

Modelación y proyección de tres usos del suelo forestales y
agroforestales en Costa Rica: aplicación al Mecanismo de
Desarrollo Limpio.

ISABEL VENEGAS GAMBOA

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO



Modelación y proyección de tres usos del suelo forestales y agroforestales en
Costa Rica: aplicación al Mecanismo de Desarrollo Limpio.

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

Magister Scientiae

Por

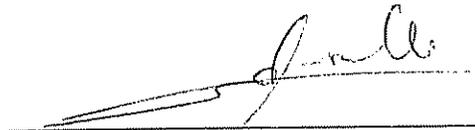
Isabel Venegas Gamboa

Turrialba, Costa Rica;
2004

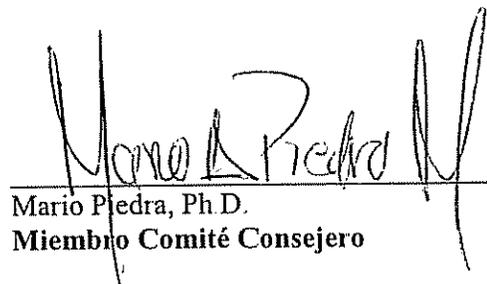
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



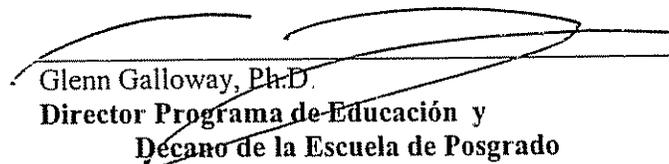
Bruno Locatelli, Ph.D.
Consejero Principal.



Mario Piedra, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Lucio Pedroni, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado



Isabel Venegas Gamboa
Candidata

Dedicatoria

A mis padres, Fernando y Vilma, y mis hermanos Luis Fernando y Zenia; por respetar mis decisiones, por su constante apoyo y comprensión en cada etapa de mi vida.

A todas mis amigas que me brindaron un abrazo comprensivo y una mirada sin prejuicios. Gracias por ese apoyo incondicional, por estar ahí y por ver más allá.

Agradecimientos

A la Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional, por concederme la beca que me permitió ingresar al programa de maestría.

A mi profesor consejero Bruno Locatelli, por su apoyo incondicional, paciencia, comprensión, dedicación y por ser un verdadero asesor, sin su guía no lo hubiese logrado.

A Mario Piedra, Lucio Pedroni, Estelle Motte y Markku Kanninen por su disponibilidad y valiosas sugerencias en este trabajo

De manera especial quiero agradecer a mis amigas, Outi, Luisa, Zenia, Cecilia, Edith y Nadia, por ese apoyo incondicional, gracias por confiar en mí

También quiero agradecer a las familias Navarro Fumero, González Carvajal, a Angelita, y a todas aquellas personas que me apoyaron y me consintieron durante todo este tiempo.

A mis amigos y compañeros de CATIE, Mevis, Zari, Martha, Freddy, José Juan, Wilber, Belén, Fran, Jeannette, Tania, Arlen, Karla, Lore, Rosalba, Kathia, Laura, Mayito, por sus palabras de apoyo y sobre todo por esos excelentes momentos, más aun cuando teníamos los 5 "sentimientos" bien puestos.

Al personal del CATIE, en especial a Ligia Pérez, al personal de la biblioteca, posgrado, seguridad, cómputo, mantenimiento y transporte, por su sonrisa honesta y disponibilidad a ayudar en lo que sea.

Por último a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron para la realización de esta investigación.

Contenido

Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Contenido.....	v
Lista de gráficos.....	vii
Lista de tablas.....	viii
Lista de anexos.....	viii
Resumen.....	x
Summary.....	xii
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. Hipótesis.....	3
4. Revisión de literatura.....	4
4.1. Aspectos generales: bosques, uso del suelo y mitigación.....	4
4.1.1. Cambio climático y efecto invernadero.....	4
4.1.2. El papel de los ecosistemas en mitigación del cambio climático.....	4
4.1.3. Historia de acuerdos internacionales y conferencias de las partes.....	5
4.1.3.1. El protocolo de Kioto:.....	5
4.1.3.2. El Plan de Acción de Buenos Aires (BAPA):.....	6
4.1.3.3. COP-6 PARTE I:.....	6
4.1.3.4. COP-6 PARTE II:.....	7
4.1.3.5. COP-7:.....	7
4.1.4. Mecanismo de desarrollo limpio (MDL).....	7
4.1.4.1. Definición.....	7
4.1.4.2. MDL y uso del suelo en países en desarrollo.....	8
4.1.4.3. Fase Piloto de Actividades Implementadas Conjuntamente.....	9
4.2. Línea base de uso del suelo.....	9
4.2.1. Línea Base y Adicionalidad.....	9
4.2.2. Construcción de la Línea Base.....	10
4.2.3. Discusión sobre línea base en la convención.....	11
4.3. El uso de modelos de cambio de uso del suelo.....	12
4.3.1. Modelos que explican el cambio de uso del suelo.....	12
4.3.2. Antecedentes y objetivos de los modelos económicos.....	13
4.3.3. Tipos de modelos econométricos espaciales.....	14
4.3.3.1. Modelo de simulación espacial.....	14
4.3.3.2. Modelos de regresión espacial.....	14
4.3.4. Tipos de modelos econométricos temporales.....	14
4.3.4.1. Modelos de regresión lineal múltiple:.....	15
4.3.4.2. Modelos autorregresivos y de rezagos distribuidos:.....	15
4.3.4.3. Modelos de series de tiempo.....	16
4.4. Uso del suelo en Costa Rica y sus variables explicativas.....	17
4.4.1. El contexto nacional de los bosques de CR.....	17
4.4.2. Políticas agrícolas y forestales: implicación en la deforestación.....	19
4.4.2.1. Leyes.....	20
4.4.2.2. Reglamentos y decretos.....	20
4.4.2.3. Planes Nacionales.....	21
4.4.3. Los usos del suelo en CR.....	22
4.4.3.1. Plantaciones forestales.....	22

4.4.3.2	Principales actividades agrícolas para Costa Rica	23
4.4.4	Experiencias de modelos de cambio de uso del suelo	24
5	Materiales y métodos	25
5.1	Determinación de los tipos de uso	25
5.2	Recolección y construcción de la base de datos	26
5.3	Dos enfoques para los modelos de cambio de uso del suelo	27
5.4	Enfoque de tendencia de uso	27
5.5	Enfoque basado en variables explicativas del uso	28
5.5.1	Determinación de las variables del modelo	29
5.5.2	Establecimiento del modelo	31
5.5.3	Extrapolación de las variables explicativas	31
5.5.4	Aplicación de los modelos con variables explicativas extrapoladas	31
6	Resultados	32
6.1	Tendencias del uso del suelo	32
6.1.1	Proyección del área acumulada de café	32
6.1.2	Proyección del área anual de plantaciones forestales	33
6.1.3	Proyección del área acumulada de bosque secundario	35
6.2	Modelos explicativos de los cambios de uso del suelo	36
6.2.1	Modelo de café	36
6.2.2	Modelo de plantaciones forestales con área anual	38
6.2.3	Modelo de bosque secundario con área total	39
6.3	Tendencias de las variables explicativas y sus consecuencias sobre futuros usos del suelo	40
6.3.1	Tendencia de las variables explicativas para el caso del café	40
<input type="checkbox"/>	Proyección del rendimiento de café	41
<input type="checkbox"/>	Proyección del precio de café	42
<input type="checkbox"/>	Proyección de la exportación de café	44
6.3.2	Tendencia de las variables explicativas para el caso de las plantaciones forestales	45
<input type="checkbox"/>	Proyección del área de incentivos para plantaciones forestales	46
6.3.3	Tendencia de las variables explicativas para el caso del bosque secundario	47
<input type="checkbox"/>	Proyección del área deforestada anualmente	48
<input type="checkbox"/>	Proyección de la producción de carne	49
6.4	Aplicación de los modelos con variables explicativas	51
6.4.1	Modelo de café	51
6.4.2	Modelo de plantaciones forestales	52
6.4.3	Modelo de Bosque secundario	53
6.5	Comparación de los dos enfoques modelados	53
6.5.1	Caso de café	53
6.5.2	Caso plantaciones forestales	54
6.5.3	Caso bosque secundario	55
7	Discusiones	57
7.1	Variables explicativas	57
7.2	Ventajas y desventajas del método de proyección	58
7.3	Resultados de proyecciones	59
7.4	Comparación de los enfoques	60
7.5	Implicaciones para un proyecto MDL	62
8	Conclusión	64
9	Bibliografía	66
10	Anexos	69

Lista de gráficos

Gráfico 1 Evolución de la reforestación en Costa Rica (1979-1998)	23
Gráfico 2 Área dedicada a las actividades agrícolas con mas de 10mil ha en Costa Rica de 1990 hasta 1999	24
Gráfico 3. Comparación de la evolución del área acumulada de café real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta el 2012	32
Gráfico 4 Comparación de la evolución del área acumulada de café real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012	33
Gráfico 5. Comparación de la evolución del Área anual de plantaciones forestales real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1979 hasta 2012	34
Gráfico 6 Comparación de la evolución del área anual de plantaciones forestales real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1979 hasta 2012	34
Gráfico 7. Comparación de la evolución del Área de Bosque Secundario real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012.	35
Gráfico 8. Comparación de la evolución del área acumulada de bosque secundario real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012.	36
Gráfico 9 Comparación de la evolución del rendimiento de café real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012	41
Gráfico 10. Comparación de la evolución del rendimiento de café real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012	42
Gráfico 11. Comparación de la evolución del precio de café real en colones con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012	43
Gráfico 12. Comparación de la evolución del precio de café real en colones con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012	43
Gráfico 13. Comparación de la evolución de la exportación de café real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012	44
Gráfico 14 Comparación de la evolución de la exportación de café real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012.	45
Gráfico 15 Comparación de la evolución de incentivos para plantaciones forest real con los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1979 hasta 2012	46
Gráfico 16 Comparación de la evolución de incentivos para plantaciones forestales real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1979 hasta 2012.	47
Gráfico 17. Comparación de la evolución de la deforestación real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012	48
Gráfico 18. Comparación de la evolución de la deforestación real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012	49

Gráfico 19 Comparación de la evolución de la producción de carne real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012	50
Gráfico 20. Comparación de la evolución de la producción de carne real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012	50
Gráfico 21 Evolución del área acumulada de café con el enfoque basado en variables explicativas Desde 1970 hasta 2012	51
Gráfico 22. Evolución del área acumulada de plantaciones forestales con el enfoque basado en variables explicativas Desde 1970 hasta 2012	52
Gráfico 23. Evolución del área acumulada de bosque secundario con el enfoque basado en variables explicativas. Desde 1970 hasta 2012	53
Gráfico 24. Comparación de la evolución del área de café del enfoque de tendencia de uso del suelo (valores mínimos, máximos y promedios) con el enfoque basado en variables explicativas. Desde 1970 hasta 2012	54
Gráfico 25 Comparación de la evolución del área de plantaciones forestales del enfoque de tendencia de uso del suelo (valores mínimos, máximos y promedios) con el enfoque basado en variables explicativas Desde 1970 hasta 2012	55
Gráfico 26 Comparación de la evolución del área de bosque secundario del enfoque de tendencia de uso del suelo (valores mínimos, máximos y promedios) con el enfoque basado en variables explicativas. Desde 1970 hasta 2012	56

Lista de Tablas

Tabla 1. Cubierta vegetal de Costa Rica para el periodo 1996/97	18
Tabla 2 Estimación del Índice anual de deforestación en terrenos de propiedad privada	19
Tabla 3. Área total de plantaciones forestales en Costa Rica para el periodo 79-98	22
Tabla 4. Área (has) dedicada a las principales actividades agrícolas en Costa Rica: 1990-1999	23
Tabla 5. Resumen de las variables explicativas significativas en el modelo de regresión con su respectivo parámetro estimado, probabilidad y el valor del índice de condición	37
Tabla 6. Resumen y conclusión de los supuestos del modelo para el área de café	37
Tabla 7. Resumen de las variables explicativas significativas en el modelo de regresión con su respectivo parámetro estimado, probabilidad y el valor del índice de condición	38
Tabla 8. Resumen y conclusión de los supuestos del modelo para el área de plantaciones forestales	39
Tabla 9. Resumen de las variables explicativas significativas en el modelo de regresión con su respectivo parámetro estimado, probabilidad y el valor del índice de condición	40
Tabla 10 Resumen y conclusión de los supuestos del modelo para el área de bosque secundario	40

Lista de anexos

Lista de Tablas de anexos

Tabla A1 Resumen de las curvas de tendencia del uso del área de café con sus diferentes métodos de proyección	70
Tabla A2 Resumen de las curvas de tendencia de Área de plantaciones forestales con sus diferentes métodos de proyección	71
Tabla A3. Resumen de las curvas de tendencia del Área de Bosques Secundarios con sus diferentes métodos de proyección	72

Tabla A4. Resumen de las curvas de tendencia del rendimiento de café con sus diferentes métodos de proyección.	73
Tabla A5. Resumen de las curvas de tendencia del precio del café con sus diferentes métodos de proyección.	74
Tabla A6. Resumen de las curvas de tendencia de la exportación de café con sus diferentes métodos de proyección.	75
Tabla A7. Resumen de las curvas de tendencia de área de incentivos con sus diferentes métodos de proyección.	76
Tabla A8. Resumen de las curvas de tendencia de deforestación con sus diferentes métodos de proyección.	77
Tabla A9. Resumen de las curvas de tendencia de producción de carne con sus diferentes métodos de proyección.	78
Tabla A10. Valor estimado del uso del suelo basado en variables explicativas y su desviación estándar.	79

Lista de gráficos de anexos

Gráfico A 1. Valores residuales del modelo de área de café contra valores predichos del área de café.	80
Gráfico A 2. Valores residuales del modelo de área de café contra rendimiento de café.	80
Gráfico A 3. Valores residuales del modelo de área de café contra precio nacional de café con rezago de un año.	80
Gráfico A 4. Valores residuales del modelo de área de café contra exportación de café con rezago de un año.	81
Gráfico A 5. Valores residuales del modelo de área de plantaciones forestales contra valores predichos del área de plantaciones forestales.	81
Gráfico A 6. Valores residuales del modelo de área de plantaciones forestales contra área de incentivos forestales con rezago de dos años.	81
Gráfico A 7. Valores residuales del modelo de área de plantaciones forestales contra área de incentivos forestales con rezago de cuatro años.	82
Gráfico A 8. Valores residuales del modelo de área de bosque secundario contra los valores predichos de área de bosque secundario.	82
Gráfico A 9. Valores residuales del modelo de área de bosque secundario contra área deforestada con rezago de un año.	82
Gráfico A 10. Valores residuales del modelo de área de bosque secundario contra producción de carne con rezago de un año.	83
Gráfico A 11. Valores residuales de área de café del enfoque 1 y del enfoque 2. Desde 1970 hasta 2002.	83
Gráfico A 12. Valores residuales de área de plantaciones forestales del enfoque 1 y del enfoque 2. Desde 1979 hasta 2000.	83
Gráfico A 13. Valores residuales de área de bosque secundario del enfoque 1 y del enfoque 2. Desde 1970 hasta 2000.	84
Modelo A 1. Resultados de Análisis de varianza del área de café con nuevas áreas.	84
Modelo A 2. Resultados de Análisis de varianza del área de bosque secundario con nuevas áreas.	85

Venegas, I. 2004. Modelación y proyección de tres usos del suelo forestales y agroforestales en Costa Rica: aplicación al Mecanismo de Desarrollo Limpio. Tesis MSc. Turrialba, CR, CATIE. 85 p.

Palabras Clave: Protocolo Kioto, Mecanismo de Desarrollo Limpio, línea base, café, plantaciones forestales, bosque secundario, métodos de proyección y variables explicativas.

Resumen

El Protocolo compromete a países industrializados a reducir sus emisiones de gases efecto invernadero (GEI) a un 5% de sus niveles de 1990 para el 2012. El Protocolo de Kioto estableció el mecanismo de desarrollo limpio (MDL), el cual permite a países desarrollados y económicos en transición de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) a alcanzar sus objetivos de reducciones de emisiones GEI con costos más bajos a través de proyectos en países en desarrollo. En la conferencia de Marrakesh se decidió que los únicos proyectos forestales que entran en el MDL son forestación y reforestación.

El MDL considera solo proyectos que demuestren ser adicionales en la reducción de emisiones de carbono. La adicionalidad es la diferencia en secuestro de carbono de un escenario con proyecto y sin proyecto, siendo el escenario sin proyecto la línea base (LB); por lo tanto, el cálculo de una LB es un requisito para estimar la adicionalidad de un proyecto.

El objetivo de este trabajo es modelar y proyectar la línea base nacional de tres usos del suelo y analizar su impacto en el diseño de proyectos de Mecanismo de desarrollo limpio en Costa Rica.

Para determinar los tipos de uso del suelo a analizar, se tomaron en cuenta criterios bajo el Protocolo de Kioto y acuerdos de Marrakesh; y criterios económicos y ambientales de las actividades agrícolas. Se seleccionó plantaciones forestales, café y bosque secundario.

La recolección de datos se basó en fuentes secundarias de los 3 usos del suelo y variables explicativas, y se construyó una base de datos para el periodo de 1970-2000 con valores de área total y áreas nuevas para los 3 usos. Para completar las series de tiempo se hizo interpolación y extrapolación.

Para construir los modelos de cambio de uso del suelo, se probaron dos enfoques: el primero basado en tendencia de uso del suelo y el otro basado en variables explicativas del uso del suelo, con el fin de comparar los dos enfoques.

En el primer enfoque se proyectaron los datos hasta el 2012 (fin del primer periodo de cumplimiento del Protocolo de Kioto) a partir de los datos del pasado para cada tipo de uso. Para este enfoque se usó dos métodos de proyección: STEPAR y EXPO, donde se obtuvieron 5 curvas para cada uso. Las curvas anormales y las que tenían el mismo comportamiento se eliminaron. Con las curvas resultantes se obtuvieron 3 nuevas curvas, con valores máximos, promedios y mínimos.

En el segundo enfoque se construyó un modelo de regresión lineal que explica los cambios del área de un uso determinado. Se hizo un análisis de regresión con una prueba F para obtener las variables explicativas significativas para cada uso del suelo. Para la extrapolación de las variables explicativas se siguió el mismo procedimiento de proyección.

del área de cada uso del suelo. Por último se obtuvo el valor estimado de área para cada uso del suelo.

De los principales resultados obtenidos, resalta el efecto de las variables explicativas en el área de cada uso, pues se probaron muchas variables y solo fueron significativas unas cuantas. El modelo de café fue explicado por el rendimiento de café, precio nacional y cantidad de exportación de café con rezago de un año. El modelo de plantaciones fue explicado por el área de incentivos forestales con rezagos de 2 y 4 años. El modelo de bosque secundario fue explicado por la producción de carne y área deforestada con rezago de un año.

De la comparación de las proyecciones con los 2 enfoques, se obtuvo que las curvas promedio para café fueron muy similares, pero con valores más altos en el segundo enfoque. Para plantaciones las curvas promedio fueron muy similares en los primeros años hasta el año 2008, luego el segundo enfoque dispara sus valores al 2012. Mientras que en bosque secundario sí se muestran diferencias en los 2 enfoques, el segundo enfoque muestra valores mucho más bajos que el valor mínimo del primer enfoque.

El segundo enfoque muestra que el cambio de uso del suelo está en función de otras variables que explican dicho cambio; además permite tomar en cuenta la opinión de los expertos sobre la prospectiva de precios o de políticas en el futuro; y permite calcular desviación estándar para el área estimada, midiendo la incertidumbre del área proyectada, mientras que el primero no.

Las proyecciones tienen desventajas como sensibilidad en los modelos, pues los resultados de las curvas calculadas y proyectadas con los mismos datos, pueden ser muy diferentes entre sí, existen variaciones tanto entre como dentro de los métodos. Para solventar estos problemas se usaron diferentes métodos para tener más curvas y estimar los valores máximos, promedio y mínimos.

La LB de plantaciones forestales se comparó con un estudio de LB de la FAO, el cual mostró que su LB presenta valores constantes para el periodo de 2003 a 2012. Éste identificó 61,544 ha de Tierras Kyoto (son aquellas tierras que al 01-01-1990 estaban bajo un uso No Forestal y se mantuvieron de esa forma hasta el 31-12-1999) en 10 años, elegibles para plantaciones bajo el MDL y estimó una LB de 35,000 ha. Esta LB se basa en la tendencia de los 2 últimos años del área plantada en el país. Mientras que nuestras LB promedio muestran tendencia creciente hasta el 2012. El enfoque 2, proyecta un total de 70,824 ha, y el enfoque 1, un total de 51,485 ha para el mismo periodo.

ii Si el programa de pago por servicios ambientales (PSA) se mantiene dentro de la LB nacional, políticamente no es una buena opción presentar estos resultados en la elaboración de un proyecto MDL, pues sin proyecto las plantaciones podrían cubrir más área que las Tierras Kioto. Sin embargo, sin el programa de PSA las áreas de plantaciones pueden llegar a desaparecer ``

Venegas I, 2004. Models and forecasting of three forest and agroforest land uses in Costa Rica: an application to the Clean Development Mechanism. Thesis MSc. Turrialba, CR, CATIE. 85 p.

Key Words: Kyoto Protocol, Clean Development Mechanism, baseline, coffee, forest plantations, secondary forests, forecast methods, explicative variable

Summary

//The Kyoto Protocol commits industrialized countries and economies in transition to cut their greenhouse gas emissions (GHG) to 5% below their 1990 levels by 2012. The Kyoto Protocol established the CDM (Clean Development Mechanism), which enables developed countries and economies in transition of the UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) to meet their GHG reduction targets at lower cost through projects in developing countries // The Marrakesh conference established that the only eligible forest activities in the CDM are afforestation and reforestation

According to the CDM, forestry projects must demonstrate additionality in the reduction of carbon emissions. Additionality is the difference between the carbon sequestration with the project and without the project. The "without-project" scenario will be used as the baseline. Meanwhile, the baseline is a requisite for estimating the project additionality.

//The objective of this work is to model and to forecast the national baseline of three land uses and analyze their implication for Clean Development Mechanism projects in Costa Rica. //

In order to determine which types of land uses will be analyzed, criteria related to the Kyoto Protocol and the agreements of Marrakesh were taken into account as well as economic and environmental relevant criteria for agricultural activities. Forest plantations, coffee and secondary forest were selected.

Data gathering was based on secondary information about land uses, land use changes and explicative variables of the three land uses. A database was constructed with information for the period of 1970-2000. In order to complete the time series interpolation and extrapolation were used.

In order to construct the models of land use change, two approaches were tested: the first was based in the tendency of the land use and the second one was based on the explicative variables of the land use. Finally, these approaches were compared.

In the first approach, data was forecasted until the year 2012 (the end of the first commitment period of the Kyoto protocol) using two forecast methods: STEPAR and EXPO. Five curves were obtained for each use. Outlier curves and those with the same shape were eliminated. With the resulting curves three new curves were obtained with the maximum, average and minimum values.

In the second approach a linear regression model was constructed in order to explain the changes in each land use area. A regression analysis used the F test in order to obtain the significant explicative variables for each land use. The explicative variables were extrapolated with the same methods as in the first approach. Finally the model was applied with extrapolated variables in order to calculate future land uses areas.

Results showed the effect of the explicative variables on land use changes. Many variables were tested and only those statistically significant were counted.

The comparison of the two approaches resulted in that average curves obtained for coffee were very similar, but the highest values were obtained in the second approach. The average curves of plantations were very similar in the first years until 2008, but in the second, approach the values became higher until 2012. While the secondary forest definitely showed differences between the two approaches, the second approach showed values much lower than the minimum value of the first approach.

The second approach showed that the land use change is in function of other explicative variables. So, it permits US to take into account experts' opinion about the prospective of prices of futures policies and to calculate the standard deviation for the estimated area, while the first approach does not.

Because of the sensibility of the forecast models, curves forecasted with the same information can be very different. For solving these problems different methods were used in order to generate more curves and estimate the maximum, average and minimum value.

The baseline of the forest plantations was compared with a baseline estimated by FAO. This FAO's baseline was constant for the period of 2003-2012. 61,544 hectares were identified as Kyoto land for a period of 10 years. A Kyoto land is defined using criteria of the Kyoto Protocol and the Marrakesh accords and socioeconomics factors. The baseline corresponds to 35,000 hectares per period. This baseline is based on the tendency of the two last years of the planted area in the country; meanwhile the baseline of our study showed a growing tendency until 2012. In the second approach, a total of 70,824 hectares were forecasted and the first approach estimated a total of 51,485 hectares for the same period.

/ If the Costa Rica's environmental service payment (ESP) program were maintained inside the national baseline, the results of the present study are not politically convenient for the design of a CDM project. In the "business as usual" (the scenario without project), plantations would be able to cover a larger area than the Kyoto lands. However, without the ESP program, the plantation areas may decrease drastically. \

1. Introducción

Existe una preocupación mundial de que la acumulación excesiva de Gases Efecto Invernadero (GEI) ocasionará un calentamiento de la atmósfera, al elevarse la temperatura media entre 0.8 y 2.6 °C (Jones y Wigley, 1990). Aún cuando este cambio de temperatura sea leve, producirá efectos globales de gran magnitud, afectando la economía y el ambiente en forma severa.

El CO₂ es el GEI que se emite en mayor cantidad, pues las actividades del hombre están causando un aumento considerable de la emanación de este gas; por ejemplo: uso de combustibles fósiles para generación de energía, deforestación e industria (IPCC, 2001).

La Comunidad Mundial ha reconocido que las responsabilidades con respecto al calentamiento global son comunes pero diferenciadas, puesto que los países industrializados han tenido un papel preponderante en la emisión de GEI. Por esta razón, el Protocolo de Kioto (1997) plantea que los países industrializados deben reducir sus emisiones de GEI para el periodo 2008-2012, para lo cual cuentan con tres mecanismos adicionales para cumplir con el compromiso de reducción: intercambio de emisiones (IE), implementación conjunta (IC) y mecanismo de desarrollo limpio (MDL) (Rodríguez, 1998).

El Protocolo de Kioto en el artículo 12 menciona que a través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, los países industrializados podrán adquirir reducciones de emisiones certificadas generadas en la ejecución de proyectos que fijen y/o reduzcan emisiones de GEI en países en vías de desarrollo.

Anualmente se han realizado diferentes reuniones en diferentes partes del mundo llamadas Conferencias de las partes (COP), donde se han elaborado procedimientos para incluir proyectos del sector uso de la tierra y cambio de uso de la tierra y forestal en el MDL.

En la séptima cumbre de Marrakesh efectuada en noviembre de 2001 se define que la elegibilidad de las actividades de proyectos relacionados con el cambio de uso del suelo y las actividades forestales está limitada a la forestación y reforestación, excluyendo conservación y manejo forestal.

Por otra parte existe el temor de que la contribución de los proyectos MDL a la mitigación del cambio climático no sea determinada correctamente, el principal problema que se le atañe a éste es que no haya una determinación acertada de la línea base (LB). La LB es el escenario de referencia contra el cual un cambio en emisiones o reducciones de gases invernadero es medido.

La determinación de la línea base es dificultosa para cualquier proyecto de MDL, una forma de construirla es a través de modelos econométricos. Con éstos se puede determinar una línea base de proyectos forestales cuando los patrones históricos de cambios de uso del suelo están bien documentados, suponiendo que la

situación económica en el área en cuestión no experimentará cambios fundamentales, de tal manera que podemos asumir que los patrones de cambio de uso del suelo continuarían en el futuro.

Una manera de construir la línea base es a través de un modelo de patrones históricos en el cambio de uso del suelo, lo cual implica una evaluación de bases de datos históricas y análisis de cambio de uso del suelo.

Las iniciativas de Kioto refuerzan la importancia de los modelos económicos para diseñar metodologías de línea base que permitan cuantificar la reducción de emisiones de GEI que se daría en el escenario sin proyecto.

En este trabajo se construye una línea base usando modelos econométricos para los usos del suelo reconocidos en los proyectos MDL (forestación y reforestación) y otros usos del suelo no reconocidas en este mecanismo, como café y bosque secundario. Una vez construida la línea base de cada uso del suelo, se analizó la aplicabilidad en el diseño de proyectos MDL.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Modelar y proyectar una línea base nacional de tres usos del suelo (forestal y agroforestal) y analizar su impacto en el diseño de proyectos de Mecanismo para el Desarrollo Limpio en Costa Rica

2.2. Objetivos específicos

- Proyectar las tendencias de uso del suelo para las áreas de café, plantaciones forestales y bosque secundario a partir de los datos del pasado utilizando varios métodos de proyección.
- Seleccionar variables que expliquen cambios pasados del uso del suelo y modelar el comportamiento de las áreas de uso del suelo
- Proyectar las tendencias de las variables explicativas y evaluar sus consecuencias sobre uso del suelo
- Comparar el enfoque basado en tendencias de uso del suelo con el enfoque basado en variables explicativas y comparar los métodos econométricos de proyección
- Aplicar los resultados del cambio de áreas de uso del suelo proyectados con ambos enfoques para estimar la línea base de proyectos MDL

3. Hipótesis

- La proyección de datos basados en la tendencia de valores pasados usando técnicas econométricas muestran proyecciones coherentes de tendencia.
- El uso de técnicas econométricas en proyección de datos muestran variaciones e incertidumbres considerables debido a la sensibilidad de los modelos.
- Los modelos de uso del suelo basados en variables explicativas son más confiables que los basados en tendencias en el tiempo.

4. Revisión de literatura

4.1. Aspectos generales: bosques, uso del suelo y mitigación

4.1.1. Cambio climático y efecto invernadero

El cambio climático es considerado una de las amenazas más serias para el medio ambiente global, que según se prevé tendrá un impacto negativo sobre la salud de los hombres, su seguridad alimenticia, la actividad económica, el agua y otros recursos naturales e infraestructura física. El clima global varía naturalmente, pero los científicos concuerdan en que las crecientes concentraciones de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra están conduciendo a un cambio climático.

El efecto invernadero es un fenómeno natural, producido por ciertos gases que están presentes en la atmósfera y que son los responsables de mantener el planeta a una temperatura apta para el mantenimiento de la vida.

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) son: vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrógeno (NOX), ozono estratosférico (O_3), monóxido de carbono (CO). Tanto numerosas fuentes naturales como actividades humanas producen GEI. Las principales fuentes relacionadas con ecosistemas incluyen los pantanales (CH_4), los rumiantes salvajes y los pequeños herbívoros (CH_4), las termitas (CH_4), los incendios de bosques, sabanas y pastos (CO_2 , CH_4 , N_2O , NOX, CO). Las erupciones volcánicas se hallan entre otras de las fuentes naturales de GEI.

De los GEI el CO_2 es el que contribuye más al calentamiento global. Se calcula que en 1988 las emisiones antropogénicas de CO_2 ascendieron a 6 mil millones de TM aproximadamente, de las cuales alrededor de 75% procedían de países industrializados y el 25% restante de países en desarrollo (Andrasko, 1990).

4.1.2. El papel de los ecosistemas en mitigación del cambio climático

Los bosques desempeñan un papel primordial en el ciclo global del carbono debido a que almacenan grandes cantidades de carbono en la vegetación y el suelo, e intercambian carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración (Brown, 1997). En términos generales, los ecosistemas forestales conservan de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los ecosistemas agrícolas y desempeñan una función esencial en la reducción del nivel de CO_2 en el medio, en virtud del proceso de fotosíntesis que les permite utilizar el carbono atmosférico para incrementar la biomasa leñosa.

Los bosques mundiales contienen alrededor de 826 Pg C en su vegetación y suelo, con 1.5 veces aproximadamente más en el suelo que en la vegetación. Los bosques tropicales contienen alrededor del 52% (428 Pg C) de las reservas de carbono de todos los bosques del mundo (Brown, 1997).

Los bosques en los cuales la tasa de productividad neta sobrepasa la tasa de respiración de plantas, suelo y materia orgánica (producción neta del ecosistema [NEP] > 0), es decir, que tienen un crecimiento neto, poseen una absorción neta de CO₂ (Brown, 1997), mientras que los bosques maduros retienen el carbono fijado, pero absorben poco CO₂ en forma neta. Los bosques que experimentan una pérdida neta en biomasa, por la mortalidad debida al estado decadente de sus árboles, a la enfermedad o al fuego, son emisores netos de CO₂.

La contribución de los bosques tropicales en la emisión anual de GEI representa de 25 a 30% del total de la emisión actual de CO₂, el 35% de CH₄ y quizás de 25 a 30% de N₂O (Andrasko, 1990). Se estima que en el decenio 1980/90 las pérdidas de bosque tropical ascendieron aproximadamente a 15.4 millones ha/año, aunque dicho cálculo presenta un margen considerable de incertidumbre. Gran parte de la superficie deforestada se convirtió a la actividad agrícola, al pastoreo o a la agricultura migratoria y la mayoría de esta biomasa se quemó; adicionalmente se debe considerar la explotación de vastas superficies de bosque (Brown, 1996).

4.1.3. Historia de acuerdos internacionales y conferencias de las partes
En 1972 con la Conferencia de Estocolmo se fundamentan las iniciativas de desarrollo sostenible, que incorpora el medio ambiente a la agenda mundial, tomando en cuenta el equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación de la naturaleza. A partir de esta conferencia se establece un Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, cuya responsabilidad era introducir las consideraciones ambientales dentro del sistema de las Naciones Unidas y cooperar con los gobiernos, organismos e instituciones. Así, muchos países comenzaron a adoptar legislaciones y crear instituciones relativas al medio ambiente y su problemática.

Posteriormente, en la Conferencia de la Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, (Cumbre de la Tierra), realizada en 1992, se pretendió establecer las bases para una alianza mundial entre países desarrollados y en desarrollo, que resuelva necesidades mutuas e intereses comunes, para poder encontrar un equilibrio viable entre medio ambiente y desarrollo. Como parte de sus resultados está la Agenda 21, la Convención de Cambio Climático y Convenio de Biodiversidad, es así como la respuesta política internacional al cambio climático comenzó con la negociación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) en 1992. Esta Convención establece un marco para la acción cuyo objetivo es la estabilización de la concentración de GEI en la atmósfera, para evitar que interfiera peligrosamente con el sistema climático. La CMNUCC entró en vigencia el 21 de marzo de 1994 y cuenta con 187 Estados Parte.

4.1.3.1. El protocolo de Kioto:

En 1995, la primera reunión de la Conferencia de las Partes (COP-1) estableció el Grupo *Ad Hoc* del Mandato de Berlín, cuya función fue alcanzar un acuerdo sobre el fortalecimiento de los esfuerzos para combatir el cambio climático. Las intensas negociaciones posteriores culminaron en la COP-3 en Kioto, Japón, en Diciembre de

1997, parte de los acuerdos resultantes es el documento conocido como el Protocolo de Kioto. En este protocolo los países desarrollados y los países en transición hacia una economía de mercado conocidos dentro de la CMNUCC como Partes del Anexo I, se comprometieron a reducir su emisión total de seis gases hasta al menos un 5 por ciento por debajo de los niveles de emisión de 1990 durante el período 2008-2012 (el primer período de compromiso), con objetivos específicos que varían de país en país. El Protocolo también estableció tres mecanismos para asistir a las Partes del Anexo I en el logro de sus objetivos nacionales de un modo costo-efectivo: un sistema de comercio de emisiones (CE), la implementación conjunta (IC) de proyectos de emisión de reducciones entre Partes del Anexo I, y un Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para alentar proyectos en las Partes que no pertenecen al Anexo I (países en desarrollo).

Para entrar en vigor, el Protocolo debe ser ratificado por 55 Partes del CMNUCC, incluyendo las del Anexo I que en total representan el 55% de las emisiones de 1990. Hasta marzo de 2004, 121 Partes han ratificado el Protocolo, incluyendo 32 Partes del Anexo I, que representan en total el 44,2% de las emisiones (UNFCCC, 2004).

4.1.3.2. El Plan de Acción de Buenos Aires (BAPA):

En la COP-4, en noviembre de 1998, Buenos Aires, Argentina, las Partes establecieron un cronograma para alcanzar un acuerdo respecto de los detalles operativos del Protocolo y para fortalecer la implementación del propio CMNUCC. En una resolución conocida como BAPA, los delegados acordaron que el plazo final para alcanzar el acuerdo debía ser la COP-6. Los puntos críticos del Protocolo que requerían una resolución incluían las reglas relacionadas con los mecanismos, un régimen de evaluación del cumplimiento de las Partes, y métodos de contabilidad para las emisiones nacionales y la reducción de emisiones. También se debían acordar las reglas sobre la contabilidad para los sumideros de carbono.

4.1.3.3. COP-6 PARTE I:

La COP-6 se realizó en La Haya, Países Bajos, en noviembre de 2000. Las posiciones políticas en torno a los asuntos más relevantes se mantenían atrincheradas, con pocas señales de voluntad de alcanzar un acuerdo. Durante la segunda semana de negociaciones, el presidente de la COP-6, Jan Pronk (Países Bajos), intentó facilitar la negociación de muchos de los asuntos políticos y técnicos en disputa, convocando sesiones plenarias informales de alto nivel. Él agrupó las diferentes cuestiones en los siguientes cuatro grupos: a) creación de capacidad, transferencia de tecnologías, efectos adversos y directrices de los mecanismos financieros; b) mecanismos; c) uso del suelo y cambio de uso del suelo y bosque (LULUCF); y d) cumplimiento, políticas y medidas (P&Ms), y contabilidad, informes y revisión bajo los Artículos 5, 7 y 8 del Protocolo. En esta COP los negociadores no pudieron alcanzar un acuerdo, habiendo especiales dificultades respecto de las cuestiones financieras, la complementariedad en el uso de los mecanismos, el cumplimiento y el LULUCF; por lo que las partes acordaron suspender la COP-6, y expresaron su voluntad para reanudar en el 2001.

4.1.3.4. COP-6 PARTE II:

En marzo de 2001, el gobierno de los Estados Unidos repudió el Protocolo, afirmando que consideraba que el Protocolo era "fatalmente defectuoso" porque era dañino para la economía de los Estados Unidos y exceptuaba a los países en desarrollo de alcanzar objetivos de emisión. Las Partes se reencontraron en la COP-6 Parte II en Bonn, Alemania, en julio de 2001; donde se acordó adoptar la resolución política original, con una sección revisada sobre cumplimiento. Esta resolución política – o "Acuerdo de Bonn" – fue adoptada formalmente por la COP en julio de 2001.

Se aprobaron borradores de resoluciones sobre varios asuntos clave para LULUCF, pero como no todos los textos del paquete de decisiones estaban completos, la adopción de las decisiones sobre todos los proyectos fue postergada hasta la COP-7

4.1.3.5. COP-7:

Los delegados se reunieron para la COP-7 en Marrakesh, Marruecos, en noviembre de 2001. Su principal objetivo era completar las tareas que habían quedado inconclusas en la COP-6 Parte I y II, a casi tres años de comenzadas las negociaciones. El Acuerdo de Bonn sirvió de base para su negociación.

Tras largas conversaciones bilaterales y multilaterales, se propuso un acuerdo en paquete sobre LULUCF, mecanismos, Artículos 5, 7 y 8 del Protocolo y un aporte para la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible. Aunque este acuerdo fue aceptado por la mayor parte de los grupos regionales, incluyendo el G-77/China y la Unión Europea, el Grupo Paraguas (una alianza informal entre Partes del Anexo I que incluye a Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelanda y la Federación Rusa) no se sumó al consenso. Entre otros temas, plantearon una disputa con los requerimientos de elegibilidad para el uso de los mecanismos y el traspaso de créditos de carbono a periodos de compromiso futuros. Sin embargo, tras extensas negociaciones, se alcanzaron los acuerdos de Marrakesh, con temas claves que incluían la consideración de los Principios del LULUCF y un limitado traspaso a periodos de compromiso futuro de unidades -"créditos de carbono"-.

También se confirmó una decisión importante de COP 6, parte II: elegibilidad de las actividades de proyectos de MDL relacionados con el cambio del uso del suelo y las actividades forestales está limitada a la forestación y reforestación, excluyendo conservación de bosques y manejo.

4.1.4. Mecanismo de desarrollo limpio (MDL)

4.1.4.1. Definición

El MDL permite a los países industrializados financiar proyectos energéticos o forestales de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo recibiendo certificados de reducción por esto. El principal objetivo de MDL es ayudar a los países industrializados a alcanzar el cumplimiento de los compromisos acordados en

Kioto, así como aportar en el desarrollo sostenible de los países en vías de desarrollo, objetivo primordial de la Convención Marco de Cambio Climático (UNFCCC, 2000).

4.1.4.2. MDL y uso del suelo en países en desarrollo

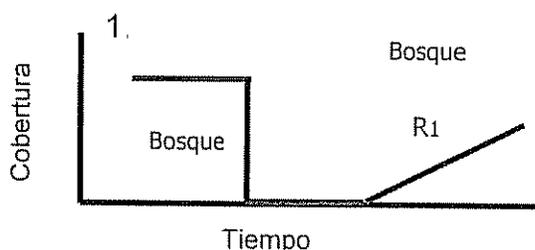
El MDL establece que las actividades de cambio de uso del suelo deben ser adicionales (que no hubieran ocurrido sin MDL) y directamente causadas por la acción humana y se refieren a forestación y reforestación (AR, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2000).

Antes de caracterizar cada tipo de proyecto es importante definir qué es uso del suelo. La FAO (1997; citado en IPCC, 2000) la define como el total de tipos de utilización, actividades efectuadas e insumos incorporados en un cierto tipo de cobertura de la tierra (conjunto de acciones humanas); en otras palabras son los propósitos sociales y económicos por los cuales se maneja la tierra (Ej. ganadería, comercialización de madera, agricultura, entre otras).

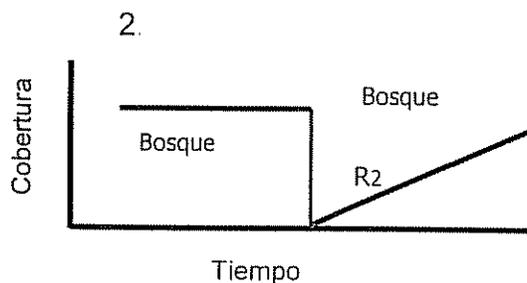
a. Actividades de cambio de uso del suelo en el Protocolo de Kioto y elegibles en Marrakesh

- Reforestación:

Se refiere al establecimiento de bosques, por medios naturales o artificiales o ambos, en sitios donde previamente éstos han existido en un pasado cercano. La reforestación se puede analizar de dos formas, la primera ocurre cuando se establecen árboles en terrenos donde hubo bosque previamente, como se muestra en la siguiente figura (R1); y la otra se da cuando se tala el bosque para volver a plantar árboles o dejar que éstos crezcan naturalmente, este es en un periodo inmediato (R2) (IPCC, 2000).



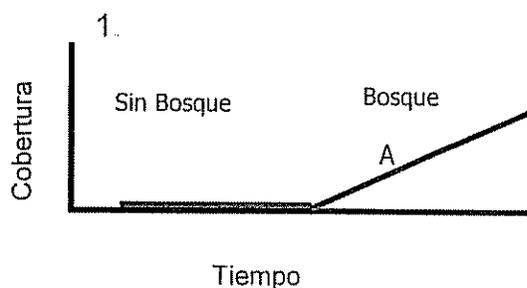
R1: Establecimiento de bosque en suelo que ha estado otro uso del suelo por algún periodo de tiempo previo (cambio de uso del suelo y cambio de cobertura del suelo)



R2: Regeneración de árboles, independientemente de la historia, no necesariamente hay cambio de uso

- Forestación:

Se refiere al establecimiento (natural o artificial) de árboles forestales en tierras donde no ha existido bosque durante los últimos 50 años o muy largo tiempo. La diferencia entre forestación y reforestación está dada por el periodo de tiempo que el suelo estuvo sin bosque (IPCC, 2000).



A: Establecimiento de bosque en tierra donde no había bosque históricamente (cambio de uso de la tierra y cambio de cobertura de la tierra)

4.1.4.3. Fase Piloto de Actividades Implementadas Conjuntamente

La Iniciativa de Actividades Implementadas Conjuntamente (AIC) surge como parte de los compromisos de los países signatarios de la Convención Marco para reducir sus emisiones de carbono y otros gases de invernadero. La iniciativa pretende crear esquemas a través de los cuales el sector industrial privado, principalmente las industrias que contribuyen de manera significativa a estas emisiones, financie proyectos de reducción de emisiones y captura de carbono en los sectores de energía y recursos naturales de otros países (Comité Técnico de Recursos Naturales sobre Implementación Conjunta, 2000).

Como parte de esta fase piloto de la CMNUCC, Costa Rica es el primer país centroamericano que ha incursionado en el mercado de carbono. El país incluso creó una unidad (Certified Tradeable Offsets, CTO's) para tranzar toneladas de carbono no emitidas con varios países. Los CTO's valen por una cantidad específica de toneladas métricas de carbono y en estos el precio por tonelada de carbono equivale a US\$10. Dentro de esta fase piloto, Costa Rica ha desarrollado nueve proyectos (FAO, 2003).

La experiencia costarricense se ha fundamentado básicamente en la no emisión o emisión evitada de carbono, mediante la preservación de los bosques y áreas naturales del país, así como a través de proyectos de generación de energía renovable con métodos limpios, como plantas eólicas y aeroenergía (FAO, 2003).

4.2. Línea base de uso del suelo

4.2.1. Línea Base y Adicionalidad

La Línea Base es el escenario de referencia contra el cual un cambio en emisiones o reducciones de gases invernadero es medido.

Las líneas bases pueden ser establecidas a nivel nacional, sectorial o de proyecto. Una línea base nacional se supone que sería desarrollada del análisis de prácticas y tendencias nacionales y podrían estar basadas en una combinación de mediciones en modelos y parcelas de control (IPCC, 2000).

Michaelowa y Dutschke (1999), mencionan que a nivel de país pueden haber tres tipos de definición de línea base, el primero se refiere a emisiones constantes basados en niveles históricos el cual tiene costos muy bajos a nivel de planificación del escenario pero una representación de la realidad muy pobre; la segunda es basada en extrapolación lineal, con costos de planificación bajos y una representación de la realidad relativamente buena; y el último basado en proyecciones de variables económicas y crecimiento poblacional, con un costo de planificación muy alto pero con una representación de la realidad buena.

La línea base del proyecto representa la situación sin proyecto, o sea sin los recursos necesarios para conservar los sumideros existentes y crear nuevos sumideros (caso del sector forestal) o para implementar tecnologías limpias (caso del sector energético). La construcción de la línea base permite determinar cual puede ser la contribución de proyectos diseñados para reducción de carbono.

Frecuentemente existe confusión con la diferencia entre las definiciones de adicionalidad y línea base. La LB se define como un concepto global, y la determinación de si un proyecto es adicional o no viene de calcular la diferencia entre la emisión verificada del proyecto y las emisiones de la línea base, si esta última es mas alta el proyecto es adicional (Michaelowa y Dutschke, 1999)

La adicionalidad ambiental de los proyectos de forestación y reforestación considera los beneficios reales en secuestro de carbono que el proyecto va a alcanzar debido a su ejecución y tiene varias dimensiones. Podría ser determinada por cambios comparativos en el balance de proyecto (almacenamiento de carbono y emisiones de gases de otros gases efecto invernadero) contra una línea base representada por proyecciones de uso del suelo y balance asociado que ocurrirían en la ausencia de las actividades de proyectos propuestos.

La adicionalidad de programa es un complemento de adicionalidad ambiental y se refiere al hecho de que si el proyecto MDL hubiese ocurrido sin la valoración económica de carbono. A veces se confunde con la idea de adicionalidad financiera que busca evitar que los fondos de cooperación internacional sirvan para financiar proyectos MDL.

Los tres tipos de adicionalidad buscan ser verificados, este trabajo se referirá especialmente a adicionalidad ambiental.

4.2.2. Construcción de la Línea Base

La construcción de la línea base es dificultosa para cualquier proyecto de MDL, una forma de construirla es a través de modelos econométricos. Con éstos se puede determinar una línea base en proyectos forestales cuando los patrones históricos de

cambios de uso del suelo están bien documentados y se supone que la situación económica en el área en cuestión no experimentará cambios fundamentales.

Para construir la línea base es necesario desarrollar una evaluación de bases de datos históricos y un análisis de cambio de uso del suelo (IPCC, 2000).

La línea base no solamente puede ser derivada de tendencias y prácticas observadas en un país o región dado. En el caso de proyectos energéticos, los puntos de referencia "benchmarks" han sido sugeridos como medios para establecer líneas base objetivas (Lazarus, et al., 1999; citado por IPCC, 2000). Por ejemplo ciertas prácticas pueden ser consideradas como "prácticas de estándares de manejo", y la línea base podría ser el nivel de carbono secuestrado que ocurriría si esas prácticas fueran aplicadas universalmente (IPCC, 2000).

Adicionalmente, Chomitz (1998), menciona que las líneas bases siempre serán problemáticas por las siguientes razones: primero, es inherentemente difícil predecir que habría pasado en el "but-for" mundial; segundo, tanto compradores como vendedores de reducciones de emisiones tienen fuertes incentivos para exagerar el nivel de la línea base de emisiones, pues los ingresos incrementan para los vendedores y a la vez puede reducir el precio de los créditos para los compradores; por último el establecimiento de la línea base requiere algunos supuestos acerca de las políticas nacionales.

4.2.3. Discusión sobre línea base en la convención

En la COP 7 en Marrakech la decisión 17/CP.7 definió que la elegibilidad de las actividades de proyectos bajo MDL en el primer periodo de compromiso estaba limitada a la forestación y reforestación, y precisó que los temas críticos de mecanismos eran no-permanencia, adicionalidad, fugas, riesgos e impactos socioeconómicos y ambientales, incluyendo impactos sobre biodiversidad y ecosistemas naturales, siendo guiados por los principios en el preámbulo de decisión (FCCC/CP/2001/13/Add.2). El Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA) en su dieciseisava sesión invitó a las partes y organizaciones a someter sus propuestas relativas a estos temas críticos en el primer periodo de compromiso. El plazo para la sumisión o propuesta de esta información fue el 20 de agosto de 2002 (FCCC/SBSTA/2002/6, anexo I).

Hasta mayo de 2003 la secretaría había recibido 12 sumisiones de las Partes. La mayoría de países como Canadá Chile, China Colombia, Costa Rica y la Comunidad Europea consideran que la adicionalidad de proyectos de forestación y reforestación (AR) puede ser determinada utilizando la línea base. Además mencionan que las líneas base estandarizadas en particular son un mecanismo eficiente en proyectos de pequeña escala pues pueden bajar los costos de transacción, sin embargo ninguna propuesta o submissions propone alguna metodología concreta para determinar la línea base.

El SBSTA en su dieciochoava sesión presenta tres temas relacionados para línea base: ámbito; metodologías; y calculación de línea base. En la parte de

metodologías se muestra las modalidades y procedimientos del MDL en el párrafo 48, y se estipula que: "Al elegir la metodología de la línea base para una actividad de proyecto, los participantes en el proyecto seleccionarán entre los criterios que figuran a continuación el que parezca más apropiado a la actividad de proyecto, teniendo en cuenta cualquier orientación de la Junta Ejecutiva, y justificarán la conveniencia de su elección":

Las metodologías propuestas se refieren a:

- a) Las emisiones efectivas del momento o del pasado, según se aplique, o
- b) Las emisiones con una tecnología que represente una línea de acción económicamente atractiva, teniendo en cuenta los obstáculos a las inversiones; o
- c) Las tasas promedio de emisiones de actividades de proyecto análogas realizadas en los cinco años anteriores en circunstancias sociales, económicas, ambientales y tecnológicas parecidas y con resultados que las sitúen dentro del 20% superior de su categoría".

En este mismo reporte (SBSTA 18) se indica que las comunicaciones de las Partes y las opiniones expresadas durante el SBSTA 17 mencionaron cuatro opciones para las anteriores metodologías. La opción 4 es la más relevante a este trabajo: "Debe establecerse una metodología de la línea base para determinar el uso de la tierra más probable al comienzo del proyecto, (Los usos de la tierra más probables pueden ser, por ejemplo, la agricultura -pastos o cultivos-, la regeneración natural y, en algunos casos, la silvicultura)". En esta opción no se especifica la forma de cuantificar la absorción.

4.3. El uso de modelos de cambio de uso del suelo

4.3.1. Modelos que explican el cambio de uso del suelo

Antes de empezar a explicar los modelos es importante estudiar los conceptos básicos como lo son las escalas, ya que esto contribuye al mejor entendimiento de los modelos.

La escala temporal es una herramienta fundamental, es el análisis estadístico de datos temporales, tales como las series y el análisis probabilístico de ocurrencia de eventos extraordinarios. Otra herramienta esencial para el análisis temporal es el uso de imágenes obtenidas mediante la percepción remota, correspondientes a diferentes épocas del año o a diferentes años (Bocco, 1998).

La escala espacial es importante en la modelación de situaciones donde la distribución de objetos de estudio es relevante en la explicación y predicción de su ocurrencia. Esto es básico en temas relacionados con los recursos naturales y su aprovechamiento/degradación en forma (no) sustentable. Lo espacial supone el manejo de entidades geográficas (puntos, líneas o polígonos) organizados en un sistema de coordenadas conocido y su utilización en la formulación de modelos

espaciales (mapas, en general automatizados) y el análisis espacial: vecindad, proximidad, adyacencia, sobreposición, generalización y clasificación, etc. (Bocco, 1998).

La deforestación es uno de los temas que mayor atención ha concitado en cuanto a la investigación de índole socio-ambiental (Paz, 1995; citado por Bocco, 1998). Por ejemplo, en el proceso de deforestación se presupone el uso de lo espacial y lo temporal, ya que el cambio de bosque a otro tipo de cobertura se da en ecosistemas que ocupan unidades territoriales específicas (paisajes), y surge de la comparación entre dos tiempos concretos (tiempo 0 y tiempo 1) (Bocco, 1998)

En otras palabras, sólo podemos entender la deforestación si analizamos procesos en tiempos distintos, en un territorio, pero debido a procesos que pueden haberse originado en otros espacios, incluso muy alejados de aquél en estudio. El proceso de ganaderización en su conjunto responde a iguales causas. Es también la que podemos medir, con cierta confianza, utilizando técnicas convencionales con diferentes grados de precisión. En cuanto a lo espacial, el poder relacionar las áreas de cambio con los paisajes a los que corresponden, nos permite entender las repercusiones sobre otros componentes del paisaje (el agua, por ejemplo), predecir patrones futuros, e incluso extrapolar conclusiones a otras regiones ecogeográficamente similares (Bocco, 1998).

Existen diferentes métodos, desde los más simples a los más complejos para poder representar y medir cambios en el tiempo y el espacio. El problema central es más bien qué variables medir, con qué resolución y cuál es la precisión esperada (Bocco, 1998).

4.3.2. Antecedentes y objetivos de los modelos económicos

La preocupación de los científicos y público en general está creciendo rápidamente sobre la deforestación tropical y sus consecuencias negativas tanto por el cambio climático, pérdida de la biodiversidad, reducción del suministro de madera como degradación de suelos. Esto ha conducido a muchos economistas a expandir sus esfuerzos para modelar las preguntas del por qué, dónde, cuándo y cuánto bosque se está convirtiendo en otros usos del suelo. Esto se refleja en el hecho de que el 90 % que los modelos de deforestación económicos actualmente disponibles se han estado generando desde 1990 (Kaimowitz, 1998).

Los principales objetivos que tienen los modelos son: a) explicar la causa del porque ocurrió un evento, ejemplo deforestación; b) predecir dónde, cuándo y cuánta deforestación ocurrirá en el futuro; y c) estimar a priori, cual sería la influencia de la aplicación de políticas (Kaimowitz, 1998).

Existen diferentes tipos de modelos para explicar los cambios de uso, por ejemplo los modelos cuantitativos que han emergido generan perspicacia, pues pueden mejorar las políticas formuladas, pero a la vez tienen fuertes asunciones y limitaciones. Los modelos empíricos cuantifican las relaciones entre las variables, usando datos empíricos y métodos estadísticos y los modelos de simulación usan

parámetros basados en el comportamiento de agentes económicos para evaluar diferentes escenarios e impactos de cambios en las políticas (Kaimowitz, 1998).

4.3.3. Tipos de modelos econométricos espaciales

4.3.3.1. Modelo de simulación espacial

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han hecho mucho más fácil la combinación de modelos económicos y los aspectos espaciales. Uno de los modelos más usados es el DELTA (Dynamic Ecological – Land Tenure Analysis); este es un modelo que incorpora el análisis tanto a nivel regional como familiar, pues DELTA simula el bienestar familiar en el espacio (Kaimowitz, 1998).

Las variables que usa DELTA son datos espaciales, en la calidad del suelo, vegetación natural distancia de caminos y mercados, uso del suelo, entre otras. DELTA consiste en sub-modelos probabilísticos que simulan el patrón de ajuste del cambio de uso del suelo y el carbono relacionado. Este modelo solo se ha usado en simulaciones de uso del suelo en Rondonia Brazil (Kaimowitz, 1998).

4.3.3.2. Modelos de regresión espacial

Estos modelos miden la correlación entre uso del suelo y otra variable georeferenciada. Algunas de las variables independientes que se usan en este modelo son distancia de mercados e infraestructura, topografía, calidad de suelos, precipitación, densidad poblacional, categorías de zonificación y fragmentación de bosques, es decir variables que puedan ser mapeadas e incorporadas dentro de SIG. Recientemente estos modelos han empezado a incorporar más indicadores o variables socioeconómicas, usando datos de censos (Kaimowitz, 1998).

La mayoría de estos modelos usan análisis multivariados logit o probit, sin embargo también se puede usar (no es común) análisis simples univariados de correlación o de mínimos cuadrados (Kaimowitz, 1998).

Un ejemplo de aplicación de estos modelos lo realiza Veldkamp & Fresco (1997), ellos estiman el sobreuso del suelo en Costa Rica (en 1973 y 1984). Usan modelos de regresión múltiple para describir la variabilidad del sobreuso del suelo, este estudio tiene diferentes modelos que ajustan y contribuyen a las variantes variables biofísicos y humanos, indicando una dependencia de la escala considerada.

Otro estudio de modelos espaciales es expuesto por Bockstael (1996), ella desarrolla un modelo económico y ecológico, donde critica la labor del economista que muchas veces no se inserta en la parte biológica de los recursos naturales sin embargo también reconoce la importancia que tienen los modelos económicos en los estudios ecológicos y en el cambio de uso del suelo.

4.3.4. Tipos de modelos econométricos temporales

Los modelos temporales se usan principalmente a nivel macro (país, provincia, estado o región), estos modelos no proveen información acerca de la localización del

objeto estudiado. Generalmente la variable dependiente en estos modelos es la cobertura boscosa o el incremento o disminución de la superficie (Kaimowitz, 1998).

Estos modelos hacen más fácil la incorporación de variables como población, disponibilidad de servicios técnicos, precio de la tierra, utilización de crédito, dichas variables no son fáciles de incluir en modelos de regresión espacial. Raramente estos modelos incluyen variables macroeconómicas como tasas de cambio, inversión extranjera y débito (Kaimowitz, 1998).

Los modelos más usados son las regresiones múltiples de mínimos cuadrados o métodos de máxima verosimilitud. En la mayoría de los casos se analizan los supuestos de normalidad, autocorrelación temporal y heterocedasticidad entre otros (Kaimowitz, 1998).

4.3.4.1. Modelos de regresión lineal múltiple:

También conocidos como modelos de regresión lineal de K variables, los modelos de regresión lineal múltiple tienen la forma:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon. \quad (\text{Ec. 1})$$

4.3.4.2. Modelos autorregresivos y de rezagos distribuidos:

Un modelo es autorregresivo si incluye uno o más valores rezagados de la variable dependiente entre sus variables explicativas, también se les llama modelos dinámicos puesto que señalan la trayectoria en el tiempo de la variable dependiente en relación con sus valores pasados (Gujarati, 1995)

Un ejemplo de forma es

$$Y_t = \alpha + \beta_1 X_t + \beta_2 Y_{t-1} + \varepsilon_t. \quad (\text{Ec. 2})$$

Se llama modelo de rezagos distribuidos (ADL, por sus siglas en inglés) cuando el modelo de regresión incluye no solamente los valores actuales, sino además los valores rezagados (pasados) de las variables explicativas, esto porque el efecto de una causa dada se propaga durante un número de periodos de tiempo. El término *distribuido* se refiere al hecho de que el efecto de X sobre Y se reparte en un periodo de tiempo (Gujarati, 1995).

Un ejemplo de forma es

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \varepsilon_t \quad (\text{Ec. 3})$$

Los modelos autorregresivos y de rezagos distribuidos son muy utilizados en los análisis econométricos y ambos son tipos de modelos rezagados (Gujarati, 1995).

Es importante mencionar que los modelos autorregresivos tienen un problema de estimación, pues los mínimos cuadrados clásicos pueden no ser aplicables directamente, la razón es por la presencia de variables explicativas estocásticas y por la posibilidad de correlación serial (Gujarati, 1995).

4.3.4.3. Modelos de series de tiempo

Un modelo de serie de tiempo se define como una secuencia de datos numéricos cada uno de los cuales se asocia con un instante específico de tiempo (Maddala, 1996). Spiegel (1993), también lo define como un conjunto de observaciones tomadas en instantes específicos, generalmente a intervalos iguales.

El objetivo de los econométricos en series de tiempo es desarrollar modelos simples razonables capaces de pronosticar, interpretar y probar hipótesis concernientes a datos económicos. El uso original de los análisis de series de tiempo fue primeramente como una ayuda a pronosticar, sin embargo la creciente importancia de la dinámica económica ha generado nuevos usos para el análisis de series temporales y ahora se ve como una metodología que fue desarrollada para descomponer una serie de componentes a tendencias, estaciones, cíclicas y componentes irregulares. Descubriendo la dinámica del patrón de una serie mejora la exactitud de la pronosticación desde cada uno de los componentes predecibles el cual puede ser extrapolado en el futuro (Enders, 1995).

Greene (1999) menciona que el principio de las técnicas de modelación de series de tiempo es pronosticar el futuro modelando la correlación entre una serie o un grupo de series históricas, asumiendo que la relación entre presente y pasado continuará en el futuro y computarizando pronósticos en base a estas asunciones.

Los modelos de regresión que consideran series de tiempo se utilizan frecuentemente para predicción de futuros movimientos. El análisis de las series de tiempo consiste en describir matemáticamente los movimientos o variaciones las cuales se pueden clasificar en cuatro tipos (Spiegel, 1993; Gujarati, 1999):

- ✓ Movimientos a largo plazo o seculares
- ✓ Movimientos característicos o variaciones cíclicas
- ✓ Movimientos estacionales o variaciones estacionales
- ✓ Movimientos irregulares o aleatorios.

La metodología general usada para construir dicha pronosticación conlleva a una ecuación propuesta, conduciendo un proceso estocástico y usando la ecuación para predecir resultados subsecuentes. Por lo que un modelo de series temporales describirá típicamente la senda de una variable y_t en términos de variables X_t contemporáneos (y quizá rezagados), perturbaciones, ε_t , y su propio pasado, Y_{t-1}, \dots . Por ejemplo.

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + \beta_3 X_{t-1} + \beta_4 Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (\text{Ec } 4)$$

Algunos de los procedimientos más conocidos para correr los modelos de series de tiempo son ARIMA o Box-Jenkins y Forecast.

4.3.4.3.1 Procedimiento ARIMA o Box-Jenkins

El procedimiento Autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA), comúnmente conocido como la metodología de Box-Jenkins, es un método para pronosticación de series de tiempo de series individuales, el modelo ofrece una amplia colección de modelos para probar patrones de correlación serial de datos estacionales y no estacionales. Este tipo de modelos es suficientemente rico que por lo general existen escogencias que permiten ajustar adecuadamente los datos con muy pocos parámetros. Sin embargo escoger un apropiado modelo es cosa de destreza.

Una de las desventajas que tiene el procedimiento es que dos personas que usan los mismos datos podrían de pronto obtener modelos muy diferentes. Afortunadamente, si dos modelos proveen un ajuste casi idéntico, ellos usualmente producirán pronosticaciones casi idénticas. Otra desventaja es que la selección de un modelo depende fuertemente de criterio individual y el proceso de selección puede ser difícil de aplicar, especialmente con datos estacionales.

4.3.4.3.2 Procedimiento de proyecciones (Forecast)

El procedimiento de pronósticos es diseñado para ajustar modelos relativamente simples. Una invocación singular del procedimiento puede generar proyecciones para muchas variables. Las únicas variables independientes permitidas en el modelo usado por el procedimiento forecast son un término constante, un término lineal y un término cuadrático en la variable de tiempo que es tomada como un número de observación (SAS/ETS User's guide, 1990).

La principal ventaja del método EXPO es que computarizadamente es más rápido que otros métodos porque éste requiere sólo un paso a través de los datos. Otra ventaja es que se puede usar Método Expo para ajustar la tendencia de los modelos a través del tiempo, tanto que la mayoría de los datos recientes son pesados más fuertemente que los primeros datos de la serie. El peso de una observación está dado por una función geométrica del número de periodos que las observaciones se extiendan dentro de un periodo relativo del pasado a la actualidad.

4.4. Uso del suelo en Costa Rica y sus variables explicativas

4.4.1. El contexto nacional de los bosques de CR

En el período de 1950 a 1970 la expansión agrícola se favoreció por la nacionalización del Sistema Bancario que dio acceso al crédito para ganadería, siendo en estas décadas donde la actividad ganadera tomó gran importancia en la

actividad agrícola provocando una deforestación masiva. La cobertura boscosa de CR se redujo, de un 72% en 1950 a un 56% en 1970 (Solórzano et al., 1991, citado por Watson et al., 1998). En los ochenta el precio de la carne bajó internacionalmente e hizo que dicha actividad no fuera tan atractiva, los terrenos usados para ganadería se dejaron abandonados y empezó un proceso de regeneración natural, hoy en día muchos de estos suelos son bosques secundarios. Para el año 2000 se dice que hay más de 400 000 hectáreas de bosque secundario (Louman y Villalobos, 2001).

Los bosques de Costa Rica en el año 2000 cubren 1 968 253 ha es decir un 38.5 % del país, estimados a partir de los mapas de la cubierta vegetal de 1979 y 1996, y extrapolación lineal.

Se muestra una reducción de la cubierta forestal en 1997, cerca de 458 000 hectáreas en 18 años, en comparación con el mapa de cubierta vegetal de 1979. La tasa de plantaciones anuales compensa el 40% de pérdida por deforestación. Los mangles se han reducido en un 36% y otras formaciones de bosque natural en 20% entre 1979 y 1996.

En 1998 CCT/CIEDES realizaron un estudio de cobertura para Costa Rica, donde se reportó un 40.3 % de cobertura boscosa, este estudio no incluía un 8.7 % del territorio, debido a la presencia de nubes y sombras en las imágenes de satélite. En 1999 el Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre (EOSL) de la Universidad de Alberta, Canadá, actualizó la medición anterior y redujo a un 5.7% la parte del territorio sin clasificar. La actualización del mapa reveló que la cobertura forestal es de un 43.5 % del territorio nacional, considerando bosques primarios, secundarios, manglares, yolillales y plantaciones forestales (Estado de la Nación, 2000).

Este se publicó como un estudio de Cobertura Forestal Actual (1996/97) y de Cambio de Cobertura para el periodo entre 1986/87 y 1996/97 para Costa Rica; en éste se estima la extensión y distribución de la cobertura forestal actual de Costa Rica, y los cambios ocurridos en los últimos 10 años. En la siguiente tabla se resume la cantidad de hectáreas actuales de Costa Rica para diferentes tipos de cobertura forestal

Tabla 1. Cubierta vegetal de Costa Rica para el periodo 1996/97

<i>Tipo de cobertura</i>	<i>Ha</i>	<i>%</i>
Forestal o Bosque	1 690 102	33.07
Forestal Península de Nicoya, y Guanacaste	327 010	6.40
No forestal o Sin Bosque	2 557 370	50.05
Manglar	40 844	0.80
Páramo	7 595	0.15

Fuente. CCT/CIEDES, 1998.

Se estima que en los últimos 10 años en el país se taló 164 245 hectáreas, es decir 16 424 hectáreas por año. Para calcular el índice nacional de deforestación se

propone utilizar el área con cobertura boscosa (2 063 487 ha) (CIEDES-FONAFIFO 1998 y Castro y Arias 1998, citado por Romero, 1999) y restar el área protegida por parques nacionales, reservas biológicas y manglares (622 068 has) con el fin de obtener la extensión de terreno de propiedad privada con cobertura boscosa (1 441 419 ha) y con esta cifra estimar el índice de deforestación en terrenos de propiedad privada.

La tasa de deforestación ha disminuido en la última década, aún así el informe del Estado de la Nación (1998) señala que la tala ilegal continúa siendo un problema ambiental; Louman y Villalobos (2001) basados en el Plan Nacional de Desarrollo Forestal 2001-2010 elaborado por el MINAE en el año 2000, mencionan que hay estimaciones alrededor del 25% de tala ilegal para Costa Rica, dichas apreciaciones son muy difíciles de verificar, sin embargo son un indicador de la magnitud de la actividad.

Tabla 2. Estimación del Índice anual de deforestación en terrenos de propiedad privada

Descripción	Extensión (ha)	Fuente
Deforestación en Costa Rica, período 86/87 - 96/97	164 245	CCT/CIEDES 1998
Total de cobertura forestal	2 063 487	CCT/CIEDES 1998
Parques nacionales, reservas biológicas y manglares	622 068	Castro y Arias 1998
Terrenos de propiedad Privada con cobertura boscosa	1 441 419	
Índice anual de deforestación en terrenos de propiedad privada	1,1%	10 Años del período de estudios de CCT/CIEDES 1998

4.4.2. Políticas agrícolas y forestales: implicación en la deforestación

La mejor forma de entender el porqué de las tasas de deforestación en Costa Rica en los años sesenta y setenta y cómo ésta ha disminuido en los últimos años es a través de un análisis de las políticas nacionales relacionadas con los recursos forestales ya sean por vía de la Ley, decretos o planes nacionales del gobierno a través de los años. Seguidamente se hará un resumen de las principales leyes, decretos y planes nacionales involucrados en estas iniciativas.

La política de incentivos que se inicia con la primera Ley Forestal en ese momento estuvo altamente influenciada por los grupos económicos dominantes: grandes ganaderos y hacendados cafetaleros. A inicios de los años 1970s se identifican medidas e instrumentos de política forestal, muchas veces aislados y contradictorios. El proceso evolutivo, para la definición de una política forestal nacional ha continuado

Por otra parte la eliminación de subsidios a la producción de granos básicos y ganadería ha sido un desincentivo a la ganadería nacional además de la caída de

los precios de la carne en los mercados internacionales. Esta política de manera indirecta beneficia la actividad forestal porque ante el abandono de pastizales, los bosques secundarios comienzan a crecer.

4.4.2.1. Leyes

La Ley Forestal N° 4465 (1969) se establece como respuesta a las altas tasas de deforestación de la década de 1970s. Los artículos 66, 67, 68 y 70 consideran la posibilidad de ofrecer incentivos forestales mediante el sistema de deducción de impuesto sobre la renta a quienes desarrollen proyectos de reforestación, situación que favoreció únicamente a los grandes propietarios porque son los únicos que pagan impuestos. Este incentivo se operacionaliza en 1979.

Consecuentemente las leyes forestales N° 7032 (1986), N° 7174 (1990) y N° 7575 (1996) tienden más a políticas de reforestación e incentivos forestales y actualmente pago de servicios ambientales (PSA), el diseño de estas políticas se creó con el fin de manejar y proteger mejor los bosques de Costa Rica así como iniciativas de forestación, disminuyendo así el problema de deforestación de los años anteriores. Además la Ley Forestal 7575 en el artículo 19, establece la ilegalidad o prohibición de cambio de uso en terrenos con cobertura boscosa.

La Ley Forestal (7032) implementó en 1986 un sistema de incentivos denominado Certificado de Abono Forestal (CAF) y en 1988 se estableció, con el apoyo financiero de cooperantes externos, el Fondo de Desarrollo Forestal, (GTZ-COSEFORMA, 1996).

4.4.2.2. Reglamentos y decretos

El Decreto 9495 AH (enero 1979) establece el reglamento y beneficios concretos para quienes implementen proyectos de reforestación. Con este reglamento se ejecuta el incentivo identificado como deducción del impuesto sobre la renta.

EL Decreto Ejecutivo 23101 (1994) introduce el Certificado de Abono Forestal para el Manejo del Bosque (CAFMA).

El Decreto Ejecutivo 24007 MIRENEM-H (1994) ofrece un reconocimiento a los propietarios de bosque para que protejan áreas de bosque natural mediante el Certificado para la protección del Bosque (CPB).

El Decreto Ejecutivo 26141-MINAE-H (1997) define el Manual de Procedimientos para el PSA. El objetivo del mismo es facilitar a los funcionarios de SINAC, FONAFIFO, regentes forestales, productores forestales y a todos los actores que interactúan en el sector forestal, los procedimientos que se aplicarán en el programa de incentivos para el fomento de las plantaciones forestales, protección y manejo de los bosques. Este manual, define las áreas prioritarias, las áreas máximas y mínimas a compensar por el PSA, también como los productores pueden acceder

las diferentes modalidades de PSA, así como el conjunto de requisitos, beneficios y obligaciones de los productores para obtener el PSA.

4.4.2.3. Planes Nacionales

Los Planes de Desarrollo Nacionales introducen acciones y elementos de política relacionados con la utilización de los ecosistemas naturales. A continuación se presenta un resumen de los planes de gobierno nacionales desde 1979 hasta 2002 relacionados con el sector forestal (Miranda, 2001).

El Plan Nacional Gregorio José Ramírez (1979-1982), enuncia la necesidad de establecer mecanismos para hacer eficiente la extracción de madera y disminuir el desperdicio. De acuerdo con este plan, se establecen zonas para la explotación maderera, para la protección y conservación y aquellas de aptitud forestal se dedicarían a la reforestación.

El Plan Volvamos a la Tierra (1982-1986) incentiva, sin proponérselo, la deforestación, al apoyar el desarrollo de la agricultura no tradicional (flores, plantas ornamentales y frutas). A la vez se inicia el abandono de pastizales que luego serían importantes superficies de bosques secundarios. Lo anterior es producto de la eliminación de subsidios a la ganadería y granos básicos, paralelo a la baja en los precios internacionales de la carnes. No se identifica una política a favor del sector forestal aunque se continúa con los incentivos iniciados años atrás. Se gesta la separación de la Dirección General Forestal del Ministerio de Agricultura y ganadería. Se empieza a estructurar el Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM), el cual se operacionaliza en el siguiente plan de gobierno.

En el Plan de Desarrollo 1986-1990, se identifica un conjunto de acciones de políticas orientadas hacia el desarrollo sostenible. Se institucionaliza en 1987 el MIRENEM, como la institución rectora y responsable de los recursos naturales y el ambiente. Se crea un movimiento nacional para la preparación del país para la cumbre de Río de 1992. El Estado crea la *Estrategia de Conservación para el Desarrollo Sostenible de Costa Rica* (ECODES) en 1997.

El plan Nacional (1990-1994) identificado como "El Futuro es de Todos" aunque presentó una propuesta para un "Nuevo Orden Ecológico Mundial", no implementó políticas para operacionalizarla. Se mantienen los incentivos forestales pero no se identifica un accionar tendiente a desarrollar el sector forestal.

El plan Francisco J Orlich (1994-1998) toma como Norte el desarrollo sostenible. Se adquiere el compromiso de impulsar el desarrollo de Costa Rica en alianza con la naturaleza, mediante la apertura de mercados de carbono, bioprospección y ecoturismo. La valoración de los servicios ambientales que prestan los ecosistemas naturales fue ampliamente discutido y la necesidad de crear un marco legal acorde y en alianza con la naturaleza. También en 1994, se reforma el artículo 50 de la Constitución Política Nacional y se introduce el principio de que *todo costarricense*

tiene derecho a un ambiente sano. Durante esta etapa toma importancia el bosque como unidad productiva de servicios ambientales

El Plan Nacional "Nuestro Compromiso con el Desarrollo Humano"(1998-2002) plantea el desarrollo íntimamente relacionado con protección de los ecosistemas. Mediante el *Foro de Concertación Nacional* diferentes actores sociales discuten ampliamente sobre el PSA y su sostenibilidad. En el discurso se afirma que hay gran interés por continuar implementando políticas para la sostenibilidad de los recursos naturales, pero no se practica.

4.4.3. Los usos del suelo en CR

4.4.3.1. Plantaciones forestales

En 1979 Costa Rica experimentó un auge en el establecimiento de plantaciones forestales, el Estado implementa un sistema de incentivos para la deducción del impuesto sobre la renta.

La evolución histórica de las plantaciones forestales en Costa Rica se caracteriza en tres fases claramente definidas, dichas fases se encuentran muy ligadas a este sistema de incentivos forestales;

Fase 1. Se muestra claramente en el periodo de 1978 a 1988, fue una fase de experimentación y aprendizaje, se plantaron en promedio 2 648 ha. por año;

Fase 2. Se desarrolla entre el año 88 y 96, es la fase de máximo desarrollo, donde se plantaron en promedio 14 039 ha por año;

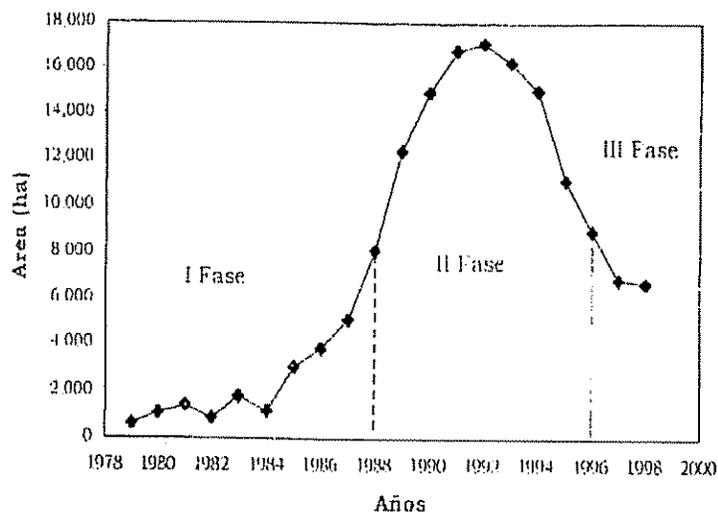
Fase 3. Se inicia en 1997, es una fase decadente, el ritmo de plantación cae a 6 751 ha por año (tabla 3 y gráfica 1).

Tabla 3. Área total de plantaciones forestales en Costa Rica para el periodo 79-98.

Año	Etapa	Área plantada total	Año	Etapa	Área plantada total
1979	I	633	1989	II	12339
1980	I	1074	1990	II	14896
1981	I	1402	1991	II	16725
1982	I	877	1992	II	17034
1983	I	1748	1993	II	16245
1984	I	1194	1994	II	14989
1985	I	3027	1995	II	11127
1986	I	3796	1996	II	8957
1987	I	5040	1997	III	6806
1988	I	8051	1998	III	6696
Total					133 865

Fuente: Arias y Zamora, 1999

Gráfico 1. Evolución de la reforestación en Costa Rica (1979-1998).



Fuente: Arias y Zamora 1999

Al inicio de la década de los noventa y con el apoyo de una legislación forestal nueva el país llegó a plantar alrededor de 15,000 hectáreas por año bajo incentivos forestales. Sin embargo, debido a la firma por parte del país de diferentes acuerdos internacionales como el Acuerdo General de Aranceles aduaneros y comercio (GATT), el sistema de subsidios directos fue eliminado en 1995 lo cual provocó un colapso de la actividad de forestal a nivel nacional. Para finales de 1996 con un nuevo marco jurídico para el sector se inicia un proceso de reactivación de la actividad sin que hasta la fecha llegue a alcanzar los niveles de inicio de esta década (Romero, 1999).

4.4.3.2. Principales actividades agrícolas para Costa Rica:

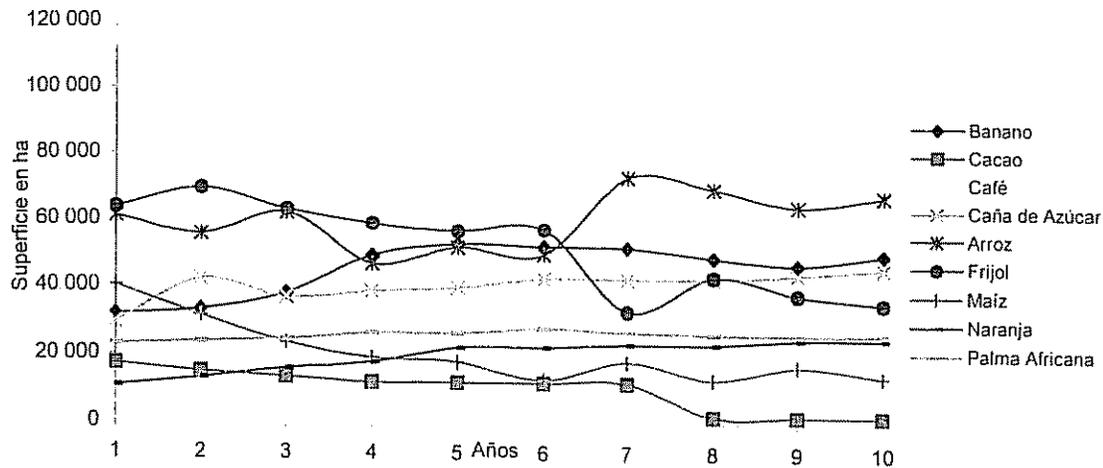
En la siguiente tabla se muestran las principales actividades agrícolas del país, la selección de esta tabla se ha hecho bajo el criterio de importancia económica reflejada básicamente en el área cultivada, también se muestra gráficamente la tendencia que han tenido estos cultivos en los últimos 10 años.

Tabla 4. Área (has) dedicada a las principales actividades agrícolas en Costa Rica: 1990-1999

Actividad	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999*
Banano	31.817	33.400	38.119	49.394	52.707	52.165	52.000	49.191	46.968	50.000
Cacao	17.420	15.000	13.500	12.000	12.000	12.000	12.000	2.200	2.200	2.200
Café	115.000	105.000	106.000	105.000	108.966	108.000	108.000	108.000	106.000	106.000
Caña azú	29.500	42.200	37.000	38.700	39.800	42.739	42.830	42.900	44.200	46.000
Arroz	61.084	55.700	62.217	46.899	51.867	49.934	73.446	69.920	64.710	67.794
Frijol	63.664	69.580	63.160	59.030	56.856	57.447	33.160	43.336	38.186	35.552
Maíz	40.170	31.666	23.620	19.219	18.109	12.849	18.387	13.155	17.028	14.104
Naranja	10.757	13.065	16.000	18.000	22.250	22.500	23.500	23.500	25.000	25.200
Palma afr	23.183	23.891	24.600	26.600	26.652	28.190	27.239	26.586	26.455	26.628

FUENTE: Secretaría Ejecutiva de Planificación del Sector Agropecuario, con base en información de las instituciones del Sector y los Programas Nacionales * Estimado

Gráfico 2 Área dedicada a las actividades agrícolas con mas de 10mil ha en Costa Rica de 1990 hasta 1999



4.4.4. Experiencias de modelos de cambio de uso del suelo

El estudio de caso de línea base del Proyecto Forestal Privado en Costa Rica ejemplifica las plantaciones forestales, construyendo la línea base constituida por el área plantada durante el período del proyecto (2000–2020) y que será establecida aún sin la existencia del proyecto. De acuerdo con las proyecciones de crecimiento de las principales empresas que continuarán reforestando aún sin la existencia del Proyecto, estas crecerán a un ritmo aproximado de 1500 ha/año hasta el año 2003, posteriormente disminuirá a 1200 ha/año y se estabilizarán en alrededor de 1300 ha/año. En este último periodo las plantaciones que se realizan estarán destinadas a renovar el área aprovechada. Las especies utilizadas por estas empresas son principalmente teca y melina (Romero, 1999).

La fijación de carbono es de alrededor de 85 mil tm/carbono/año o 1.7 millón de tm/carbono durante la vida del proyecto equivalente a una mitigación de emisiones de CO₂ de más de seis millones de toneladas.

El área bajo manejo de bosques sin proyecto no fue considerada como parte de la línea base debido a que el propietario se ve tentado a extraer mayores volúmenes por hectárea y a aprovechar árboles con diámetros menores al diámetro comercial provocando con el paso de los años la degradación de la masa boscosa y por último el cambio en el uso del suelo.

Romero hace un balance de adicionalidad del proyecto tanto en el flujo anual como de la totalidad del proyecto, esto significa para el país el secuestro de más de 91.4 millones de toneladas de carbono y un flujo anual promedio de 4.5 millones de toneladas. En cuanto al CO₂ al final de los 20 años representa 335,3 millones de toneladas secuestradas o no emitidas según el sistema de manejo forestal desarrollado.

5. Materiales y métodos

El estudio se realizó en Costa Rica, ubicada geográficamente a 10° latitud y 85° longitud, con una extensión de 51100 Km² y una población de aproximadamente 3.5 millones.

5.1. Determinación de los tipos de uso

Para determinar los tipos de uso del suelo a estudiar se tomaron en cuenta los siguientes criterios; el Protocolo de Kioto y acuerdos de Marrakesh y criterios económicos y ambientales de las actividades agrícolas.

- El Protocolo de Kioto y acuerdos de Marrakesh

El Protocolo de Kioto y acuerdos de Marrakesh reconocen los proyectos MDL de tipo forestación y reforestación, por tanto en este estudio se tomaron en cuenta las plantaciones forestales.

En el caso de actividades forestales no incluidas en el Protocolo de Kioto se consideró a los bosques secundarios como un uso importante a modelar en este estudio, ya que además de ser una alternativa de mitigación de carbono también se ha incrementado el área de bosque secundario, en el 2000 se estima que el área de bosque ascendió a 400 000 ha.

- Criterios económicos y ambientales en las actividades agrícolas

La economía de Costa Rica está desarrollada principalmente por las actividades agrícolas, por tal razón, existe una gran diversidad de estos cultivos. Los cuales se discriminan basándose en criterios de selección como: importancia económica de las principales actividades productivas, cantidad de carbono y permanencia del secuestro.

- Importancia económica:

Se refleja en el área total plantada en el país: de acuerdo al área del país se consideró que si el cultivo tiene mas de 20 000 ha plantadas por año desde 1970 hasta el momento, este posiblemente contribuye significativamente en la construcción de la línea base. Los principales cultivos agrícolas de importancia económica para Costa Rica son café, frijol, arroz, maíz, banano, caña de azúcar, palma africana, cacao y naranja,

- Cantidad de carbono y permanencia del secuestro

El propósito de este criterio es eliminar los usos del suelo con una baja cantidad de carbono contenido en su biomasa o con una rotación corta ya sea cultivos anuales o cultivos agrícolas de ciclo corto.

De acuerdo a la combinación de estos criterios de selección, el cultivo de mayor importancia y que puede cumplir con estos criterios es la actividad cafetalera.

En conclusión se analizarán tres tipos de uso: Bosque secundario, plantaciones forestales, y cultivo de café. Para cada uso del suelo se construirá una línea base del área por medio de modelos econométricos.

5.2. Recolección y construcción de la base de datos

Para construir la línea base de cada tipo de uso, se construyó una serie de tiempo con el área de cada tipo de uso, así como de las variables independientes que tuvieron alguna relación con cada tipo de uso estudiado. Se estableció un horizonte de tiempo de 1970 al año 2000, teniendo 31 observaciones para cada serie de tiempo.

Para obtener los datos de las series de tiempo se basó en fuentes o datos secundarios. La construcción de la base de datos se completó visitando los centros de información del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Centro de documentación del Banco Central, Biblioteca del Centro Internacional de Política Económica (CINPE), CATIE, Centro de documentación Instituto Meteorológico, Centro de documentación del Centro Científico Tropical (CCT), Ministerios de Gobierno (Planificación, de Ambiente, Agricultura), Biblioteca de la Universidad Nacional, Cámara Costarricense Forestal (CCF), y el Centro de documentación de estadísticas y censos. Además de visitar y recolectar datos de estos centros de documentación, también se realizaron consultas personales con directores o funcionarios de dichas instituciones; ellos proporcionaron información de documentos o expresaron sus opiniones de manera informal. Por otro lado también se recolectó información de las bases de datos de Infoagro-MAG, FAO, a través de Internet.

Para construir las series de tiempo de cada tipo de uso del suelo se utilizaron valores tanto de área acumulada (área total) como área anual (áreas nuevas). Para plantaciones forestales no se usó el área acumulada, pues no existen datos de cuánta área ha sido cosechada, abandonada o ha habido un cambio de uso.

La base de datos se construyó a partir de la información generada anteriormente, sin embargo en la mayoría de las series de tiempo de cada variable no fue posible completar el horizonte de tiempo establecido (1970–2000), pues no existe información suficiente para completar las 31 observaciones del periodo, en estos casos las series se completaron a través de técnicas de interpolación y extrapolación.

Se usó interpolación cuando la serie no era continua, ésta se hizo sumando los valores extremos donde había valores ausentes y se dividió entre el número de espacios vacíos. Solo se usó interpolación para completar uno o dos espacios, y se hizo una vez para cada serie de tiempo.

Para extrapolar se usó el procedimiento de proyecciones (PROC FORECAST) del software System Analysis Statistic (SAS/ETS) para completar las series de tiempo

continuas pero que no estaban completas hasta el año 2000, el PROC FORECAST es un método de extrapolación útil para producir eficientemente resultados prácticos.

Dentro de los métodos usados en el PROC FORECAST se usó el método exponencial (EXPO), el cual genera predicciones de tendencia en el tiempo. Se especificó una tendencia para el modelo TREND = 3, la cual especifica la tendencia de un modelo cuadrático. Se utilizó un peso (Weight) que oscila entre 0 y 1.

Para obtener el peso en el modelo a utilizar se calculó previamente un modelo de regresión para la variable que se quería extrapolar. Se probó tres diferentes años de rezago para obtener el valor más acertado en el peso. Se probaron los modelos de rezago para 1, 2 y 3 años.

$$Y_t = f(Y_{(t-1)}) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$Y_t = f(Y_{(t-2)}) \quad (\text{Ec. 6})$$

$$Y_t = f(Y_{(t-3)}) \quad (\text{Ec. 7})$$

Con este modelo se corrió una prueba de autorregresión de Durbin-Watson, obteniendo así los valores entre 0 y 1. Se seleccionó el valor que mejor se ajustara con el modelo. Una vez obtenidos estos valores, se corrió el PROC FORECAST obteniendo así los nuevos valores para completar la serie de tiempo hasta el año 2000.

5.3. Dos enfoques para los modelos de cambio de uso del suelo

En este estudio, se tomaron en cuenta dos enfoques; el primer enfoque se basa simplemente en tendencias del uso del suelo, es decir no toma en cuenta variables explicativas del uso del suelo. El segundo es un modelo económico que sí toma en cuenta variables independientes que explican el uso del suelo que también puede ser llamado un modelo basado en la teoría económica, en este enfoque también se estudian las tendencias de las variables explicativas. El fin es explicar el patrón observado en las diferentes superficies estudiadas y comparar el comportamiento de las tendencias de los usos del suelo entre los dos enfoques. La extrapolación de los datos, se hizo hasta el año 2012, ya que el Protocolo de Kioto plantea que los países industrializados deben reducir sus emisiones de GEI para el periodo 2008-2012.

5.4. Enfoque de tendencia de uso

Para seleccionar el método de proyección se revisó literatura acerca de los diferentes métodos de proyección disponibles. El procedimiento FORECAST de SAS fue seleccionado tomando en cuenta el software disponible. El principio de este enfoque es que a partir de los datos del pasado se va a extrapolar el tipo de uso del suelo. Se usaron dos métodos de proyección; el método exponencial (EXPO) y el método STEPAR, para obtener las curvas que mejor se ajustan a los valores o serie de tiempo real de cada tipo de uso del suelo, ya sea área de café, área de

plantaciones forestales o área de bosque secundario. Para todos estos modelos se analiza el área del uso de suelo en función del tiempo.

- Método STEPAR

Este método ajusta la tendencia en el tiempo para las series y toma la diferencia entre cada valor y la tendencia estimada. Se construyeron dos curvas con este método, su diferencia es que una se construye con una tendencia lineal (TREND = 2) y otra con tendencia cuadrática (TREND = 3). Las dos se proyectan 10 o 12 años, esto dependiendo del tipo de uso del suelo, pues los valores reales para café están dados hasta el año 2002 y para los otros dos usos para el año 2000.

- Método EXPO

Este método ajusta la tendencia del modelo a través del tiempo, tanto que los valores más recientes son ponderados más fuertemente que los valores más tempranos de la serie. Para no subvalorar el peso (weight) se obtuvo 3 valores de peso diferentes, con el fin de tener 3 curvas de predicción y quedarse con la que mejor se ajusta a los valores reales. El peso debe oscilar entre 0 y 1.

Para obtener el peso en el modelo a utilizar como primer paso se construyó un modelo de valores rezagados para 1, 2, y 3 años del área de cada tipo de uso del suelo como en el punto 5.3. Se corrió un modelo de regresión del área de cada tipo de uso del suelo real en función del área del mismo tipo de uso, con un rezago de un año y sin intercepto. También se corrió la Prueba de Durbin-Watson, para obtener la correlación de primer orden, siendo el valor absoluto de esta correlación el valor usado para el peso en el método EXPO. La misma metodología se utilizó para obtener el rezago de 2 y 3 años.

Una vez obtenidas los 3 pesos diferentes, se corrió el método EXPO, en el cual se mantuvo una tendencia cuadrática para los 3 modelos y se proyectó también para 10 o 12 años.

Es así como la tendencia de cada variable tiene 5 series de tiempo diferentes, las cuales varían con el peso usado o tendencia del método. Las series de tiempo que tuvieron tendencias muy diferentes a la serie de tiempo con los valores reales o con un comportamiento muy diferente a ésta, fueron eliminadas, también se eliminaron aquellas series o curvas que se notaban con valores muy similares en la gráfica, ya que si son iguales cumplirían la misma función.

5.5. Enfoque basado en variables explicativas del uso

Este modelo es una regresión lineal que explica los cambios de la superficie o área de un uso determinado (Y), basándose en las variables independientes (X). En este caso utilizaremos un modelo de regresión lineal múltiple combinado con un modelo de rezagos distribuidos.

El modelo de regresión lineal múltiple se representa matemáticamente como la siguiente ecuación general:

$$Y_{(t)} = \alpha + \beta_1 X_{(1)} + \beta_2 X_{(2)} + \beta_3 X_{(3)} + \dots + \beta_n X_{(n)} + \varepsilon \quad (\text{Ec. 8})$$

El modelo de rezagos distribuidos se representa matemáticamente como la siguiente ecuación general:

$$Y_{(t)} = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \varepsilon \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde

Y: es la superficie del tipo de uso del suelo.

α : es el intercepto

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$: coeficientes (pendientes) de regresión

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$: son las variables independientes usadas

ε : es el error del modelo estadístico

El modelo resultante de regresión lineal múltiple puede tener algunas variables rezagadas, un ejemplo de representación puede ser el siguiente:

$$Y_{(t)} = \alpha + \beta_1 X_{(t)} + \beta_2 X_{2(t-1)} + \beta_3 X_{(t)} + \dots + \beta_n X_{(t)} + \varepsilon_t \quad (\text{Ec. 10})$$

Se uso un análisis de regresión con una prueba F para evaluar que variables explicativas influyen en el cambio del área de los diferentes tipos de uso y probar la significancia del modelo. Se obtuvieron los valores del coeficiente de determinación (r^2) el cual mide la proporción o porcentaje de la variación total del área del tipo de uso (Y) explicada por las variables explicativas o independientes (X).

5.5.1. Determinación de las variables del modelo

Al igual que en el primer enfoque la variable dependiente es el área (ha) plantada o existente en cada año, el objetivo de este enfoque es probar cuál es el cambio del área con respecto a diferentes variables independientes seleccionadas.

- Café

Las variables independientes a probar en el modelo son: precio mundial del café en dólares, precio nacional de café en colones, producción de café en toneladas métricas (Mt), rendimiento del café (Hg/ha), crecimiento de la población urbana y variables autorregresivas de cualquiera de las variables anteriores.

- Plantaciones forestales

Las variables independientes a probar en el modelo son: área del uso alternativo como ganadería en hectáreas, número de vías o longitud de carreteras en kilómetros (Km), demanda de madera en metros cúbicos (m^3), precio medio de la madera en colones por metro cúbico (col/ m^3), inversión de incentivos forestales en dólares por año, áreas incentivadas con incentivos forestales o pago por servicios ambientales y variables autorregresivas de cualquiera de las variables anteriores

En el caso del área de plantaciones forestales existen estadísticas completas sobre plantaciones bajo el sistema de incentivos de 1979 hasta 1996 y pago por servicios ambientales de 1997 hasta el 2000. Los datos usados para correr este modelo

proviene de fuentes oficiales del SINAC, sin embargo este organismo del Estado no tiene un registro completo de las áreas plantadas con inversión privada, por lo que tratamos de complementar ésta información a través de la Cámara Costarricense Forestal (CCF), el objetivo es hacer un análisis comparativo entre los valores de cada institución. Para efectos de correr el modelo se usaran los valores de SINAC; pues la CCF solo tiene un registro de los últimos años (1990–2000).

Se hizo un análisis comparativo de los valores del área total de plantaciones forestales para este periodo con los datos de SINAC y CCF, la diferencia en porcentaje de estas series de tiempo es menor de 3% entre ambos, en total el SINAC registra para este periodo un total de 116 795 ha y la CCF un total de 120 224 ha para el mismo periodo de 10 años. El mismo análisis se hizo para el área de plantaciones con incentivos forestales para el mismo periodo y la diferencia entre ambos fue menor de 7%. El SINAC registraba 100 967 ha y la CCF 94 275 ha para el mismo periodo.

También es importante mencionar que cerca de un 88% de las plantaciones forestales se plantaron bajo incentivos forestales o PSA, por lo que existe una alta relación entre el área incentivada y el área total, pues muchos productores se incorporaron a este uso del suelo debido a los incentivos otorgados por el gobierno de CR en la década de los ochentas y noventas.

Las variables de área de ganadería y demanda de madera, no pudieron ser probadas en el modelo debido a que no existen suficientes datos para construir la serie de tiempo para los años de 1970 al 2000.

- Bosques secundarios

Las variables independientes a probar en el modelo son: cantidad y área del uso alternativo como producción de carne en toneladas métricas (Mt) o área de ganadería, precio medio de la madera en colones, incentivos a la actividad de manejo de bosque en hectáreas, número de vías o longitud de carreteras en kilómetros (Km), demanda nacional de madera en metros cúbicos (m^3), deforestación en hectáreas por año (ha/año), áreas de áreas protegidas en hectáreas, crecimiento de la población urbana y variables autorregresivas de cualquiera de las variables anteriores.

Las variables de área de ganadería, incentivos a la actividad de manejo de bosque, demanda nacional de madera, no pudieron ser probadas en el modelo debido a que no existen suficientes datos para construir la serie de tiempo para los años de 1970 al 2000.

También se trató de medir variables para los 3 usos del suelo como: políticas de incentivos para la conservación, manejo y forestación e incentivos para la actividad agrícola o a la producción de carne, así como políticas de prohibición de corta, éstas se pudieron medir a través de variables dummy, si existe o no (0, 1), sin embargo no se registraron los datos suficientes para probarlo.

5.5.2. Establecimiento del modelo

Con las variables independientes seleccionadas se corrió el modelo en SAS, en el cual se realizó la prueba de T que prueba cual variable es significativa a un nivel de significancia de 10%. Para respaldar esta prueba se corroboró el cumplimiento de supuestos de multicolinealidad (índice de condición), heterocedasticidad (chi cuadrado), y normalidad (Shapiro Wilk y Kolmogorov - Smirnov).

Para determinar cuales variables son estadísticamente significativas en el modelo se hizo un ejercicio de prueba y error. Las variables que no fueron significativas en la prueba T fueron eliminadas. También se eliminaron aquellas variables que producían problemas de multicolinealidad en el modelo. Una vez determinado que variables son significativas en el modelo, se vuelve a correr el modelo sólo con éstas variables.

5.5.3. Extrapolación de las variables explicativas

Las variables explicativas fueron extrapoladas hasta el año 2012 con el procedimiento del punto 5.4.

5.5.4. Aplicación de los modelos con variables explicativas extrapoladas

A partir de las variables explicativas significativas de cada modelo de uso del suelo, y con sus respectivas curvas calculadas y proyectadas con los valores mínimos, promedios, y máximos se calcula el valor estimado para cada uso del suelo (valor de Y o variable dependiente).

Por ejemplo si el modelo está en función de 3 variables explicativas: $\text{Área} = f(\text{var}_1, \text{var}_2, \text{var}_3)$, y para cada variable explicativa se calcularon y proyectaron 3 curvas con valores mínimos, promedios y máximos habrá 27 posibilidades de series de tiempo o curvas para la variable dependiente (Área).

Si el modelo está en función de 2 variables explicativas: $\text{Área} = f(\text{var}_1, \text{var}_2)$ habría 9 posibilidades de series de tiempo o curvas para la variable dependiente.

Siguiendo el ejemplo de 3 variables, se aplicó el modelo para cada curva de cada variable, de tal manera que la variable 1 que tiene tres curvas de proyección, debe cruzarse con las tres curvas proyectadas de la variable 2 y a la vez con las tres curvas de la variable 3.

De estas 27 curvas para el área se saca un promedio con su desviación estándar. Este valor promedio sería el área estimada a través del enfoque basado en variables explicativas del uso, también se agregaron barras de error a esta curva, para ver el ámbito o intervalo de confianza de ésta.

Esta curva finalmente se compara con las curvas obtenidas en la tendencia del uso del área, se pretende observar si existen diferencias entre los dos enfoques mencionados en el punto 5.3 de esta sección.

6. Resultados

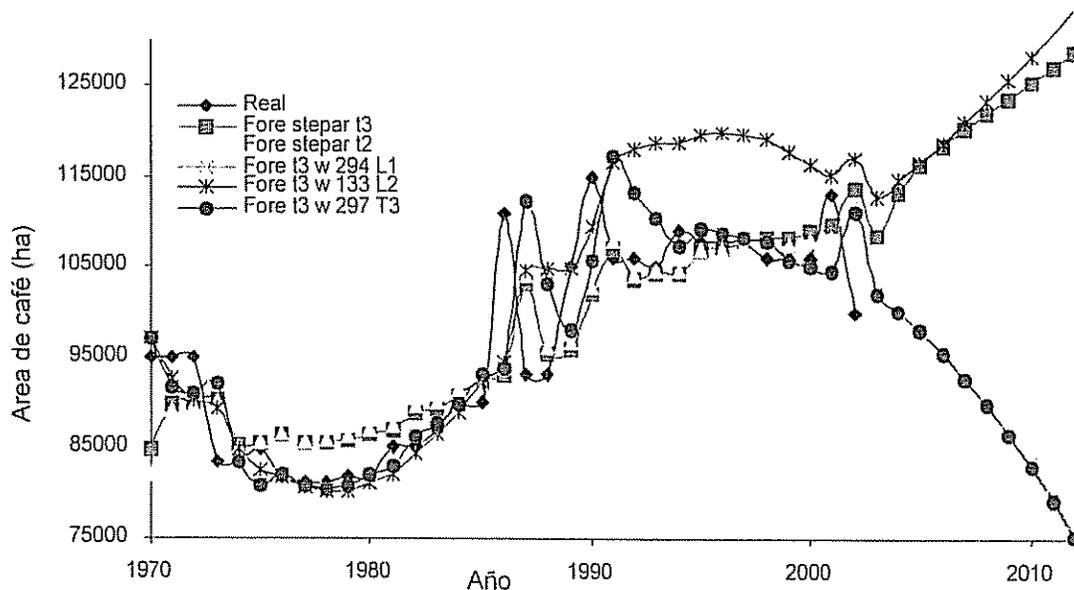
6.1. Tendencias del uso del suelo

Se obtuvieron en total cinco series de tiempo o curvas de los valores calculados de 1970 hasta el año 2000 y proyectados de 2001 hasta 2012 para las áreas de los usos del suelo. Se obtuvieron dos series de tiempo por el método STEPAP y tres series por el método EXPO.

6.1.1. Proyección del área acumulada de café

En el gráfico 3 se muestran los valores calculados y reales del área acumulada de café. Así como el comportamiento de cada curva calculada y proyectada con respecto a los valores reales. Los datos para la construcción del gráfico 3 y 4 se presentan en la Tabla A1 de los anexos.

Gráfico 3. Comparación de la evolución del área acumulada de café real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAP desde 1970 hasta el 2012



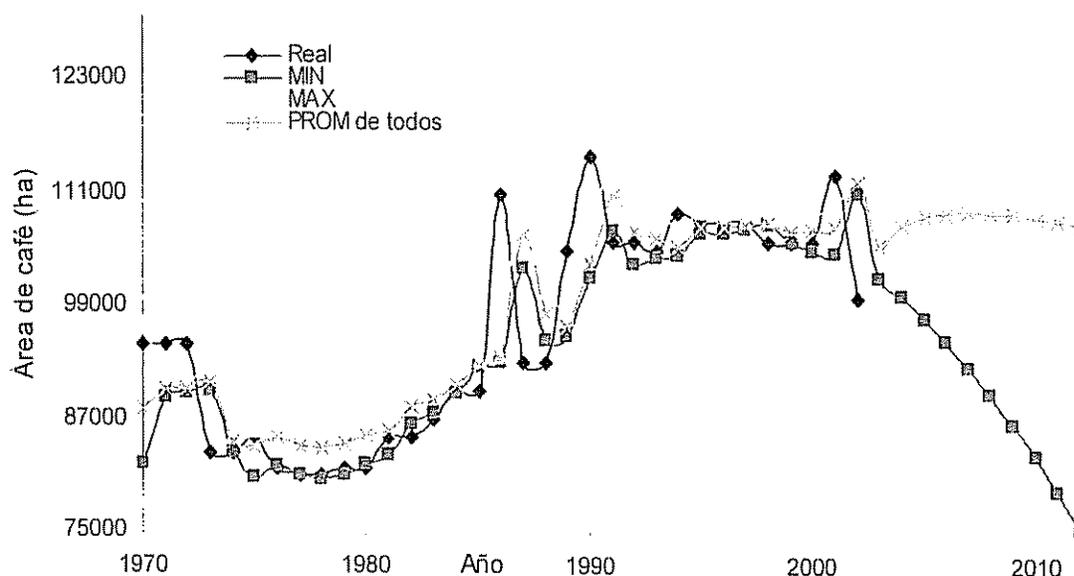
Las curvas calculadas y proyectadas del método EXPO con un peso de 0.294 y 0.297 tienen el mismo comportamiento o tendencia, por lo que se eliminó la curva con el peso 0.294. También se eliminó la curva con el peso de 0.133, ya que los valores calculados por este método se observan alejados de los valores reales del área de café.

Al final de esta selección quedaron tres curvas de proyección. La curva calculada y proyectada por el método EXPO muestra claramente que la tendencia de las áreas del café disminuye en los próximos 10 años, mientras que las curvas proyectadas por el método STEPAP muestran una tendencia creciente. Dentro de las dos curvas proyectadas por el método STEPAP no se observa diferencia entre las curvas con

tendencia lineal y tendencia cuadrática, ambas muestran un aumento en las áreas plantadas

Es importante mencionar que estos tipos de métodos son muy sensibles, pues aunque se usaron los mismos datos y el mismo procedimiento de predicción, se obtuvieron valores de proyección distintos. Una manera de representar estas diferencias es construyendo curvas con los valores mínimos, promedios y máximos de las curvas anteriores, en el siguiente gráfico se muestran estas curvas. También se muestra como las curvas calculadas tienen una tendencia muy similar a los valores reales.

Gráfico 4. Comparación de la evolución del área acumulada de café real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012



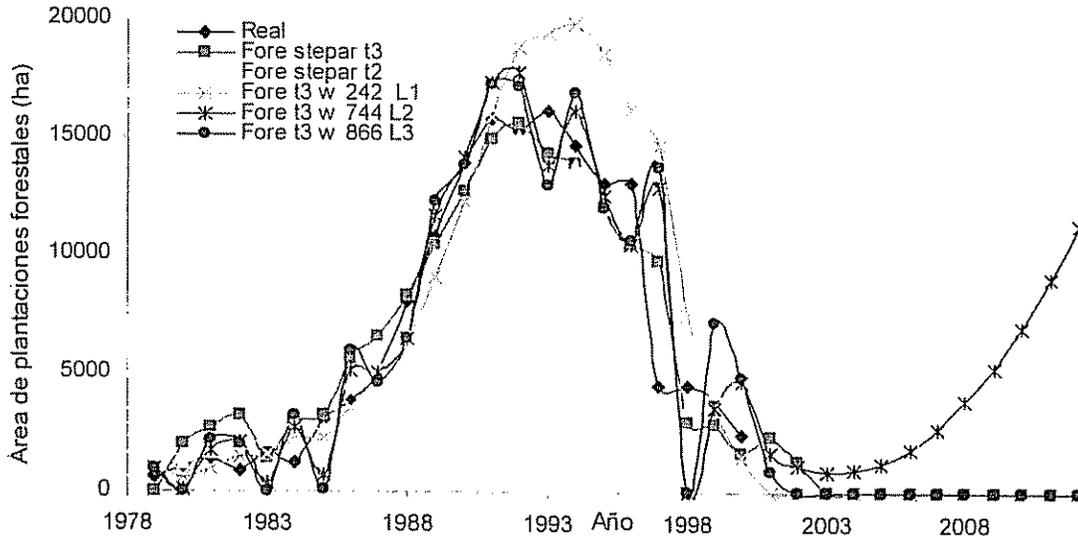
6.1.2. Proyección del área anual de plantaciones forestales

Para este uso se calcularon las curvas de 1979 hasta el 2000. En el gráfico 5 se muestran los valores calculados y reales del área anual de plantaciones forestales. Se muestra el comportamiento de cada curva calculada con respecto a los valores reales. Los datos para la construcción del gráfico 5 y 6 se presentan en la Tabla A2 de los anexos.

Según la curva construida por el método STEPAR con tendencia lineal las plantaciones forestales muestran un ciclo de cambio, donde se observa un pico máximo entre los años 2005 y 2009 y luego la curva empieza a caer. Por otro lado con el mismo método STEPAR pero con tendencia cuadrática muestra que para el año 2003 y en adelante no habría nuevas plantaciones forestales en el país. Lo mismo muestran las curvas construidas con el método EXPO con peso de 0.866 y 0.242, está última queda eliminada pues los valores calculados en el gráfico muestran una gran diferencia con los valores reales de las plantaciones forestales.

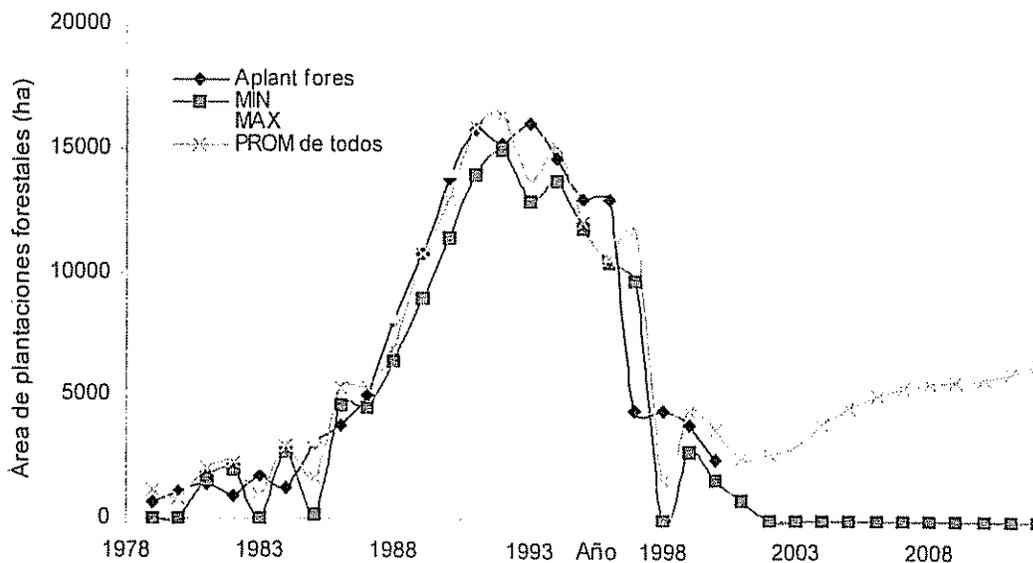
Por último la curva con el método EXPO con peso de 0.744 muestra una tendencia creciente en el área.

Gráfico 5 Comparación de la evolución del Área anual de plantaciones forestales real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1979 hasta 2012



Las tres nuevas curvas con los valores mínimos, promedios y máximos de las curvas anteriores se muestran en el siguiente gráfico. También se muestra como los valores calculados del promedio están muy cercanos de los valores reales.

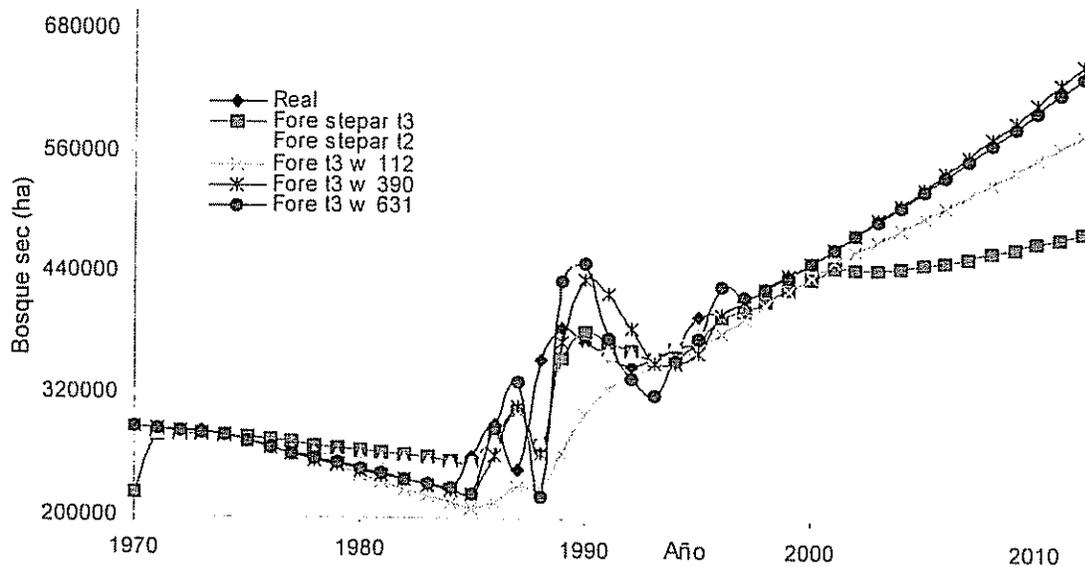
Gráfico 6. Comparación de la evolución del área anual de plantaciones forestales real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1979 hasta 2012.



6.1.3. Proyección del área acumulada de bosque secundario

En el gráfico 7 se muestran los valores calculados y reales del área de bosque secundario. Se muestra el comportamiento de cada curva proyectada con respecto a los valores reales. Los datos para la construcción del gráfico 7 y 8 se presentan en la Tabla A3 de los anexos.

Gráfico 7. Comparación de la evolución del Área de Bosque Secundario real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012.

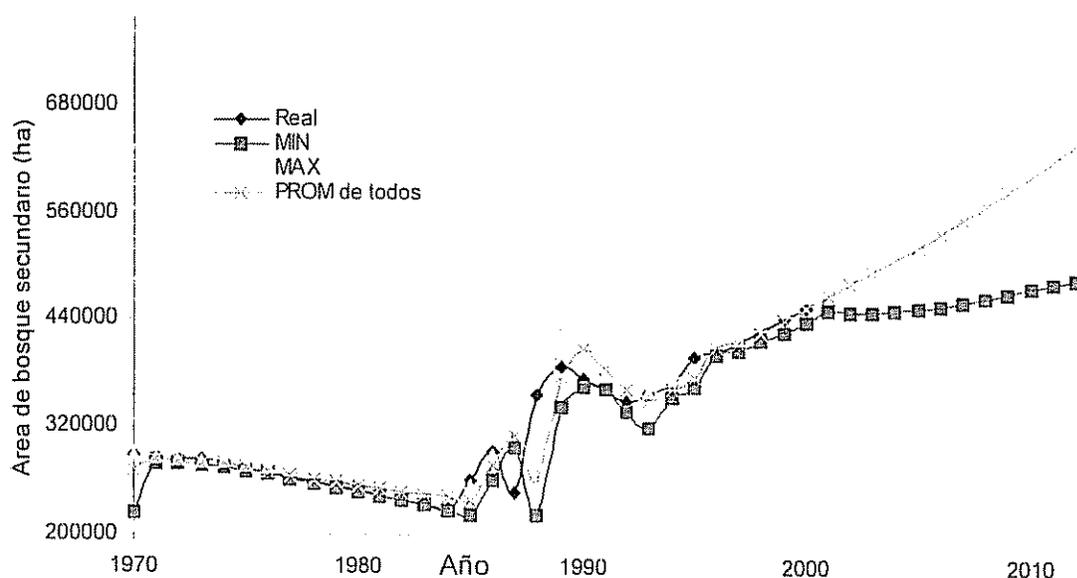


La curva proyectada del método EXPO con un peso de 0.112 se eliminó debido a que los valores calculados por este método se observan con tendencia diferente a la tendencia de los valores reales del área de bosque secundario.

Al final de esta selección quedaron cuatro curvas de proyección. Las cuatro curvas presentan una tendencia creciente en el área de bosque secundario en los próximos 12 años. Sin embargo se puede ver como dentro de las dos curvas proyectadas por el método STEPAR muestran los valores extremos en la gráfica, la curva con tendencia cuadrática presenta los valores calculados y proyectados más conservadores (487 653 ha) de los 4 escenarios y la curva con tendencia lineal muestra los valores calculados y proyectados más ambiciosos es decir para el año 2012 según este método habrían 777 318 ha de bosque secundario, esto es más de 300 mil ha del valor real registrado para el año 2000. Mientras que las dos curvas proyectadas por el método EXPO muestra una tendencia muy similar de las áreas de bosque secundario entre ellas mismas.

Las tres nuevas curvas con los valores mínimos, promedios y máximos de las curvas anteriores se muestran en el siguiente gráfico. También se muestra como los valores calculados del promedio están muy cercanos de los valores reales.

Gráfico 8 Comparación de la evolución del área acumulada de bosque secundario real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012.



6.2 Modelos explicativos de los cambios de uso del suelo

6.2.1. Modelo de café

El modelo de café con series de tiempo con diferencias (nuevas áreas) probado resultó significativo en el análisis de regresión con la prueba F. Pero al probar las diferentes variables, sólo la variable rendimiento de café resultó significativa, pero con un r^2 inferior al 50 % (ver resultados del análisis de regresión en el anexo de Modelo A1).

El modelo de regresión lineal múltiple con variables rezagadas para el área de café con serie de tiempo acumulada matemáticamente se representa;

$$AC = \alpha + \beta_1 * Rendcaf + \beta_2 * L1Precap + \beta_3 * L1Expcaf + \varepsilon \quad (\text{Ec } 11)$$

Donde

AC = Área de café en hectáreas

α = Intercepto

β_1 , β_2 y β_3 = Coeficientes de regresión (pendientes)

Rendcaf = Rendimiento de café (Hg/Ha)

L1Precap = Precio del café del año anterior (rezago de un año) en colones

L1Expcaf = Exportación de café del año anterior (rezago de un año) en toneladas métricas.

El modelo resultó significativo ($p < 0.0001$), y las variables explicativas o independientes explican el 77 % de la variabilidad del modelo, el intercepto resultó significativo ($p < 0.0001$) con un valor de 90328 ha.

En la tabla 5 se muestran los parámetros estimados (β) o coeficientes de regresión para cada variable explicativa, su probabilidad dada por la prueba T y el valor del índice de condición. El rendimiento de café influye negativamente en el área, es decir entre mayor sea el rendimiento de café menor área de café habrá, mientras que el coeficiente para la variable del precio y exportación de café es positivo, se lee que a mayor precio o exportación de café el área de este aumenta. También se muestra que todas las variables son significativas y los valores del índice de condición son aceptables, ya que la literatura dice que si el valor del índice de condición es menor que 30 no existe multicolinealidad entre las variables, es decir que ninguna variable influye con la otra

En la tabla 6 se muestra el resumen de los supuestos del modelo y su respectiva conclusión, como se puede ver el modelo cumple con todos los supuestos tanto con el de multicolinealidad, heterocedasticidad o igualdad de varianzas y normalidad, pues en estos dos últimos se acepta la hipótesis nula.

Tabla 5. Resumen de las variables explicativas significativas en el modelo de regresión con su respectivo parámetro estimado, probabilidad y el valor del índice de condición.

Variabes explicativas	Parámetro estimado	Prob > /T/	Índice de condición
Rendcaf	-1.94487	0.0161	3.69355
L1Precaf	0.10231	0.0002	17.06144
L1Expcaf	0.20632	0.0081	23.29129

Tabla 6. Resumen y conclusión de los supuestos del modelo para el área de café.

Supuestos del modelo	Valor	Conclusión
Multicolinealidad (Índice de cond)	< 30	No existe multicolinealidad entre las variables.
Heterocedasticidad (Chi cuadrado)	0.1788	Se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales.
Prueba de normalidad Shapiro Wilk Kolmogorov - Smirnov	0.3510 > 0.1500	Se acepta la H_0 , por lo que se asume que si existe normalidad en el modelo

6.2.2. Modelo de plantaciones forestales con área anual

El modelo de regresión lineal múltiple con variables rezagadas para el área de plantaciones forestales matemáticamente se representa;

$$Aref = \alpha + \beta_1 * L2IncFor + \beta_2 * L4IncFor + \epsilon \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde

Aref = Área de plantaciones forestales en hectáreas

α = Intercepto

β_1 , β_2 y β_3 = Coeficientes de regresión (pendientes)

L2IncFor = Valor rezagado o pasado para un periodo de 2 años del área de incentivos forestales (ha)

L4IncFor = Valor rezagado o pasado para un periodo de 4 años del área de incentivos forestales (ha).

El modelo resultó significativo ($p < 0.0001$), y las variables explicativas o independientes explican el 67 % de la variabilidad del modelo, el intercepto resultó significativo ($p 0.0451$) con un valor de 3242.6 ha.

En la tabla 7 se muestran los parámetros estimados (β) o coeficientes de regresión para cada variable explicativa, su probabilidad dada por la prueba T y el valor del índice de condición. El valor rezagado para un periodo de 2 años de los incentivos forestales influye positivamente en que los productores deseen aumentar el área de plantaciones forestales o que se incorporen nuevos, mientras que el área plantada hace 4 años no es un incentivo para el aumento de estas áreas, más bien provoca una reducción en el área de las plantaciones.

También se muestra que todas las variables son significativas y los valores del índice de condición son menores que 30 por lo que se puede decir que ninguna variable influye con la otra.

En la tabla 8 se muestra el resumen de los supuestos del modelo y su respectiva conclusión, como se puede ver el modelo cumple con todos los supuestos tanto con el de multicolinealidad, heterocedasticidad o igualdad de varianzas y normalidad, aceptándose la hipótesis nula en estos dos últimos.

Tabla 7. Resumen de las variables explicativas significativas en el modelo de regresión con su respectivo parámetro estimado, probabilidad y el valor del índice de condición.

Variabes explicativas	Parámetro estimado	Prob > T	Índice de condición
L2IncFor	1.38624	< 0.0001	3.58411
L4 IncFor	-0.71587	0.0100	5.95834

Tabla 8. Resumen y conclusión de los supuestos del modelo para el área de plantaciones forestales.

Supuestos del modelo	Valor	Conclusión
Multicolinealidad (Índice de cond)	< 30	No existe multicolinealidad entre las variables.
Heterocedasticidad (Chi cuadrado)	0.2114	Se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales.
Prueba de normalidad Shapiro Wilk Kolmogorov - Smirnov	0.1026 > 0.1500	Se acepta la Ho, por lo que se asume que si existe normalidad en el modelo

6.2.3. Modelo de bosque secundario con área total

El modelo de bosque secundario con series de tiempo con diferencias (nuevas áreas) probado no resultó significativo en el análisis de regresión con la prueba F. Además, ninguna de las variables probadas resultó significativa (ver resultados del análisis de regresión en el anexo de Modelo A2).

El modelo de regresión lineal múltiple con variables rezagadas para el área de bosque secundario con series de tiempo acumuladas matemáticamente se representa;

$$BS = \alpha + \beta_1 * L1Procar + \beta_2 * L1Def + \varepsilon \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde

BS = Área de bosque secundario en hectáreas

α = Intercepto

β_1 , β_2 y β_3 = Coeficientes de regresión (pendientes)

L1Procar = Producción de carne del año anterior (rezago de un año) en toneladas métricas

L1Def = Área deforestada anualmente del año anterior (rezago de un año) en hectáreas.

El modelo resultó significativo ($p < 0.0001$), y las variables explicativas o independientes explican el 86% de la variabilidad del modelo, el intercepto resultó significativo ($p < 0.0001$) con un valor de 523986 ha.

En la tabla 9 se muestran los parámetros estimados (β) o coeficientes de regresión para cada variable explicativa, su probabilidad dada por la prueba T y el valor del índice de condición. La producción de carne influye negativamente en el área, es decir entre mayor sea el la producción de carne menor área de bosque secundario habrá, ya que se necesitará cambiar el uso del suelo a pastos, esto explica como en la década de los ochenta por razones de comercio internacional la producción de carne empezó a disminuir por lo que muchos productores dejaron los pastos abandonados, iniciando un proceso de regeneración natural. La deforestación también muestra un coeficiente de regresión negativo, pues a mayor deforestación

menor área de bosque secundario. También se muestra que éstas variables son significativas y los valores del índice de condición son menores que 30 por lo que se puede decir que ninguna variable influye con la otra.

En la tabla 10 se muestra el resumen de los supuestos del modelo y su respectiva conclusión, como se puede ver el modelo cumple con todos los supuestos tanto con el de multicolinealidad, heterocedasticidad o igualdad de varianzas y normalidad, pues en estos dos últimos se acepta la hipótesis nula.

Tabla 9. Resumen de las variables explicativas significativas en el modelo de regresión con su respectivo parámetro estimado, probabilidad y el valor del índice de condición.

VARIABLES EXPLICATIVAS	Parámetro estimado	Prob > T	Índice de condición
L1Procar	-0.83396	0.0565	1,00
L1Def	-4.17627	0.0001	2.0255

Tabla 10. Resumen y conclusión de los supuestos del modelo para el área de bosque secundario.

Supuestos del modelo	Valor	Conclusión
Multicolinealidad (Índice de condición)	< 30	No existe multicolinealidad entre las variables.
Heterocedasticidad (Chi cuadrado)	0.3718	Se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales.
Prueba de normalidad Shapiro Wilk Kolmogorov - Smirnov	0.9353 > 0.1500	Se acepta la H_0 , por lo que se asume que si existe normalidad en el modelo

6.3. Tendencias de las variables explicativas y sus consecuencias sobre futuros usos del suelo

6.3.1. Tendencia de las variables explicativas para el caso del café

Las variables explicativas resultantes para este modelo son: rendimiento, precio al productor y la cantidad exportada de café. Se obtuvieron 5 curvas de los valores calculados y proyectados para el periodo de 1970-2012 para cada variable explicativa, dos series de tiempo por el método STEPAR y tres series por el método EXPO.

También se obtuvieron las gráficas de los valores residuales del modelo de área de café contra los valores predichos del área de café calculada, así como gráficas de los valores residuales del modelo de área de café contra las variables explicativas del modelo (rendimiento de café, precio nacional de café con rezago de un año y exportación de café con rezago de un año). En las gráficas A1, A2, A3 y A4 del anexo se puede observar que ninguno de las cuatro gráficas tiene un

comportamiento cíclico o tendencia definida, se puede decir que el modelo no tiene errores de especificación, tales como omisión de una variable importante, ya que en la gráfica de residuales no se observan patrones distinguibles. El gráfico A1 también muestra que no existe autocorrelación en el modelo.

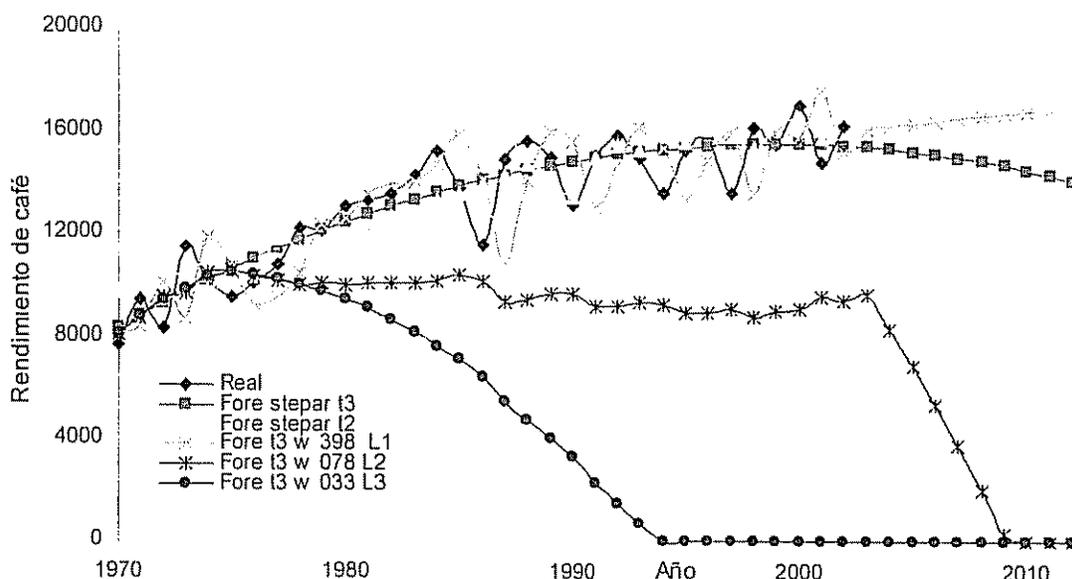
▪ Proyección del rendimiento de café

En el gráfico 9 se comparan los valores calculados y proyectados con los valores reales del rendimiento de café y su comportamiento. Los datos para la construcción del gráfico 9 y 10 se presentan en la Tabla A4 de los anexos.

Las curvas calculadas y proyectadas por el método EXPO con los pesos de 0.078 y 0.033 se eliminaron, éstas tienen una tendencia descendente contraria al valor real, se observa que el periodo de 1970 a 1977 posee valores muy similares, pero a partir de 1978 estas curvas calculadas tienden a descender hasta alcanzar valores de cero.

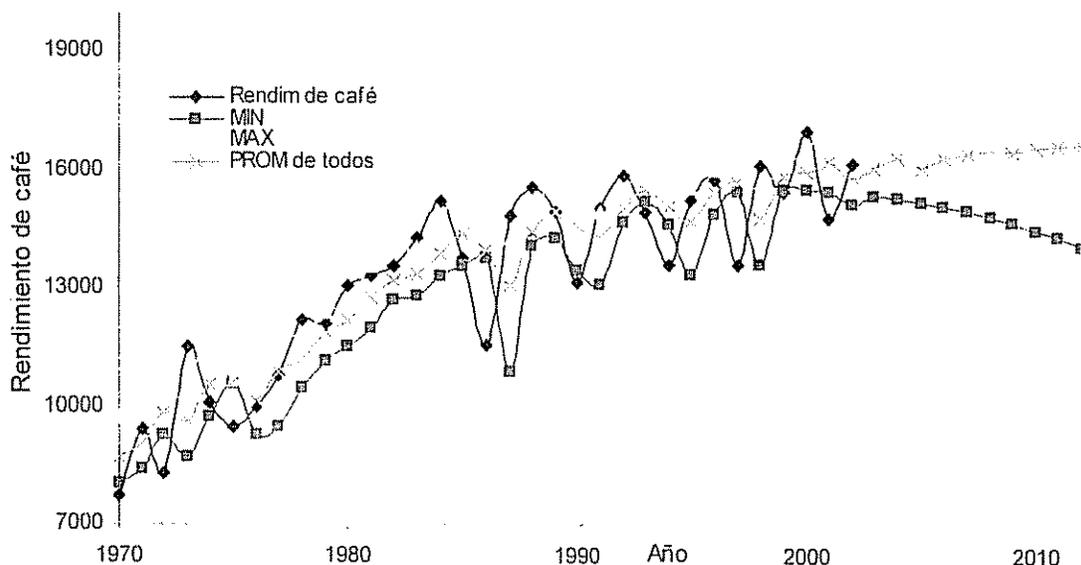
Al final quedaron las curvas proyectadas con el método STEPAP y una con el método EXPO. Esta última curva ($w = 0.398$) muestra una tendencia muy similar a los valores reales del rendimiento de café, así como la curva realizada con el método STEPAP con tendencia lineal, donde los valores proyectados a partir de 2002 muestran una tendencia a aumentar el rendimiento de café mientras que la curva con tendencia cuadrática muestra un crecimiento constante pero con una tendencia a disminuir el rendimiento en los últimos años.

Gráfico 9. Comparación de la evolución del rendimiento de café real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAP desde 1970 hasta 2012



Se obtuvieron curvas de valores, mínimos, promedios y máximos para cada variable explicativa. En el gráfico 10 se muestra la comparación de estos valores calculados con los valores reales, se observa que la curva con valores calculados promedio es muy similar a la curva con valores reales, sólo que la primera muestra picos más suavizados.

Gráfico 10. Comparación de la evolución del rendimiento de café real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012.



- Proyección del precio de café

En el gráfico 11 se comparan los valores calculados y proyectados con los valores reales del precio de café al productor y su comportamiento. Los datos para la construcción del gráfico 11 y 12 se presentan en la Tabla A5 de los anexos.

Las curvas calculadas y proyectadas del método EXPO con un peso de 0.507 y 0.623 tienen el mismo comportamiento o tendencia, por lo que se eliminó la curva con el peso 0.507. También se eliminó la curva con el peso de 0.058, ya que los valores calculados por este método se observan muy elevados comparados con los valores reales del precio de café.

Al final de esta selección quedaron tres curvas de proyección. La curva calculada y proyectada por el método EXPO muestra que la tendencia del precio de café disminuye en los próximos 10 años, mientras que las curvas proyectadas por el método STEPAR muestran una tendencia creciente. Sin embargo dentro de las dos curvas proyectadas por este método se observa una diferencia entre ambas, la curva con tendencia cuadrática presenta una tendencia creciente más notable que la curva con tendencia lineal.

A pesar que las 3 curvas seleccionadas calculadas muestran una tendencia similar a la curva con valor real del precio, es notable como las 3 presentan una tendencia diferente a partir del año 2002.

A partir de las curvas seleccionadas se obtuvieron curvas de valores mínimos, promedios y máximos para esta variable explicativa. En el gráfico 12 se muestra la comparación de estos valores calculados con los valores reales. El comportamiento de estas curvas es muy similar al gráfico de las curvas seleccionadas en el gráfico 11.

Gráfico 11 Comparación de la evolución del precio de café real en colones con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012

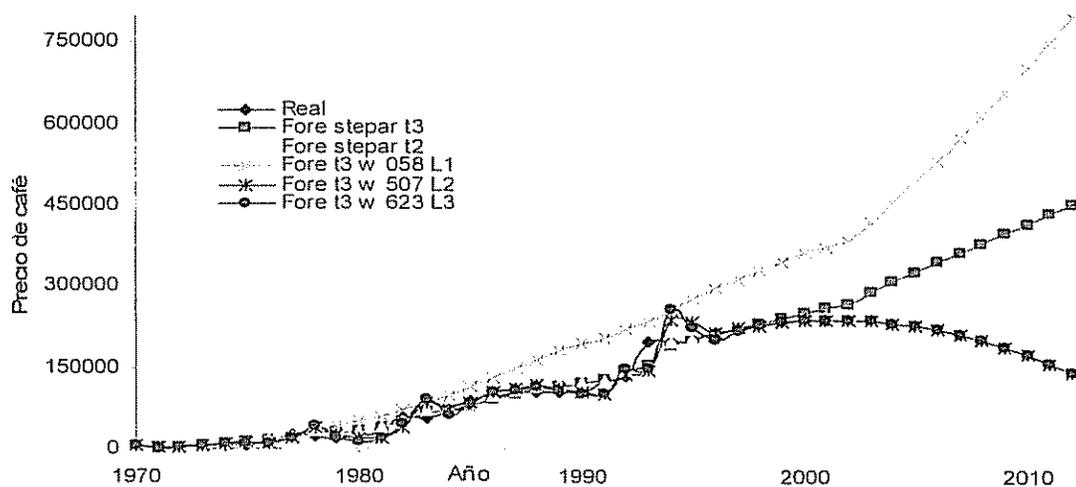
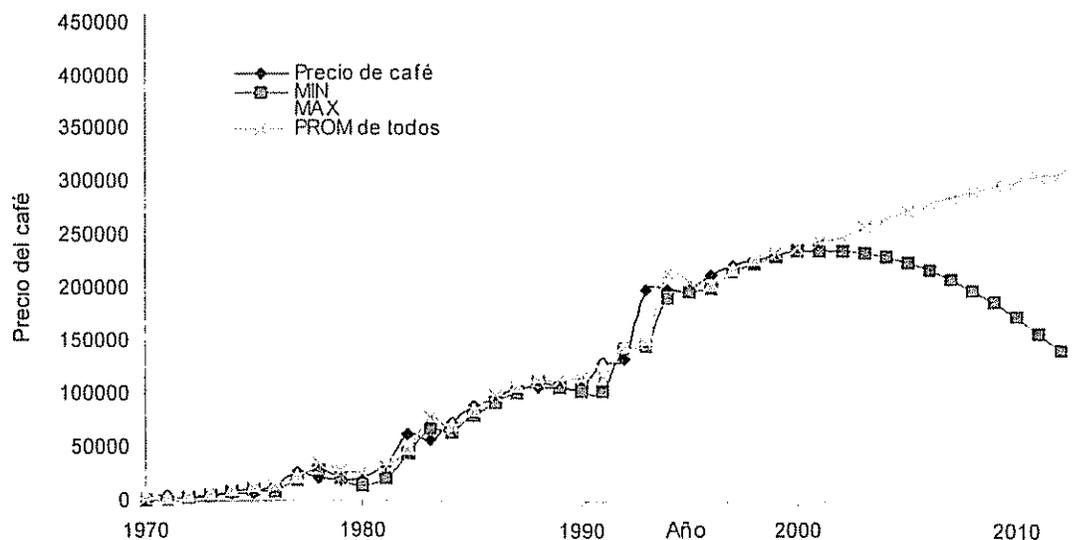


Gráfico 12. Comparación de la evolución del precio de café real en colones con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012.

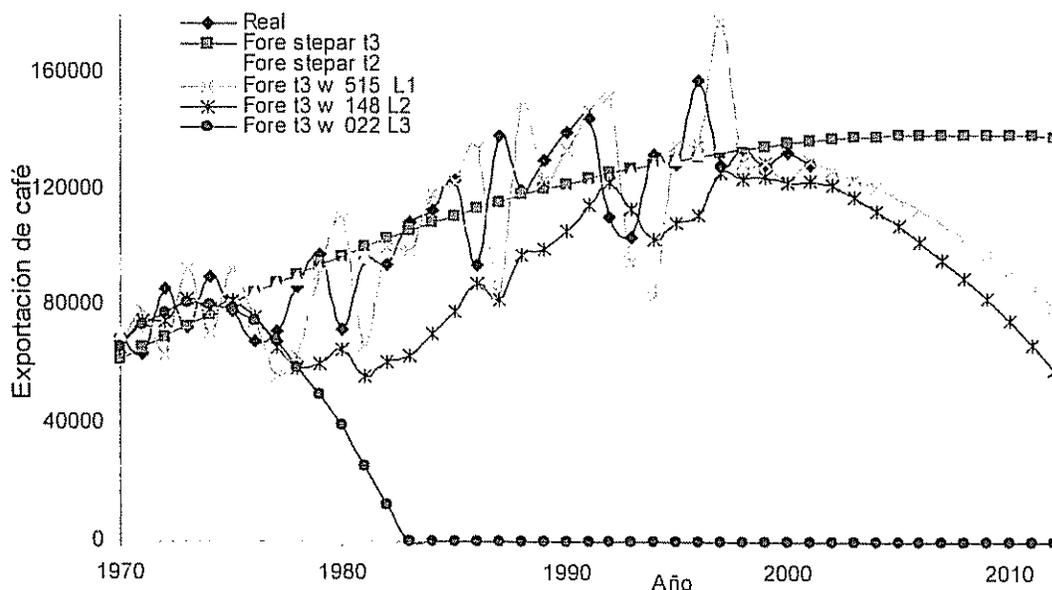


- Proyección de la exportación de café

En el gráfico 13 se compara la tendencia de los valores calculados y proyectados con los valores reales de la cantidad exportada de café anualmente. Los datos para la construcción del gráfico 13 y 14 se presentan en la Tabla A6 de los anexos.

Las curvas calculadas y proyectadas por medio del método EXPO con los pesos de 0.148 y 0.022 se eliminaron, debido a que éstas tienen una tendencia descendiente contraria al valor real, se observa en la primera como los valores calculados están por debajo de los actuales y en el caso de la segunda se aprecia que a partir de 1983 la exportación de café se hace cero. Una vez más se aprecia que los valores con pesos muy bajos muestran tendencias similares. Al final quedaron las curvas proyectadas con el método STEPAP y una con el método EXPO. Esta última curva ($w = 0.515$) muestra una tendencia muy similar a los valores reales de la exportación de café hasta el año 2002, y con respecto a la proyección de ésta se muestra que la tendencia disminuye en los próximos 10 años. Mientras que las curvas calculadas por el método STEPAP muestran una tendencia constante creciente con respecto a las otras, así como la proyección de estas se muestra creciente en los próximos 10 años. Y entre ambas se observa como la proyección de la curva con tendencia lineal presenta una tendencia creciente más notable que la curva con tendencia cuadrática.

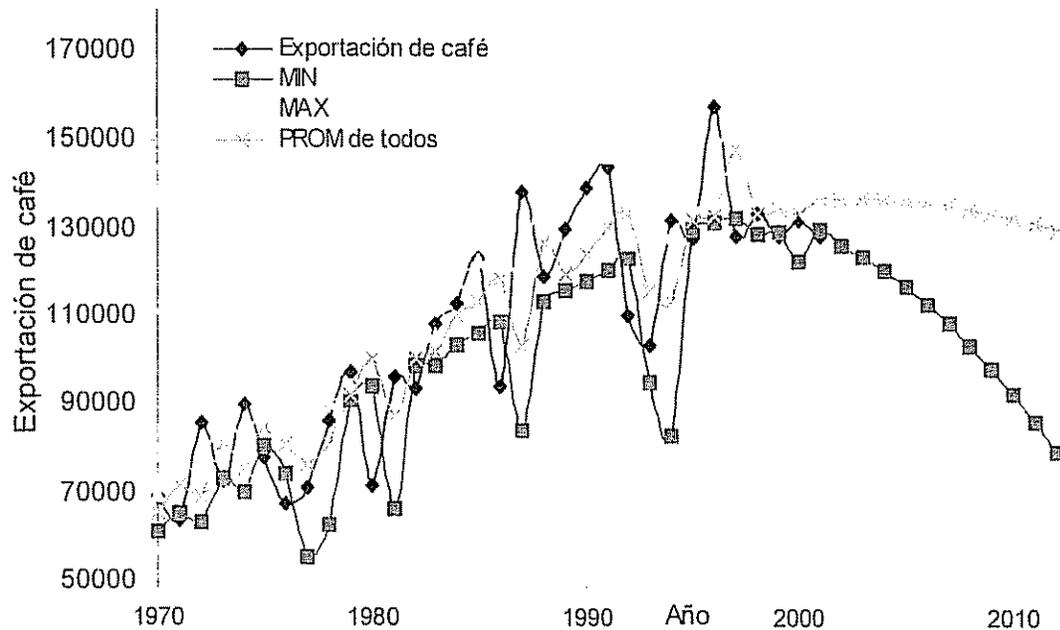
Gráfico 13. Comparación de la evolución de la exportación de café real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAP desde 1970 hasta 2012



A partir de las curvas seleccionadas se obtuvieron curvas de valores, mínimos, promedios y máximos para esta variable explicativa. En el gráfico 14 se muestra la comparación de estos valores calculados con los valores reales. El comportamiento

de estas curvas se muestra con una tendencia creciente con oscilaciones hasta el año 2002, y a partir este año las proyecciones muestran un comportamiento diferente, es decir los valores mínimos tienden a disminuir la cantidad exportada de café, mientras que los valores máximos se muestra un incremento en las exportaciones anuales de café.

Gráfico 14. Comparación de la evolución de la exportación de café real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012



6.3.2. Tendencia de las variables explicativas para el caso de las plantaciones forestales

Para el modelo de plantaciones forestales solamente resultó el área de incentivos forestales como variable explicativa, la cual resultó significativa a un nivel de rezago de dos y cuatro años. Se obtuvieron 5 curvas de los valores calculados y proyectados para los años de 1979 hasta el 2012 para esta variable explicativa; dos series de tiempo por el método STEPAN y tres series por el método EXPO.

También se obtuvieron las gráficas de los valores residuales del modelo de área de plantaciones forestales contra los valores predichos del área de plantaciones forestales calculada, así como gráficas de los valores residuales del modelo de área de plantaciones forestales contra las variables explicativas del modelo (área de incentivos forestales con rezago de dos años y cuatro años). En los gráficas A5, A6 y A7 de los anexos se puede observar que ninguno de las tres gráficas tiene un comportamiento cíclico o tendencia definida, se puede decir que el modelo no tiene errores de especificación, tales como omisión de una variable importante, ya que en la gráfica de residuales no se observan patrones distinguibles. El gráfico A5 también muestra que no existe autocorrelación en el modelo.

- Proyección del área de incentivos para plantaciones forestales

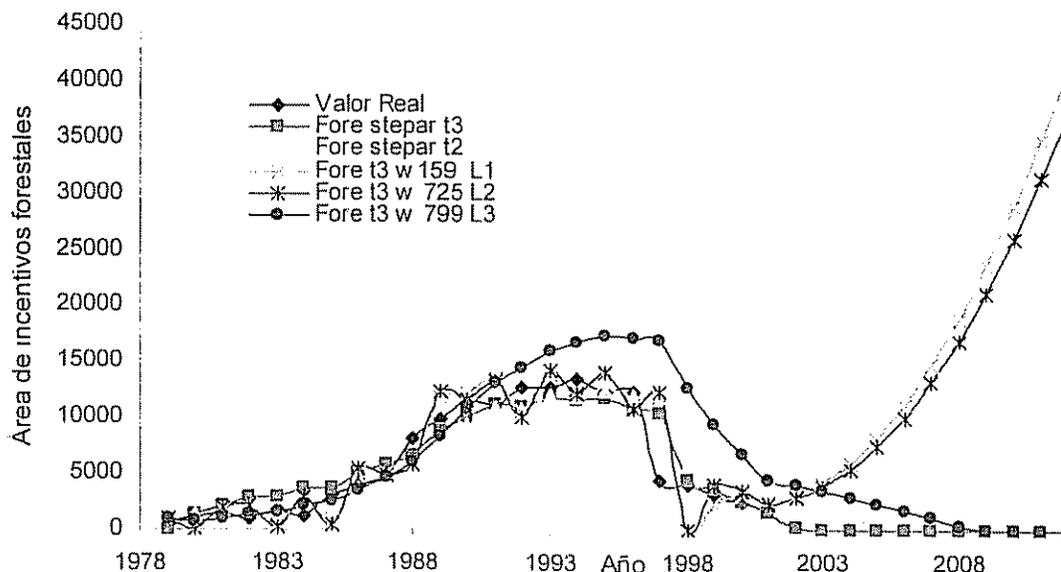
En el gráfico 15 se muestran los valores calculados y reales del área anual de incentivos forestales. Se muestra el comportamiento de cada curva calculada con respecto a los valores reales. Los datos para la construcción del gráfico 15 y 16 se presentan en la Tabla A7 de los anexos.

Las curvas calculadas y proyectadas por medio del método EXPO con los pesos de 0.159 y 0.725 se eliminaron, debido a que éstas tienen una tendencia fuertemente ascendente a partir de 2003, prediciendo que para el año 2012 el área de incentivos forestales sería alrededor de 40 mil ha por año, en tan poco tiempo este valor se considera exagerado, tomando en cuenta que para el año 2000 el área de incentivos forestales (valor real) fue de 2 440 ha.

De las curvas restantes proyectadas se observa que la curva con el método EXPO ($w = 0.799$) muestra una tendencia muy similar a los valores reales de la exportación de café hasta el año 1993, luego alcanza sus valores máximos del 93 al 97 y luego cae hasta el año 2008 en cero incentivos. Un comportamiento muy similar presenta la curva bajo el método STEPARG con tendencia cuadrática, con la diferencia que a partir de 1993 los valores están por debajo de la anterior, alcanzando el valor cero en el año 2002. Por último la curva con el método STEPARG pero con tendencia lineal es la que se comporta muy similar a los valores reales, y presenta una proyección ascendente a partir del año 2002, hasta el año 2012.

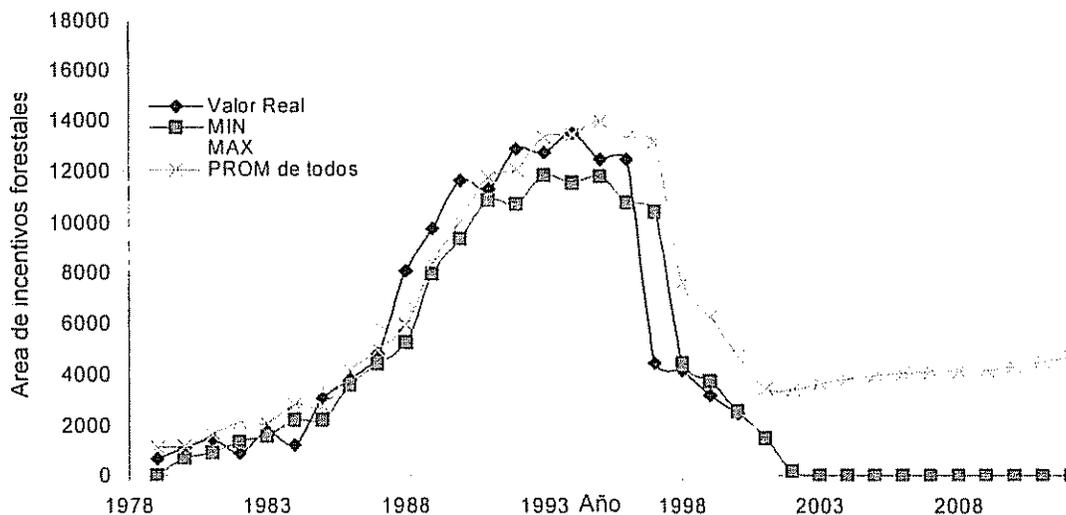
Sin embargo las 5 curvas calculadas y la real presentan hasta el año 2002 en general una tendencia similar, donde se observa un pico máximo entre los años 1993 y 1997, luego la curva empieza a caer.

Gráfico 15. Comparación de la evolución de incentivos para plantaciones forestal real con los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPARG desde 1979 hasta 2012



A partir de las curvas seleccionadas se obtuvieron curvas de valores, mínimos, promedios y máximos para esta variable explicativa. En el gráfico 16 se muestra la comparación de estos valores calculados con los valores reales. El comportamiento de estas curvas muestra que hasta 1993 el área de incentivos incrementaba hasta llegar a un pico máximo alrededor de 1996-1997 y a partir de ahí empezó a descender hasta el año 2002, a partir este año las proyecciones muestran un comportamiento diferente, es decir los valores mínimos tienden a disminuir el área incentivada de plantaciones forestales, cayendo en cero sin embargo es la curva que mas se acerca a los valores reales del área incentivada, por otro lado los valores máximos se muestra un notable incremento en las nuevas áreas proyectadas para incentivos forestales.

Gráfico 16 Comparación de la evolución de incentivos para plantaciones forestales real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1979 hasta 2012.



6.3.3. Tendencia de las variables explicativas para el caso del bosque secundario

Las variables explicativas resultantes del modelo de bosque secundario son; área deforestada anualmente y producción de carne, se obtuvieron 5 curvas de los valores calculados y proyectados para los años de 1970 hasta el 2012 para cada variable explicativa, dos series de tiempo por el método STEPAN y tres series por el método EXPO.

También se obtuvieron las gráficas de los valores residuales del modelo de área de bosque secundario contra los valores predichos del área de bosque secundario calculada, así como gráficas de los valores residuales del modelo de área de bosque secundario contra las variables explicativas del modelo (área deforestada con rezago de un año y producción de carne con rezago de un año). En los gráficas A8, A9 y A10 de los anexos se puede observar que ninguno de las tres gráficas tiene un comportamiento cíclico o tendencia definida, se puede decir que el modelo no tiene

errores de especificación, tales como omisión de una variable importante, ya que en la gráfica de residuales no se observan patrones distinguibles. El gráfico A8 también muestra que no existe autocorrelación en el modelo.

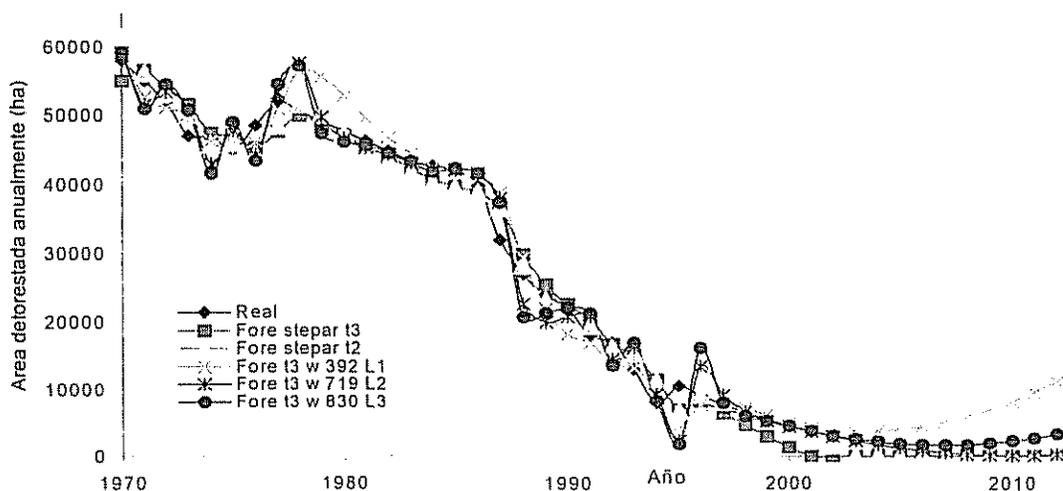
▪ Proyección del área deforestada anualmente

En el gráfico 17 se muestran los valores calculados y reales de la deforestación anual en hectáreas. Se muestra el comportamiento de cada curva calculada con respecto a los valores reales. Los datos para la construcción del gráfico 17 y 18 se presentan en la Tabla A8 de los anexos.

Las 5 curvas calculadas y proyectadas presentan valores muy similares a los valores reales de la deforestación, se observa claramente como en los años setenta había una alta tasa de deforestación anual y como empezó a disminuir a partir de los años ochenta, casi hasta llegar a cero a finales de los años noventa. La curva calculada y proyectada por el método EXPO con un peso de 0.392 se eliminó debido a que estos valores calculados se observan un poco distantes con respecto a los valores reales del área deforestada.

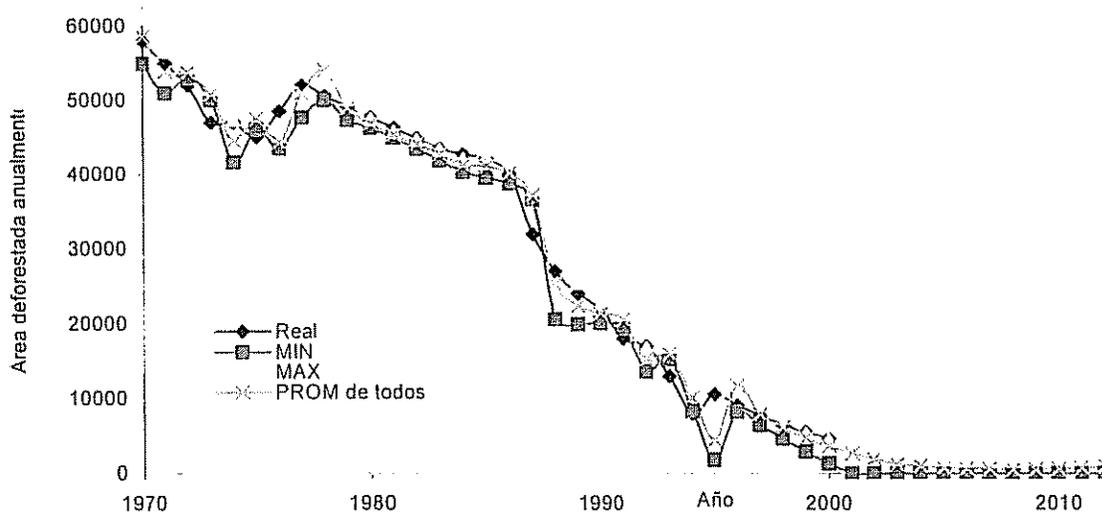
Al final de esta selección quedaron cuatro curvas de proyección. Las cuatro curvas presentan una tendencia descendente en el área deforestada, algunas curvas muestran que a partir de 2000 o 2002 la deforestación es cero en el caso de las curvas calculadas por el método STEPAR y por el método EXPO los valores proyectados se muestran muy cercanos a cero. La curva con el método EXPO con peso 0.830 a partir del año 2005 se mantiene por debajo de 800 ha deforestadas por año y para la curva con peso 0.719 oscilan los valores de deforestación alrededor de 2000 ha deforestadas por año, para los próximos 12 años.

Gráfico 17. Comparación de la evolución de la deforestación real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012



En el gráfico 18 se presentan tres nuevas curvas con los valores mínimos, promedios y máximos como resultado de las curvas anteriores. También se muestra como los valores proyectados para las 3 curvas mantienen su comportamiento descendente.

Gráfico 18. Comparación de la evolución de la deforestación real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012.



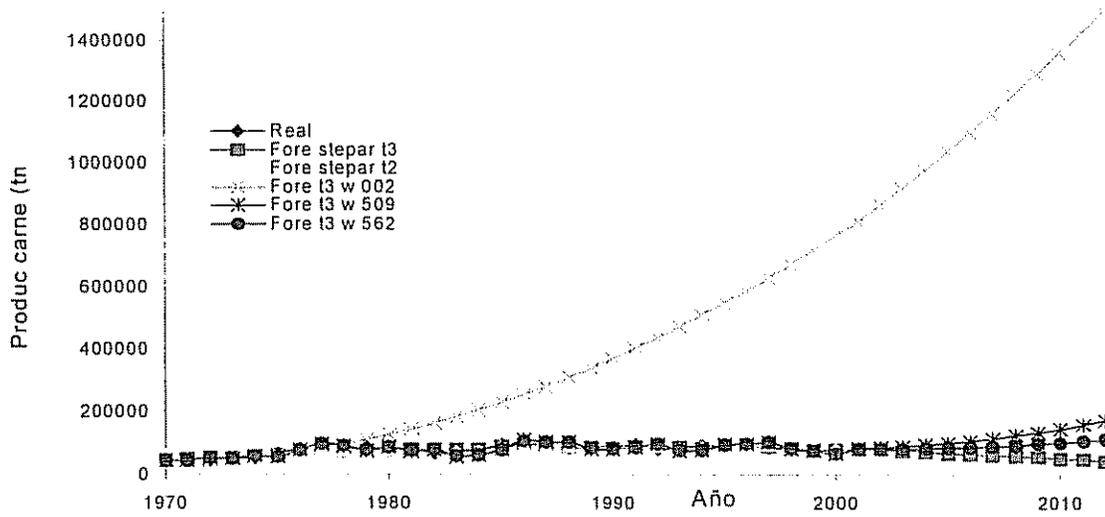
- Proyección de la producción de carne

En el gráfico 19 se muestran los valores calculados y reales de la producción de carne anual en toneladas métricas. Se muestra el comportamiento de cada curva calculada con respecto a los valores reales. Los datos para la construcción del gráfico 19 y 20 se presentan en la Tabla A9 de los anexos.

En el gráfico 19 se nota como 4 de las 5 curvas tiene un comportamiento similar a la curva con valores reales de producción de carne. Sin embargo la curva calculada y proyectada por el método EXPO con un peso de 0.002 se eliminó debido a que a partir de 1978 toma valores extremadamente elevados de producción de carne de tal manera que no permite ver claramente el comportamiento de las otras curvas.

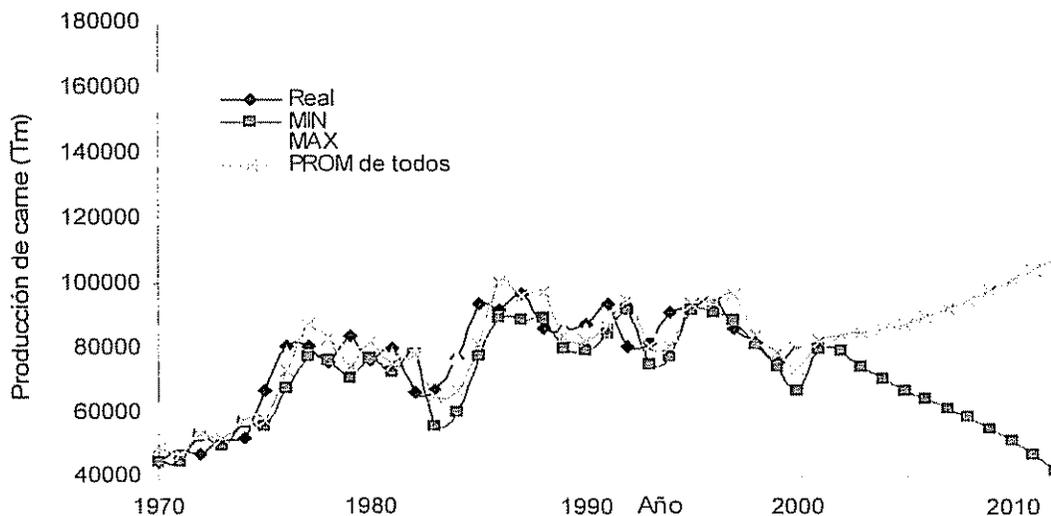
Al final de esta selección quedaron cuatro curvas de proyección. Las cuatro curvas presentan una tendencia constante en la producción de carne, hasta el año 2012. Levemente se nota que la curva con el método EXPO con peso 0.509 tiene una tendencia de proyección ascendente en la producción de carne, y la curva con el método STEPAR con tendencia cuadrática muestra una proyección descendente.

Gráfico 19. Comparación de la evolución de la producción de carne real con respecto a los valores calculados y proyectados por el método EXPO y STEPAR desde 1970 hasta 2012



En el gráfico 20 se presentan tres nuevas curvas con los valores mínimos, promedios y máximos como resultado de las curvas anteriores, en este gráfico es mas notable estas diferencias de proyección bajo los distintos métodos usados. El comportamiento de estas curvas se muestra con una tendencia constante con oscilaciones hasta el año 2002, y a partir este año las proyecciones muestran un comportamiento diferente, es decir los valores mínimos tienden a disminuir la producción de carne, mientras que los valores máximos se muestra un comportamiento ascendente en la producción de carne proyectada.

Gráfico 20. Comparación de la evolución de la producción de carne real con respecto a los valores mínimos, máximos y promedios calculados y proyectados desde 1970 hasta 2012.



6.4 Aplicación de los modelos con variables explicativas

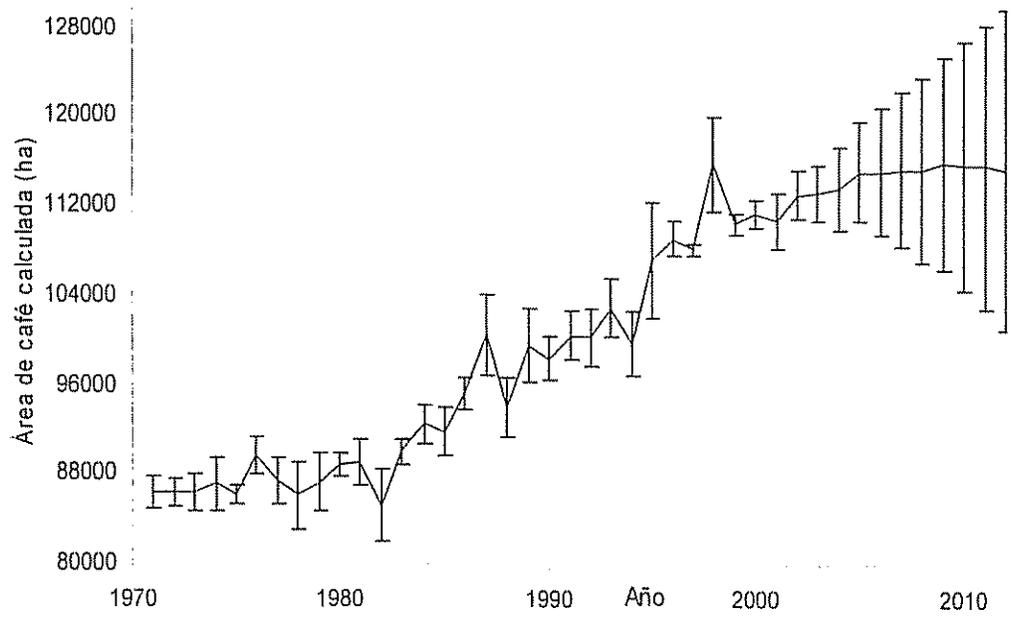
6.4.1. Modelo de café

En el gráfico 21 se puede apreciar los valores calculados y proyectados de área de café con el modelo validado con variables explicativas. Los valores expresados en la curva muestran una tendencia ascendente con oscilaciones hasta el año 2002, y la tendencia de la curva proyectada hasta el 2012 muestra un comportamiento ascendente pero más constante

Por otro lado las barras del error relacionadas con la desviación estándar muestran que el margen de confiabilidad del error es muy pequeño (el coeficiente de variación oscila entre 0 y 4 %) en el periodo 1970 – 2002 y a partir de este año los valores de la desviación estándar aumentan, se puede ver como el coeficiente de variación incrementa en los últimos 4 años. Para el año 2008 es de 8 % y para el 2012 es de 12.4 %, a medida que las proyecciones estimadas avanzan en el tiempo mayor es el margen.

Los datos para la construcción de este gráfico se presentan en la Tabla A10 de los anexos.

Gráfico 21. Evolución del área acumulada de café con el enfoque basado en variables explicativas Desde 1970 hasta 2012.



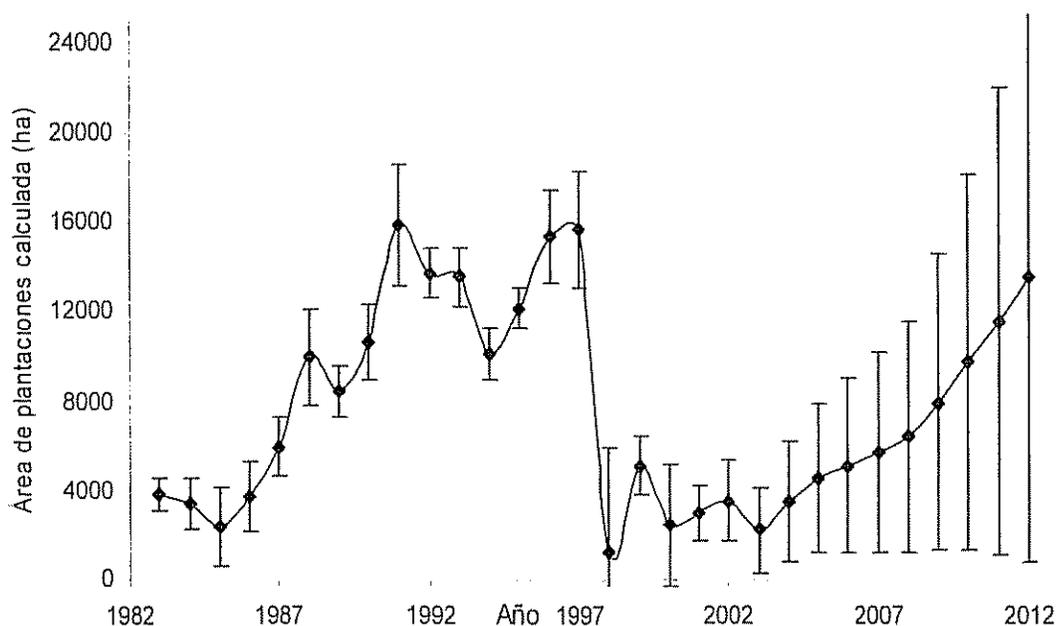
6.4.2. Modelo de plantaciones forestales

En el gráfico 22 se aprecian los valores calculados y proyectados de área de plantaciones forestales con el modelo validado con variables explicativas. Los valores expresados en la curva muestran una tendencia ascendente con oscilaciones hasta el 1996 (punto máximo), luego presentan una fuerte caída en 1997 y de este año hasta el 2002 se mantiene con valores constantes con leves oscilaciones, sin embargo la tendencia de la curva proyectada hasta el 2012 muestra un comportamiento ascendente constante, es notable como el valor del área de plantaciones forestales para el año 2012 es similar al pico máximo del área plantada en 1996.

Por otro lado las barras del error relacionadas con la desviación estándar muestran que el margen de confiabilidad del error para plantaciones forestales es exageradamente variable (el coeficiente de variación oscila entre 7 y 390 %) en el periodo 1970 – 2002, esto porque el área usada es anual y no acumulada. A partir del 2000 los valores de la desviación estándar aumentan de una manera constante, se puede ver como el coeficiente de variación incrementa en los últimos 4 años. Para el año 2008 es de 80 % y para el 2012 es de 94 %, a medida que las proyecciones estimadas avanzan en el tiempo mayor es el margen.

Los datos para la construcción de este gráfico se presentan en la Tabla A10 de los anexos.

Gráfico 22 Evolución del área acumulada de plantaciones forestales con el enfoque basado en variables explicativas. Desde 1970 hasta 2012



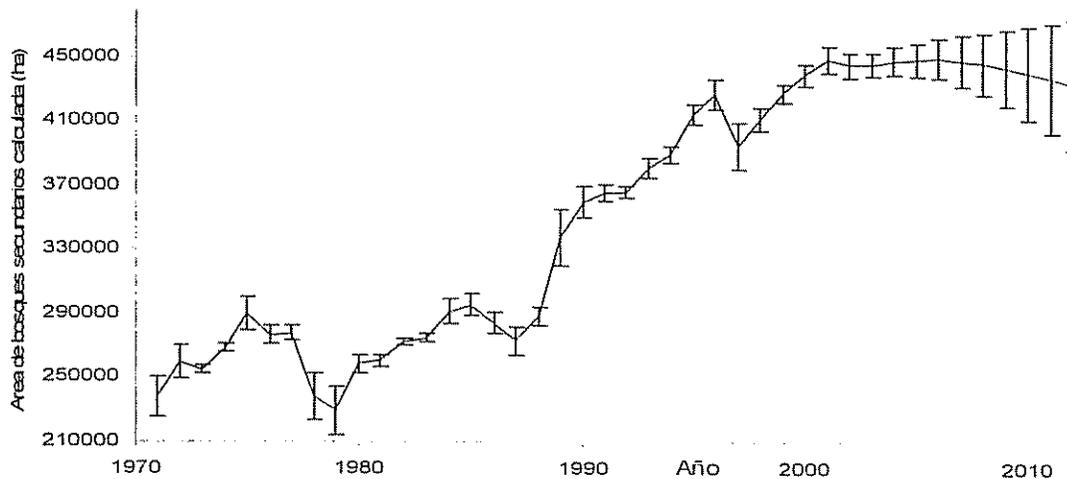
6.4.3. Modelo de Bosque secundario

En el gráfico 23 se aprecian los valores calculados y proyectados del área de bosque secundario con el modelo validado con variables explicativas, los valores de Y expresados en la curva muestran una tendencia fuertemente ascendente con oscilaciones hasta el año 2000, mientras que la tendencia de la curva proyectada hasta el 2012 muestra un comportamiento ligeramente descendente hasta el año 2012, los valores proyectados de estos últimos 12 años oscilan entre 448 726 ha en el 2001 hasta 433 200 ha en el 2012, siendo el pico máximo de este periodo el 2006 con 449 646 ha

Por otro lado las barras del error relacionadas con la desviación estándar muestran que el margen de confiabilidad del error es muy pequeño (el coeficiente de variación oscila entre 0 y 5 %) en el periodo 1970 – 2002 y a partir de este año los valores de la desviación estándar aumentan, se puede ver como el coeficiente de variación incrementa en los últimos 4 años. Para el año 2008 es de 4.4 % y para el 2012 es de 9.4 %, a medida que las proyecciones estimadas avanzan en el tiempo mayor es el margen. Sin embargo la amplitud de estas barras es mucho menor que en los otros usos de suelo

Los datos para la construcción de este gráfico se presentan en la Tabla A10 de los anexos.

Gráfico 23 Evolución del área acumulada de bosque secundario con el enfoque basado en variables explicativas. Desde 1970 hasta 2012.



6.5. Comparación de los dos enfoques modelados

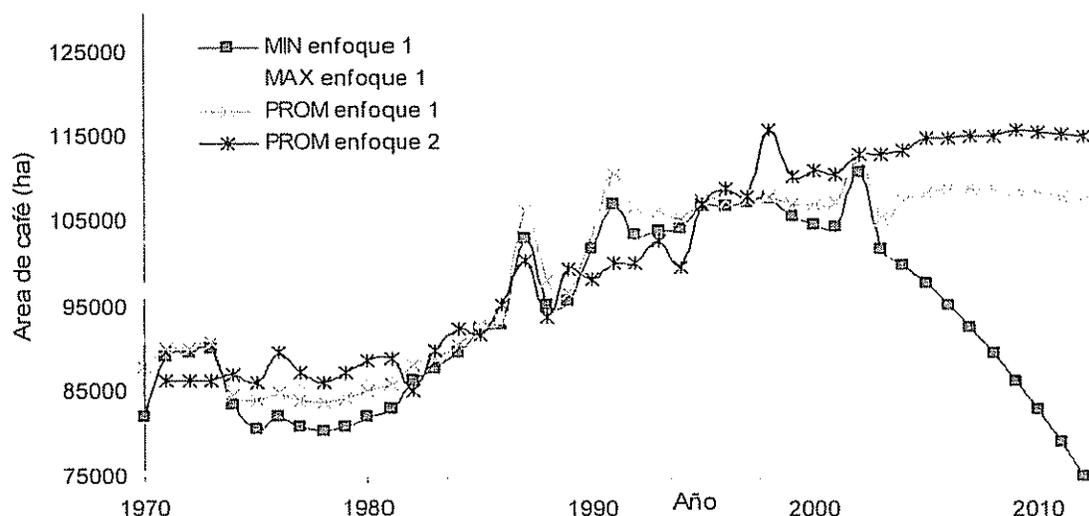
6.5.1. Caso de café

En el gráfico 24 se presentan las curvas del área de café con el enfoque de tendencia de uso del suelo con sus valores mínimos, máximos y promedios y la curva con enfoque basado en variables explicativas, aquí se puede comparar el comportamiento de las proyecciones realizadas en este estudio con los dos

enfoques. Se muestra que a partir del año 2002 las curvas promedio de los dos enfoques tienen la misma tendencia (levemente ascendente constante) para el área de café hasta el 2012, sin embargo la tendencia basada en variables explicativas presenta valores mayores al otro enfoque, pero siempre se mantiene dentro de las curvas realizadas con los valores máximos y mínimos de la curva con tendencia de uso.

En el gráfico A11 de los anexos se observa la diferencia entre el valor real y los valores calculados a través del tiempo para ambos enfoques. Este gráfico de residuales muestra que los valores están dispersos y no tienen una tendencia definida en el tiempo

Gráfico 24. Comparación de la evolución del área de café del enfoque de tendencia de uso del suelo (valores mínimos, máximos y promedios) con el enfoque basado en variables explicativas. Desde 1970 hasta 2012

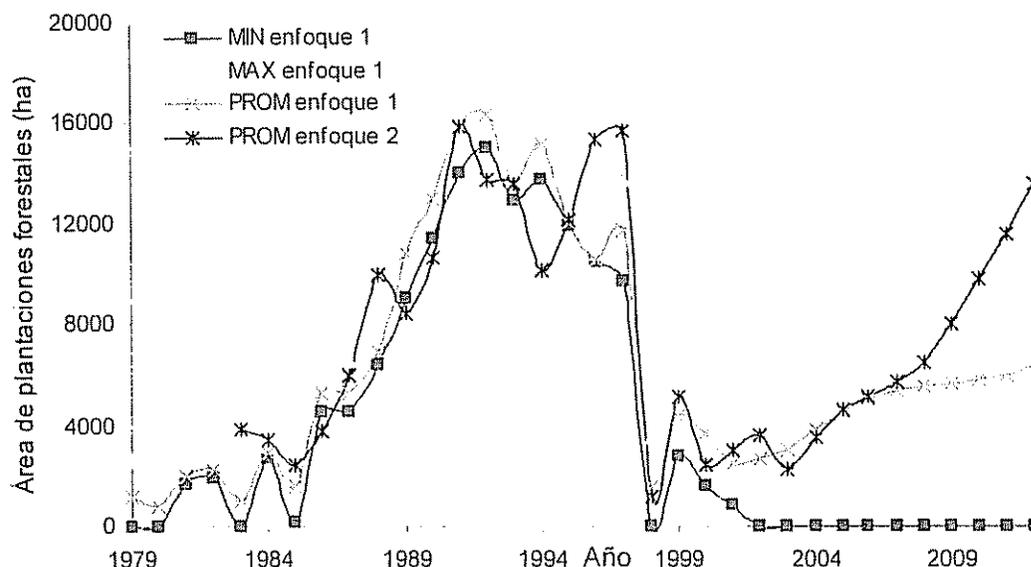


6.5.2. Caso plantaciones forestales

En el gráfico 25 se presentan las curvas del área de plantaciones forestales con el enfoque de tendencia de uso del suelo con sus valores mínimos, máximos y promedios y la curva con enfoque basado en variables explicativas, aquí se puede comparar el comportamiento de las proyecciones realizadas en este estudio con los dos enfoques. Se muestra que a partir del año 2000 hasta el 2007 las curvas promedio de los dos enfoques tienen la misma tendencia ascendente en el área de plantaciones forestales, a partir de este año las dos mantienen la tendencia ascendente, pero el modelo que usa las variables explicativas tienen a disparar el crecimiento de la curva hasta el 2012, casi hasta alcanzar los valores pico del área plantada en 1996, sin embargo siempre se mantiene dentro de las curvas realizadas con los valores máximos y mínimos de la curva con tendencia de uso.

En el gráfico A12 de los anexos se observa la diferencia entre el valor real y los valores calculados a través del tiempo para ambos enfoques. Este gráfico de residuales muestra que los valores están dispersos y no tienen una tendencia definida en el tiempo.

Gráfico 25. Comparación de la evolución del área de plantaciones forestales del enfoque de tendencia de uso del suelo (valores mínimos, máximos y promedios) con el enfoque basado en variables explicativas. Desde 1970 hasta 2012.

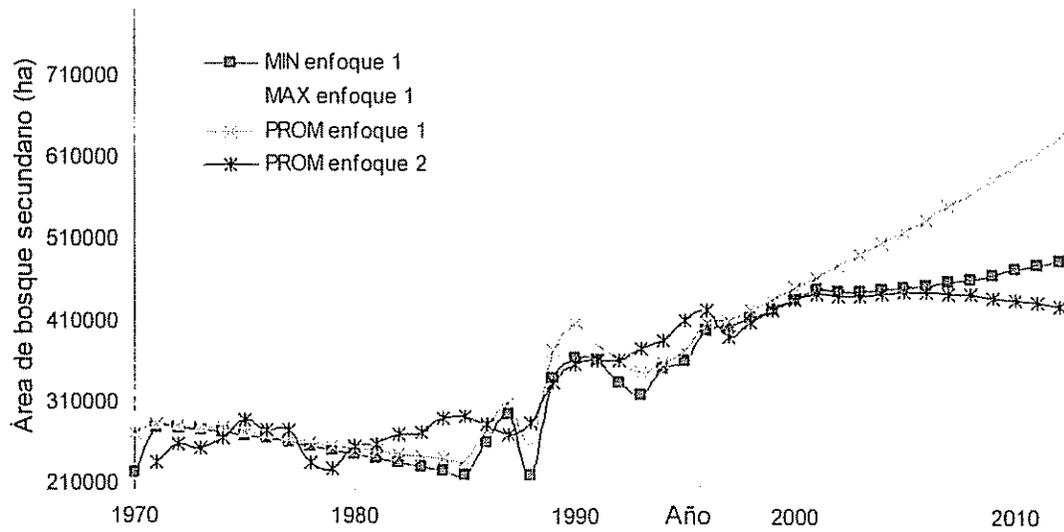


6.5.3. Caso bosque secundario

En el gráfico 26 se presentan las curvas del área de bosque secundario con el enfoque de tendencia de uso del suelo con sus valores mínimos, máximos y promedios y la curva con enfoque basado en variables explicativas, aquí se puede comparar el comportamiento de las proyecciones realizadas en este estudio con los dos enfoques. Se muestra que a partir del año 2000 todas las curvas muestran una tendencia ascendente en el área, sin embargo la curva con enfoque basado en variables explicativas se mantiene igual con la curva de valores mínimos de otro enfoque del año 2000 hasta el 2006, luego esta empieza a descender levemente hasta el 2012, manteniéndose por debajo de la curva de valores mínimos, pero manteniendo la tendencia general de la misma.

En el gráfico A13 de los anexos se observa la diferencia entre el valor real y los valores calculados a través del tiempo para ambos enfoques. Este gráfico de residuales muestra que los valores están dispersos y no tienen una tendencia definida en el tiempo.

Gráfico 26 Comparación de la evolución del área de bosque secundario del enfoque de tendencia de uso del suelo (valores mínimos, máximos y promedios) con el enfoque basado en variables explicativas Desde 1970 hasta 2012



7. Discusiones

7.1. Variables explicativas

En algunos tipos de uso del suelo, se esperaba que ciertas variables resultaran significativas en el análisis de regresión, sin embargo no todas resultaron significativas, mientras que otras se quedaron sin probar su efecto en estos modelos por falta de observaciones anuales, y otras que no se esperaban si resultaron significativas, a continuación se presenta un breve análisis de lo no esperado, de lo que se encontró y las posibles razones para los 3 tipos de uso.

- Área de café

Las variables explicativas como precio, producción, rendimiento, valores exportados de café probadas en este modelo resultaron significativas, sin embargo el rendimiento se desechó, pues mostraba problemas de multicolinealidad con la producción.

Se puede decir que es un modelo predecible, pues las variables probadas resultaron en su mayoría significativas, estos resultados podrían deberse a que el café es uno de los cultivos tradicionales más desarrollado del país y se encuentra información disponible desde hace más de 4 décadas para diferentes variables relacionadas con el cultivo. Además las series de tiempo para cada variables relacionada con café tienen una tendencia muy constante y completa, es decir no hubo que aplicar interpolación ni extrapolación para completar dichas series

- Área de plantaciones forestales

En el caso de este uso se esperaba que el precio de la madera y los incentivos forestales fueran algunas de las variables que explicaran el cambio en el área de este uso, sin embargo la variable precio no fue significativa en el modelo.

Siendo el área de incentivos forestales y la inversión de los mismos las únicas variables explicativas significativas, pero cada una explicaba el área por separado, pues al combinar ambas variables mostraban problemas de multicolinealidad, siendo lógico ya que es la misma variable solo que una medida en hectáreas y la otra en dólares.

También se probaron diferentes rezagos para cada variable, y solamente fueron significativos los rezagos para 2 y 4 años para ambas variables, al final, de los dos modelos se eligió el de las variables explicativas con el área, pues el valor p del intercepto del área es menor que el valor de p de la inversión.

Una de las razones por las cuales solo ésta variable resultó significativa se debe a las políticas que el gobierno adoptó en la década de los ochenta y noventa, donde inició un programa de incentivos forestales, motivando a las empresas a reforestar para reducir o eliminar algunos impuestos.

Siendo el programa de incentivos el motivo de reforestación y no el precio de la madera, es decir la creación de la reforestación fue parte del negocio de cada

empresa, restándole importancia económica al cultivo al no verlo como un producto rentable.

- Área de bosques secundarios

Se intentó obtener una serie de tiempo para las áreas de pastizales en el país, pero no fue posible por la ausencia de datos, se trató de medir este efecto con la producción de carne, la cual resultó significativa, así como el área deforestada.

Al principio de la década de los ochenta hay una fuerte caída en la producción de carne, ya que el gobierno de 1982-1986 en el Plan Volvamos a la Tierra eliminó los subsidios a la ganadería y granos básicos, paralelo a esto hubo una baja en los precios internacionales de las carnes, provocando la caída en el precio de la carne consecuentemente los productores ganaderos abandonaron los pastizales iniciándose un proceso de regeneración natural, favoreciendo el área de los bosques secundarios.

7.2. Ventajas y desventajas del método de proyección

Los modelos econométricos basados en series de tiempo son útiles para ver los cambios de área de uso del suelo ocurridos en un país, ya que estos se basan en observaciones pasadas, por lo tanto la probabilidad de tener una predicción acertada es mayor con estas herramientas econométricas que cuando no se usa ningún método. Por ejemplo, la FAO utiliza una línea base constante para plantaciones forestales basado en la tendencia de los dos últimos años.

Para establecer una línea base para MDL en este estudio se toman en cuenta todos los valores de plantaciones forestales, de 1979 hasta el año 2000 para proyectar dicha área (línea base), además también se modeló esta área en función de otras variables explicativas.

Se probó que estadísticamente este modelo es válido a un nivel de significancia de 5% y que cumple con todos los supuestos estadísticos; manteniendo el supuesto que la situación política y que el área del tipo de uso no experimentará cambios fundamentales podemos asumir que los patrones de cambio de uso del suelo continuarían en el futuro, si no se hace nada al respecto.

Sin embargo una de las desventajas que presenta el método se debe a los problemas técnicos con las proyecciones, existe una sensibilidad en los modelos pues los resultados de las curvas calculadas y proyectadas con los mismos datos, resultaron en algunas variables muy diferentes entre sí.

Esto varía mucho dependiendo del método de proyección usado, ya sea el método EXPO o STEPAR, no se puede decir claramente cual de los dos métodos es mejor o recomendar alguno, pues dependiendo de la variable a proyectar estos proveían curvas más consecuentes a los valores reales o más dispersas a éstos. Sin embargo, se probaron estos dos métodos para tener una gama más amplia de curvas y poder elegir las más normales.

Otro aspecto importante es la sensibilidad dentro del método, por ejemplo en el EXPO, las curvas resultantes pueden ser muy distintas dependiendo del valor del peso usado. Otro aspecto es que con los pesos cercanos a cero la tendencia de la curva tiende a dispararse de manera ascendente o descendente, en algunos casos estas curvas perdían la perspectiva con respecto a la realidad. Esto se puede explicar con la teoría de este método ya que entre más bajo sea este valor la ponderación de los valores es más débil.

Una manera de disminuir este problema de sensibilidad es utilizar distintos métodos. Para corregir la sensibilidad dentro del método y entre métodos usado, se basó en el criterio de eliminar aquellas series de tiempo con comportamiento anormal, comparado con la serie de tiempo graficadas con valores reales, obteniendo al final nuevas curvas con valores mínimos, promedios y máximos para mejores resultados.

También para disminuir esta sensibilidad se combinaron todos los valores (mínimos, máximos y promedios) de las series de tiempo de las variables explicativas para aplicar el modelo, obteniendo un valor promedio con los valores del área para cada uso del suelo.

Otra desventaja del método es relacionada con los datos, pues a mayor cantidad de observaciones la proyección de las variables puede ser más confiable, así como la secuencia de datos por año para la variable en estudio.

Un ejemplo de esto fue con el área de pastos o sistemas silvopastoriles, sistemas agroforestales y área de bosques primarios, en un inicio se pretendió modelar estos tres usos del suelo, además de los modelados. Los dos primeros pueden entrar en el diseño de proyectos MDL, una vez que se empezó a construir la base de datos, no fue posible debido a los datos encontrados no eran suficientes para proyectar una línea base.

Con respecto a bosque primario, a sabiendas que el protocolo de Kioto excluye los proyectos relacionados con la deforestación y que la Ley forestal de Costa Rica no permite el cambio de uso, intentamos correr un modelo de bosque primario para ver el comportamiento del área en el tiempo, pero no fue posible porque el país sólo a realizado tres censos forestales (1979, 1992 y 1996-1997), con estas observaciones es imposible estadísticamente interpolar o hacer predicciones para completar esta serie de tiempo.

7.3. Resultados de proyecciones

El comportamiento de las curvas en general presentan diferencias entre los datos proyectados dependiendo del modelo, pero cuando la serie de tiempo tiene una tendencia con fuertes oscilaciones, los datos proyectados muestran una mayor variación entre las curvas que cuando los datos tienen una tendencia regular ya sea ascendente o descendente.

Para comparar nuestras curvas o línea base de uso del suelo con otros estudios nos referiremos a plantaciones forestales, pues para área de café y bosque secundario no tenemos referencias de comparación.

Arias y Zamora (1999) hacen un análisis de la evolución que han tenido las plantaciones forestales desde sus inicios hasta finales de los años noventa, y dividen este comportamiento en 3 fases, en la primera fase ellos mencionan que es una etapa de experimentación y aprendizaje. La segunda fase se da entre los años 1988 y 1996, se muestra el máximo desarrollo, y la tercera fase inicia en 1997 y es una fase decadente hasta el 2000. Es muy probable que esto haya pasado por el cambio de políticas que se dan en este periodo, pues los incentivos forestales se eliminan y nace un nuevo módulo de PSA, sin embargo las proyecciones para este tipo de uso, muestran curvas muy variadas, pues la curva máxima muestra el mismo comportamiento cíclico que la curva real, pero la curva proyectada con valores mínimos muestra un caso crítico, pues a partir del 2003 el área plantada es cero.

En la actualidad según datos de la CCF hubo un aumento considerable en las áreas de plantaciones forestales, pues de 3500 ha en el 2000, en el 2002 se reportaron 7208 ha. Estos resultados de los dos últimos años muestran que si hay una tendencia creciente en el área de las plantaciones forestales y son muy similares a la curva promedio proyectada.

La línea base promedio calculada con tendencia de uso y con variables explicativa, muestran tendencias creciente hasta el 2012, mientras que la línea base calculada por el estudio del potencial de mitigación del sector forestal costarricense (FAO, 2003), presenta valores constantes para el periodo de 2003 a 2012, pues ellos calculan ésta a partir de el área plantada en los dos últimos años (3500 ha/año).

7.4. Comparación de los enfoques

Una de las hipótesis de este trabajo es probar que los modelos de uso del suelo basados en tendencias en el tiempo son menos confiables que los basados en variables explicativas, los resultados de las series de tiempo para cada enfoque no muestran diferencias. Una diferencia entre los dos enfoques es que el segundo hace uso de herramientas estadísticas y económicas, basándose en supuestos estadísticos y resultados de las pruebas de análisis de regresión, mientras que el primero es una extrapolación de la tendencia del área en el tiempo.

Debido a las pruebas realizadas en el segundo enfoque existe una probabilidad estadística a un nivel de significancia de 5 % de que se mantenga la proyección de la línea base, además se prueba que el uso del suelo está en función de otras variables que explican el cambio de uso, disminuyendo la incertidumbre de la proyección.

Basado en los criterios anteriores, el segundo enfoque es el que se debería recomendar a la hora de hacer proyecciones para estimar la línea base de uso del suelo. Además permite tomar en cuenta la opinión de los expertos sobre la evolución de precios o de políticas en el futuro, así como dar un juicio sobre la

evolución de las variables explicativas (las que parecen imposibles), más que para la evolución del uso de suelo.

Si no se cuentan con suficientes datos para construir las series de tiempo de variables independientes, se puede usar el enfoque de tendencia en el tiempo, utilizando una serie de tiempo con al menos 20 observaciones, ya que entre más observaciones se utilicen se reduce el riesgo de incertidumbre.

También es importante mencionar que las curvas promedio calculadas con ambos enfoques muestran tendencias muy similares al comportamiento de la curva con valores reales

- Área de café

Las proyecciones de las tendencias de las curvas promedio para ambos enfoques se muestran muy similares, esto puede deberse a la confiabilidad y constancia de los datos con que se construyeron las series de tiempo tanto de las variables explicativas como de la variable dependiente. Además en este tipo de uso se usaron las áreas acumuladas de café.

- Área de plantaciones

Las proyecciones promedio de los enfoques del área de plantaciones forestales en los primeros años de proyección se mantienen levemente constantes y similares hasta el 2007, luego los valores proyectados usando incentivos como variable explicativa se dispararon ascendentemente. En la actualidad se puede ver que hubo un aumento considerable en las áreas de plantaciones forestales, de 3500 ha en el 2000, a 7208 ha en el 2002 (Herrera, 2003); estos datos validan que si existe una tendencia creciente en el área de plantaciones forestales.

El primer enfoque proyecta valores más conservadores que el segundo, el segundo esta en función del área de incentivos forestales que a la vez depende del PSA, si las decisiones políticas en este período cambiaran, es muy probable que el área también cambie su tendencia, pues el modelo solo prueba lo que es evidente, las plantaciones forestales de Costa Rica se dieron en un inicio por los incentivos forestales y luego por el PSA y políticamente pareciera que así seguirá siendo.

- Área de Bosque secundario

Los resultados de los valores proyectados para bosque secundario con los dos enfoques si muestran diferencias, los valores de la curva modelada con variables explicativas son mucho mas bajos que la curva mínima del modelo de solo tendencia en el tiempo, al comparar estos valores con la tendencia de valores pasados, y el cambio de políticas nacionales es mucho más coherente que la tendencia del segundo enfoque

El segundo enfoque está en función de la deforestación, se supone que esta es muy cercana a cero, el efecto que podría producir en el cambio de área de bosque secundario no es muy significativo, por otro lado la producción de carne muestra un comportamiento muy irregular en el tiempo, con fuertes oscilaciones, esto podría

afectar en que las áreas estimadas por este enfoque muestren proyecciones poco conservadoras con respecto al primer enfoque.

De manera general se podría decir que una ventaja del segundo enfoque con respecto al primero es que éste permite calcular una desviación estándar para el área estimada a partir de la combinación de las variables explicativas, con estos valores se puede medir de cierta manera la incertidumbre del comportamiento de área proyectada, como se muestra en los resultados, los tres tipos de uso del suelo muestran incertidumbres diferentes.

Para plantaciones forestales es muy alta, tiene un coeficiente de variación de casi 100% para el año 2012, esto podría ser peligroso para un proyecto MDL, por la confiabilidad del error, para café es relativamente baja y para bosque secundario es muy baja la incertidumbre, estos resultados pueden ser a que las áreas usadas son acumuladas para estos dos últimos.

Algo que se podría concluir de las tres líneas bases para cada uso del suelo y de los dos enfoques es que las proyecciones (2002 a 2012) tienen una tendencia similar al de los primeros años de la curva calculada (años 70), es decir, con los pocos años que se intenta proyectar pareciera que la línea sigue un patrón cíclico. Sin embargo mantienen las tendencias crecientes en el área.

7.5. Implicaciones para un proyecto MDL

La línea base es un requisito para diseñar proyectos MDL. Este trabajo presenta una metodología de proyección de uso del suelo. Una de las ventajas de este método de estimación de Línea base es que los modelos para hacer las proyecciones están basadas en observaciones pasadas ya sea de la variable uso de suelo o de variables que expliquen este uso en el tiempo.

De los tres usos de suelo modelados y proyectados sólo las plantaciones forestales pueden ser parte de un diseño de proyectos MDL, según los acuerdos de Marrakesh. Sin embargo es importante conocer la tendencia de otros usos, en una situación sin proyecto. Además bosque secundario y plantaciones de café podrían considerarse en proyectos adicionales o alternativos fuera del MDL.

La FAO, presenta un estudio de los resultados de la estimación del potencial que tiene Costa Rica para contribuir a la reducción de emisiones de GEI a través de proyectos de reforestación y forestación que puedan ser formulados y ejecutados en el marco del MDL, este consistió en identificar las Tierras Kioto. Son aquellas tierras que al 01-01-1990 estaban bajo un uso No Forestal y se mantuvieron de esa forma hasta el 31-12-1999.

Del estudio se obtuvo que Costa Rica tiene un total de 1, 058,283 hectáreas (20.7% del territorio nacional) en terrenos que, de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Protocolo de Kioto y a las definiciones de reforestación y forestación que aparecen en el Acuerdo de Marruecos, califican como Tierras Kioto para acceder al MDL.

El estudio reduce el potencial biofísico para Tierras Kioto basado en aspectos socioeconómicos a 311,226 ha, posteriormente reducen este potencial en un 50% de estas áreas, quedando 61, 544 ha correspondientes a proyectos con plantaciones forestales para el periodo 2003-2012.

En cuanto a la Línea Base se estimó un área de plantaciones forestales para el mismo período de 35,000 ha, es decir 3 500 ha por año, la línea base calculada es este estudio carece de una metodología concreta, pues usan una línea base constante, basada en la tendencia de los 2 últimos años (2000 y 2001) del área de plantaciones forestales.

De lo anterior podemos resumir que el límite para proyecto nacional MDL en Tierras Kioto en plantaciones forestales en Costa Rica es de 6 154.4 ha por año (asumiendo valores constantes), y que la línea base estimada es de 3,500 hectáreas por año.

Las proyecciones de los dos enfoques modelados en este trabajo para el mismo periodo muestran una tendencia creciente, para el segundo enfoque los valores van de 2,284 ha en el 2003 a 13,598 ha en el 2012, para un total de 70,824 ha. Y el primer enfoque los valores van de 3,057 ha en el 2003 a 6,429 ha en el 2012, para un total de 51,485 ha.

Como se puede ver la línea base estimada por el estudio de la FAO es muy baja comparada con los resultados de este trabajo, si comparamos las áreas totales para el periodo de 10 años, en el caso del enfoque modelado en función de los incentivos forestales es el doble que la estimada por FAO y comparada con el enfoque en tendencia en el tiempo es casi un 50 % más de área.

Por otra parte políticamente no es una buena opción presentar valores altos de línea base a la comunidad internacional, pues estas tendencias muestran que sin proyecto las plantaciones forestales podrían cubrir estas Tierras Kioto, sin necesidad de implementar un proyecto MDL en el país.

Se debe tener presente que el área de las plantaciones de la Línea Base está en función las áreas de PSA, en otras palabras el PSA va a perjudicar al país, porque su línea base es creciente, por ejemplo en el año 2008 el área estimada por el segundo enfoque supera el área estimada por las Tierras Kioto y para el año 2012 se estima que el área estimada por este enfoque supera más de un 100% el límite de Tierras Kioto del proyecto MDL. Lo mismo se observa con el enfoque de tendencia en el tiempo, los valores no son tan altos como el otro enfoque, pero para el año 2012 el área estimada si alcanza las áreas estimadas en para Tierras Kioto.

Otro aspecto importante es que estas áreas están en función del programa de Incentivos forestales y PSA, por lo que si este programa deja de funcionar es muy probable que el área de plantaciones forestales disminuya como lo hizo a finales de la década de los años 90, incluso hasta podría alcanzar valores de cero como lo

muestra el escenarios de línea base mínimo en el enfoque de tendencia en el tiempo, una alternativa para que esto no ocurra es transformar el PSA en proyecto MDL, es decir que el programa PSA sean parte del escenario de proyecto MDL y no dentro de la línea base.

8. Conclusión

Los modelos econométricos basados en series de tiempo son útiles para ver los cambios de área de uso del suelo ocurridos en un país, y presentan una probabilidad mayor de tener una predicción acertada que cuando no se usa ningún método.

Este método de proyección presenta dos desventajas importantes: una relacionada con problemas técnicos como la sensibilidad en los modelos ya sea entre estos o dentro de cada modelo. La otra relacionada con los datos o ausencia de estos. Sin embargo la primera desventaja se puede contrarrestar utilizando distintos métodos. Así como usar diferentes pesos para obtener más curvas, así es más fácil eliminar las anormales y luego con las restantes obtener curvas con valores mínimos, promedios y máximos

Las líneas base estimadas con los dos enfoques no muestran diferencias significativas entre ambas, por lo que es difícil recomendar un enfoque, pero si nos basamos en pruebas estadísticas o económicas se puede recomendar el enfoque basado en variables explicativas.

La ventaja del segundo enfoque es que se puede tomar en cuenta la opinión de los expertos sobre el futuro de los mercados y de la prospectiva política, estos expertos pueden decidir que variables explicativas proyectadas se eliminan o se mantienen en caso que muestren comportamientos anormales de acuerdo a su conocimiento del tema. Para ellos es más apropiado dar una opinión sobre la evolución de una política que sobre un uso del suelo que depende a su vez de muchas variables. Es decir, el segundo enfoque da más información para la toma de decisiones.

La línea base con el segundo enfoque en el área de plantaciones forestales y café se mantuvo dentro de las líneas bases mínimo y promedio del enfoque con tendencia de uso, pero la línea base estimada para bosque secundario en el segundo enfoque se mantuvo por debajo de la curva mínima estimada con el enfoque de tendencia de uso. Los coeficientes de variación para bosque secundario fueron los más bajos con respecto a los otros usos.

Las plantaciones forestales son el único uso del suelo de los tres estudiados que puede ser parte de un diseño de proyectos MDL, según los acuerdos de Marrakesh. Sin embargo es importante conocer la tendencia de otros usos, en una situación sin proyecto.

Tener una línea base nacional de uso del suelo (forestal y agroforestal) proyectada hasta el año 2012 es una ventaja para diseñar proyectos de MDL.

Las proyecciones de los dos enfoques modelados en este trabajo para plantaciones forestales para el mismo periodo muestran una tendencia fuertemente ascendente con respecto a la línea base estimada por el estudio de la FAO.

Si el programa de PSA se mantiene dentro de la línea base nacional, políticamente no es una buena opción presentar estos resultados en el diseño de proyectos MDL, pues estas tendencias muestran que sin proyecto las plantaciones forestales podrían cubrir estas Tierras Kioto, sin necesidad de implementar un proyecto MDL en el país.

Como recomendación y conclusión se debe estudiar la posibilidad de transformar el PSA en proyecto MDL, es decir que el programa PSA sea parte del escenario de proyecto MDL y no dentro de la línea base

9. Bibliografía

- Andrasko, K. 1990 El calentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. *Unasylva*. 41(163): 3-14
- Arias, G y Zamora, N. 1999. Diagnóstico de las oportunidades o amenazas para el proceso de reforestación nacional que implicaría un Tratado de Libre Comercio con Chile. COSEFORMA, CCF. San José, Costa Rica. 17p.
- Bocco, G. 1998 Instrumentos para la medición del cambio de cobertura. Laboratorio de geoecología. En <http://www.oikos.unam.mx/cus/instrumentos.html>
- Bockstael, N. 1996 Modeling economics and ecology: the importance of a special perspective. *Amer. J. Agr. Econ.* 78 1168 – 1180 p.
- Brown, S. 1996. Papel actual y potencial de los bosques en el debate mundial sobre el cambio climático. *Unasylva*. 185(47) 3-10
- Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. X Congreso Forestal Mundial. Turquía. p 107-121
- CCT y CIEDES. 1998. Estudio de cobertura forestal actual (1996/1997) y de cambio de cobertura para el periodo entre 1986/1987 y 1996/1997 para Costa Rica. San José, Costa Rica. 22p.
- Chomitz, K. 1998. Baselines for Greenhouse gas reductions: problems, precedents, solutions. Draft for discussion. Development Research Group, World Bank. 61p.
- Comité Técnico de Recursos Naturales sobre Implementación Conjunta, 2000. En <http://www.semarnap.gob.mx/ssrn/conaf/ic.htm#iniciativa>
- Enders, W. 1995. Applied econometric time series. Wiley. United States. 433p.
- FAO. 2003. Costa Rica frente al cambio climático. Serie centroamericana de bosques y cambio climático. FAO y Comisión centroamericana de ambiente y desarrollo. Costa Rica. 60p.
- FCCC/CP/2001/13/Add.2. Informe De La Conferencia De Las Partes Sobre Su Séptimo Período De Sesiones, Celebrado En Marrakech Del 29 De Octubre Al 10 De Noviembre De 2001 Adición. Segunda Parte: Medidas Adoptadas Por La Conferencia De Las Partes. Volumen II. En <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop7/cop713a02s.pdf>

FCCC/SBSTA/2002/6, anexo I. Informe Del Órgano Subsidiario De Asesoramiento Científico Y Tecnológico Sobre Su 16º Período De Sesiones Celebrado En Bonn Del 5 Al 14 De Junio De 2002. En <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/sbsta/0206s.pdf>

FCCC/SBSTA/2003/6. Informe del Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico sobre su 18º período de sesiones. Celebrado En Bonn, 2 a 13 de junio de 2003. En <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/sbsta/0306s.pdf>

Greene, W. 1999. Análisis econométrico. Tercera edición. Prentice may Iberia, Madrid. 913p.

GTZ – COSEFORMA. 1996 Marco orientador para el análisis de los problemas y potencialidades de los recursos forestales de la Región Huetar Norte, Costa Rica. San Carlos. CR. Sin publicar

Gujarati, D. 1995. Econometría. Tercera edición Mc Graw-Hill. Bogotá, Colombia. 824p.

Herrera, M. (2003). El Sector Reforestador de Costa Rica: Un modelo de desarrollo sostenible. Cámara Costarricense Forestal. pp.19

IPCC, 2000. Land use, land use change, and forestry. A special Report of the IPCC. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. USA. 377p.

IPCC, 2001. Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change Eighteenth Plenary Session London, UK 24-29 September 2001 En <http://www.iisd.ca/climate/ipcc18/>

Jones, P. y Wigley, T. 1990. Tendencias hacia el calentamiento global. Investigación y ciencia. N° 169. Madrid. p 8-16.

Kaimowitz, D. 1998. Economic Models of tropical deforestation a reviw CIFOR. Bogor, Indonesia 148 p.

Ley Forestal No 7575. 1996. Publicada por Investigaciones Jurídicas, S.A. San José, Costa Rica.

Ley Forestal No 7174. 1990. Publicada por Investigaciones Jurídicas, S.A. San José, Costa Rica.

Ley Forestal No 7032. 1986. Publicada por Investigaciones Jurídicas, S.A. San José, Costa Rica.

- Ley Forestal No 4465. 1969. Publicada por Investigaciones Jurídicas, S.A. San José, Costa Rica.
- Louman B. y Villalobos R. 2001. El Desafío De La Tala Ilegal En América Latina Tropical. Revista Forestal Centroamericana Julio-Setiembre 2001. No: 35
- Maddala, G. 1996. Introducción a la econometría. Segunda edición Prentice may Hispanoamericana. México. 715p.
- Michaelowa, A, and M Dutschke, 1999 Economics and political aspects of baseline in the CDM Context in Jose Goldemberg and Walter Reids (eds): Promoting development while limiting greenhouse gas emissions: trends and baselines, New York 1999, p 115-134
- MINAE Y PNUD (2001): Políticas Forestales, Plan Nacional de Desarrollo Forestal: Integración y participación activa del sector forestal en el desarrollo humano sostenible. San José, OCIC, 1998: Actividades de Implementación Conjunta en Costa Rica.
- Miranda, M. 2001. Estudio de caso: la certificación y el manejo forestal sostenible como indicadores innovativos para el desarrollo local sostenible: Sarapiquí, Zona Norte de Costa Rica. Borrador para discusión. CINPE-SUDESCA. 70 p.
- Protocolo de Kioto 1997. Protocolo De Kyoto De La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático. En <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Proyecto Estado de la Nación. 1998. Estado de la nación en desarrollo humano sostenible N°4. San José, Costa Rica. 354 p.
- Proyecto Estado de la Nación. 2000. Estado de la nación en desarrollo humano sostenible N°7. San José, Costa Rica. 3417 p.
- Rodríguez, J. 1998. La convención del cambio climático y los mercados del carbono. San José, Costa Rica. 9 p.
- Romero, J. 1999. Proyecto: mitigación de los gases con efecto invernadero por medio de la actividad forestal en terrenos de propiedad privada en Costa Rica. Informe para el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). San José, Costa Rica. 72 p.
- SAS/ETS. 1990. User's Guide. Version 6. First Edition. Cary, NC, USA. 560p.
- Spiegel, M. 1993. Estadística. Segunda edición Mc Graw-Hill. México. 556p.

UNFCCC, 2001. The Marrakesh Accords and The Marrakesh Declaration. En http://unfccc.int/cop7/documents/accords_draft.pdf

UNFCCC , 2004. Kyoto protocol thermometer. En <http://unfccc.int/resource/kpthermo.html>

Veldkamp, A & Fresco, L. 1997. Reconstructing Land Use Drivers and their Spatial Scale Dependence for Costa Rica (1973 and 1984). Agricultural Systems, Vol. 55 N°, pp 19 – 43.

Watson, V; Cervantes, S; Castro, C; Mora, L; Solís, M; Porras, I; Cornejo, B. 1998. Abriendo espacio para una mejor actividad forestal. Estudio elaborado por Centro Científico Tropical (CCT), International Institute for Environment and Development (IIED) y JUNAFORCA, San José, Costa Rica. 114p.

10. Anexos

Tabla A1 Resumen de las curvas de tendencia del uso del área de café con sus diferentes métodos de proyección

Año	Valor Real	Valores calculados y proyectados (Forecast)					Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores promedios
		STEPAR		EXPO tendencia cuadrática					
		Tendencia cuadrática	Tendencia lineal	w 294 L1	w 133 L2	w 297 L3			
1970	95000	84824	82149	97015	97015	97015	82149	97015	87996
1971	95000	89889	89183	91652	92625	91634	89183	91634	90235
1972	95000	90130	89645	90918	90302	90936	89645	90936	90237
1973	83407	90387	90108	92070	89448	92119	90108	92119	90871
1974	83406	85330	85024	83495	84981	83451	83451	85330	84602
1975	84759	85622	85486	80795	82409	80764	80764	85622	83957
1976	81750	86555	86596	81986	81739	81999	81999	86596	85050
1977	81000	85498	85619	80837	80675	80844	80844	85619	83987
1978	81000	85498	85723	80416	80159	80423	80423	85723	83881
1979	81750	85861	86185	80840	80286	80850	80850	86185	84299
1980	81750	86586	87006	82139	81129	82154	82154	87006	85249
1981	85000	86983	87468	82978	82137	82986	82986	87468	85812
1982	85000	88893	89485	86317	84499	86340	86340	89485	88239
1983	87000	89325	89948	87699	86500	87703	87703	89948	88992
1984	90000	90695	91367	89799	88962	89796	89796	91367	90619
1985	90000	92542	93264	92994	92103	92993	92542	93264	92933
1986	111000	93027	93727	93886	94483	93859	93027	93859	93538
1987	93000	103188	104234	112206	104621	112341	103188	112341	106588
1988	93000	95429	96086	103323	104843	103244	95429	103244	98253
1989	105000	95966	96549	98122	104835	97974	95966	97974	96830
1990	115000	102040	102751	105755	109436	105714	102040	105714	103502
1991	106000	107212	107997	117337	116619	117391	107212	117391	110867
1992	106000	103662	104154	113415	118060	113351	103662	113351	107056
1993	105000	104269	104617	110499	118794	110388	104269	110388	106425
1994	108966	104434	104601	107550	118604	107422	104434	107422	105485
1995	108000	106900	106960	109284	119720	109208	106900	109208	107689
1996	108000	107115	106960	108875	119840	108810	106960	108810	107628
1997	108000	107792	107423	108400	119614	108347	107423	108347	107854
1998	106000	108487	107885	107992	119146	107951	107885	108487	108108
1999	106000	108279	107391	105928	117719	105881	105881	108279	107184
2000	106000	109008	107853	105009	116405	104977	104977	109008	107280
2001	113130	109755	108315	104711	115204	104697	104697	109755	107589
2002	100000	113799	112188	111014	116957	111081	111081	113799	112356
2003		108542	106370	102179	112821	102126	102126	108542	105679
2004		113270	109880	100234	114703	100150	100150	113270	107766
2005		116261	112021	98041	116699	97921	97921	116261	108734
2006		118471	113507	95600	118809	95441	95441	118471	109140
2007		120340	114681	92912	121031	92707	92707	120340	109243
2008		122068	115704	89976	123368	89722	89722	122068	109165
2009		123750	116656	86792	125818	86484	86484	123750	108963
2010		125428	117574	83361	128381	82993	82993	125428	108665
2011		127121	118475	79681	131057	79250	79250	127121	108282
2012		128839	119369	75754	133848	75255	75255	128839	107821

Tabla A2 Resumen de las curvas de tendencia de Área de plantaciones forestales con sus diferentes métodos de proyección

Año	Valor Real	Valores calculados y proyectados (Forecast)					Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores promedios
		STEPAR		EXPO tendencia cuadrática					
		Tendencia cuadrática	Tendencia lineal	w 242 L1	w 744 L2	w.866 L3			
1970									
1971									
1972									
1973									
1974									
1975									
1976									
1977									
1978									
1979	633	0	2627	970	970	970	0	2627	1142
1980	1074	1990	1217	601	93	0	0	1990	825
1981	1402	2655	1656	930	1767	2124	1656	2655	2051
1982	877	3188	1992	1506	2096	1968	1968	3188	2311
1983	1748	1387	2182	1536	347	0	0	2182	979
1984	1194	2898	3008	2244	2705	3213	2705	3213	2956
1985	3027	3216	2564	2241	672	129	129	3216	1645
1986	3796	5577	4580	3559	5117	5969	4580	5969	5311
1987	5039	6548	5175	4773	5004	4535	4535	6548	5316
1988	8050	8238	6660	6217	6430	6430	6430	8238	6940
1989	10757	10452	9003	9017	11614	12210	9003	12210	10820
1990	13851	12658	11408	12247	14136	13830	11408	14136	13008
1991	15784	14909	14015	15885	17355	17241	14015	17355	15880
1992	15241	15577	14994	18792	17721	17147	14994	17721	16360
1993	16080	14286	13801	19425	13823	12909	12909	14286	13705
1994	14627	13851	13750	19831	16106	16927	13750	16927	15159
1995	12990	11875	11970	18496	12503	11982	11875	12503	12083
1996	12991	10436	10811	16177	10467	10632	10436	10811	10586
1997	4446	9738	10712	14650	12812	13742	9738	13742	11751
1998	4450	2938	3511	7466	0	0	0	3511	1612
1999	3895	2816	4205	3660	3496	7177	2816	7177	4423
2000	2440	1624	3865	1492	4617	4835	1624	4835	3735
2001		2339	5427	0	1664	839	839	5427	2568
2002		1288	8333	0	1134	0	0	8333	2689
2003		0	11342	0	884	0	0	11342	3057
2004		0	14734	0	916	0	0	14734	3912
2005		0	17057	0	1229	0	0	17057	4571
2006		0	18428	0	1823	0	0	18428	5063
2007		0	18892	0	2699	0	0	18892	5398
2008		0	18403	0	3856	0	0	18403	5565
2009		0	17381	0	5294	0	0	17381	5669
2010		0	16175	0	7013	0	0	16175	5797
2011		0	15089	0	9014	0	0	15089	6026
2012		0	14419	0	11296	0	0	14419	6429

Tabla A3 Resumen de las curvas de tendencia del Área de Bosques Secundarios con sus diferentes métodos de proyección

Año	Valor Real	Valores calculados y proyectados (Forecast)					Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores promedios
		STEPAR		EXPO tendencia cuadrática					
		Tendencia cuadrática	Tendencia lineal	w. 112L1	w. 390L2	w. 631L3			
1970	288203	224375	289511	288203	288203	288203	224375	289511	272573
1971	286659	279574	281958	287064	287064	287064	279574	287064	283915
1972	285115	279838	279070	284979	284641	284349	279070	284641	281975
1973	283571	280101	276566	282251	282253	282558	276566	282558	280369
1974	278627	280365	274444	279116	280235	281238	274444	281238	279071
1975	273683	278020	270755	274613	274590	273549	270755	278020	274229
1976	268740	275675	267449	269136	268304	267473	267449	275675	269726
1977	263796	273331	264527	262994	262353	262582	262353	273331	265698
1978	258852	270986	261987	256430	256903	258017	256903	270986	261974
1979	253908	268641	259831	249630	251853	253417	251853	268641	258435
1980	248965	266296	258057	242736	247051	248700	247051	266296	255026
1981	244021	263952	256667	235852	242373	243888	242373	263952	251720
1982	239077	261607	255659	229054	237730	239013	237730	261607	248502
1983	234133	259262	255035	222396	233073	234103	233073	259262	245368
1984	229189	256918	254793	215911	228379	229175	228379	256918	242316
1985	261020	254573	254934	209619	223640	224239	223640	254934	239346
1986	292850	280445	276555	215888	261884	288913	261884	288913	276949
1987	247880	306316	298558	231949	309555	335345	298558	335345	312444
1988	356510	273260	276888	229741	265058	222694	222694	276888	259475
1989	388341	358058	343714	264824	375506	434680	343714	434680	377990
1990	375561	383930	366867	303058	435972	453726	366867	453726	410124
1991	362781	375573	364811	328449	422292	379047	364811	422292	385431
1992	350000	367215	363139	343567	388556	338406	338406	388556	364329
1993	360000	358857	361849	350529	355056	321667	321667	361849	349357
1994	370000	367979	374011	358727	354201	355899	354201	374011	363022
1995	400000	377100	386555	367870	365358	379466	365358	386555	377120
1996	404643	401567	410956	384442	403120	431103	401567	431103	411686
1997	416787	406578	421194	398227	416226	420900	406578	421194	416224
1998	429318	417345	436117	412278	429243	429144	417345	436117	427962
1999	442236	428408	451646	426602	442379	441693	428408	451646	441032
2000	455542	439768	467780	441207	455759	455218	439768	467780	454631
2001		451426	484519	456099	469457	469090	451426	484519	468623
2002		449717	510631	466872	483770	482985	449717	510631	481776
2003		449854	535483	477823	498532	497212	449854	535483	495270
2004		451408	559995	488952	513741	511769	451408	559995	509228
2005		454048	584695	500258	529399	526657	454048	584695	523700
2006		457523	609886	511742	545504	541876	457523	609886	538697
2007		461637	635741	523404	562058	557427	461637	635741	554216
2008		466243	662361	535243	579060	573308	466243	662361	570243
2009		471225	689802	547260	596510	589520	471225	689802	586764
2010		476497	718097	559456	614407	606063	476497	718097	603766
2011		481990	747266	571828	632753	622937	481990	747266	621236
2012		487653	777318	584379	651547	640142	487653	777318	639165

Tabla A4 Resumen de las curvas de tendencia del rendimiento de café con sus diferentes métodos de proyección

Año	Valor Real	Valores calculados y proyectados (Forecast)					Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores promedios
		STEPAR		EXPO tendencia cuadrática					
		Tendencia cuadrática	Tendencia lineal	w 398 L1	w 078 L2	w 033 L3			
1970	7704	8311	9718	8024	8024	8024	8024	9718	8684
1971	9405	8798	9940	8405	8712	8756	8405	9940	9048
1972	8293	9267	10163	10061	9483	9433	9267	10163	9830
1973	11476	9719	10386	8718	9676	9786	8718	10386	9608
1974	10106	10155	9753	11833	10399	10267	9753	11833	10580
1975	9468	10573	10604	10686	10515	10421	10573	10686	10621
1976	10004	10975	10260	9282	10301	10348	9282	10975	10172
1977	10763	11359	11740	9463	10095	10182	9463	11740	10854
1978	12167	11726	11286	10448	9960	9958	10448	11726	11153
1979	12058	12076	11143	12367	10048	9748	11143	12367	11862
1980	13014	12410	11499	12580	9981	9406	11499	12580	12163
1981	13306	12726	11949	13539	10042	9052	11949	13539	12738
1982	13540	13025	12674	13895	10066	8624	12674	13895	13198
1983	14254	13308	12756	14009	10053	8127	12756	14009	13357
1984	15206	13573	13290	14670	10129	7617	13290	14670	13844
1985	13778	13821	13542	15772	10345	7124	13542	15772	14378
1986	11552	14052	13769	14101	10128	6415	13769	14101	13974
1987	14839	14266	14201	10846	9366	5430	10846	14266	13104
1988	15581	14464	14733	14092	9441	4736	14092	14733	14429
1989	14952	14644	14255	15985	9637	4068	14255	15985	14961
1990	13139	14807	13437	15567	9618	3293	13437	15567	14604
1991	15048	14953	14962	13078	9147	2303	13078	14962	14331
1992	15849	15082	15405	14707	9169	1486	14707	15405	15065
1993	14945	15194	15266	16151	9355	725	15194	16151	15537
1994	13582	15289	14624	15326	9285	0	14624	15326	15080
1995	15260	15368	15563	13349	8894	0	13349	15563	14760
1996	15762	15429	16031	14895	8949	0	14895	16031	15452
1997	13595	15473	15775	15980	9109	0	15473	15980	15743
1998	16132	15500	15325	13593	8737	0	13593	15500	14806
1999	15465	15510	16165	16004	9018	0	15510	16165	15893
2000	17024	15503	16507	15849	9106	0	15503	16507	15953
2001	14805	15479	15714	17547	9552	0	15479	17547	16247
2002	16200	15438	16920	15155	9419	0	15155	16920	15838
2003		15380	16765	16084	9642	0	15380	16765	16076
2004		15305	17555	16192	8309	0	15305	17555	16351
2005		15213	16741	16296	6884	0	15213	16741	16083
2006		15104	17461	16395	5369	0	15104	17461	16320
2007		14978	17830	16490	3763	0	14978	17830	16432
2008		14835	18293	16580	2066	0	14835	18293	16569
2009		14675	18075	16666	279	0	14675	18075	16472
2010		14497	18510	16748	0	0	14497	18510	16585
2011		14303	18794	16825	0	0	14303	18794	16641
2012		14092	19119	16898	0	0	14092	19119	16703

Tabla A5 Resumen de las curvas de tendencia del precio del café con sus diferentes métodos de proyección

Año	Valor Real	Valores calculados y proyectados (Forecast)					Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores promedios
		STEPAR		EXPO tendencia cuadrática					
		Tendencia cuadrática	Tendencia lineal	w 058L1	w 507 L2	w 623 L3			
1970	5178	0	0	6605	6605	6605	0	6605	2202
1971	4561	2522	2829	3850	1928	1431	1431	2829	2261
1972	4461	4105	4766	3148	4021	4808	4105	4808	4560
1973	6144	6140	7080	4253	6318	6681	6140	7080	6634
1974	7665	9269	10696	7167	9873	9902	9269	10696	9956
1975	7723	12506	14194	11554	12110	11344	11344	14194	12681
1976	14305	15189	16624	16888	11217	9488	9488	16624	13767
1977	27557	21374	23817	24096	19910	20539	20539	23817	21910
1978	21488	31135	35879	34026	38946	41789	31135	41789	36268
1979	19092	31277	33836	42901	27124	21793	21793	33836	28969
1980	21648	33474	34474	51384	18603	14392	14392	34474	27446
1981	34198	38374	38727	60288	20888	20885	20885	38727	32662
1982	63489	48536	50277	71215	40239	44924	44924	50277	47912
1983	57251	67386	74049	86757	84474	93812	67386	93812	78416
1984	72967	68391	71882	100108	71105	64037	64037	71882	68103
1985	88872	80729	85744	115249	85248	83953	80729	85744	83475
1986	97400	93353	99743	131919	104225	105169	93353	105169	99422
1987	107000	102423	108356	148571	111065	108957	102423	108957	106579
1988	107000	112225	117753	165307	118273	116309	112225	117753	115429
1989	107000	117345	120140	180365	111927	107510	107510	120140	114998
1990	107000	122654	122527	193859	106554	103713	103713	122654	116298
1991	130000	128153	124915	205898	104099	103563	103563	128153	118877
1992	135000	145516	144094	220587	138608	147529	144094	147529	145713
1993	200000	153932	150132	234427	146168	147267	147267	153932	150443
1994	200000	192994	199974	257892	239649	258600	192994	258600	217189
1995	201000	199251	202361	278497	233324	224432	199251	224432	208682
1996	214646	206206	205479	296671	215447	201690	201690	206206	204458
1997	222905	219769	217829	314828	223305	219434	217829	219769	219011
1998	229457	230787	226246	331972	229657	228631	226246	230787	228555
1999	234302	241129	233417	347867	234403	234153	233417	241129	236233
2000	237441	250794	239341	362308	237491	237438	237438	250794	242525
2001	238873	259782	244021	375121	238898	238890	238890	259782	247564
2002		268094	247453	386154	238611	238610	238610	268094	251386
2003		290701	256105	420957	236643	236646	236646	290701	261151
2004		310140	264809	457170	232971	232980	232980	310140	269310
2005		328161	273551	494794	227596	227613	227613	328161	276442
2006		345652	282320	533828	220518	220546	220546	345652	282839
2007		363063	291110	574273	211736	211777	211777	363063	288650
2008		380624	299915	616129	201252	201307	201307	380624	293949
2009		398450	308731	659395	189063	189136	189136	398450	298772
2010		416600	317554	704072	175172	175264	175264	416600	303139
2011		435104	326383	750159	159577	159691	159691	435104	307059
2012		453978	335216	797656	142279	142416	142416	453978	310537

Tabla A6 Resumen de las curvas de tendencia de la exportación de café con sus diferentes métodos de proyección

Año	Valor Real	Valores calculados y proyectados (Forecast)					Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores promedios
		STEPAR		EXPO tendencia cuadrática					
		Tendencia cuadrática	Tendencia lineal	w 515 L1	w 148 L2	w 022 L3			
1970	69084	61443	69916	65647	65647	65647	61443	69916	65669
1971	63929	65517	72350	72350	74461	73162	65517	78245	72037
1972	86075	69481	74784	63833	74983	77530	63833	74784	69366
1973	72912	73337	77218	92666	82109	80742	73337	92666	81074
1974	90137	77083	79652	70511	78617	80570	70511	79652	75749
1975	78389	80720	82086	92717	81416	79219	80720	92717	85174
1976	67771	84247	84520	74618	76181	74880	74618	84520	81129
1977	71262	87665	86955	55896	66062	67810	55896	87665	76839
1978	86344	90974	89389	63307	59128	59111	63307	90974	81223
1979	97403	94174	91823	91123	59979	49671	91123	94174	92373
1980	71732	97264	94257	109805	64835	39307	94257	109805	100442
1981	96291	100244	96691	66531	56369	25688	66531	100244	87822
1982	93832	103116	99125	100195	60914	12320	99125	103116	100812
1983	108459	105878	101560	98958	62888	0	98958	105878	102132
1984	112999	108531	103994	118463	70690	0	103994	118463	110329
1985	123565	111074	106428	122832	78190	0	106428	122832	113445
1986	94470	113508	108862	134151	88133	0	108862	134151	118841
1987	138606	115833	111296	84591	82162	0	84591	115833	103907
1988	119561	118049	113730	149295	97439	0	113730	149295	127025
1989	130438	120155	116165	123242	99792	0	116165	123242	119854
1990	139880	122152	118599	133622	106171	0	118599	133622	124791
1991	144651	124039	121033	147252	114784	0	121033	147252	130775
1992	110623	125818	123467	152131	122865	0	123467	152131	133805
1993	103779	127486	125901	95640	113281	0	95640	127486	116343
1994	132417	129046	128335	83283	103275	0	83283	129046	113555
1995	128495	130496	130770	135526	108927	0	130496	135526	132264
1996	157816	131837	133204	135987	111339	0	131837	135987	133676
1997	128897	133069	135638	178052	126173	0	133069	178052	148919
1998	134258	134191	138072	129464	123888	0	129464	138072	133909
1999	128884	135204	140506	129747	124580	0	129747	140506	135152
2000	132700	136107	142940	123021	122673	0	123021	142940	134023
2001	128981	136902	145374	130467	123035	0	130467	145374	137581
2002		137587	147809	126818	121704	0	126818	147809	137404
2003		138162	150243	124058	117616	0	124058	150243	137488
2004		138628	152677	120871	113039	0	120871	152677	137392
2005		138985	155111	117256	107975	0	117256	155111	137118
2006		139233	157545	113215	102421	0	113215	157545	136664
2007		139371	159979	108745	96380	0	108745	159979	136032
2008		139400	162414	103849	89850	0	103849	162414	135221
2009		139320	164848	98525	82831	0	98525	164848	134231
2010		139130	167282	92773	75324	0	92773	167282	133062
2011		138831	169716	86595	67329	0	86595	169716	131714
2012		138423	172150	79989	58845	0	79989	172150	130187

Tabla A7 Resumen de las curvas de tendencia de área de incentivos con sus diferentes métodos de proyección

Año	Valor Real	Valores calculados y proyectados (Forecast)					Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores promedios
		STEPAR		EXPO tendencia cuadrática					
		Tendencia cuadrática	Tendencia lineal	w 159 L1	w.725 L2	w 799 L3			
1970									
1971									
1972									
1973									
1974									
1975									
1976									
1977									
1978									
1979	633	0	2393	970	970	970	0	2393	1121
1980	1074	1430	1370	112	38	685	685	1430	1162
1981	1402	2192	1795	1717	1921	890	890	2192	1626
1982	877	2824	2132	2102	2058	1351	1351	2824	2102
1983	1748	2810	1794	418	140	1549	1549	2810	2051
1984	1194	3718	2559	2646	2906	2204	2204	3718	2827
1985	3027	3582	2199	740	452	2466	2199	3582	2749
1986	3796	5057	3723	5003	5474	3571	3571	5057	4117
1987	4754	5740	4407	5046	4839	4725	4407	5740	4957
1988	8050	6504	5240	5820	5728	5970	5240	6504	5905
1989	9756	8845	7919	11804	12287	8365	7919	8845	8376
1990	11597	10027	9343	12073	11680	10759	9343	10759	10043
1991	11297	11252	10873	13455	13298	13172	10873	13172	11766
1992	12843	10933	10714	10571	10073	14537	10714	14537	12061
1993	12690	11850	12011	13881	14323	16034	11850	16034	13298
1994	13451	11531	11968	12381	12175	16794	11531	16794	13431
1995	12450	11798	12646	13926	14136	17473	11798	17473	13972
1996	12451	10786	11933	11172	10872	17256	10786	17256	13325
1997	4446	10421	12011	12042	12287	16908	10421	16908	13113
1998	4131	4425	5769	0	0	12668	4425	12668	7621
1999	3171	3737	5597	2241	4053	9461	3737	9461	6265
2000	2440	2548	4917	3024	3466	6734	2548	6734	4733
2001		1468	4417	2441	2362	4504	1468	4504	3463
2002		168	6055	3022	2821	3992	168	6055	3405
2003		0	7425	4196	3824	3460	0	7425	3628
2004		0	8583	5962	5371	2906	0	8583	3830
2005		0	9575	8320	7463	2331	0	9575	3969
2006		0	10435	11270	10100	1736	0	10435	4057
2007		0	11191	14813	13281	1119	0	11191	4103
2008		0	11865	18949	17006	481	0	11865	4115
2009		0	12474	23676	21276	0	0	12474	4158
2010		0	13032	28996	26091	0	0	13032	4344
2011		0	13549	34908	31450	0	0	13549	4516
2012		0	14035	41413	37353	0	0	14035	4678

Tabla A8. Resumen de las curvas de tendencia de deforestación con sus diferentes métodos de proyección

Año	Valor Real	Valores calculados y proyectados (Forecast)					Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores promedios
		STEPAR		EXPO tendencia cuadrática					
		Tendencia cuadrática	Tendencia lineal	w 392 L1	w 719 L2	w 830 L3			
1970	58000	54988	61270	59229	59229	59229	54988	61270	58679
1971	55000	56674	56097	52629	51423	51014	51014	56674	53802
1972	52000	54121	53096	51035	53417	54584	53096	54584	53805
1973	47000	51549	50096	50146	51069	50669	50096	51549	50846
1974	47000	47411	45807	46275	43015	41628	41628	47411	44465
1975	45000	47119	46049	46972	47708	48955	46049	48955	47458
1976	48500	45262	44289	46109	44317	43501	43501	45262	44342
1977	52000	47638	48471	50788	53244	54581	47638	54581	50983
1978	50558	49994	51560	56384	57600	57269	49994	57600	54106
1979	49117	48509	50141	55608	49723	47348	47348	50141	48930
1980	47675	47005	47521	52783	46547	46206	46206	47521	46820
1981	46233	45480	44900	49660	45294	45669	44900	45669	45336
1982	44792	43936	43358	46836	44280	44622	43358	44622	44049
1983	43350	42373	41817	44427	43118	43307	41817	43307	42654
1984	42675	40790	40276	42376	41812	41897	40276	41897	41194
1985	42000	39780	39502	41486	42083	42373	39502	42373	40934
1986	40000	38751	38728	40961	41594	41583	38728	41594	40164
1987	32000	36677	36627	38931	37980	37446	36627	37980	37183
1988	27000	29943	28355	29461	22665	20642	20642	29943	25401
1989	24000	25510	23085	22018	19965	21293	19965	25510	22463
1990	22000	22604	20106	18214	20758	22197	20106	22604	21416
1991	18000	20452	19438	16845	20813	21304	19438	21304	20502
1992	17000	16733	16113	13647	14576	13655	13655	16733	15269
1993	13000	15315	15354	13313	16262	17008	15315	17008	15985
1994	8000	11557	11374	10031	9387	8351	8351	11557	10167
1995	10563	7006	6830	4603	2343	1815	1815	7006	4498
1996	9083	8284	9200	7636	13503	16217	8284	16217	11801
1997	7745	6416	8179	7987	9264	7958	6416	9264	7955
1998	6550	4638	7519	7256	6600	5996	4638	7519	6188
1999	5497	2952	5350	6191	5279	5232	2952	5350	4703
2000	4587	1355	4206	5124	4424	4500	1355	4500	3621
2001		0	3174	4189	3735	3796	0	3796	2676
2002		0	1607	3862	2975	3130	0	3130	1928
2003		0	0	3728	2304	2589	0	2589	1223
2004		0	0	3787	1721	2172	0	2172	973
2005		0	0	4038	1226	1880	0	1880	776
2006		0	0	4482	820	1713	0	1713	633
2007		0	0	5119	502	1670	0	1670	543
2008		0	0	5948	272	1752	0	1752	506
2009		0	0	6970	131	1959	0	1959	523
2010		0	0	8184	78	2290	0	2290	592
2011		0	0	9592	114	2746	0	2746	715
2012		0	0	11191	238	3327	0	3327	891

Tabla A9 Resumen de las curvas de tendencia de producción de carne con sus diferentes métodos de proyección

Año	Valor Real	Valores calculados y proyectados (Forecast)					Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores promedios
		STEPAR		EXPO tendencia cuadrática					
		Tendencia cuadrática	Tendencia lineal	w 002 L1	w 509 L2	w 562 L3			
1970	44570	44419	59494	45348	45348	45348	44419	59494	48652
1971	48596	48701	50773	45809	44501	44625	44501	50773	47150
1972	46880	52620	53851	48003	52845	52261	52261	53851	52894
1973	51955	53746	53112	51885	49682	50312	49682	53746	51713
1974	51976	57992	56886	57486	57057	57039	56886	57992	57244
1975	66573	61983	57302	64766	55429	56226	55429	61983	57735
1976	80780	69777	67405	73802	77987	76649	67405	77987	72955
1977	80350	79177	77250	84580	97768	96595	77250	97768	87697
1978	75702	75995	77365	97004	88841	90974	75995	90974	83294
1979	83564	70844	74678	111037	73842	77094	70844	77094	74115
1980	76500	76940	80305	126744	85062	85283	76940	85283	81898
1981	80000	77678	76012	144026	72461	73935	72461	77678	75021
1982	66000	78148	78740	162937	78412	78012	78012	78740	78328
1983	67000	76275	69837	183362	55868	57620	55868	76275	64900
1984	76790	76922	70903	205381	60596	59777	59777	76922	67050
1985	93500	88238	77812	229037	81541	78516	77812	88238	81527
1986	92000	96648	89319	254362	109800	106253	89319	109800	100505
1987	97007	93109	88724	281236	101202	102108	88724	102108	96286
1988	86000	89638	92453	309689	102783	103952	89638	103952	97207
1989	85507	85788	85540	339615	80114	83421	80114	85788	83716
1990	87481	83998	85614	371068	79134	80075	79134	85614	82205
1991	93962	89407	87327	404052	85469	84647	84647	89407	86712
1992	80908	92565	92037	438586	98141	96338	92037	98141	94770
1993	81898	85642	83762	474543	75149	76908	75149	85642	80365
1994	91499	83175	84822	511998	77433	77319	77319	84822	80687
1995	92232	92090	91605	550992	96560	94260	91605	96560	93629
1996	96416	91265	92494	591464	97312	96749	91265	97312	94455
1997	86142	88452	95676	633425	101556	101396	88452	101556	96770
1998	82033	82313	89250	676778	81512	83879	81512	89250	84238
1999	75426	77444	86920	721552	74608	75815	74608	86920	78697
2000	82075	76899	82931	767722	66842	67364	66842	82931	73509
2001		79799	87752	815359	82390	80248	79799	87752	82547
2002		79407	91926	868814	85070	80632	79407	91926	84259
2003		74494	95103	923980	88835	81483	74494	95103	84979
2004		70814	97616	980859	93684	82804	70814	97616	86229
2005		66765	99687	1039449	99618	84593	66765	99687	87666
2006		64124	101466	1099751	106637	86850	64124	106637	89769
2007		61448	103050	1161766	114741	89576	61448	114741	92204
2008		58707	104504	1225492	123930	92771	58707	123930	94978
2009		55189	105873	1290929	134203	96434	55189	134203	97925
2010		51138	107184	1358079	145561	100565	51138	145561	101112
2011		46673	108457	1426941	158003	105165	46673	158003	104575
2012		42129	109705	1497514	171531	110234	42129	171531	108400

Tabla A10. Valor estimado del uso del suelo basado en variables explicativas y su desviación estándar.

Año	Valor promedio del Área de Café	Desviación estándar del promedio	Valor promedio del Área de P forestales	Desviación estándar del promedio	Valor promedio del Área de B secundario	Desviación estándar del promedio
1970						
1971	86420	1472			238046	12725
1972	86422	1317			259586	10486
1973	86478	1646			254983	2752
1974	87144	2379			268579	3011
1975	86218	795			290289	10466
1976	89690	1725			276978	5778
1977	87430	2071			277995	4976
1978	86140	2963			237684	14582
1979	87317	2646			229316	14794
1980	88815	1055			258430	5545
1981	89090	2053			260471	3853
1982	85204	3185			272203	2344
1983	90040	1095	3890	719	274840	2304
1984	92509	1701	3434	1181	291332	7864
1985	91847	2233	2422	1749	295610	6875
1986	95294	1454	3756	1550	284202	6444
1987	100599	3599	6003	1317	272968	9041
1988	94060	2770	9993	2121	288549	5435
1989	99629	3399	8461	1120	337367	17599
1990	98451	1907	10642	1672	360019	10257
1991	100474	2182	15872	2727	366067	5090
1992	100442	2572	13742	1105	366240	3800
1993	103005	2617	13554	1267	381216	5991
1994	99885	2848	10145	1152	389698	4886
1995	107236	5218	12161	878	414616	6418
1996	109219	1487	15358	2117	427109	9561
1997	108227	578	15706	2618	394771	14540
1998	115900	4218	1211	4728	411363	7037
1999	110479	931	5151	1325	427561	5935
2000	111355	1275	2459	2815	439103	6376
2001	110814	2475	3040	1272	448726	8279
2002	113148	2124	3604	1789	445452	7634
2003	113257	2467	2284	1951	445894	7307
2004	113636	3699	3575	2713	447911	8794
2005	115155	4449	4606	3362	448816	10481
2006	115179	5703	5168	3961	449646	12508
2007	115381	6941	5755	4520	448296	15775
2008	115394	8287	6457	5164	446296	19565
2009	115900	9548	8000	6659	443670	23827
2010	115750	11066	9787	8413	440662	28799
2011	115642	12643	11594	10467	437186	34387
2012	115411	14326	13598	12786	433200	40543

Gráfico A 1. Valores residuales del modelo de área de café contra valores predichos del área de café

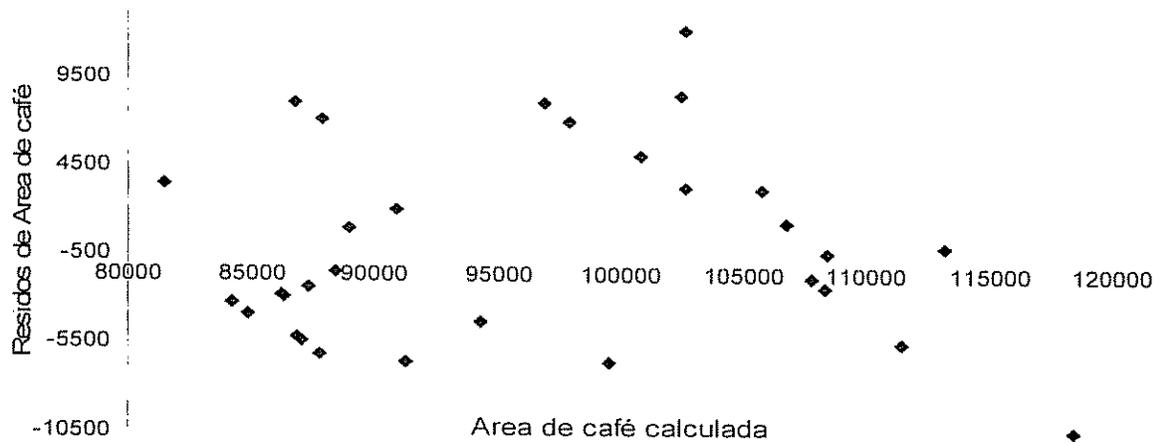


Gráfico A 2. Valores residuales del modelo de área de café contra rendimiento de café

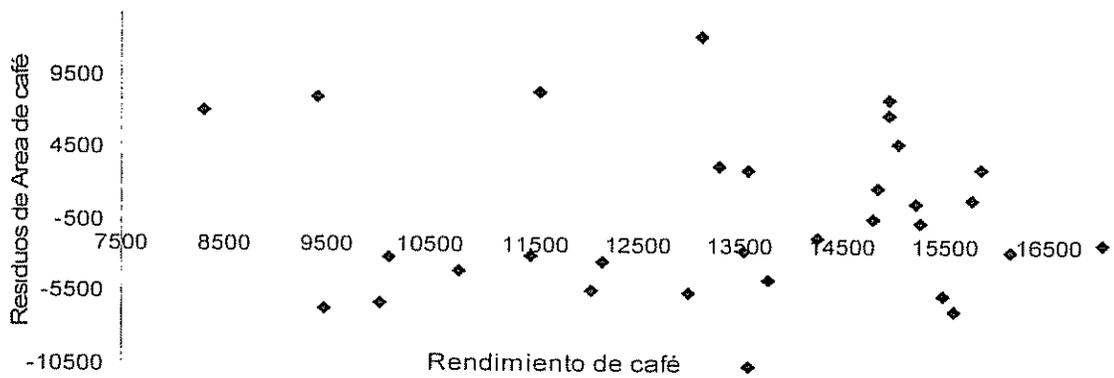


Gráfico A 3. Valores residuales del modelo de área de café contra precio nacional de café con rezago de un año

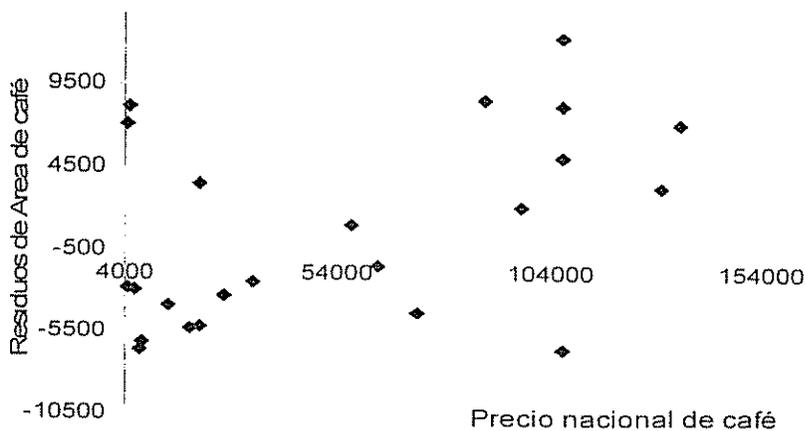


Gráfico A 4 Valores residuales del modelo de área de café contra exportación de café con rezago de un año

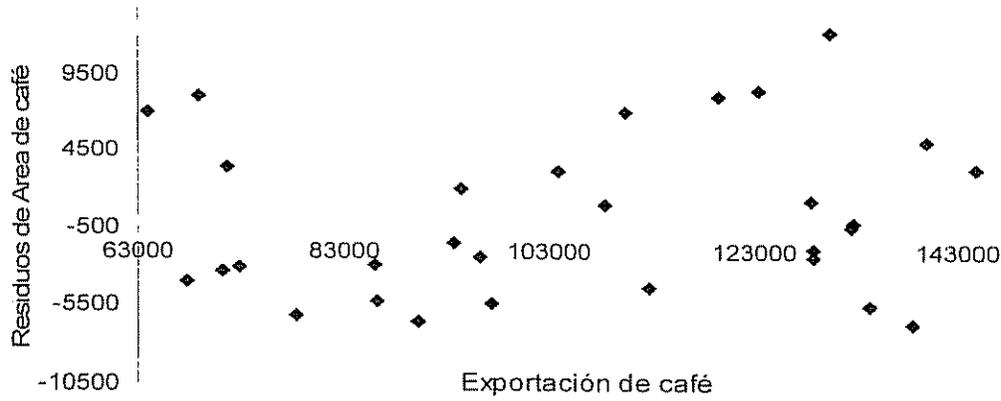


Gráfico A 5 Valores residuales del modelo de área de plantaciones forestales contra valores predichos del área de plantaciones forestales

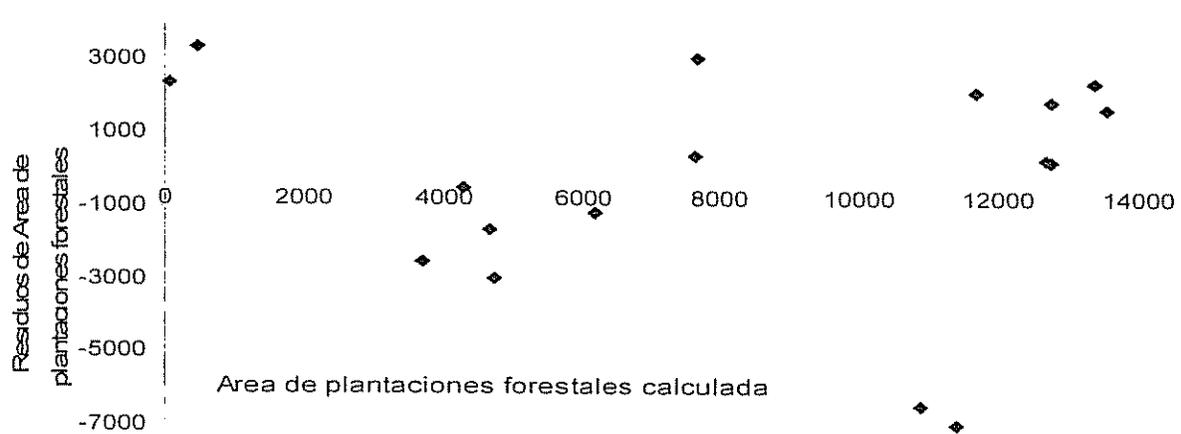


Gráfico A 6. Valores residuales del modelo de área de plantaciones forestales contra área de incentivos forestales con rezago de dos años

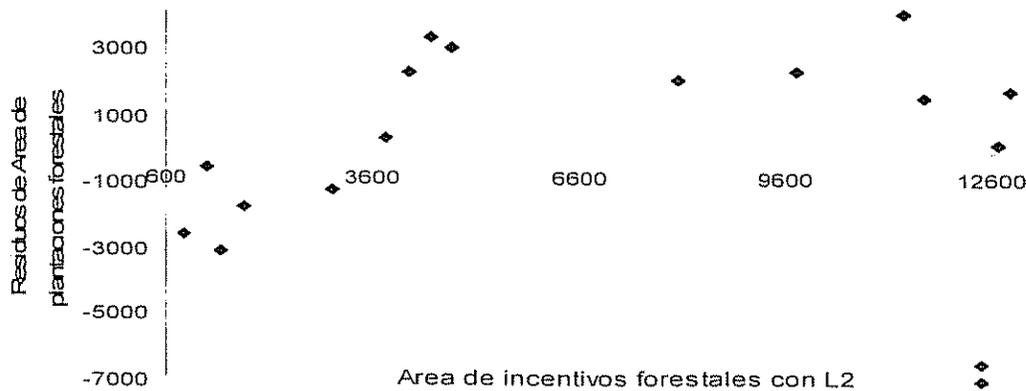


Gráfico A 7. Valores residuales del modelo de área de plantaciones forestales contra área de incentivos forestales con rezago de cuatro años

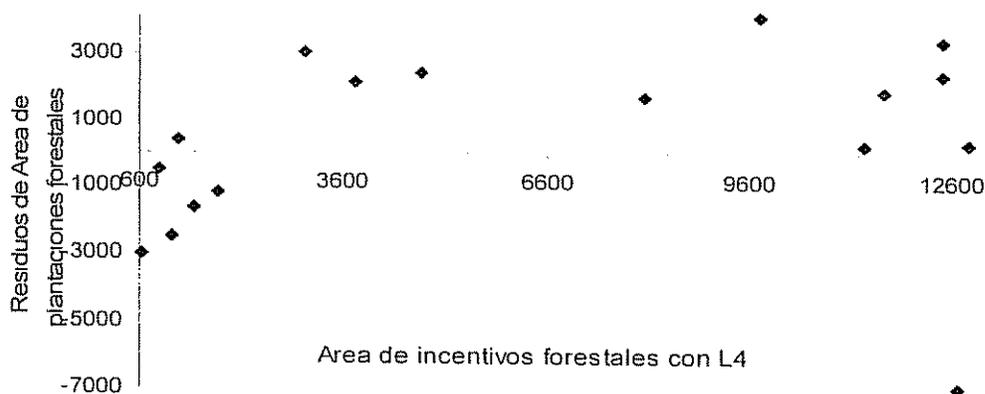


Gráfico A 8. Valores residuales del modelo de área de bosque secundario contra los valores predichos de área de bosque secundario.

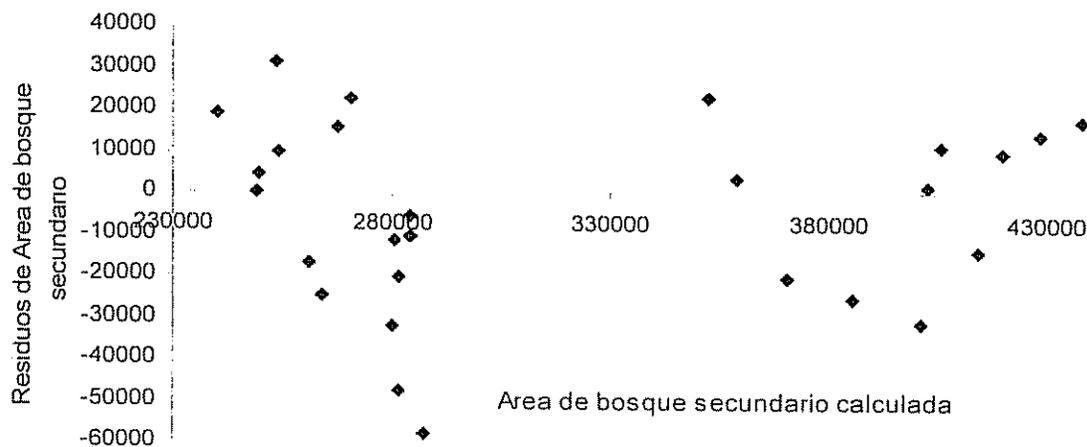


Gráfico A 9. Valores residuales del modelo de área de bosque secundario contra área deforestada con rezago de un año.

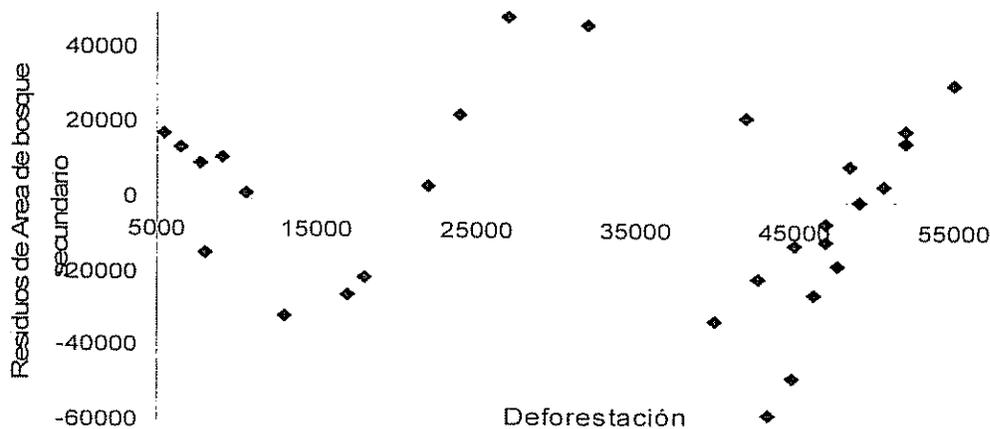


Gráfico A 10. Valores residuales del modelo de área de bosque secundario contra producción de carne con rezago de un año

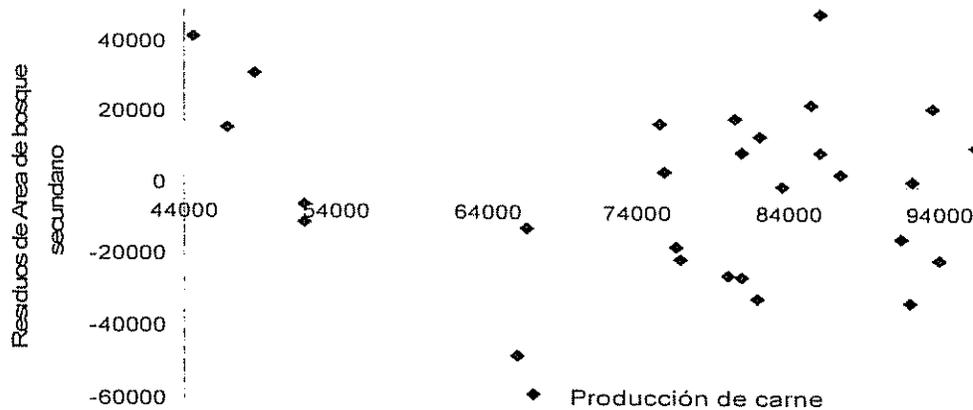


Gráfico A 11. Valores residuales de área de café del enfoque 1 y del enfoque 2 Desde 1970 hasta 2002.

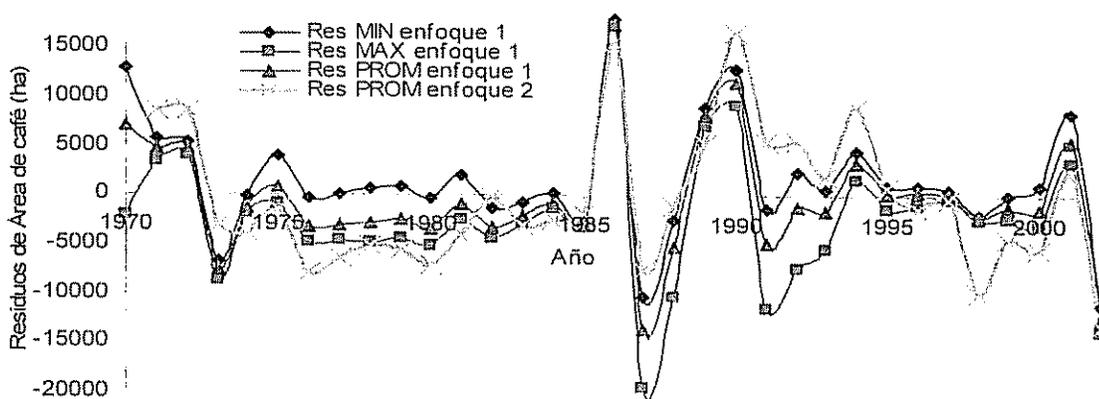


Gráfico A 12. Valores residuales de área de plantaciones forestales del enfoque 1 y del enfoque 2. Desde 1979 hasta 2000.

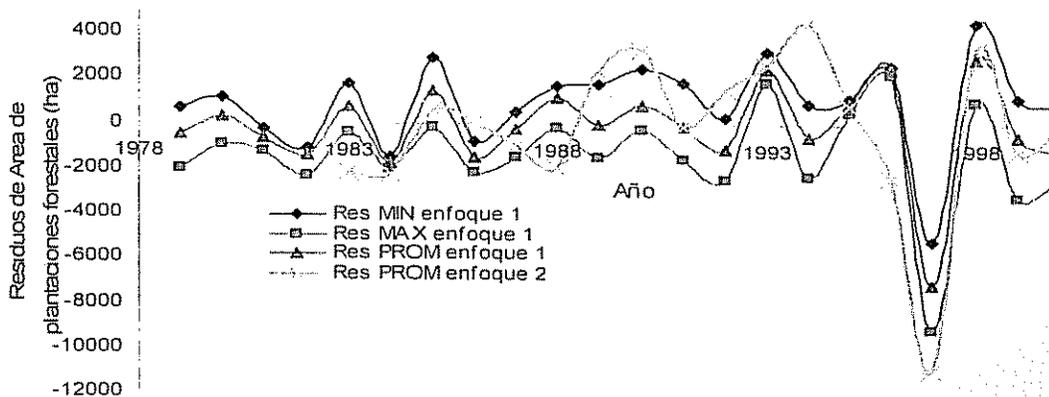
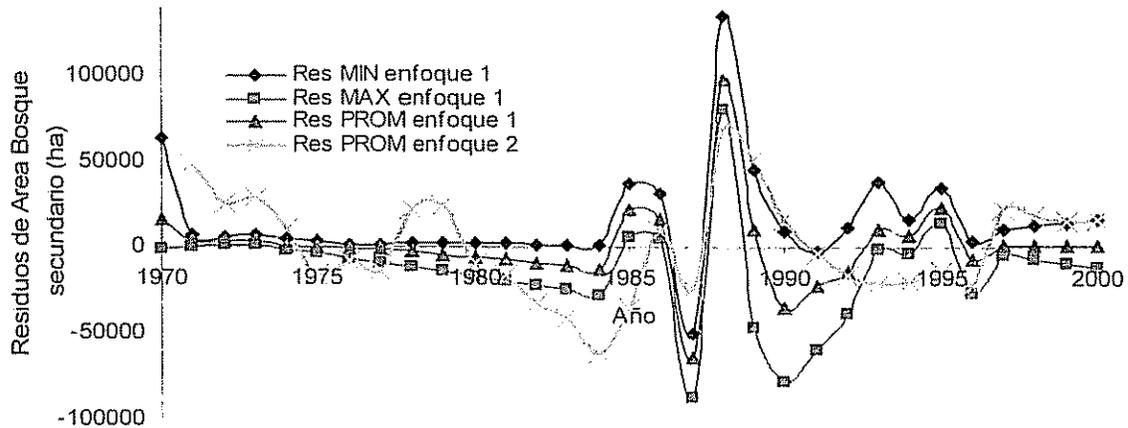


Gráfico A 13. Valores residuales de área de bosque secundario del enfoque 1 y del enfoque 2. Desde 1970 hasta 2000



Modelo A 1. Resultados de Análisis de varianza del área de café con nuevas áreas.

Dependent Variable: DifAcaf

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	683071693	227690564	9.96	0.0002
Error	26	594527126	22866428		
Corrected Total	29	1277598819			

Root MSE	4781.88539	R-Square	0.5347
Dependent Mean	366.66667	Adj R-Sq	0.4810
Coeff Var	1304.15056		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	2199.57557	1041.65335	2.11	0.0445
DifRendcaf	1	-3.04116	0.59974	-5.07	< .0001
DifPrecacaf	1	-0.09948	0.06601	-1.51	0.1439
Difexpcacaf	1	-0.05562	0.04761	-1.17	0.2533

Modelo A 2. Resultados de Análisis de varianza del área de bosque secundario con nuevas áreas.

Dependent Variable: DifABS

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	5106547375	1276636844	2.30	0.0878
Error	24	13305923422	554413476		
Corrected Total	28	18412470797			

Root MSE	23546	R-Square	0.2773
Dependent Mean	5823.55172	Adj R-Sq	0.1569
Coeff Var	404.32347		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	-29288	18366	-1.59	0.1239
L1DifDef	1	-4.67992	1.91518	-2.44	0.0223
L1DifProcar	1	0.41574	0.57782	0.72	0.4788
Difpob	1	0.38717	0.28538	1.36	0.1875
Difprecaf	1	0.12963	0.33595	0.39	0.7030