciudad y expulsa la actividad ganadera.

El estudio de Herrera (1998) señala como un importante proyecto de desarrollo regional la habilitación del tren de cercanías, como una nueva forma de transporte de mercancías hacia los mercados del sur oriente del país. De acuerdo al análisis y los resultados de la presente investigación, éste proyecto conduciría a un nuevo esquema de desarrollo pues Bogotá dejaría de ser el único polo atractor de la región y ello equivale a un cambio estructural del modelo de uso de la tierra, en el que se debe contemplar múltiples centros de mercado.

Aun en esta situación hipotética, la metodología propuesta aquí podría ser útil ya que existen desarrollos desde la teoría económica que modelan la ubicación de la actividad económica con múltiples polos de atracción y que son básicamente extensiones de la teoría de Renta de Ubicación.

Respecto a los factores de sitio, el impacto del recurso hídrico sobre el uso de la tierra es de especial interés para los entes de desarrollo, puesto que el agua es el recurso natural que se hace cada día más escaso especialmente en zonas de rápido crecimiento poblacional, como son las áreas metropolitanas.

La escasez de agua es una preocupación actual en la región, al punto que la autoridad responsable, La Corporación Autónoma Regional, ha empezado a crear los mecanismos para restringir el uso de agua subterránea y para descontaminar las aguas superficiales. Respecto al recurso agua, los resultados de la estimación del modelo de uso de la tierra en Sabana Occidente señala una asociación directa entre agua superficial y uso Mixto así como una asociación directa entre agua subterránea y uso de pasto manejado.

Por tanto una política de protección ambiental que restrinja el uso de agua subterránea afectaría al uso de pasto manejado y por tanto a la ganadería y la producción de leche. Mientras que una política de restricción al uso de agua superficial por razones de descontaminación afectaría principalmente al uso mixto.

Por otro lado, una política de desarrollo agropecuario con importantes impactos en el uso de la tierra sería aquella tendiente a incrementar los distritos de riego o a implementar tecnologías ahorradoras del recurso agua.

El resultado más interesante de este tipo de análisis es la interacción de múltiples políticas que afectan la decisión de uso de la tierra y que pueden complementarse o contraponerse. Por ello es necesario que los planes de ordenamiento territorial consulten a los distintos entes de política involucrados en la región y se haga énfasis en la coordinación de las políticas de desarrollo.

Por lo anterior, se considera que la metodología aplicada a Sabana Occidente contribuye a advertir sobre los efectos, deseables o indeseables, de acciones de política. Hay mucho terreno que explorar respecto al análisis y estudios prácticos que señalen caminos hacia el logro de una mejora en la calidad de vida y la protección del medio ambiente.

5.2 LIMITACIONES

Se deben hacer explícitas las limitaciones que surgen por la manera en que se realizó la aplicación de la metodología para el estudio de caso. A continuación se presentan algunas reflexiones al respecto.

La base para el estudio del uso de la tierra en Sabana Occidente es la interpretación de la información cartográfica en términos de una fotografía de la región en un momento del tiempo, en este caso el uso de la tierra en el año 1993. Todo el análisis expuesto anteriormente descansa en la suposición que las relaciones observadas y estimadas son de largo plazo, en otras palabras, los efectos de las variables

explicativas permanecen estables en el tiempo y solo se ven alteradas por un shock o un cambio atípico. Ejemplos de cambios atípicos serían los mencionados en la sección anterior de una nueva vía, la habilitación del tren o la creación de un distrito de riego.

Se debe tener en cuenta que hay fenómenos de corto plazo presentes en las decisiones de uso de la tierra y que permanentemente pueden estar modificando la decisión de los agentes económicos respecto a la ubicación de su actividad productiva.

El fenómeno económico de corto plazo más relevante es el cambio en el precio de un producto. Para ilustrar esta situación tomaremos el ejemplo de la papa que es un producto agrícola importante en la región. Si por alguna razón de mercado el precio de la papa en el año 1993 estaba muy bajo ello pudo inducir a los productores a reducir el área cosechada durante ese año aun cuando ellos estén dispuestos a incrementar el área sembrada al año siguiente cuando el precio posiblemente suba por efectos de reducción de la oferta.

Este tipo de coyunturas económicas subyace al modelo estimado y es un llamado a tener prudencia al momento de sacar conclusiones basándose solamente en los resultados del modelo. También es un argumento a favor de usar categorías agregadas de usos de la tierra, pues es menos probable que una situación coyuntural esté presente en todos los cultivos que componen la categoría de uso agrícola a que esté presente en un cultivo específico.

De todas maneras las relaciones de largo plazo son las dominantes cuando se analizan categorías mayores de uso de la tierra pues ellas hacen referencia a una decisión que define un modo de ser del productor y una cultura. En ellas se distingue entre un agroindustrial, un agricultor, un ganadero extensivo y un pequeño hacendado, que no cambian su estilo de vida en el corto plazo.

Además, se reconoce que algunos productos de la región son fuertemente impactados por las condiciones de mercado y las políticas macroeconómicas, como el caso de las flores. Para este tipo de productos aunque los costos de acceso al mercado o las condiciones biofísicas resulten importantes para la decisión de la ubicación de ésta

actividad económica, las condiciones de mercado son muy influyentes y como es una actividad que hace un uso muy intensivo de la tierra, el peso de esta actividad en términos de área es muy pequeño.

Una manera de superar estas limitaciones de la metodología es moverse hacia un tipo de análisis comparativo, que retome la situación de la región en dos momentos del tiempo e identifique los cambios ocurridos así como la estabilidad de algunos usos de la tierra en el tiempo. El presente trabajo sería la línea base para futuras investigaciones de este tipo.

De otra parte, se debe señalar que la presente investigación no da cuenta de las complejas relaciones urbano rurales y los procesos de urbanización, que resulta fundamental cuando se aborda el uso de la tierra cerca de una gran ciudad. Los alrededores urbanos podrían recibir presión para el uso recreativo y de placer, lo cual podría conducir a un acelerado proceso de deterioro de usos agropecuarios, pero estos usos no fueron contemplados en el modelo.

Las principales razones para no incluirlos fue la falta de información respecto a este tipo de actividades en términos espaciales y de estadísticas, pues hasta ahora está siendo reconocida como actividad económica que compite con el uso del recurso tierra. Además, la metodología exige trabajar pocas categorías de uso, ya que por cada categoría adicional el modelo requiere estimar todos los parámetros incluidos en el modelo y hace más complejo el proceso de estimación.

Se debe tener presente que las ciudades y el crecimiento urbano son fenómenos que desbordan en mucho el presente trabajo. Sin embargo, la explicación económica del uso de la tierra en las zonas vecinas a la gran ciudad es una pieza útil en los procesos de planeación y ordenamiento territorial en áreas metropolitanas.

5.3 PUNTOS CRÍTICOS

Finalmente, se presentan algunas reflexiones desde una perspectiva crítica sobre la metodología aplicada en la presente investigación, pues si bien la metodología de los

modelos multinomiales logísticos usando como fuente de información los Sistemas de Información Geográfica contribuye a explicar el uso de la tierra en función de factores económicos y biofísicos, ésta metodología presenta algunos puntos borrosos que es mejor aclarar antes de aplicar esta metodología a futuras investigaciones.

A continuación se presentan tres puntos críticos de la metodología que resultaron evidentes en el estudio del caso de Sabana Occidente y por ello se expone dentro de la presente investigación como un resultado más.

Kennedy (1998) señala que los modelos logísticos son muy sensibles a los errores de especificación, lo que puede llevar a inconsistencia en los estimadores si una variable explicativa importante es omitida.

La estimación de dos modelos de uso de la tierra, el básico y el ampliado, evidencia que la inclusión de los atributos de sitio volvió poco significativo los efectos marginales de la variable costos de acceso al mercado para las categorías de uso agrícola y bosque, tal como se aprecia en los Cuadros 2 y 3.

Ello demuestra que es necesario afinar la elección de las variables explicativas del modelo, cuidando de no omitir variables relevantes. Además, la estimación e interpretación de los resultados resulta más parsimoniosa cuando las variables explicativas son continuas en el espacio, ello facilita interpretar los resultados como promedios, se captura la heterogeneidad espacial y se evita problemas de no-convergencia en la estimación.

La sensibilidad de la metodología también fue verificada al estimar el modelo con distintos niveles de agregación de los usos de la tierra existentes en la Provincia de Sabana Occidente.

Para ello, se tomó dos clasificaciones de uso de la tierra: Una clasificación más agregada, con 5 categorías: agrícola, mixto y pasto natural, pasto manejado, bosque y otros. Otra Clasificación de 6 categorías: agrícola, mixto, pasto natural, pasto manejado, bosque y otros.

Se estimó el modelo ampliado de uso de la tierra para estas dos clasificaciones y se comparó el signo de los efectos marginales para los usos que se mantienen inmodificados en ambas clasificaciones. En el Cuadro 15 se aprecia que el impacto de algunas variables explicativas es estable y no varía con el cambio de clasificación mientras que otras son inestables.

Cuadro 15: Dirección de los Efectos Marginales para dos Clasificaciones de Uso de la Tierra en Sabana Occidente

variable	uso agrícola		uso de pasto manejado	
	5 categorías	6 categorías	5 categorías	6 categorías
acces	+	+	+	+
altura	-	+	-	-
pendiente	-	-	-	+
hte argilico	-	+	-	+
erosión	+	-	+	-
agua super	-	-	+	+
agua subte	-	-	+	+

En la literatura no existe un criterio para definir cual es la clasificación de uso adecuada, ésta decisión responde más al tipo de hipótesis que se quiere probar. De todas maneras trabajar con pocas categorías de uso facilita el proceso de estimación del modelo y de interpretación de resultados. (Kennedy, 1998)

Un criterio útil a tener en cuenta al agrupar los usos de la tierra es buscar una distribución equitativa de las categorías de uso en términos de área, pues la presencia de una categoría dominante genera una distorsión en todo el proceso de estimación del modelo y lleva a que el método de predicción se sesgue hacia este uso. Esta distribución equitativa no siempre es posible, pues tal como ocurre en Sabana Occidente existen usos dominantes en las regiones que son imposibles de desagregar pero se debe tener a ello.

Así mismo, es pertinente señalar que la agrupación de usos de la tierra permite evadir el efecto de situaciones coyunturales como las mencionadas en la sección de limitaciones de la metodología.

Finalmente, se resalta la importancia de este tipo de trabajos para mostrar los logros de la teoría económica en la incorporación de la dimensión espacial. Tradicionalmente la economía aplicada hace abstracción de las relaciones espaciales y concentra el análisis en la dinámica de los procesos en el tiempo. Ahora hay más herramientas disponibles para incorporar explícitamente la dimensión espacial en el análisis económico y muy especialmente para la política económica.

El descuido del plano espacial en la economía aplicada ha sido más bien motivado por la carencia de información y métodos de análisis. Sin embargo, los avances de los Sistemas de Información Geográfica contribuyen sustancialmente al suministro de información espacial, un ejemplo de ello es el presente trabajo. Por todo lo anterior, se considera que los modelos de uso de la tierra contribuyen a hacer una expresión geográfica de la decisión de los agentes económicos sobre la ubicación de su actividad económica.

BIBLIOGRAFÍA

- Agresti, A. 1990. *Categorical Data análisis*. Wiley Interscience. New York. 558 p.
- ALCALDIA MAYOR DE SANTA FÉ DE BOGOTÁ. 2000. Decreto 6/9 de julio 28 del 2000, por el cual se reglamenta el Plan de Ordenamiento de Bogotá D.C. Santafé de Bogotá, Colombia. 645p.
- Barco, C. 1998. *Bogotá – Sabana: un Territorio Posible*. CEDE – Cámara de Comercio de Bogotá. Bogotá, Colombia. 163 p.
- Barito, F. 2000. *Dinámica de factores asociados al Uso de la Tierra e implicaciones sobre el colapso ambiental de 1999 en la Costa Norte de Venezuela*. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 104 p.
- Briassoulis, H. 2000. *Analysis of Land Use Change: Theoretical and modeling Approaches*. (En línea). DERN. Department of Geography Univesity of the Aegean Lesvos, Greece. (Consultado enero de 2001). Disponible en : <http://www.rri.wvu.edu/Webbook/Briassoulis/contents.htm>
- Bockstael, N. 1996. *Modeling Economics and Ecology: The importance of a Spatial Perspective*. Amer. J. Agr. Econ. 78. 1168- 1180.
- Castañeda, A; Vallecilla, J. 2000. *Las economías departamentales. 1985-1996*. En *Coyuntura Colombiana* No. 65: 65-93.
- Chomitz, K; Gray, D. 1996. *Roads, Land Use, and Deforestation: A spatial Model Applied to Belize*. The World Bank Economic Review. 487-512.
- Costanza, R. (Ed) 1991. *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press, New York. 458p.

Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, 1992. Nuestra Propia Agenda. BID-PNUD. 235 p.

Cubrero, D. Claves de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras. Costa Rica. MAG- Araucaria- ACCS. Primera Edición. 2001

DAPD (Departamento Administrativo de Planeación Distrital). 1996. Segundo diagnostico de las restricciones y oportunidades de la ciudad. Base del plan de desarrollo económico, social y de obras publicas. Formar Ciudad. Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá, Colombia. 320 p.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 1996. Cundinamarca. Censo 1993. Santafé De Bogotá, Colombia. 128 p.

Fujita, M; Krugman, P.; Venables, A. (2000) Economía Espacial. Ariel Economía. España. 363 p.

GEA, 1992. Programa Nacional de Estudios Ambientales Urbanos. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, Colombia. 230 p.

GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA 1999. Anuario Estadístico. Santafé De Bogotá, Colombia. 460 p.

Greene, W. H. (1993). Econometric Analysis. McMillan. Publishing Company. 1134 p.

Gómez, J; Moreno E;, CALVO, A; Jiménez, G. 1988. La ganadería de leche en la meseta central de la sabana de Bogotá. ICA, subgerencia de investigación y transferencia de Tecnología. Bogotá. 457 p.

GRUPO DE ESTUDIOS AMBIENTALES URBANOS. 1992. Programa Nacional de Estudios Ambientales Urbanos. Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia. 234 p.

Herrera, C. (Ed). 1999. Plan Regional de la Provincia de Sabana de Occidente. Departamento de Cundinamarca. Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 537 p.

IDRISI tutorial. Single Raster Análisis tools. [www. Sbg.at/idrisi/wwwruror/s_tools.htm](http://www.Sbg.at/idrisi/wwwruror/s_tools.htm)
10-08-2001

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1989. Cundinamarca, características geográficas. Santafé de Bogotá. 320 p.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1996. Guía metodológica para la formulación del plan de ordenamiento territorial urbano. Aplicable a ciudades. Anexos. Santafé de Bogotá. D.C. 44 p.

Krishna P; Shunji, M. 1999. Modeling For Prediction Of Global Deforestation Based On The Growth Of Human Population. Journal of photogrammetry & remote sensing. 54: 317-324.

Kennedy, P. (1998). A Guide to Econometrics. Fourth Edition. The MIT Press, Cambridge, Massachussetts. 468 p.

Montañez, G. 1992. ¿Hacia donde va la Sabana de Bogotá? Modernización, Conflicto, Ambiente y Sociedad. Universidad Nacional de Colombia, Centro de Estudios Sociales y Servicio Nacional de aprendizaje, SENA. Santafé de Bogotá. 373 p.

Maddala, G. S. (1994). Limited – Dependent and Quialitative Variables in Econometrics. Econometrics Society Monographs. United States. 1134 p.

Mertens, B; Kaimowitz, D; Puntodewo, A; Vanclay, J. 1999. Spatial Modeling of Deforestation in Santa Cruz, Bolivia. Mimeo. Center for International Forestry Research. CIFOR. Indonesia. 51 p.

Mertens, B; Sunderlin, W; Undoye, O; Lambin, E. 2000. Impact of Macroeconomic change on Deforestation in South Cameroon: Integration of Household Survey and Remotely_Sensed Data. World Development. 28 (6). P. 983-999.

- Mertens, B; Lambin, E. 2000. Land Cover-Change Trajectories in Southern Cameroon. *Annals of the Association of American Geographers*, 90 8(3) p.467-494.
- MISIÓN BOGOTÁ SIGLO XXI. 1993. El futuro de la capital. Estudios prospectivos de vivienda. Siglo XXI. Santa fé de Bogotá, Colombia. 287 p.
- Nelson G.; Hellerstein, D. 1997. Do Roads Cause Deforestation? Using Satellite Images in Econometric Analysis of Land Use. *Amer. J. Agr. Econ.* 79. 80-88.
- Ocampo, J; Castillo, S; Coronel, B; Villamizar, L. 2000. Actualización Diagnóstico de la oficina local Bacatá. Regional Uno. CORPOICA. 89 p.
- Peña, D. 1987. Estadística, Modelos y Métodos. Alianza Editorial. Madrid. 6(4). 1996. 1150-1172.
- Polèse, M. 1998. Economía urbana y regional. Introducción a la relación entre territorio y desarrollo. Libro Universitario Regional. Cartago, Costa Rica. 438 p.
- Rennings, K; Wiggering, H. 1991. Steps towards indicators of sustainable development: linking economic and ecological concepts. *Ecological Economics* 20: 25-36.
- Romero, M; Abaunza, c. 2001. Variables biofísicas (correo electrónico). Mosquera, Colombia. Corpoica.
- Scheafer, R; Mendenhall, W. 1986. Elementos de muestreo. Grupo Editorial Iberica. México. 321 p.
- Turner, D.; Wear, D.; Flamm, R. 1996. Land Ownership and Land-cover change in the Southern Appalachian Highlands and the Olympic Peninsula. *Ecological Applications*. 6(4). 1996. 1150-1172.

Van Derbergh, J; Verbruggen, H. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics*, 29: 61-72.

Veldkamp, A; Fresco, L. 1997. Reconstructing Land Use Drivers and their Spatial Scale Dependence for Costa Rica (1973 and 1984). *Agricultural Systems*. 55 (1). 19-43.

ANEXO 1

MODELOS BASICO DE USO DE LA TIERRA EN SABANA OCCIDENTE

```

+-----+
| Partial derivatives of probabilities with |
| respect to the vector of characteristics. |
| They are computed at the means of the Xs. |
| Observations used for means are All Obs. |
| A full set is given for the entire set of |
| outcomes, Y = 0 to Y = 5. |
| Probabilities at the mean vector are |
| 0= .008 1= .149 2= .184 3= .086 4= .507 |
| 5= .066 |
+-----+

```

```

+-----+-----+-----+-----+-----+
-+
|Variable | Coefficient | Standard Error |b/St.Er. |P[|Z|>z] | Mean of |
|X|
+-----+-----+-----+-----+-----+
-+

```

Marginal effects on Prob[Y = 0]						
Constant	-.1560393660E-01	.33766217E-02	-4.621	.0000		
ACCES	-.3151267383E-03	.54517527E-04	-5.780	.0000	40.474989	
Marginal effects on Prob[Y = 1]						
Constant	-.4019359038E-01	.91579045E-02	-4.389	.0000		
ACCES	-.9752025152E-03	.22068454E-03	-4.419	.0000	40.474989	
Marginal effects on Prob[Y = 2]						
Constant	.1332011080	.10603362E-01	12.562	.0000		
ACCES	-.4767724687E-02	.25277942E-03	-18.861	.0000	40.474989	
Marginal effects on Prob[Y = 3]						
Constant	-.1910286352	.53709508E-02	-35.567	.0000		
ACCES	.2415076978E-02	.13139151E-03	18.381	.0000	40.474989	
Marginal effects on Prob[Y = 4]						
Constant	.2927592665	.12780683E-01	22.906	.0000		
ACCES	.1413208672E-02	.29258682E-03	4.830	.0000	40.474989	
Marginal effects on Prob[Y = 5]						
Constant	-.1791342124	.47292344E-02	-37.878	.0000		
ACCES	.2229768291E-02	.10871268E-03	20.511	.0000	40.474989	

Frequencies of actual & predicted outcomes
 Predicted outcome has maximum probability.

Actual	Predicted						Total
	0	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	92	0	92
1	0	0	0	0	1348	6	1354
2	0	0	0	0	1844	0	1844
3	0	0	0	0	857	14	871
4	0	0	0	0	4546	2	4548
5	0	0	0	0	698	11	709
Total	0	0	0	0	9385	33	9418

NOTA:

Y=0 es otros usos de la tierra

Y=1 es Uso Agrícola

Y=2 es Uso Mixto

Y=3 es Uso de Pasto Natural

Y=4 es Uso de Pasto Manejado

Y=5 es Uso de Bosque

ACCES es el costo de acceso al mercado central.

ANEXO 2

MODELO AMPLIADO DE USO DE LA TIERRA EN SABANA OCCIDENTE

```

+-----+
| Partial derivatives of probabilities with |
| respect to the vector of characteristics. |
| They are computed at the means of the Xs. |
| Observations used for means are All Obs. |
| A full set is given for the entire set of |
| outcomes, Y      = 0 to Y      = 5. |
| Probabilities at the mean vector are |
| 0= .000 1= .000 2= .230 3= .000 4= .770 |
| 5= .000 |
+-----+

```

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[Z >z]	Mean of X
Marginal effects on Prob[Y = 0]					
Constant	-.1557486482E-03	.30494965E-03	-.511	.6095	
ACCES	-.1972499341E-06	.63260753E-06	-.312	.7552	40.474989
ALTURA	-.3926809311E-07	.79290383E-07	-.495	.6204	2698.4764
PENDI	-.2210059429E-06	.61634645E-06	-.359	.7199	10.358146
HTARG	.2624539108E-04	.47505088E-04	.552	.5806	.23423232
EROSI	.3352908701E-04	.61479776E-04	.545	.5855	4.6675515
DISAGUAL	-.4166816364E-07	.71764642E-07	-.581	.5615	883.28604
NPOZOS	-.1778232221E-05	.26238631E-05	-.678	.4980	156.52145
Marginal effects on Prob[Y = 1]					
Constant	-.2347341789E-04	.56246132E-04	-.417	.6764	
ACCES	.2472608331E-05	.15674783E-05	1.577	.1147	40.474989
ALTURA	.1497072900E-07	.18680104E-07	.801	.4229	2698.4764
PENDI	-.5303248295E-05	.33528380E-05	-1.582	.1137	10.358146
HTARG	.8329857061E-05	.99444648E-05	.838	.4022	.23423232
EROSI	-.7150072761E-05	.76180386E-05	-.939	.3480	4.6675515
DISAGUAL	-.4291078771E-07	.26736245E-07	-1.605	.1085	883.28604
NPOZOS	-.5270694051E-05	.29751655E-05	-1.772	.0765	156.52145
Marginal effects on Prob[Y = 2]					
Constant	-1.652202963	.13654921	-12.100	.0000	
ACCES	-.6459120755E-02	.60014210E-03	-10.763	.0000	40.474989
ALTURA	.7058592184E-03	.50483887E-04	13.982	.0000	2698.4764
PENDI	-.5571912882E-02	.62006585E-03	-8.986	.0000	10.358146
HTARG	-.3555560538E-01	.14504773E-01	-2.451	.0142	.23423232
EROSI	.2335136920E-01	.11855193E-01	1.970	.0489	4.6675515
DISAGUAL	-.7737217773E-04	.88510321E-05	-8.742	.0000	883.28604
NPOZOS	-.1146463513E-02	.35655705E-04	-32.154	.0000	156.52145
Marginal effects on Prob[Y = 3]					
Constant	-.1172206173E-21	.55897987E-21	-.210	.8339	
ACCES	.3114864392E-24	.14830219E-23	.210	.8336	40.474989
ALTURA	.5420082772E-25	.25825983E-24	.210	.8338	2698.4764
PENDI	.5252570403E-24	.24987622E-23	.210	.8335	10.358146
HTARG	.1533174710E-22	.73145207E-22	.210	.8340	.23423232
EROSI	-.1194385426E-22	.56906504E-22	-.210	.8338	4.6675515

DISAGUA1	-.8049543590E-26	.38209648E-25	-.211	.8331	883.28604
NPOZOS	-.3945834008E-23	.18437568E-22	-.214	.8305	156.52145
Marginal effects on Prob[Y = 4]					
Constant	1.652382185	.13654610	12.101	.0000	
ACCES	.6456845397E-02	.60025177E-03	10.757	.0000	40.474989
ALTURA	-.7058349210E-03	.50481717E-04	-13.982	.0000	2698.4764
PENDI	.5577437136E-02	.62012100E-03	8.994	.0000	10.358146
HTARG	.3552103013E-01	.14507990E-01	2.448	.0144	.23423232
EROSI	-.2337774822E-01	.11857042E-01	-1.972	.0487	4.6675515
DISAGUA1	.7745675669E-04	.88513585E-05	8.751	.0000	883.28604
NPOZOS	.1153512440E-02	.35729593E-04	32.285	.0000	156.52145
Marginal effects on Prob[Y = 5]					
Constant	-.1384962544E-47	.13367003E-46	-.104	.9175	
ACCES	.9448533535E-50	.91236525E-49	.104	.9175	40.474989
ALTURA	.6826900259E-51	.65771598E-50	.104	.9173	2698.4764
PENDI	.1491416663E-49	.14369010E-48	.104	.9173	10.358146
HTARG	.2070830117E-48	.20013413E-47	.103	.9176	.23423232
EROSI	-.2333773328E-48	.22479138E-47	-.104	.9173	4.6675515
DISAGUA1	-.1297969358E-51	.12486595E-50	-.104	.9172	883.28604
NPOZOS	-.2413631254E-48	.23066203E-47	-.105	.9167	156.52145

Frequencies of actual & predicted outcomes
 Predicted outcome has maximum probability.

	Predicted						
Actual	0	1	2	3	4	5	Total
0	0	34	40	1	17	0	92
1	0	542	437	82	251	42	1354
2	0	233	643	66	860	42	1844
3	0	76	63	593	41	98	871
4	0	229	771	99	3402	47	4548
5	0	56	53	282	147	171	709
Total	0	1170	2007	1123	4718	400	9418