



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Postgrados**

**Integración de Programación Lineal y Sig en la asignación de un óptimo uso  
del suelo encaminado a evitar los procesos de deforestación.**

**Estudio de caso desarrollado para el Cantón Saraguro  
Provincia de Loja-Ecuador**

**Baltazar Calvas Espinosa**

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

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

Quito, Mayo 2013

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Postgrados**

**HOJA DE APROBACION DE TESIS**

**Integración de Programación Lineal y Sig en la asignación de un óptimo uso del suelo encaminado a evitar los procesos de deforestación.**

**Estudio de caso desarrollado para el Cantón Saraguro  
Provincia de Loja-Ecuador**

**Baltazar Heriberto Calvas Espinosa**

Richard Resl, Ph.Dc.

**Director de Tesis**

.....

Richard Resl, Ph.Dc.

**Director de la Maestría en Sistemas  
de Información Geográfica**

.....

Stella de la Torre, Ph.D.

**Decana del Colegio de Ciencias  
Biológicas y Ambientales**

.....

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.

**Decano del Colegio de Posgrados**

.....

Quito, Mayo 2013

© DERECHOS DE AUTOR

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

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

Firma:

-----

Nombre: BALTAZAR HERIBERTO CALVAS ESPINOSA

C. I.: 1103698856

Fecha: Quito 17 de Mayo del 2013

## **Dedicatoria**

A mi hija Sofía y a mi esposa Luz María que son la fuente de inspiración y  
esfuerzo para cumplir mis metas.

## **Agradecimientos**

A los ingenieros Galo Guamán y Geovanny Segarra compañeros con cuales decidimos tomar el reto de nuestros estudios de educación superior con quienes hemos compartido palmo a palmo muchas aventuras personales y profesionales sobre todo en fraternidad.

A Richard Resl por su paciencia y alto nivel académico profesional que ha sabido guiar el presente trabajo hasta su proceso de culminación.

Al grupo de UNIGIS de la USFQ, quienes formando nuevos profesionales dentro de la rama de GIS han sabido fomentar un acervo de conocimientos nuevos para aportar al desarrollo de nuestro país Ecuador.

## Resumen

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en sus campos de aplicación hoy en día presenta una muy amplia variedad, pero por otro lado las herramientas de modelamiento fundamentadas en las matemáticas principalmente y que se han desarrollado de manera separada a los SIG; resultan también en herramientas que se pueden integrar a los SIG o servirse de ellos; de tal manera que facilitan tanto la descripción de fenómenos como la simulación de los mismos que acontecen en la naturaleza. Por este motivo ha hecho que los modelamientos con aplicaciones a los SIG sean herramientas de primera mano al momento de tomar decisiones.

El presente trabajo, se basa en un modelamiento de uso del suelo, utilizando a la Programación Lineal (LP), como herramienta matemática, cuyo resultado final nos presenta la optimización de usos del suelo en el cantón Saraguro, perteneciente a la Provincia de Loja, cuya población indígena en su mayoría, realiza actividades de agricultura, la cual ha desfavorecido de sobremanera a la conservación de los remanentes de bosques nativos. Por tal razón la optimización de su uso basado en la producción del sitio nos plantea un nuevo recurso para ayudar a mitigar los procesos de deforestación. Usando a los SIG como herramientas en la toma de decisiones al mismo tiempo que nos ayudan a plantear un modelo de cambio de uso del suelo optimizado. El modelo propuesto es el desarrollo y aplicación de un nuevo concepto en la simulación de los usos del suelo basados en un agente de –cambios- como la autonomía en la toma de decisiones. Las características biofísicas del suelo y su economía potencial (basado en la información de macro-económico) se consideran dentro de las condiciones existentes en el área de estudio, para llegar a la opción del uso de la tierra. El uso de la

plataforma SIG y sus herramientas ha ayudado en el análisis de la microinformación (espacial) dentro de los límites de la disponible a nivel macro (no espaciales) de datos. Además este trabajo se inspira en el modulo de UNIGIS estudiado referente a “Análisis espacial avanzado/Modelamiento y simulación “del programa UNIGIS, y además hace una aplicación en los modelos conceptuales económicas de Thomas Knoke y las experiencia aplicadas de modelamientos Emilio Chuvieco.

## Abstract

Geographical Information Systems (GIS) have had a wide range of applications in the science world as it's modeling tools are based on mathematical concepts. Although they have not been developed jointly with the GIS, we can combine both these methods to develop descriptive characteristics and simulate any natural event. Thus the modeling techniques with the GIS application have become an important tool for decision makers, especially in the environmental sciences.

This research supports a model of land use using Linear Programming (LP) as a mathematical methodology. The final results give us an optimized land use model for Saraguro County. This County belongs to the Loja Province and most of their inhabitants are indigenous people whom are dedicated to farm activities specially cattle ranching. Cattle ranching has a big influence in the deforestation process of native forest. Our optimizations show a new combination of land use based on agriculture production that can help to avoid deforestation. Mainly using the GIS, the optimizations were also based on change agent- biophysical characteristics of land use and potential economy from local production. This work was inspired from the UNIGIS module, "Spatial analysis/modeling and simulation". Furthermore it includes applications from conceptual modeling from Thomas Knoke & Baltazar Calvas (Technische Universität München) and experiences applied in modeling from Emilio Chuvieco (Spain).

## Tabla de contenido

I.	Introducción .....	15
II.	Revisión de la literatura ó Marco Teórico.....	19
	2.1. La deforestación en el mundo y América Latina .....	19
	2.2. La deforestación en el Ecuador y sus causas.....	21
	2.3. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	22
	2.4. Quienes usan los SIG Learn more. ....	23
	2.4.1.Negocios .....	24
	2.4.2.Gobiernos .....	25
	2.4.3.Recursos Naturales.....	28
	2.4.4.SERVICIOS PÚBLICOS .....	28
	2.5. TELEDETECCIÓN .....	29
	2.5.1.ELEMENTOS EN EL PROCESO DE TELDETECCION.....	31
	2.5.2.LOS SIG Y LA TELDETECCION .....	33
	2.5.3.Aplicaciones de la Teledetección.....	34
	2.6. Optimización .....	35
	2.6.1.Una comparación entre patrones óptimos y la realidad.....	36
	2.6.2.Precauciones en optimización.....	37

2.7. Programación lineal.....	37
2.7.1. Aplicaciones geográficas de la programación lineal .....	38
2.7.2. La modelación.....	39
2.7.3. Diferencia entre modelación y simulación:.....	39
2.7.4. La integración de los modelos y el GIS.....	40
2.7.5. La integración de la programación lineal y los GIS .....	40
3. Metodología .....	42
3.1. Área de estudio.....	42
3.2. Definición de la problemática y sus actores.....	44
3.3. Determinación de la unidad física de evaluación e información cartográfica necesaria	
44	
3.5. Estimación de los parámetros del modelo.....	47
3.5.1. Restricciones de carácter ecológico.....	47
3.5.2. Restricciones de carácter económico.....	47
3.5.3. Restricciones de carácter técnico .....	48
4. Resultados y Análisis.....	50
4.1. Área de estudio.....	50
4.2. Cobertura vegetal.....	51
4.3. Cobertura vegetal reclasificada.....	52
4.4. Productividad y datos económicos.....	54

4.5. El riesgo inherente a la productividad y fluctuación de precios de mercado.....	55
4.6. Optimización de usos del suelo.....	56
5. Conclusiones .....	58
6. Referencias.....	62

## Lista de Tablas

Tabla1: Superficie forestal en América Latina y el Caribe y su tasa de variación .....	20
Tabla2: Deforestación del Ecuador continental durante el periodo 1991- 2000.....	21
Tabla 3. Lista de imágenes Aster que cubren al cantón Saraguro .....	45
Tabla 4. Clasificación de la cobertura vegetal y uso actual del suelo en el cantón Saraguro y porcentaje del territorio que ocupan. Fuente: NCI-2010.....	51
Tabla 5. Reclasificación de la cobertura vegetal del cantón Saraguro .....	53
Tabla 6. Datos históricos de producción de productos en el cantón Saraguro.....	54

## **Lista de figuras (gráficos, tablas, mapas, diagramas, ilustraciones)**

Gráfico 1. Porcentaje de transformación de la superficie forestal debido al proceso de cambio 1990-2000.....	19
Gráfico 2. Representación gráfica de la aplicación de los SIG .....	23
Gráfico 3: Aplicación de los SIG en defensa militar .....	25
Gráfico 4. Aplicación de los SIG al ambiente y conservación.....	27
Gráfico 5: Aplicación de los SIG a los recursos naturales .....	28
Gráfico 6. Esquema de la aplicación de los sensores remotos .....	30
Gráfico 7. Gráfica del proceso en teledetección.....	31
Gráfico 8. Espectro de color en la teledetección .....	32
Gráfico 9: esquema de trabajo planteado.....	42
Gráfico 10: Cantón Saraguro su cobertura vegetal .....	52
Gráfico 11. Provincia de Loja y ubicación del área de trabajo .....	50
Gráfico 12: reclasificación de la cobertura vegetal, cantón Saraguro .....	53

## **I. Introducción**

Sudamérica es el hogar del 22% de los bosques del mundo, los cuales presentan una diversidad biológica única. Entre todos los países Ecuador es considerado aquel con la mayor biodiversidad. Sin embargo, prácticas insostenibles en el manejo de los usos del suelo y de los bosques amenazan esa diversidad. Hoy día Ecuador tiene la tasa de deforestación más alta de todo el continente sudamericano (Mosandl, 2008). Para combatir esas altas pérdidas de bosques, se necesita una reforestación bien amplia; sin embargo, aún no ha ocurrido en Ecuador de manera consistente. Los esfuerzos de reforestación ya realizados no compensan las altas tasas de pérdida en la cobertura boscosa. 90% (3500 hectáreas) de la reforestación anual en Ecuador se realiza en la región de los Andes (FAO 2006, 2011).

La creciente destrucción de los bosques en las áreas de los trópicos, impulsadas principalmente por la decisión de transformación de uso del suelo hacia pastizales es uno de los principales problemas en Latinoamérica y por ende Ecuador. Alrededor de un 35% del total del área del Ecuador corresponde a Bosques Naturales, poseedores una alta Biodiversidad ecosistémica, hasta el momento muy bien documentada; pero controversialmente enfrenta una tasa de deforestación a un ritmo de 137 mil hectáreas por año, se atribuye como una de las principales causas para la conversión de bosques tropicales a la ganadería extensiva en permanente expansión, menguando toda posibilidad de conservación de este recursos en el tiempo.(Bendix 2009, Mosandl 2008)

Cuantificar la información detallada anteriormente ha sido posible solamente con el uso de sensores remotos que como herramientas facilitan la toma de decisiones no solo en los ámbitos ambientales sino en cualquier otro ámbito. Pero el uso de estas herramientas inicialmente se había visto limitado a campos descriptivos, pero en la actualidad el modelamiento de fenómenos es una aplicación que indiscutiblemente ha traído muchos avances tanto en métodos de prevención y mitigación.

Se utilizó para el presente trabajo información generada a través de Sensores Remotos, un sistema de información geográfica y una aplicación de Programación Lineal. Aquí nosotros lo integramos con la finalidad de garantizar la seguridad ecológica del área de interés. Bajo el esquema optimizado nosotros obtuvimos una estructura de matorral, bosque equivalentes en proporciones equivalentes a ...% .....%. Y ....% respectivamente. También esto hace notar la necesidad de tener información de cobertura de uso del suelo de confianza para comprender los cambios que se producen en él, así como también series de tiempo y datos para concebir el fenómeno a través del tiempo.

Los procesos de investigación acerca de la cobertura vegetal del Sur del país principalmente para las provincias de Loja y Zamora Chinchipe se han venido dando bajo diferentes enfoques e intereses, generando una gran cantidad de información bajo diferentes tópicos dentro del marco de la investigación, sin embargo no se ha conseguido integrar esta información en una plataforma conjunta que posibilite acciones sinérgicas entre los grupos de interés, principalmente los de desarrollo y educativos.

Muchos de los procesos de investigación a nivel local, especialmente aquellos pioneros han tenido que sortear múltiples inconvenientes de carácter técnico, pero el principal obstáculo ha

sido franquear el acceso a la información primaria para la generación de insumos en procesos de teledetección, en muchos de los casos por los altos costos, y en otros el reducido número de profesionales capacitados para el manejo de las herramientas de la teledetección, lo que siempre generó un alto costo en los proyectos.

El presente trabajo se enfoca en el uso de herramientas de programación lineal, para poder podría maximizar el uso en las actuales áreas y minimizar la explotación del bosque y creando de esta manera un modelo optimizado de uso del suelo. Usando de esta manera a los SIG como fuente de insumos para la información cartográfica y obtención de información primaria, el modelo desarrollado en un contexto educacional.

Una estructura optimizada del uso del suelo y cobertura vegetal fue generada como una estrategia para la conservación de la cobertura forestal, proveyendo al mismo tiempo óptimas condiciones económicas para los agricultores quienes habitan el cantón Saraguro en la provincia de Loja, cantón cuya economía se basa principalmente en la agricultura y ganadería.

***Objetivo General:***

Contribuir al uso sustentable del suelo en el Cantón Saraguro de la provincia de Loja mediante la aplicación de la Programación Lineal y los Sistemas de Información geográfica. Para desarrollar un modelo de uso del suelo que ayude a evitar los procesos de deforestación

***Objetivos específicos:***

- Usara la plataforma SIG com base para el desarrollo de un análisis geo espacial en la planificación del uso del suelo.

- Proponer un modelo Optimizado del uso actual del suelo para el cantón Saraguro utilizando programación lineal
- Planificación de nuevos usos del suelo, y actividades enfocadas en la reducción de la deforestación en cantón Saraguro
- Aplicación de la teoría del Portafolio de Markowitz al uso del suelo optimizado, para el cantón Saraguro en la provincia de Loja

***Hypothesis:***

Para el desarrollo de la presente investigación se ha planteado las siguientes hipótesis:

**AO:** Un modelo optimizado de uso del suelo ayuda a disminuir el riesgo inherente a la fluctuación de la productividad y por ello disminuir el avance de la frontera agrícola, para con ello ayudar a evitar la deforestación

**A1:** Un modelo optimizado de uso del suelo un modelo optimizado de uso del suelo, no ayuda a disminuir la presión sobre los bosques de Saraguro en la provincia de Loja.

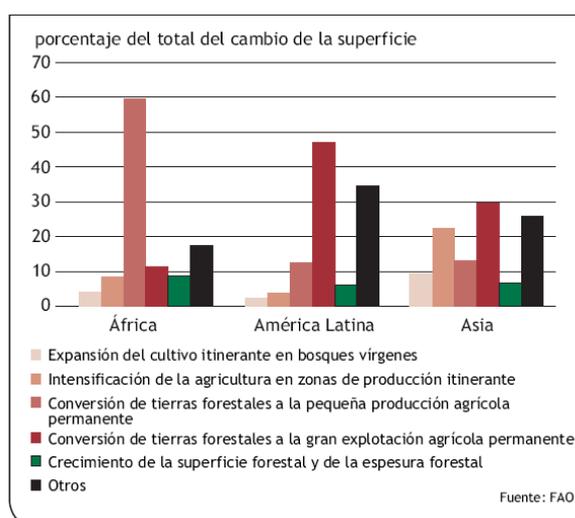
**A2:** La distribución del uso del suelo optimizada para el Cantón Saraguro, recomienda que el mayor uso del suelo se deba dar a la ganadería para la producción de leche, en más de un 50%

## II. Revisión de la literatura ó Marco Teórico

### 2.1. *La deforestación en el mundo y América Latina*

De manera conceptual la deforestación está enfocada como al proceso de reducción progresiva o desaparición de las masas forestales (Diccionario de la lengua española, 2003), pero esto va más allá cuando entran las relaciones hombre naturaleza y los criterios sobre la deforestación están enfocados a las causas de las misma como por ejemplo el uso de la madera o el cambio de uso de bosques para el uso de agricultura y ganadería (Starr, et al 2004). La FAO calculó para el periodo de 1980 a 1990, que la deforestación del bosque tropical a nivel mundial se produjo a razón 15,5 millones de hectáreas por año, y de 13,7 millones de hectáreas entre 1990 a1995 (FAO, 1990) Los países donde actualmente se concentran las más altas tasas de forestación son Indonesia, Brasil, Colombia y México (Starr, et al 2004).

Gráfico 1. Porcentaje de transformación de la superficie forestal debido al proceso de cambio 1990-2000.



Fuente: FAO (2008)

Para el período entre 2000 y 2005 la deforestación en América Latina causó pérdidas de 4,7 millones de hectáreas forestales por año cifra que equivale a alrededor de un tercio de la deforestación mundial, con una pérdida de 0,5 por ciento anual del total de bosques de la Región (INDAP, 2009). Un tercio de la deforestación a nivel mundial se da en América Latina y el Caribe, región que concentra el 22 por ciento de los bosques nativos, con 860 millones de hectáreas, según información difundida hoy por la FAO (Keipi, K. 2000)

Pero resulta muy complejo definir el impacto específico de todas las causas de este problema en América, pero lo que queda claro es que el eje vinculante relaciona siempre la situación económica influyente en las comunidades rurales y adyacentes a las zonas de cobertura forestal importante

**Tabla1:** Superficie forestal en América Latina y el Caribe y su tasa de variación

Subregión	Superficie (1 000 ha)			Variación anual (1 000 ha)		Tasa de variación anual (%)	
	1990	2000	2005	1990-2000	2000-2005	1990-2000	2000-2005
El Caribe	5 350	5 706	5 974	36	54	0,65	0,92
América Central	27 639	23 837	22 411	-380	-285	-1,47	-1,23
América del Sur	890 818	852 796	831 540	-3 802	-4 251	-0,44	-0,50
<b>Total de América Latina y el Caribe</b>	923 807	882 339	859 925	-4 147	-4 483	<b>-0,46</b>	<b>-0,51</b>
<b>Total mundial</b>	<b>4 077 291</b>	<b>3 988 610</b>	<b>3 952 025</b>	<b>-8 868</b>	<b>-7 317</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,18</b>

Fuente: (FAO, 2009)

## 2.2. *La deforestación en el Ecuador y sus causas*

La diversidad eco regional, paisajística y ecosistémica del Ecuador es privilegiada: cuenta con 25 zonas de vida de acuerdo al sistema Holdridge: desde bosques húmedos y muy húmedos (Amazonía y noroccidente), hasta bosques de manglar en toda la línea de la costa como los manglares de Majagual (provincia de Esmeraldas) que están entre los más altos del mundo, 30 a 40 metros. De los 10 "hot spots" tres se hallan en el Ecuador: 1) en las estribaciones orientales de los Andes y alta Amazonía ecuatoriana; 2) el bosque lluvioso noroccidental de la provincia de Esmeraldas (parte del Chocó biogeográfico) y 3) los bosques secos y semihúmedos tropicales del sur de la Costa. (WRM, 1998). Paradójicamente y de acuerdo a Hamilton (Hamilton, L. et al; 1995) el 90% del original cobertura forestal ha sido destruida o alterada. Se estima que el promedio anual de deforestación es de alrededor de 137 000 ha/año (MAE, 2012), Demostrándose así una tasa de deforestación equivalente a un -1,7 % (FAO, 2008)

**Tabla2:** Deforestación del Ecuador continental durante el periodo 1991- 2000

Tipo de bosque	1991 <i>ha</i>	2000 Ha	Deforestación 1991 – 2000 (ha)	Tasa de deforestación anual (%)
Bosque húmedo	12 114 299	10 489 756	1 624 543	1,49
Bosque seco	708 768	569 657	139 111	2,18
Manglares	162 197	150 002	12 195	0,84
Moretales	477 390	470 407	6 983	0,16
<b>TOTAL</b>	<b>13 462 654</b>	<b>11 679 822</b>	<b>1 782 832</b>	<b>1,47</b>

**Fuente:** Clirsén, 2010.

Las causas de la deforestación del bosque húmedo se encuentra más relacionada a fenómenos como la ampliación de la frontera agrícola, la formación de pastizales, ampliación de plantaciones para palma aceitera, actividades petroleras y mineras vialidad y explotación forestal, entre otras ligadas con causas indirectas como las políticas fiscales legalización de tenencia de la tierra y las presiones de mercado de los productos forestales (CLIRSEN, 2010). Aunque si bien la transformación de bosques a pastizales no representa el mayor índice de ingresos en la economía campesina, representa el medio por el cual los agricultores perciben ingresos de forma mediata, a pesar de que los ingresos mensuales y por hectárea en la región no superan los 200 usd por ha (Knoke, 2008)

### **2.3. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

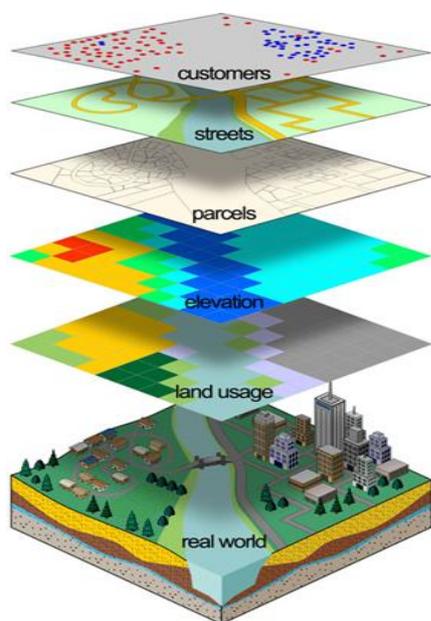
Los SIG acrónimo de Sistemas de Información Geográfica, integra hardware, software y datos para la captura, manipulación, análisis, actualización y despliegue en todas las formas grafica posibles la información geográfica y referenciada. Permittiéndonos de esta manera comprender, preguntarnos, interpretar y visualizar datos en muchas maneras que revelan la estrecha relación, patrones y tendencias en la forma de mapas, esferas, reportes y gráficos estadísticos. De manera que la ayuda para resolver preguntas y problemas se pueden visualizar y lo mejor de todo poder compartir los resultados e información generada. Dentro de una plataforma y sistema de información estandarizada (ESRI, 2012).

Pero lo mejor de todo es que a través de la utilización de los SIG ha permitido en casos concretos también e n nuestro país crear modelos de predicción de futuros fenómenos con deslizamientos, inundaciones y deforestación que será el caso del que vamos a desarrollar en más adelante nuestro trabajo.

- Realizar zonificación
- Generar modelos espaciales
- Mapas de sensibilidad

Los SIG y la teledetección en su aplicación a distintas ramas de la ciencia en el Ecuador actualmente se ha convertido una de las mejores alternativas como herramienta para la planificación, y cuya utilización está cobrando más fuerza y generalizándose su uso a nivel institucional y organizaciones vinculadas a los procesos de desarrollo, lo que en un futuro no muy lejano facilitaría el camino a formar redes de distribución, actualización y consulta de información como parte de un extenso conjunto de exploración de las capacidades de las magnitudes en calidad de ventajas que ofrecen estas herramientas.

#### 2.4. Quienes usan los SIG [Learn more.](#)



Miles de organizaciones usan SIG para resolver problemas y mejorar los procesos. Conocer prácticas para implementar SIG en las organizaciones o comunidades es imprescindible. Sectores como negocios, gobiernos, científicos, organizaciones ambientales y de conservación y empresas de servicios públicos se benefician del uso de estas herramientas.

**Gráfico 2.** Representación gráfica de la aplicación de los SIG

Source: (HictechGov, 2012)

### **2.4.1. Negocios**

#### **Banca**

Los analistas financieros usan los SIG para elegir sus mercados, ya que les permite visualizar la necesidad de servicios. Compañías como Vida Metropolitana y el Banco Chase Manhattan confían en los SIG para mejorar su excelencia operativa y ganancias.

#### **Seguros**

Muchas compañías de seguros hacen de los SIG un componente central de sus negocios ya que les permite visualizar, analizar y distribuir el riesgo. Algunas compañías incluso usan los SIG para manejo de riesgos en carteras.

#### **Medios**

Los SIG son usados por oficinas de medios para todo tipo de situaciones desde circulación de análisis y atracción de anunciantes para crear mapas. Organizaciones como la prensa Asociada (AP, por sus siglas en inglés), y la National Geographic usan SIG para crear mapas precisos rápidamente para revistas, periódicos y servicios en línea en internet.

Los negocios mantienen información sobre ventas, clientes, inventarios, perfiles demográficos listas de contactos a través de la locación geográfica. Los gerentes de negocios, estrategias de mercadeo, analistas financieros y planificadores profesionales confían cada vez en los SIG para organizar, analizar y presentar sus datos de negocios.

## 2.4.2. Gobiernos

Las agencias de Gobierno confían en la tecnología de los SIG para establecer y regular las políticas y mejorar el bienestar de sus ciudadanos. El uso de los SIG es un medio inteligente de las agencias para proveer información pública.

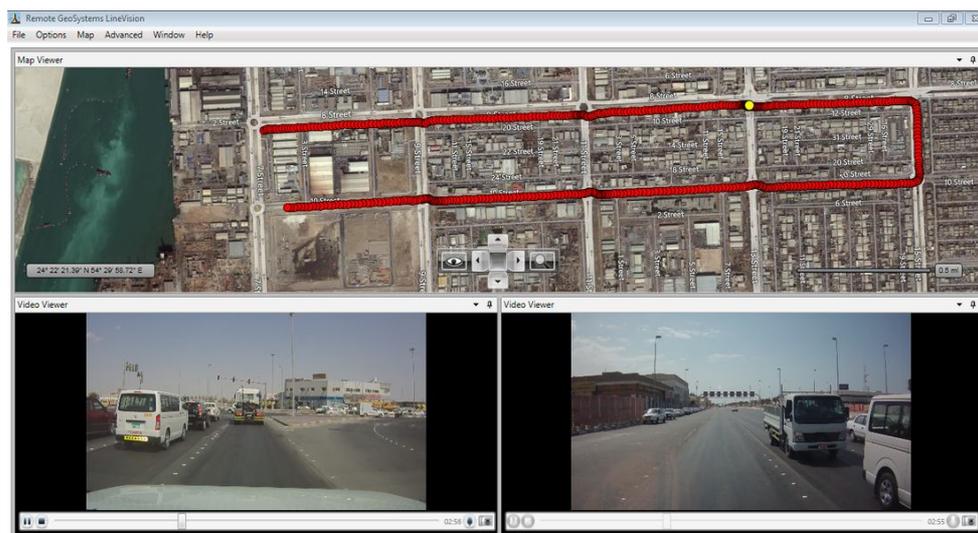
Así mismo los gobiernos locales como los municipios encuentran posibilidades de aplicar los SIG para la recolección de impuestos, desarrollo económico e información pública.

### Seguridad Nacional y Defensa militar

Los SIG son usados a niveles locales, regionales y nacionales en situaciones de emergencia en áreas de detección, evaluación de riesgos, prevención y mitigación, respuesta y recuperación.

Usados ya sea para desastres naturales o provocados por el hombre, los SIG han emergido hacia procedimientos comunes para la seguridad pública y actividades de emergencia.

### Gráfico 3: Aplicación de los SIG en defensa militar



Source: Remote Geosystems, 2012.

La defensa militar usa también los SIG para inteligencia, análisis de terreno, misiones de planificación y manejo de infraestructuras. El análisis geográfico es crítico en las operaciones militares de tácticas y planificación.

### **Salud**

Los servicios de salud usan los SIG no solo para mostrar las necesidades existentes sino donde se encuentran. Su uso es común en el monitoreo de la salud pública y control epidemiológico, los expertos pueden dar seguimiento geográficamente a los indicadores de salud, identificar clúster de enfermedades y explorar sitios de riesgo ambiental, como áreas de proliferación de mosquitos.

### **Ciencia Y Educación**

Los SIG son una herramienta ideal para ayudar a los investigadores a modelar el mundo real, clasificar y observar fenómenos y predecir cambios a través del tiempo.

### **Ambiente y conservación**

Los programas de manejo y administración ambiental integran un amplio espectro de datos para proveer un mejor entendimiento de la interacción de las comunidades a través del paisaje. Los SIG son usados en todo el mundo en laboratorios de ecología, departamentos de planificación, agencias y organizaciones sin fines de lucro para promover en desarrollo sustentable.

Los programas de restauración usan los SIG para establecer líneas de base sobre la situación inicial de los recursos y los impactos posteriores de las actividades humanas o naturales que afectan los recursos naturales.

El uso de los SIG es importante en la planificación de áreas de protección de hábitat y manejo de especies en peligro ya que permite el estudio de las poblaciones animales en una variedad de escalas y permite el análisis de corredores de hábitats, patrones de migración.

Los SIG son una herramienta ideal para mapear e inventariar vegetación a nivel de paisaje y entender los patrones de las especies vegetales en peligro a través de inventarios científicos y aplicaciones de manejo integral. Los mapas de vegetación son usados para estimar las áreas de bosque y monitorear las áreas de cambio de uso del suelo y usos antrópicos.

**Gráfico 4.** Aplicación de los SIG al ambiente y conservación

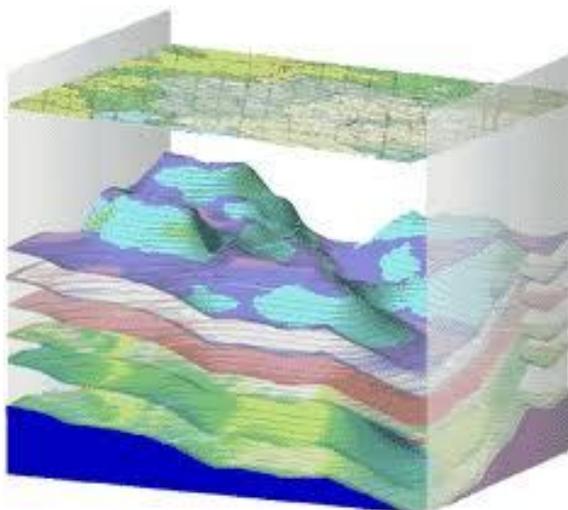


Fuente: NCC, 2012

### 2.4.3. Recursos Naturales

Gráfico 5: Aplicación de los SIG a los recursos naturales

Fuente: WISC, 2012.



La exploración de recursos no renovables como el petróleo y gas, aprovechamiento de la madera y las operaciones mineras requieren de una evaluación sólida para desarrollarse hacia áreas que puedan combinar el uso de recursos y la prevención de la contaminación de los ríos o la destrucción de los recursos. El delicado equilibrio entre el desarrollo industrial y la

conservación del medio ambiente requiere de sofisticados modelos y herramientas de análisis espacial.

La modelación del terreno, el diseño de la exploración, la perforación, la planificación minera, la recuperación y la rehabilitación son importantes elementos de cartografía digital en la minería.

### 2.4.4. SERVICIOS PÚBLICOS

El proceso de enrutamiento de energía es altamente dependiente de la información geográfica. Desde el diseño de la red hasta el manejo de apagones, más del 80 por ciento de la utilidad de gestión de datos contiene los componentes espaciales. Muchas empresas de servicios públicos combinan su servicio de gas y electricidad los clientes. Las fuentes de gas y el manejo del

suministro físico dependen de los SIG para todos los detalles de las estaciones y las presiones de tubos a las válvulas el diámetro de la tubería.

En el ámbito de las telecomunicaciones los SIG proporciona a las empresas con soluciones que abarcan desde el análisis de las relaciones entre la cobertura de señal, resultados de pruebas, incidencias, consultas de clientes, ingresos y análisis de deficiencias.

Los mapas de alta resolución de las compañías de agua potable detallan la ubicación de las tuberías subterráneas, cuencas, embalses y centrales hidroeléctricas. Las bases de datos de sus complejos de tratamiento de agua ayudan a evaluar posibles necesidades de expansión.

## **2.5. TELEDETECCIÓN**

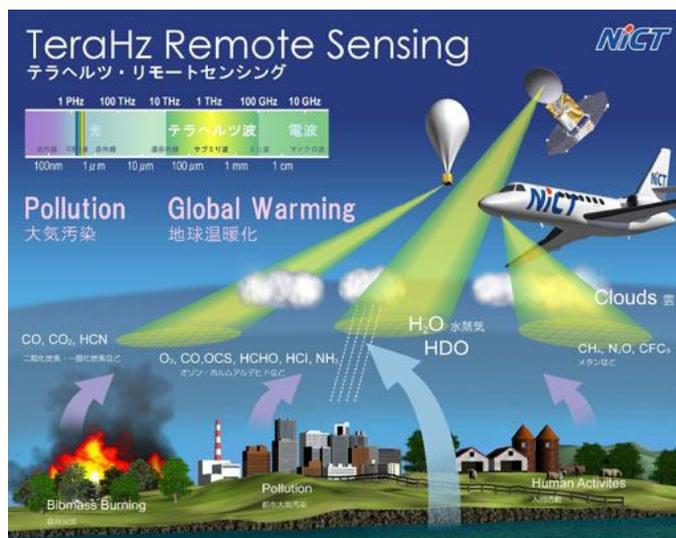
Aunque muchos autores concuerdan en su mayoría y definen a la teledetección como la ciencia y arte de obtener información acerca de la superficie de la tierra sin entrar en contacto con ella.

No así otros aclaran también que la teledetección contribuye grandemente a comprender los ecosistemas del Planeta Tierra y sus paisajes culturales. Quattrochi, et al (1999) y Chuvieco (1993), opinan que la teledetección es una técnica aplicada, que a través del tiempo y espacio, permite obtener información sobre los objetos que se hallan en la superficie terrestre.

Por tal motivo aquí presentamos unos aspectos muy importantes que caracterizan a la teledetección.

1. La teledetección es la ciencia de adquirir y procesar información de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, gracias a la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra (Chuvieco, 1996).
2. Obtención de imágenes u otro tipo de información acerca de un objeto, utilizando técnicas mediciones hechas a distancia, además de procesar y analizar los datos (CCRS).
3. La percepción remota es la colección de información de un objeto sin estar en contacto físico con el objeto. Aeroplanos, aviones y satélites son las plataformas más comunes desde donde las observaciones remotas son realizadas. El término percepción remota es restrictivo a métodos que emplean energía electromagnética como medio de detección y medición de las características de un objeto (Sabins, 1978)

Gráfico 6. Esquema de la aplicación de los sensores remotos



### 2.5.1. ELEMENTOS EN EL PROCESO DE TELDETECCION.

Los elementos que intervienen en el proceso de teledetección son muy importantes y complejos pues su análisis profundo de los mismos requiere el apoyo de ciencias como las del color y la óptica.

La teledetección se realiza detectando y grabando la energía emitida o reflejada y procesando, analizando y aplicando esa información, así

La energía que llega a los cuerpos, incide en la superficie y puede sufrir tres procesos: ser reflejada (R), absorbida (A) o transmitida (T), por lo tanto la energía incidente (I) será la sumatoria de todos los anteriores procesos.

$$I = R + A + T$$

La energía reflejada y el calor que los cuerpos emiten, es la energía que los sensores de los satélites reciben, después de interactuar nuevamente con la atmósfera.

**Gráfico 7.**Gráfica del proceso en teledetección



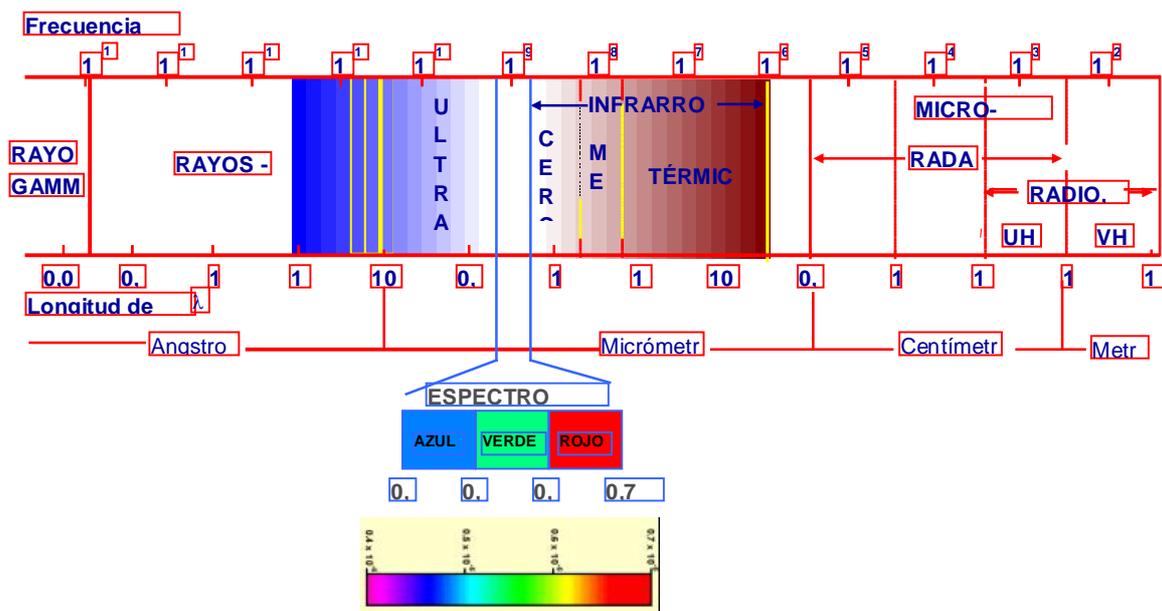
Fuente: CIAT, 2012

Los elementos de teledetección involucran una interacción entre la radiación incidente y los objetos de interés

Los sensores remotos usualmente registran radiación electromagnética. La radiación electromagnética (REM) es energía transmitida a través del espacio en forma de ondas eléctricas y magnéticas, UM (2012). Los sensores remotos están hechos de detectores que registran longitudes de onda específicas del espectro electromagnético. El espectro electromagnético es el rango de radiación electromagnético que se extiende de las ondas cósmicas hasta las ondas de radio (Chuvienco 1996).

Todos los tipos de cobertura del suelo, absorben una porción del espectro electromagnético y proporcionan una firma espectral única de radiación electromagnética. El de las longitudes de onda que son adsorbidas por ciertos elementos y de la intensidad de la reflectancia de ellos permite analizar una imagen y hacer inferencias exactas a cerca de la escena (ERDAS 2001).

**Gráfico 8.** Espectro de color en la teledetección



## 2.5.2. LOS SIG Y LA TELDETECCION

Una imagen de satélite, o una fotografía aérea escaneada, no es más que una capa raster sin georeferenciar, por tanto las vamos a poder almacenar, manejar, analizar, etc. en un entorno SIG. Todas las operaciones que requiere la teledetección pueden hacerse con un SIG, pueden distinguirse tres modos de operar:

- El caso más sencillo sería aquel en el que pueden usarse herramientas de SIG estándar (álgebra de mapas para obtener valores de reflectividad),
- en otros se usarán módulos de SIG específicos (georeferenciación),
- finalmente en los casos más complejos hará falta recurrir a módulos externos.

El proceso clásico de tratamiento de una imagen de satélite sería:

1. Corrección geométrica o georeferenciación. Es decir darle a cada pixel sus coordenadas correspondientes
2. Corrección atmosférica. Eliminar en la medida de lo posible las distorsiones que el efecto de la atmósfera introduce en la imagen
3. Interpretación visual, incluyendo realce de imágenes y composiciones de color para resaltar aquello que nos interesa ver
4. Cambios de variables. Obtención de variables físicas a partir de los datos de reflectividad
5. Clasificación de la imagen (diferentes usos del suelo y cambios en los mismos) UM, (2012).

### 2.5.3. Aplicaciones de la Teledetección

Entre las principales aplicaciones se pueden considerar, el monitoreo de los cambios en la agricultura, desastres, monitoreo de ecosistemas, detección del fuego y mucho más. Tradicionalmente la obtención de información de los bosques era conseguida enviando un equipo de científicos dentro del bosque a tomar muestras físicamente pequeñas, las cuales tuvieron que ser extrapoladas. Usando la Teledetección los resultados pueden ser obtenidos con más precisión en la información, y en cuestión de observación tan amplio como sea necesario

La cobertura forestal de un determinado territorio se refiere a la presencia física en un determinado momento, de vegetación continua o fragmentada, definida como bosque, es decir un tipo de vegetación leñosa de un porte mínimo de 5 metros de altura total en su estado adulto y con una cubierta mínima del 10% de las copas de los árboles sobre la superficie del suelo; dentro de esta clasificación se incorporan los bosques densos (> 40% de cobertura), los bosques abiertos (> 10% to < 40% de cobertura), los bosques fragmentados (en rodales aislados pero que en su conjunto llegan a cubrir extensiones mínimas de 0.5 ha), y los bosques secundarios adultos o también conocidos en Inglés como **longforestfallow** (estadio avanzado de una regeneración natural del bosque que originalmente cubría el área, con una edad actual superior a los 7 años aproximadamente). (FAO, 1999; 2000)

La mayor parte de los primeros mapas forestales o de vegetación elaborados en la América Latina, utilizando sistemas modernos de cartografía, es decir mediante el uso de imágenes de satélite o radar, datan de la década del 70 y fueron elaborados con el objetivo de obtener una visión panorámica o global sobre la disponibilidad, ubicación, superficie y potencial de los

recursos forestales a nivel de tipos de bosque, pero al mismo tiempo sucede que cada mapa producido utiliza por lo general criterios de clasificación diferentes, los más comúnmente usados son el criterio ecológico (potencial florístico), eco florístico (bioclimático-florístico) y fisionómico, aunque este último no necesariamente como un sistema en sí, sino como integrante de otro sistema principal. (FAO, 2004)

En el ámbito mundial, las técnicas de teledetección han sido utilizadas en la identificación de cambios en la cobertura y el uso de la tierra; esta valiosa tecnología sirve para el monitoreo de fenómenos naturales u otras modificaciones que experimenta una región, como consecuencia de la intervención del hombre (Muchoney&Haack, 1994 ;Chuvieco, 1996 ; Lambin, 1994).

Los estudios relacionados con el análisis multitemporal de la cobertura vegetal, contribuyen a la definición de las categorías debido proporcionan un elemento adicional de análisis como son los cambios del estado fenológico en las especies vegetales (Conese&Maselli, 1988); por este motivo es que este tipo particular de investigaciones se han desarrollado con mayor éxito en estudios detallados del uso de la tierra (Carlson&Rubingh, 1979; Byrne et al., 1980).

## **2.6. Optimización**

Simplemente entendiéndolo a la programación matemática es un método de optimización (maximizar o minimizar) el valor de una función objetivo sujeto a un conjunto de restricciones. Tanto la función objetivo como las restricciones deben ser bien definidas. Hay que acotar también que la aplicación de la optimización en las ciencias geográficas, estas puede exitosamente emplear la programación matemática, siempre y cuando se justifique la relevancia de la noción de optimización, haciendo de esta manera la selección de la mejor opción posible de las alternativas disponibles.

La ciencia en sus aspectos teóricos ha considerado muchas teorías a través de los tiempos, principios como los de Fermat's (tiempos mínimos), Maupertuis (menos acción), Darwin (principio de la selección natural), Zipf (principio del menor esfuerzo) entre muchos más, pero en el trabajo geográfico también encontramos trabajos como las reciente ubicación de teorías como Christalles (1933) and Losch (1944) que ha sido aplicado a la maximización de la entropía (o un equilibrio en mecánica estática) evaluación en urbano y regional modelamiento y Keys&Thriff (1980) han presentado un análisis novel de la geografía de la industria de la manufacturación usando la teoría de los nichos del principio de la exclusión competitiva.

### **2.6.1. Una comparación entre patrones óptimos y la realidad.**

Una importante discusión generada, es la comparación entre los patrones óptimos (generados por modelos de programación matemática) y la realidad seguida por sus patrones naturales. Es muy importante destacar que las discrepancias surgidas entre lo actual y los patrones optimizados pueden ofrecer importantes indicaciones para mejorar los modelos.

Considerando un bien definido problema, las técnicas de programación matemática nos permiten determinar *Lo Ideal* o *normativo, patrones locacionales, los cuales pueden ser comparados con la actual configuración a ilustrar el grado de ineficiencia espacial*. Muchos geógrafos hasta el momento han usado la patrones ideales de organización espacial (usualmente generado por un modelo de programación lineal), como para investigar por ejemplo flujos en espacio-economía, o valores de dietas nutricionales en áreas rurales. Pero evidentemente la interpretación de estas características resulta en la conclusión de que la relación linear entre costos de transportación y distancia asumida en la mayoría de los modelos, fue inválida y además indicada donde las alteraciones fueron requeridas. Además los

problemas de comparación con respecto a la escala espacial, la dimensión temporal juega un importante rol en la determinación del óptimo.

### 2.6.2. Precauciones en optimización

Un importante aspecto a considerar relativo a los procedimientos de optimización de la implicación entre la divergencia entre óptimos y actuales patrones pueden ser relacionados a los bien definidos naturaleza de los programas matemáticos,

### 2.7. Programación lineal.

La programación lineal es computacionalmente una de las más directa y matemática programa el cual ha sido ampliamente aplicado por los geógrafos, para determinar las óptimas asignaciones de recursos sobre el espacio. Desde su desarrollo durante la segunda guerra mundial, su aplicación ha sido facilitada a numerosos paquetes computacionales, facilitando de esta manera formular y resolver programas lineales de amplia dimensión.

Programación lineal, como su nombre mismo o dice se trata de una función objetivo lineal sujeta a un conjunto de restricciones generalmente ejemplificada por

$$\max_{\{x\}} LP = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

Sujeto a

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq c_1,$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq c_2,$$

$$\vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq c_m,$$

$$x \geq 0$$

$j = 1, 2, 3, \dots, n; i = 1, 2, 3, \dots, m$

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$

$$NPV_{ijk} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{V_{ijk}}{(1+r)^{y(k-1)}}$$

*Donde*

Z = la función objetivo a ser maximizada

$x_j$  = las variables escogidas para las cuales el problema es resuelto

$c_j$  = coeficiente de medida de contribución de la función objetivo

$r_i$  = límites o restricciones ubicadas sobre el problema

$a_{ij}$  = coeficiente de medida del efecto de  $i$ th

La programación lineal deriva de su presunción de que todas las relaciones que están siendo modeladas son adecuadamente representadas por ecuaciones lineales. El problema general de una optimización radica en la búsqueda del óptimo (máximo o mínimo), de una función lineal de variables restringidas a relaciones lineales, que pueden ser llamadas ecuaciones o igualdades (Kilkki, 1969).

### 2.7.1. Aplicaciones geográficas de la programación lineal

Complementariamente existen dos líneas complementarias de aplicaciones geográficas de programación lineal que pueden ser reconocidas 1: ilustrando su aplicabilidad práctica y 2: demostrando su potencial teórico.

*Por ejemplo la Transportación es un problema de mucha aplicabilidad donde optimizar el patrón de flujos sobre el espacio entre los puntos de oferta y demanda. En este problema se minimiza los costos agregados de transportación mientras se asegura que la oferta consigue la demanda sin exceder la capacidad de cualquier facilidad de oferta.*

### **2.7.2. La modelación**

Aunque por mucho tiempo la expresión MODELACION esté siendo una expresión de moda en las ciencias, en su diferente contextualización y necesidades está tomando un campo cada vez más amplio. Pudiéndose identificar tres características generales en un modelo (UNIGIS, 2001):

1. Son siempre representativos de fenómenos realmente existentes ( es decir que no son construcciones ficticias)
2. Sirve a un específico o determinados fin
3. Son simplificaciones de una realidad compleja.
4. A veces no cuentan con datos reales,

### **2.7.3. Diferencia entre modelación y simulación:**

Muchas de las veces los modelos de los sistemas espaciales responden a una construcción abstracta de la realidad, por lo que no pueden ser comparados con la realidad por no ser directamente observables, solo cuando una simulación es planificada (datos reales y de

control) se puede verificar la equivalencia de los resultados, mediante la comparación de fenómenos observables. (UNIGIS, 2001)

#### **2.7.4. La integración de los modelos y el GIS**

Aunque la modelación y los GIS han sido desarrollados a lo largo de su trayectoria de manera individual, la modelación más vinculada a las disciplinas como la matemática, la física y la informática, los SIG se han desarrollado en áreas eficientes para el trabajo con la información espacial. Su fusión ha logrado aplicaciones para la hidrología, meteorología, ecología. E inclusive se ha hecho difícil saber hasta qué punto es posible integrar las herramientas de la modelación y los SIG, con la finalidad de procesar tareas complejas. (UNIGIS, 2001)

#### **2.7.5. La integración de la programación lineal y los GIS**

La programación lineal de por sí es una técnica no espacial que no toma en cuenta las relaciones espaciales, las cuales ya deben estar predefinidas. El objetivo de la PL es la optimización de una función (maximización o minimización de una condición), siempre presentadas como un conjunto de inecuaciones.

Hay que entender bien que la transformación a nivel espacial de los resultados de una optimización a través de la programación lineal no puede darse directamente porque el resultado solo nos ha dado un conjunto numérico que responden a una combinación óptima de los valores integrados a la programación y que responden a un conjunto de restricciones y , por tal razón no sabemos la localización de estas áreas. La asignación a lugares concretos se puede realizar con herramientas auxiliares que busquen la idoneidad de determinadas áreas map bulidrer o map models (UNIGIS, 2001)

El paso final o la meta luego de correr la LP es la distribución de resultados. LP no provee una representación espacial para la asignación del uso del suelo sugerida, y se considera sólo como una herramienta para optimizar la asignación de uso de la tierra, los resultados pueden ser trazado de la LP utilizando criterios de idoneidad de la ordenación del territorio.

### 3. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se ha planteado las siguientes hipótesis:

**AO:** Un modelo optimizado de uso del suelo ayuda a disminuir el riesgo inherente a la fluctuación de la productividad y por ello disminuir el avance de la frontera agrícola, para con ello ayudar a evitar la deforestación

**A1:** Un modelo optimizado de uso del suelo un modelo optimizado de uso del suelo, no ayuda a disminuir la presión sobre los bosques de Saraguro en la provincia de Loja

Gráfico 9: esquema de trabajo planteado



#### 3.1. Área de estudio

El área de estudio seleccionada para este trabajo fue el cantón Saraguro, ubicado al Norte de la Provincia de Loja, en el cantón Saraguro, Cantón con una riqueza cultural muy importante por el hecho de alberga a una de las etnias ecuatorianas conocidas como los Saraguros. (Figura 1),

donde las actividades económicas se basan en los cultivos e pastizales para la ganadería, razón por la cual el 21% de la cobertura vegetal de este cantón está dedicado a los pastizales.

La altitud está comprendida entre los 1000 hasta los 38000 msnm, DONDE EN SU CABECERA CANTONAL QUE ES EL Cantón Saraguro se encuentra a 2525 msnm ocupando una superficie de 1080 km<sup>2</sup>. El clima de características templado-frío en la zona andina y cálida en las zonas bajas, características de temperatura que oscila entre los 8 y 27° C (<http://apgualan.wordpress.com/>)

Gráfico 10: Ubicación del cantón Saraguro en la Provincia de Loja



Fuente: Dirección de Planificación - GPP

### **3.2. Definición de la problemática y sus actores**

Nuestro primer paso en el desarrollo de la metodología para nuestro trabajo es la identificación de la problemática y de sus principales actores, para enfocarnos en el principal problema descrito con anterioridad que es la pérdida de los bosques por efectos de cambio de uso del suelo de manera no planificada con prácticas no sustentables, razón por la cual aunque existe muchos más actores de directos o de primer lugar nosotros hemos decidido poner a los agricultores como actores de primer lugar, aunque sabemos que no son los únicos pero reconocidos a nivel mundial y por la tendencia presentada los agricultores son los más cercanos a la realidad de ser los primeros actores como agentes de cambio en el uso del suelo.

### **3.3. Determinación de la unidad física de evaluación e información cartográfica necesaria**

Como primera parte, la determinación de la parte física sobre el área de trabajo es muy importante, para ello utilizaremos Arc Map como software de SIG y la siguiente información cartográfica:

- Información base, correspondiente a límites provinciales, cantonales, centros poblados, ríos curvas de nivel, información proveniente del Instituto Geográfico militar (IGM), escala 1:50000
- Criterios de clasificación de Unidades Vegetales, para los cuales se consideró los criterios desarrollados por NCI, 2010, para definir las unidades vegetales a representarse, adoptada de la “Propuesta de Clasificación y Leyenda Sobre Cobertura y Uso del Suelo”, preparado por el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos

Naturales por Sensores Remotos, CLIRSEN (2002) y en los criterios emitidos por la FAO (2000) en el Sistema de Clasificación de la Cobertura Vegetal

Que considera:

1. Formación Vegetal = páramo, bosque, matorral, pastizal, cultivo.
2. Humedad = húmedo, seco.
3. Densidad = denso, semidenso, ralo, degradado.
4. Altura de vegetación = alta, baja.
5. Pisos altitudinales = andino, subtropical.

Este trabajo de clasificación de la cobertura vegetal fue realizado por Naturalzeza y Cultura Internacional para la provincia de Loja, del cual utilizaremos la función extract de Arc Map, para obtener la información del cantón Saraguro como nuestra área de trabajo

- El cantón Saraguro, está cubierto por las imágenes Aster siguientes, las cuales fueron usadas por NCI para la clasificación de la cobertura vegeta. La selección de imágenes Aster se la hizo con el visualizador de Imágenes satelitales Aster, de la USGS (<http://glovis.usgs.gov>) para el proceso de clasificación se trabajó del tipo supervisada para lo cual se trabajará con las siguientes imágenes.

Tabla 3. Lista de imágenes Aster que cubren al cantón Saraguro

	<b>Nombre referencial</b>	<b>Codigo</b>	<b>Fecha</b>
1	Saraguro- Yacuambi- Loja-Zamora	AST_L1B_00310162006154356_20070619031550_13543	16/10/2006
2	Saraguro- Loja- Catamayo	AST_L1B_00307222004154430_20070918125848_4143	22/07/2004

Fuente NCI, 2010

### 3.4. Reclasificación de la cobertura vegetal

Para propósitos de nuestro será necesario reclasificar la cobertura vegetal obtenida del trabajo preliminar de la clasificación de la cobertura vegetal para la provincia de loaj y específicamente para el Cantón Saraguro, para esto reclasificaremos a numero de clases de uso del suelo para hacerlo de una manera didáctica así como también debido a la falta de información económica y detallada de cada uno de los eventos que intervendrán tanto en la Simulación Montecarlo como en la programación lineal.

Para ello la nueva reclasificación del cantón Saraguro estará resumida a las siguientes coberturas vegetales.

- Bosque húmedo
- Cuerpos de agua
- Cultivos
- Matorral
- Nubes
- Otros uso
- Pastizal
- Plantaciones forestales
- Páramos

Para nuestra optimización trabajaremos sobre los siguientes usos: bos que húmedo (cuya función objetiva es minimizar su desaparición), cultivos (maximizar su producción), pastizal (maximizar su producción), páramos (mantener intacto este ecosistema)

Cuerpos de agua, matorral, Nubes, otros usos y plantaciones forestales no entraran en nuestra modelación. Debido a la falta de información económica y para propósitos academicos.

### **3.5. Estimación de los parámetros del modelo**

Es una de nuestras primeras interrogantes, es así que nuestro trabajo va encaminado a una planificación del uso del suelo optimizando la producción existente de la zona y al mismo tiempo considerando que nuestra principal restricción planteada en nuestro modelo es la reducción de la deforestación. Debemos acotar también que sin la existencia de restricciones la solución se presentaría para mejorar la calidad de los ingresos de los campesinos, dedicar toda el área del uso del suelo a la actividad agrícola; pero esta presunción de la realidad no es aplicable pues existen siempre limitaciones de carácter ambiental, económico y político.

Por tal razón para nuestro modelo propondremos restricciones de carácter Ecológico, Económico y de carácter técnico.

#### **3.5.1. Restricciones de carácter ecológico.**

Considerando que el cantón Saraguro posee aún más del 50% de su cobertura corresponden a coberturas comprendidas entre Páramos, bosque húmedo denso, e intervenidos, así como también matorrales en sus diferentes estrato, (tabla # ..) Por tal motivo la restricción para la formulación de nuestro modelo será que deberíamos conservar al menos el 75% del total de la cobertura vegetal; existente en cuanto al bosque húmedo previo a su conversión, esto acorde a la normativa de forestal ecuatoriana, de acuerdo a (MAE, 2010)

#### **3.5.2. Restricciones de carácter económico**

Las restricciones de carácter económico son aquellas que van directamente, influenciadas por la capacidad de productividad de los diferentes tipos de uso del suelo, en el área de estudio, lo cual hemos representado en función del Van (Valor actualizado neto) de cada una de las actividades agropecuarias que se dan en el área de interés

### 3.5.3. Restricciones de carácter técnico

- Definición del objetivos que guiaran
- Colección de información
- Especificación del modelo

### 3.6. Inclusión del Riesgo

Para la inclusión del riesgo en los cálculos económicos nosotros consideraremos la fluctuación de la producción y los precios de mercado de los principales productos considerandos como representativos al cantón Saraguro, como lo son el maíz y la leche, correspondiendo el primero a la cobertura vegetal de cultivos y el el segundo a la cobertura vegetal de pastizales. Como no podemos obtener datos de futuro nosotros calcularemos la desviación estándar y los coeficientes de variación de los precios históricos de una serie de datos que será tomado de la FAO, para propósitos de este estudio.

Para ello utilizaremos las siguientes fórmulas:

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{j=0}^M (NPV_{ij} - \overline{NPV}_i)^2$$

### 3.7. Optimización

Nuestra optimización está encaminada a maximizar los ingresos de las áreas productivas identificadas en el cantón Saraguro, para lo cual hemos usado un herramienta conocida como Solver que es un add in del Microsoft Excel, para lo cual hemos buscado precios históricos de productos representativos como la leche y otros productos agrícolas para determinar la

fluctuación de precios en el tiempo y así poder determinar el grado de Riesgo económico que estos productos pueden alcanzar. Es

La medida económica representativa para cada unidad de uso del suelo identificada es el Valor actualizado neto, el cual lo vamos a simular 1000 veces por cada unidad encontrada en el programa Montecarlo, para obtener una distribución normal de el Van, influenciado por unidades de su desviación estándar.

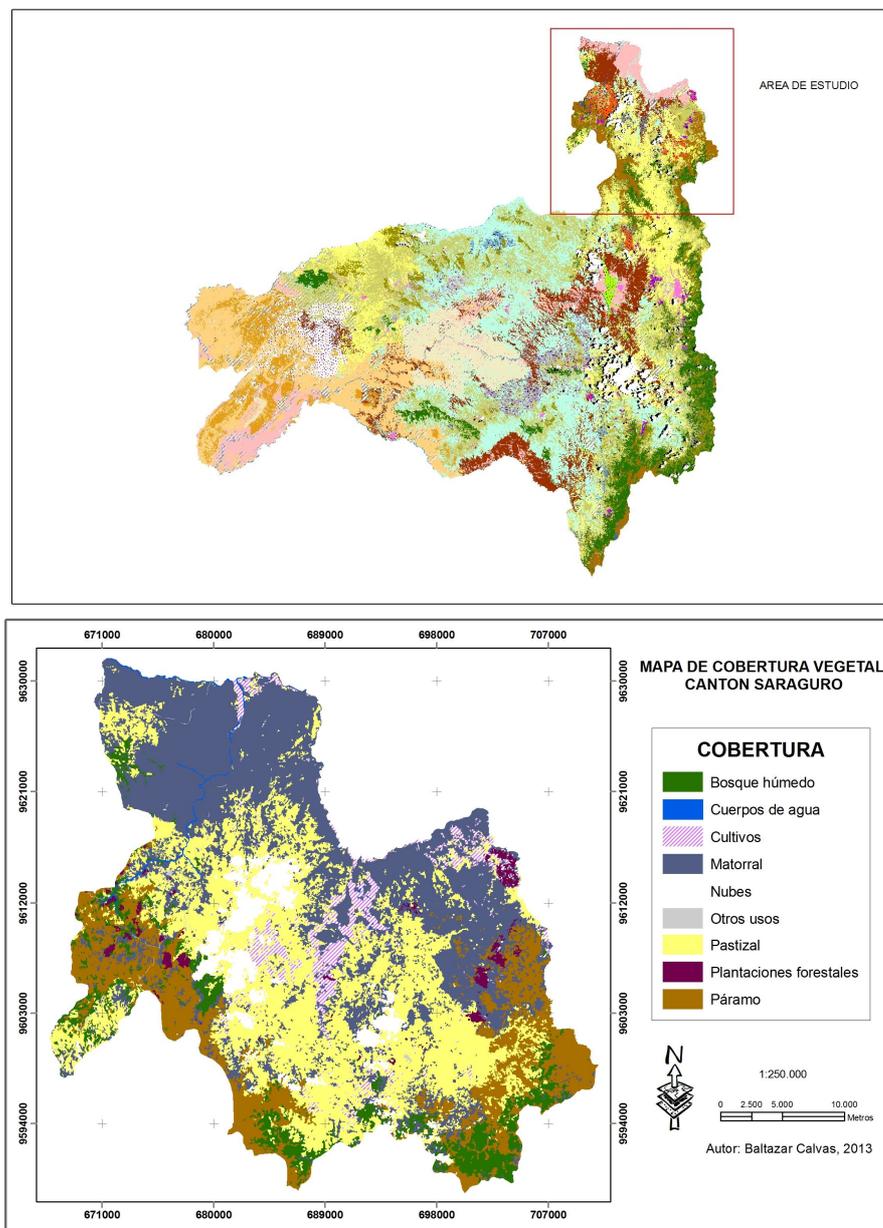
### **3.8. Teoría del portafolio.**

Para poder identificar las mezclas óptimas de unidades de cobertura sobre el canto aplicaremos la teoría del portafolio (Markovitz 1958), el cual plantea que la inclusión del Riesgo (para nuestro caso la desviación estándar de los valores económicos de cada unidad) previamente identificados son los que determinarán el porcentaje de cobertura que se puede optimizar dentro de una área determinada, sujeto a las restricciones de la programación lineal, previamente planteadas como la no deforestación e incremento de las fronteras de pastizales en porcentajes que o rebasen lo que la normativa forestal ecuatoriana permite.

## 4. Resultados y Análisis

### 4.1. Área de estudio

Gráfico 11. Provincia de Loja y ubicación del área de trabajo



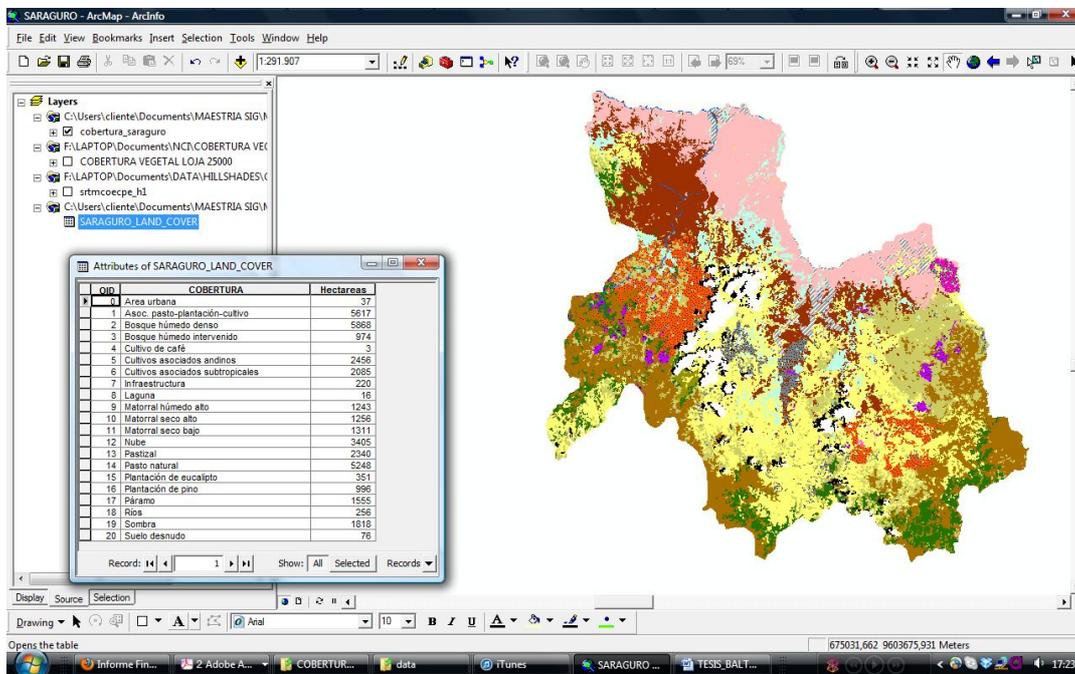
#### 4.2. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal extraída del mapa de cobertura vegetal de la provincia de Loja y para el cantón Saraguro nos presenta las siguientes coberturas con sus respectivas superficies y porcentajes en relación al total de superficie del cantón.

Tabla 4. Clasificación de la cobertura vegetal y uso actual del suelo en el cantón Saraguro y porcentaje del territorio que ocupan. Fuente: NCI-2010

COBERTURA	Hectáreas	% de cobertura
Área urbana	37	0,1
Asoc. pasto-plantación-cultivo	5617	15,1
Bosque húmedo denso	5868	15,8
Bosque húmedo intervenido	974	2,6
Cultivo de café	3	0,0
Cultivos asociados andinos	2456	6,6
Cultivos asociados subtropicales	2085	5,6
Infraestructura	220	0,6
Laguna	16	0,0
Matorral húmedo alto	1243	3,3
Matorral seco alto	1256	3,4
Matorral seco bajo	1311	3,5
Nube	3405	9,2
Pastizal	2340	6,3
Pasto natural	5248	14,1
Plantación de eucalipto	351	0,9
Plantación de pino	996	2,7
Páramo	1555	4,2
Ríos	256	0,7
Sombra	1818	4,9
Suelo desnudo	76	0,2
<b>TOTAL</b>	<b>37131</b>	

Gráfico 10: Cantón Saraguro su cobertura vegetal

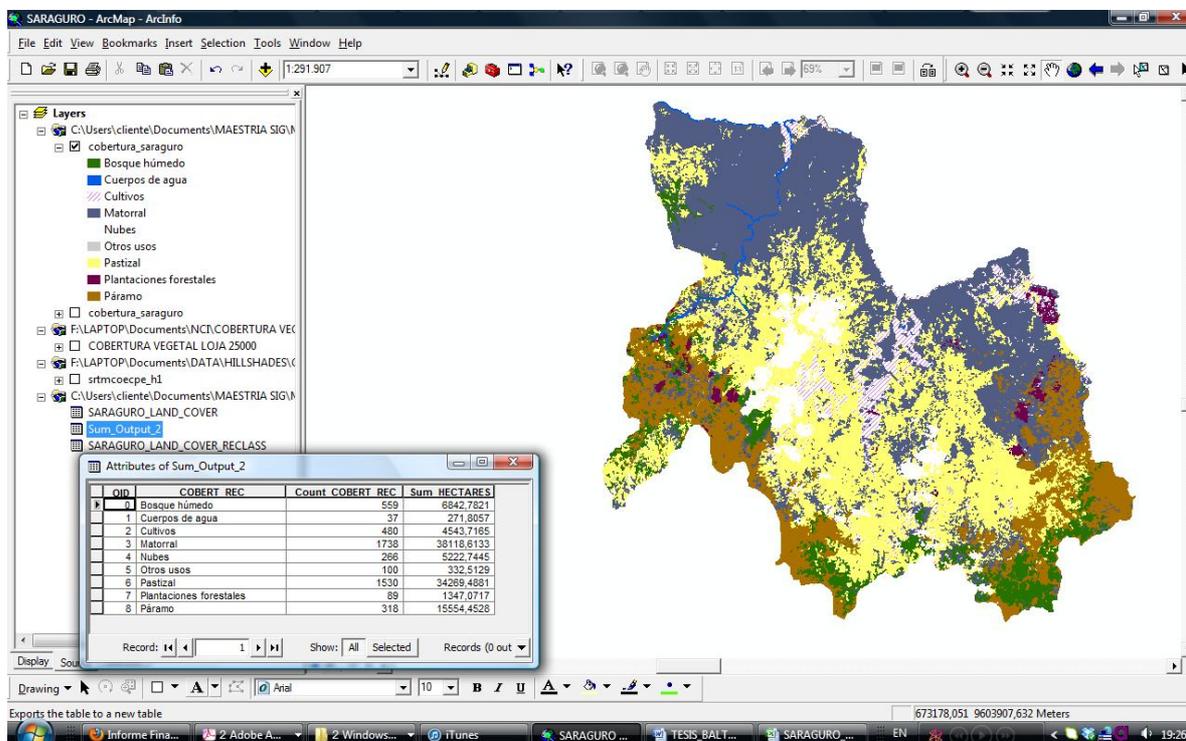


### 4.3. Cobertura vegetal reclasificada

Esta cobertura anterior obtenida tuvo que ser reclasificada en función de los usos disponibles con información económica y series de datos histórico para ser modelados en Montecarlo y optimizados utilizando la teoría del portafolio.

Páramo, Bosque húmedo, Matorral, pastizal, cultivos, plantaciones de pino, Ríos, lagunas, otros usos (los que incluyen Suelo desnudo, área urbana, infraestructura, Nube y sombras) producto de la interpretación de la imagen satelital.

**Gráfico 12:** reclasificación de la cobertura vegetal, cantón Saraguro



**Tabla 5.** Reclasificación de la cobertura vegetal del cantón Saraguro

COBERTURA RECLASIFICADA	HECTAREAS	%
Bosque húmedo	6843	6,4
Cuerpos de agua	272	0,3
Cultivos	4544	4,3
Matorral	38119	35,8
Nubes	5223	4,9
Otros usos	333	0,3
Pastizal	34269	32,2
Plantaciones forestales	1347	1,3
Páramo	15554	14,6
<b>TOTAL</b>	<b>106503</b>	

#### 4.4. Productividad y datos económicos

Para la productividad se tomo como entradas en el modelo la producción de maíz y la producción de leche en pastizales, que son unos de los principales fuentes de ingresos de las comunidades campesinas, ame mencionar que fue muy difícil encontrara datos históricos para lo cual se tomaron datos generales y valores nacionales encontrados por la FAO, los cuales nos datan de valores y precios de mercado en una periodo de 10 anos así como también podemos encontrara aquí diferentes precios de los productos enfocado.

Los productos pueden variar e inclusive pueden incrementarse de acuerdo a las necesidades del detalles que se pretenda evaluar en el modelo para ellos se puede cambiar el modelo y se pueden incluir mas data input.

Tabla 6. Datos históricos de producción de productos en el cantón Saraguro

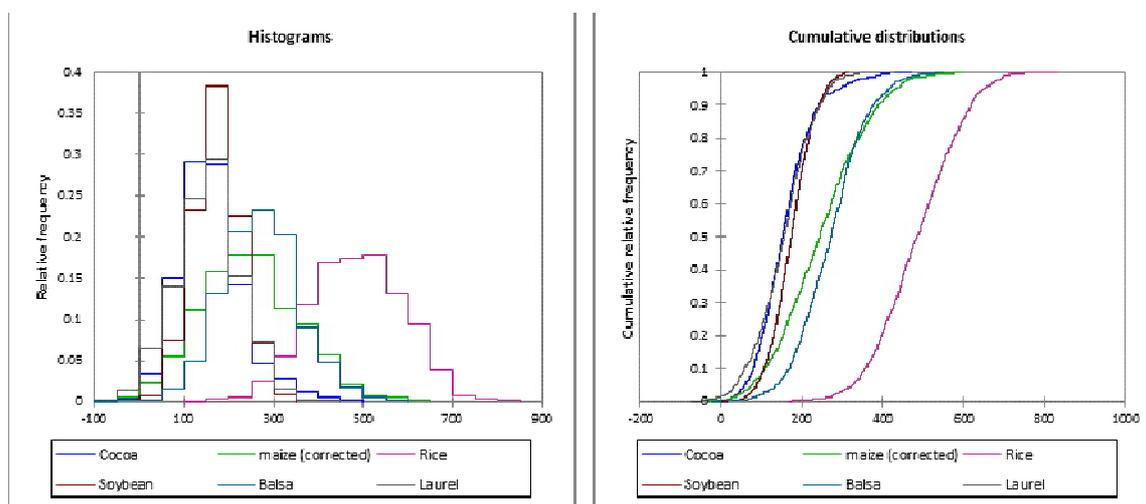
Ano	guineo	maiz	plátano	soja
1980	32,19	1,07	10,77	1,35
1981	31,40	1,15	11,38	1,57
1982	30,75	1,50	11,39	1,75
1983	27,69	1,11	10,89	1,40
1984	27,66	1,33	11,52	1,67
1985	30,21	1,62	13,81	1,81
1986	20,71	0,97	9,92	1,94
1987	19,97	0,92	10,47	1,80
1988	20,25	0,88	11,53	1,81
1989	19,72	1,09	12,62	1,87
1990	21,33	1,06	11,84	1,99
1991	20,92	1,09	9,99	1,89
1992	21,60	1,05	10,16	1,64
1993	21,72	1,16	9,32	1,76
1994	22,99	1,10	10,37	2,15
1995	23,71	1,09	8,26	1,09

1996	25,35	1,07	9,82	1,26
1997	35,48	1,20	9,91	1,14
1998	26,40	1,07	9,33	1,27
1999	33,02	1,18	9,39	1,81
2000	25,64	1,39	5,43	1,71
2001	26,54	0,76	9,03	1,89
2002	24,44	1,43	5,91	2,00
2003	27,60	1,69	5,77	1,75
2004	27,07	1,88	5,84	1,66
2005	27,67	2,12	6,08	1,96
2006	29,27	1,88	5,61	1,15
2007	30,41	2,31	5,60	1,72
2008	31,09	2,24	4,56	1,60
2009	35,34	2,20	4,96	1,66
2010	36,78	2,23	4,84	1,63

#### **4.5. El riesgo inherente a la productividad y fluctuación de precios de mercado**

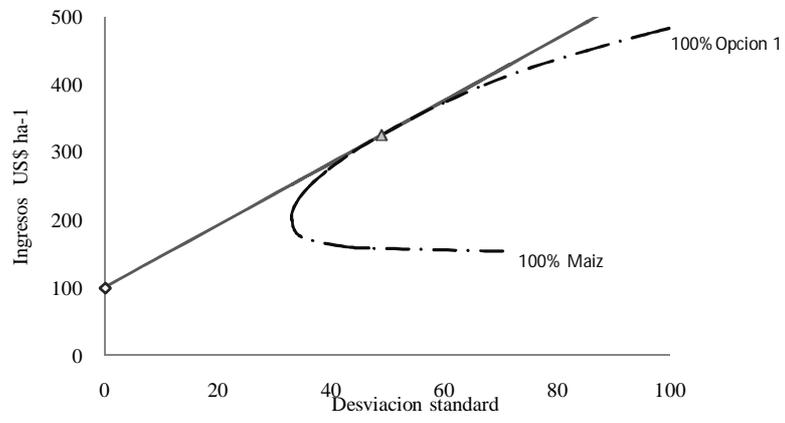
El riesgo inherente a la fluctuación de la productividad fue considerado como la desviación estancara de los precios de mercado fluctuantes durante el periodo de años evaluado, para lo cual lo hemos calculado así y modelado en Montecarlo para obtener el promedio final de simular 500 veces una desviación estandard para cada precio y fluctuación de producción.

Gráfico 13: Resultados de la simulación Montecarlo para los precios y fluctuación de producción en el cantón Saraguro



#### 4.6. Optimización de usos del suelo

La optimización estuvo a cargo de la programación lineal donde los productos en mención o análisis fueron descritos y evaluados como no correlacionados entres para lo cual procedimos a obtener un modelo de usos del suelo, así.

**Portafolio optimo de uso del suelo**

## 5. Conclusiones

### CONCLUSIONES

- Los sistemas de información geográfica involucran software que proveen almacenamiento, análisis, visualización y capacidades de mapeo para datos espaciales como por ejemplo el uso del suelo,
- La combinación entre programación lineal y los sistemas de información geográfica, si bien es cierto ya han sido utilizados desde hace más de 50 años atrás, no cabe duda que aún siguen siendo una herramienta de mucho potencial, principalmente para la planificación y uso del suelo, especialmente en países en desarrollo como el nuestro y en Cantones como el cantón Saraguro, los cuales se encuentran en una constante lucha entre el desarrollo tanto productivo , el crecimiento poblacional, el mejoramiento de ingresos a la economía familiar campesina y por otro lado el tratar de conservar los recursos naturales que les ayude a enmarcarse en un ámbito de sustentabilidad.
- El modelamiento de del uso del suelo y su aplicación en los SIG puede darnos importantes argumentos para la planificación a futuro así como también, darnos muchas pistas sobre los futuros comportamientos de ciertos fenómenos a evaluarse, para poder de esta manera desarrollar estrategias de planificación que paralelamente con el desarrollo y aplicación de nuevas estrategias en cuanto al uso del suelo se refiere.
- La teoría moderna del portafolio nos demuestra una vez más que la diversificación en los cálculos en toda medida nos conducen a una disminución del riesgo visto como la fluctuación de los precios del mercado y la fluctuante productividad.

- Un portafolio diversificado es un portafolio que ha disminuido el riesgo por unidad de inversión.
- En el cantón Saraguro si bien en los pastizales son una fuente de ingresos muy importantes para esta cultura, hay que considerar resultados como el del presente trabajo el cual nos muestra que una diversificación de la inversión hacia alternativas como las huertas y hacia otros cultivos nos ayudaría a disminuir el acelerado y fuerte invasión a los bosques lo cual es una característica muy típica del cambio de los bosques tropicales en América latina.
- Por otro lado los sistemas de información geográfica en esta aplicación conjunta han aportado directamente con información visual geo-- referenciada a la toma de decisiones lo que implica que los procesos de “land use planning” sean más fáciles de ejecutar.
- El presente trabajo aunque es una adaptación del trabajo emprendido por Emilio Chuvieco en 198... también aplica herramientas nuevas en el país como la aplicación de la teoría moderna del portafolio y la programación lineal.
- Aplicaciones de teorías como la del portafolio han permitido demostrar que la diversificación es un factor muy importante para incrementar los ingresos económicos en las mismas áreas de trabajo donde los agricultores actualmente están desarrollando sus actividades económicas y al mismo tiempo sirve para disminuir sus riesgos por la fluctuación de precios de los productos en el mercado.

## RECOMENDACIONES

- El presente trabajo por ser un trabajo de tesis que fue llevado a cabo a nivel personal del autor y con recursos propios,; razón por la cual se circunscribe a un cantón de la Provincia de Loja por lo cual la recomendación va en el sentido de que se deben ampliar este tipo de investigaciones de modelamiento a nivel provincial y nacional, lo que ayudaría ahora en este momento donde el país está teniendo una serie de cambios tanto en la planificación como en la aplicación de nuevas metodologías, lo que ayudaría a tener más argumentos que ayuden a los tomadores de decisiones optar por nuevas alternativas.
- El trabajo en aspectos metodológicos debería ser mejorado en cuanto a la información base para la elaboración del mismo, pues datos económicos como productividad de las zonas intervenidas así como también datos acerca de la producción en las diferentes áreas, pues hasta el momento aun nos es fácil acceder y aunque páginas web como las del INEC y las del Ministerio de Agricultura y Ganadería han sido innovadas en el país aún falta mucha información especialmente de carácter histórica, ya que si bien nos podemos predecir el futuro en los modelamientos, pues los datos históricos ayudan de mucho para poder conocer el comportamiento de fenómenos, como la productividad y la fluctuación de los precios.
- Los principales problemas que podemos encontrar es que Se necesita de un técnico muy conocedor de técnicas de programación lineal y que sepa conjugar técnicas como simulación y optimización.

- El no poder elegir bien y terminar en un mapa que no represente realmente lo que se trata de optimizar debido a una mala interpretación y selección de celdas.

## 6. Referencias.

El orden y existencia de estos elementos es determinado por el estilo de presentación que se ha escogido para cada tesis. Por lo general incluye las siguientes partes:

### 6.1. Bibliografía

Beck, Erwin, 2008: The Ecosystem (Reserva Biológica San Francisco). In: Beck, E., Bendix, J., Kottke, I., Makeschin, F., Mosandl, R. (Eds.): Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador, (Ecological Studies Vol. 198), Springer Verlag. Pp. 1–13.

Bendix, J. and Beck, E., 2009. Spatial Aspects of Ecosystem Research in A Biodiversity Hot Spot of Southern Ecuador - An Introduction. *Erdkunde* 63, 305-308.

Byrne, G.F., P.F. Crapper, and K.K. Mayo, 1980. Monitoring land cover change by principal component analysis of multi-temporal Land- sat data, *Remote Sensing of Environment*, 10:175-184.

Carlson, D & Rubingh, J., 1979. "Agricultural Land Conversion in Colorado". Denver, Colorado Department of Agriculture.

Chuvieco, E., 1993. Integration of linear programming and GIS for land use modeling. *International Journal of Geographical Information Systems* 7 (1), 71–83.

Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. 3º ed. revisada. Ediciones RIALP. S.A.. Madrid, España. 568 p.

Christaller, W. (1933). Die zentralen Orte in Süddeutschland. Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmäßigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen. Darmstadt, 1980 (1ère édition : Jena, 1933).

CIAT, 2012. International center for Tropical Agriculture. Accesible en: <http://www.ciat.cgiar.org/dtmradar/teledeteccion.html>

CLIRSEN, 2012. Deforestacion en el ecuador continental: Disponible en: [www.dev.clirsen.com/pdfs/defo\\_ecuador.pdf](http://www.dev.clirsen.com/pdfs/defo_ecuador.pdf).

Conese, C.G., G. Maracchi, F. Miglietta, F.Maselli, and V.M. Sacco, 1988. Forest classification by principal components analysis of TM data, *International Journal of Remote Sensing*, 9:1597-1612.

Diccionario de la lengua Española. (2003), Real Academia Española Madrid Edition: 22, illustrated Published by Espasa Calpe, S.A., ISBN 8467003170, 9788467003178

ESRI, 2012. What is GIS. Accesible en: [http://www.esri.com/what-is-gis/overview#overview\\_panel](http://www.esri.com/what-is-gis/overview#overview_panel)

FAO, (1990), Deforestacion a nivel mundial. Accesible en: <http://www.fao.org/documents/showcdr> , **degradación de los bosques.FUNDACION NATURA**

FAO-CATIE, 1999. Taller Sobre Evaluación de los Recursos Forestales en Once Países Latinoamericanos, FRA 2000 Documento de trabajo no. 10, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 90

FAO. (2001). Causas y tendencias de la deforestación en América Latina. Roma, Italia.

FAO-CATIE, 2000. Bibliografía Comentada, cambios en la Cobertura Forestal, Panamá. FRA 2000 Documento de trabajo no. 41, Turrialba, Costa Rica-Roma, Italia.

FAO-CATIE, 2000. Recursos Forestales de Belize, FRA2000 WorkingPaper no. 40, Turrialba, Costa Rica-Roma, Italia.

FAO-CATIE, (2000). Bibliografía Comentada, Cambios en la Cubierta Forestal Venezuela, Documento de trabajo No. 39, Turrialba, Costa Rica-Roma, Italia.

FAO, (2005): State of the worlds frests 2005 ROME; FAO

FAO. (2006). Políticas Peuarias

FAO, 2006: Global Forest Ressource Assessment 2005 – Progress towards sustainable forest management. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Accessible under: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/A0400E/A0400E00.pdf> (accessed 23 January 2012)

FAO, (2009). Situacion de los bosques en el mundo

FAO, 2011: The state of the forest resources – a regional analysis. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Available under: <http://www.fao.org/docrep/013/i2000e/i2000e00.htm> (accessed 23 January 2012)

Hamilton, L. , Juvik, J. & F. Scatena. (1995). The Puerto Rico tropical cloud forest symposium. Introduction and worshop synthesis. –In Ecological studies 110: 1-19

HitechGOV. 2012. GISUsers. Accesible en: <http://www.hitechgov.com/index.html>

INDAP, (2009). Accesible en: [http://www.indap.gob.cl/observatorio/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=294](http://www.indap.gob.cl/observatorio/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=294) fecha de ultim acceso nov 2012.

Keipi, K. (2000). Políticas Forestales en América latina. Banco interamerinado de desarrollo. Washington D.C.

Kilkki, P. & Väisänen, U. 1969. Determination of the optimum cutting policy for the forest stand by means of dynamic programming. Seloste: Metsikön optimihakkuuohjelman määrittäminen dynaamisen ohjelmoinnin avulla. Acta Forestalia Fennica 102:1-23.

Knoke T, Stimm B, Weber M (2008) Tropical farmers need productive alternatives. Nature 291 452:934

Knoke T, Calvas B, Aguirre N, Román-Cuesta R, Günter S, Stimm B, Weber M, Mosandl R  
293 (2009a) Can tropical farmers reconcile subsistence needs with forest conservation?  
Front Ecol Environ 7:548–554

Lambin, E.F., 1994. Modelling Deforestation Processes: A Review, Tropical Ecosystem  
Environment Observations by Satellites (TREES) Research Report No.1, European  
Commission, Luxembourg, 128 p

[Laurance et al., \(2001\)](#) W.F. Laurance, A.K.M. Albernaz and C. Da Costa, Is deforestation  
accelerating in the Brazilian Amazon?, *Environmental Conservation* **28** (2001), pp.  
305–311. [View Record in Scopus](#) | [Cited By in Scopus \(36\)](#)

Lösch, A. (1944). Die räumliche Ordnung der Wirtschaft. (1ère éd. Jena, 1940 ; 2e éd.  
remaniée, Jena, 1944) ; édition utilisée : Stuttgart, 1962 (reproduction du texte de  
1944)

MAE, (2012). Tasa de deforestación de Ecuador. Accesible en:  
[http://web.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/mponce/TasasDeforestacionEcuador.Ver\\_03.05.11.pdf](http://web.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/mponce/TasasDeforestacionEcuador.Ver_03.05.11.pdf)

Mosandl, R., Günter, S., Stimm, B., Weber, M., 2008: Ecuador Suffers the Highest  
Deforestation Rate in South America. In: Beck, E., Bendix, J., Kottke, I., Makeschin,  
F., Mosandl, R. (Eds.): Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador:  
Springer Verlag (Ecological Studies Vol. 198), pp. 37–40.

Muchoney, D.M., and B.N. Haack, 1994. Change detection for monitoring forest Defoliation,  
Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 60:1243-1251.

NCC, 2012. Environmental services. Gis and Conservation of natural Resources. Accesible en:  
<http://www.ncc-group.co.za/services/gis-and-mapping-services>

Quattrochi, Dale A.; Jensen, John R.; Morain, Stanley A.; Walsh, Stephen J.; Ridd, Merrill K, 1999. Remote Sensing in Geography in the New Millennium: Prospects, Challenges, and Opportunities. NASA. Earth Resources and Remote Sensing

Remote Geosystems, 2012. Using GIS in National Defense Systems. Accesible en: <http://www.remotegeo.com/defense--security.html>

Sabins, F. (1978). Remote Sensing Principles and Interpretation, W.H. Freeman and Company San Francisco. p. 1

Starr, C., Starr-Taggart, Taggart, R., Alatorre, E. , Aguilar ., Escalona R., González, V., Biología: La unidad y diversidad de la vida. (2004). Edition: 10. Published by Cengage Learning Editores, 2004. ISBN 9706863508, 9789706863508. 1008 pages

UM. (2012). Universidad de Murcia. Escuela de Geografía. Fundamentos de la teledetección. Accesible en: <http://www.um.es/geograf/sig/teledet/>

UNIGIS, 2001. Desarrollo de aplicaciones e integración de software. 1ra Edición

Wisconsin, Madison University, 2012. Department of Geography. GIS applicatio to Natural resources. Accesible en: [http://www.geography.wisc.edu/research/student\\_research.php](http://www.geography.wisc.edu/research/student_research.php)

**WRM. (1998). Estudio de Caso sobre las Causas Subyacentes de la deforestación y la degradación de los bosques: Reserva Ecológica y Bosque Protector Mache - Chindul, Provincia de Esmeraldas, Ecuador. Disponible en: <http://www.wrm.org.uy/deforestation/LAmerica/Ecuador.html>**

## **7. Glosario**

CLIRSEN: Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos

IGM: Instituto Geográfico Militar

MC: Simulación Monte Carlo

NCI: Naturaleza y Cultura Internacional

PL: Programación Lineal

SIG: Sistemas de Información Geográfica

TUM: Universidad Técnica de Munich

USFQ: Universidad San Francisco de Quito

