



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
CARRERA DE TOPOGRAFÍA Y GEODESIA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES GEOMÁTICA (CIAG)**

*DOCUMENTO DE INVESTIGACION*

**EVALUACION CARTOGRAFICA DE RIESGOS DE DEFORESTACION EN  
(TPFP) Y DESERTIFICACIÓN POR ACCIONES ANTROPICAS Y EFECTOS DE  
CAMBIOS CLIMATICOS GLOBALES.  
(Versión revisada, aumentada y corregida)**

---

**JOSE LUIS DELGADO ALVAREZ  
RESPONSABLE a.i. CIAG  
josedelgado@yahoo.com  
(02) 2441401 - 71915238**

**La Paz, junio 2015**

**INDICE.**

	<b>Pg.</b>
1. Introducción	2
2. Materiales y Métodos	
2.1 Materiales	3
2.2 Métodos	3
3. Resultados	
3.1 Riesgo de ser deforestado	
3.2 Validación del mapa de riesgos de deforestación producido	8
3.3 Susceptibilidad de los ecosistemas de entrar en procesos de desertificación	9
4. Conclusiones	11
5. Bibliografía	11

# **EVALUACION CARTOGRAFICA DE RIESGOS DE DEFORESTACION EN LAS TPF (Tierras de Producción Forestal Permanente) Y DESERTIFICACIÓN POR ACCIONES ANTROPICAS Y EFECTOS DE CAMBIOS CLIMATICOS GLOBALES**

## **1. INTRODUCCION**

El presente trabajo, se enmarca en una aplicación de tecnologías espaciales para el estudio de la tierra, recursos naturales y medio ambiente, a través de un análisis espacial en entorno SIG RASTER (álgebra de mapas), complementado con un SIG vectorial y una base de datos temática. En este sentido, el documento abarca dos temas a saber: uno primero referido a la definición de áreas propensas a ser deforestadas por orden de grado (mayor o menor susceptibilidad dentro las tierras definidas como áreas de producción forestal permanente - TPF); y la otra, referida a la susceptibilidad de los ecosistemas de entrar en procesos de desertificación, por efecto de los inminentes cambios climáticos globales.

A principios de la década de los años 2000, se declaran mediante Decreto Supremo, 41.149.891,00 hectáreas del territorio nacional, como Tierras de Producción Forestal Permanente (TPF), con el objetivo de preservar estas áreas, y definiendo que cualquier intervención humana sobre estas, debería estar enmarcada dentro un plan de manejo, elaborado mediante normas establecidas, y regulada por las instancias pertinentes, como la Superintendencia Forestal (SIF – Actual ABT), y el Ministerio del ramo respectivo.

El año 2005, la entonces SIF publica un documento y coberturas SIG, en la que se describen todas aquellas áreas que fueron deforestadas, para las gestiones 2004 y 2005; para el año 2006, el Centro de Investigaciones y Aplicaciones Geomáticas (CIAG), de la Facultad de Tecnología – UMSA, a través del análisis de imágenes satelitales LADSAT TM5, complementa este trabajo, y saca una cobertura de deforestación solo sobre TPF, misma que corresponde a una superficie de 385.862,00 hectáreas.

Se estima en términos un poco generales, que la tasa de deforestación en el país, es de aproximadamente 300.000,00 hectáreas por año; en tal sentido, para este trabajo, tomaremos ese datos para cálculos posteriores; estimándose que en los siguientes 10 años, tendremos alrededor de 3.000.000,00 ha de TPF, que perderán su cobertura boscosa, para ser incorporados a la producción agropecuaria u otros rubros.

Adicionalmente, en un trabajo de investigación a nivel de proyecto de grado realizado el año 2014, se ha trabajado con imágenes satelitales LANDSAT del año 2011, para determinar las áreas deforestadas sobre las TPF, y evaluar el mapa de riesgos de deforestación elaborado, cuyos resultados sobrepuestos a este mapa, nos darán una apreciación de la certeza del mismo. (Zabaleta, 2015)

Por otra parte, por efecto de los cambios climáticos globales, existe un proceso de desertificación de tierras; en este sentido, hacemos un análisis de lo que actualmente tenemos en el país sobre este tema, y el escenario que podríamos tener a futuro ante un cambio climático global, que para este caso estamos suponiendo un incremento de la temperatura media anual de tres grados centígrados (que es lo que se tiene previsto podría

ocurrir en los tres próximos decenios, según modelos climáticos), haciendo un análisis espacial ante este escenario, y poder definir las áreas más vulnerables a estos cambios de clima.

Por lo tanto, en este trabajo pretendemos los siguientes objetivos:

- Cualificar el riesgo de susceptibilidad de ser objeto de intervenciones antrópicas, y perder la cobertura forestal, en todas las TFPF en el país (riesgo de ser deforestado).
- Evaluar el mapa de riesgo de deforestación producido, con la evaluación de deforestación para el año 2011.
- Evaluar la susceptibilidad de los ecosistemas de entrar en procesos de desertificación, ante un eventual cambio climático global.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

### **2.1. Materiales.**

Los materiales empleados para este trabajo son:

- Material Informático.
  - o Hardware: un computador Pentium I5, con sus respectivos periféricos.
  - o Software: idrisi taiga, arcgis, erdas imagine, access, Word y excel.
- Material cartográfico.
  - o Coberturas nacionales SIG, departamentales, municipales, viales, hidrográficos, poblacionales.
  - o Imágenes satelitales LANDSAT TM5 del año 2006 y 2011.
- Otros materiales.
  - o Información climática de 54 estaciones meteorológicas.
  - o Otros datos cartográficos temáticos.

### **2.2 Metodología**

***a). Para cualificar el riesgo de susceptibilidad de ser objeto de intervenciones antrópicas, y perder la cobertura forestal, en todas las TFPF en el país (riesgo de ser deforestado).***

Se aplicó un sistema de evaluación multicriterios con un solo objetivo, en la que se tomaron dos restricciones y ocho factores: las restricciones consideradas fueron:

- Que las áreas seleccionadas deben corresponder necesariamente a TFPF.
- Que las áreas seleccionadas, no deben corresponder a áreas que ya fueron deforestadas hasta el año 2006.

Para cada una de estas restricciones, se produjo una cobertura SIG RASTER.

Los ocho factores considerados son:

- Distancias a caminos (red nacional) – F1
- Distancia a las redes hidrográficas – F2
- Distancias a poblaciones con más de 5000 habitantes. –F3
- Distancias a poblaciones con 3000 a 5000 habitantes. –F4
- Distancias a poblaciones con 1000 a 3000 habitantes. –F5
- Distancias a poblaciones con menos de 1000 habitantes. –F6
- Humedad presente en las regiones (precipitación media anual) –F7
- Distancia a zonas que ya sufrieron deforestación en TFPF. –F8

En entorno SIG RASTER, los valores de todos estos factores fueron recodificados en una escala común (0 a 255), donde 255 representa mayor riesgo, y 0 menor riesgo; habiéndose producido una cobertura SIG para cada uno de estos factores.

De los ocho factores considerados, la importancia o peso específico asignado a cada de ellos, se enmarco en la definición de un escala de importancia, que corresponde entre un valor de hasta 9 como el de mayor importancia, y hasta un valor de 1/9, como el de menor importancia.

La asignación de pesos para cada factor fue el siguiente:

$$F1 = 2; F2=0.34; F3=5; F4=3; F5=1; F6=0.5; F7=0.25; F8=4$$

Con estas ponderaciones, se procedió al armado de una matriz, con la cual se pudo determinar el vector de coeficientes para cada uno de estos factores.

La evaluación multicriterios (MCE por su sigla en ingles), corresponde a aplicar la siguiente fórmula matemática, que en realidad hace el cálculo de un Índice Compuesto (IC) y es:

$$IC = \sum pi Fi * R \text{ (Eastman 1994)}$$

Donde.

**IC**, es el índice compuesto, que corresponderá a un valor comprendido entre 0 a 255, donde 255 representa la mayor susceptibilidad y 0 la menor.

**pi**, son los coeficientes calculados en función a los pesos asignados, para cada uno de los factores. (La sumatoria de los ocho coeficientes debe ser igual a 1

**Fi**, son los factores considerados.

**R**, son las restricciones consideradas, que según el caso, puede no existir.

El resultado de aplicar esta fórmula, será una cobertura, donde los valores de cada píxel, corresponderá a valores comprendidos entre 0 y 255, mismos que posteriormente se reclasifican, para definir zonas de rangos de susceptibilidad.

***b). Para evaluar la validez y precisión del mapa de riesgo de deforestación sobre las TFPF producido.***

Para evaluar la certitud del mapa de riesgos producidos en el punto anterior, se ha trabajado con imágenes satelitales LANDSAT TM5 del año 2011, donde a través de un análisis numérico se han delimitado todas las zonas deforestadas, para posteriormente intersectar

estos datos con el mapa de riesgos de deforestación, y evaluar cuantitativamente sus correspondencias en las cinco categorías de riesgo definidos en el mapa. (*Proyecto de grado, Zabaleta 2015*).

***c). Para evaluar la susceptibilidad de los ecosistemas de entrar en procesos de desertificación, ante un inminente cambio climático global, de incremento de tres grados centígrados de la temperatura media anual***

Se trabajo en base al modelo de zonas de vida ecológica propuesta por HOLDRIDGE (1967), donde las variables y valores tomados para el análisis son los de la relación de evapotranspiración; definido como el cociente entre el potencial de evapotranspiración anual entre la precipitación media anual, siendo que valores menores o iguales a 1, corresponden a zonas que no representan problemas de déficit de humedad (sin problemas de desertificación); y los valores mayores a cero, que si representan problemas de desertificación.

A este respecto, se procedió a elaborar una cobertura de biotemperatura media anual, como resultado del análisis de 54 estaciones meteorológicas, correlacionando los valores de temperatura media anual medidas en estas, con su posición y altura sobre el nivel del mar respectiva, obteniéndose una ecuación, que correlaciona la biotemperatura media anual, con la altitud.

Para el cálculo del potencial de evapotranspiración, según lo propuesto por HOLDRIDGE, se estima que por cada grado de biotemperatura media anual, se evapotranspira 59.93 mm de agua. Haciendo uso de esta relación en el SIG, se calcula una cobertura para el potencial de ETP. (Para el escenario incrementado con 3 °C de temperatura por cambio climático, solo se hace una suma a la cobertura de biotemperatura, y el cálculo de la ETP, sigue el mismo procedimiento).

Por otra parte, con los datos de las estaciones meteorológicas más otra información adicional, se procedió a elaborar una cobertura SIG para la precipitación media anual.

El cálculo y las reclasificaciones, correspondió a simples relaciones matemáticas y criterios de reclasificación, tareas rutinarias en un SIG.

Todo el trabajo realizado, correspondió a un detalle de resolución espacial de 100 metros (píxeles de 100 m), que corresponde aproximadamente a una escala de 250000. La proyección cartográfica, corresponde a la cónica conforme lambert, con datum WGS84.

### **3. RESULTADOS**

#### ***3.1 riesgo de ser deforestado***

Aplicado el modelo matemático del cálculo del índice compuesto, con dos restricciones y ocho factores, inicialmente se calcularon los coeficientes de los vectores para cada uno de los factores, mismos que corresponden a:

The eigenvector of weights is:

f1: 0.1037

f2: 0.0324

f3: 0.3451

f4: 0.1549

f5: 0.0675

f6: 0.0467

f7: 0.0231

f8a: 0.2266

Consistency ratio = 0.03

Consistency is acceptable.

De estos valores, podemos ver que los que mayor incidencia tendrán en la determinación de la susceptibilidad son: el factor 3, 8 y 1, siendo el de menor incidencia el factor 7. El factor de consistencia calculado es de 0.03, que denota una consistencia aceptable; vale decir, que la asignación de pesos es coherente.

Como los valores de índice compuesto corresponden a valores entre 0 y 255, donde 255 representa mayor susceptibilidad y 0 menor, se procedió a recategorizar cada uno de los píxeles en 5 grupos, donde la categoría primera representa las zonas con mayores susceptibilidades de ser deforestada, y la categoría quinta la de menor riesgo.

En la Figura 1, se presenta el mapa resultado de esta recategorización, donde se puede diferenciar claramente las cinco zonas de susceptibilidad de entrar en proceso de deforestación.

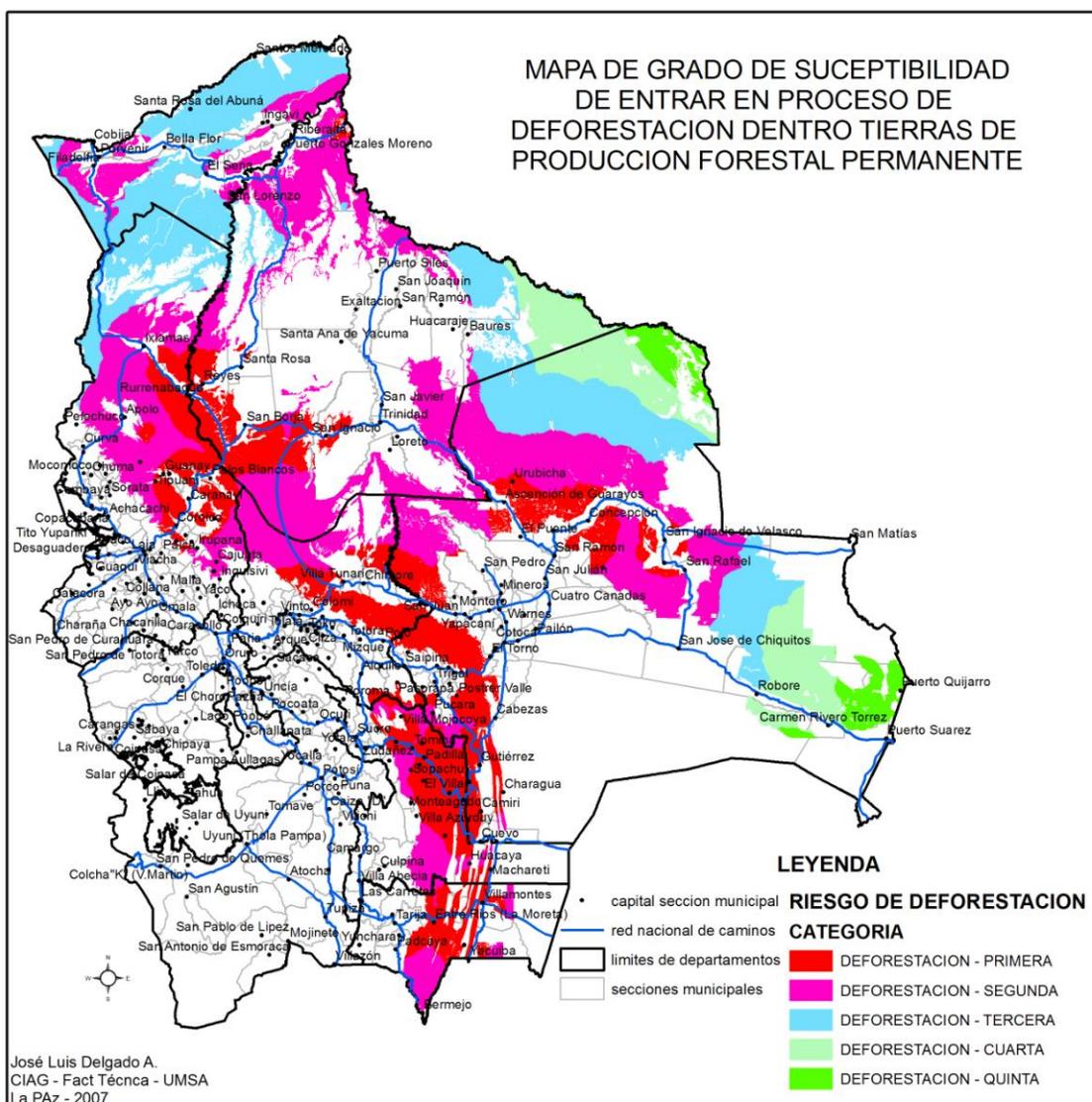


Figura 1. Mapa de susceptibilidad de deforestación sobre TFPF (Fuente: elaboración propia - 2007)

En cuanto a la cuantificación de superficie, tenemos en el Cuadro 1, esta relación:

RIESGO DE DEFORESTACION POR ACTIVIDADES ANTROPICAS		
GRADO	superficie (ha)	porcentaje
primero	9646680.00	23.7
segundo	15989990.00	39.3
tercero	10029666.00	24.7
cuarto	3743545.00	9.2
quinto	1254818.00	3.1
<b>total</b>	<b>40664699.00</b>	<b>100.00</b>

Cuadro 1. Cuantificación de riesgos de deforestación sobre TPP (Fuente: elaboración propia – 2007)

### 3.2 Validación del mapa de riesgos de deforestación producido.

Para validar la eficiencia de este mapa producido (Figura 1), se ha trabajado un Proyecto de grado, donde se han tomado imágenes satelitales LANDSAT TM5 del año 2011, donde se han delimitado todas las áreas deforestadas dentro las TFPF.

En este proyecto, delimitado las áreas deforestadas sobre las TFPF, e intersectado estos con el mapa de riesgo de deforestación, tenemos los siguientes resultados (Ver Figura 2)

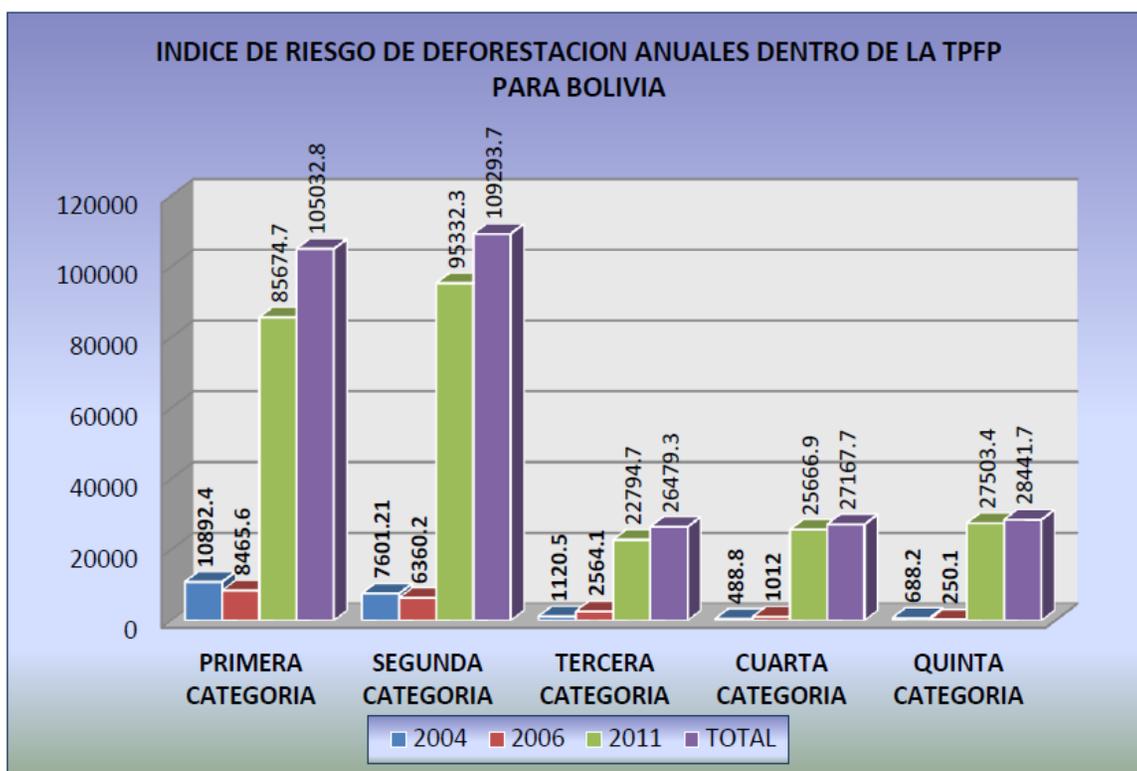


Figura 2. Áreas deforestadas (ha), según las zonas de categorías de riesgo de deforestación (Zabaleta 2015)

En términos porcentuales, tenemos las siguientes relaciones de superficies: (Ver cuadro 2).

Años	Primera Categoría	Segunda Categoría	Tercera Categoría	Cuarta Categoría	Quinta Categoría	Total Anual	Total %
2004	10892.4	7601.2	1120.5	488.8	688.2	20791.1	7%
2006	8465.6	6360.2	2564.1	1012	250.1	18652	6%
2011	85674.7	95332.3	22794.7	25666.9	27503.4	256972	87%
Total	105032.8	109293.7	26479.3	27167.7	28441.7	296415.2	100%
Total %	35%	37%	9%	9%	10%	100%	

Cuadro 2. Relaciones de áreas deforestadas sobre las TFPF, para los años 2004, 2006 y 2011 (Zabaleta 2015)

De este cuadro podemos apreciar que la categoría definida con riesgo 1 de deforestación, se tiene en esta el 35% del total de áreas deforestadas, y en categoría 2 el 37%, si sumamos

ambas categorías y las definimos como las de mayor riesgo, vamos a tener que ellas abarcan el 72% de las áreas deforestadas a lo largo del tiempo considerado en este estudio.

### 3.3 susceptibilidad de los ecosistemas de entrar en procesos de desertificación

Para cualificar la susceptibilidad de tierras para entrar en un proceso de desertificación, se procedió a la elaboración de los mapas respectivos, tanto para el escenario actual, como para el escenario incrementado, donde la temperatura media anual se incrementa en 3 °C, como efecto de los cambios climáticos globales, en las figuras 3 y 4 se muestran estos mapas:

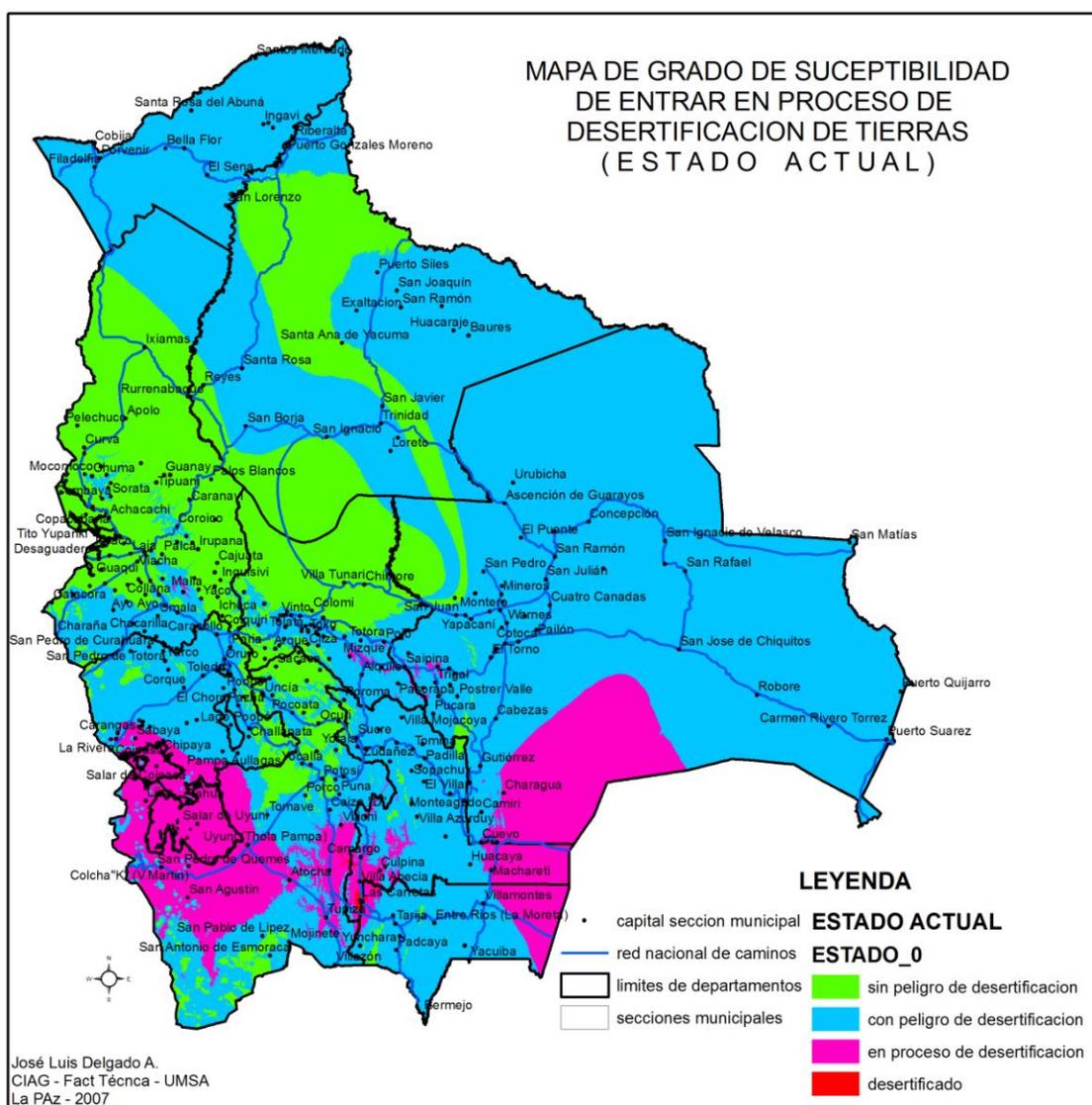


Figura 3. Estado actual del proceso de desertificación de tierras a nivel nacional (Fuente: elaboración propia – 2007)

En el Cuadro 3, se tiene las cuantificaciones respectivas, y los porcentuales de cada una de las categorías de estado de desertificación, donde se resalta que actualmente hay un 22%

del territorio nacional sin peligro de desertificación, que ante el cambio climático, este se reduciría a tan solo 11%.

Estado de desertificación	E S C E N A R I O S			
	escenario actual		escenario incrementado con 3°C de temperatura media anual	
	superficie (ha)	porcentaje	superficie (ha)	porcentaje
sin peligro de desertificación	24301004.00	22.50	12842097.00	11.89
con peligro de desertificación	71263965.00	65.98	74939231.00	69.39
en proceso de desertificación	12316766.00	11.40	15070630.00	13.95
desertificado	122017.00	0.11	5151794.00	4.77
<b>TOTAL</b>	<b>108003752.00</b>	<b>100.00</b>	<b>108003752.00</b>	<b>100.00</b>

Cuadro 3. Cuantificaciones del estado de desertificación actual y con escenario incrementado por efecto de cambios climáticos globales (Fuente: Elaboración propia – 2007)

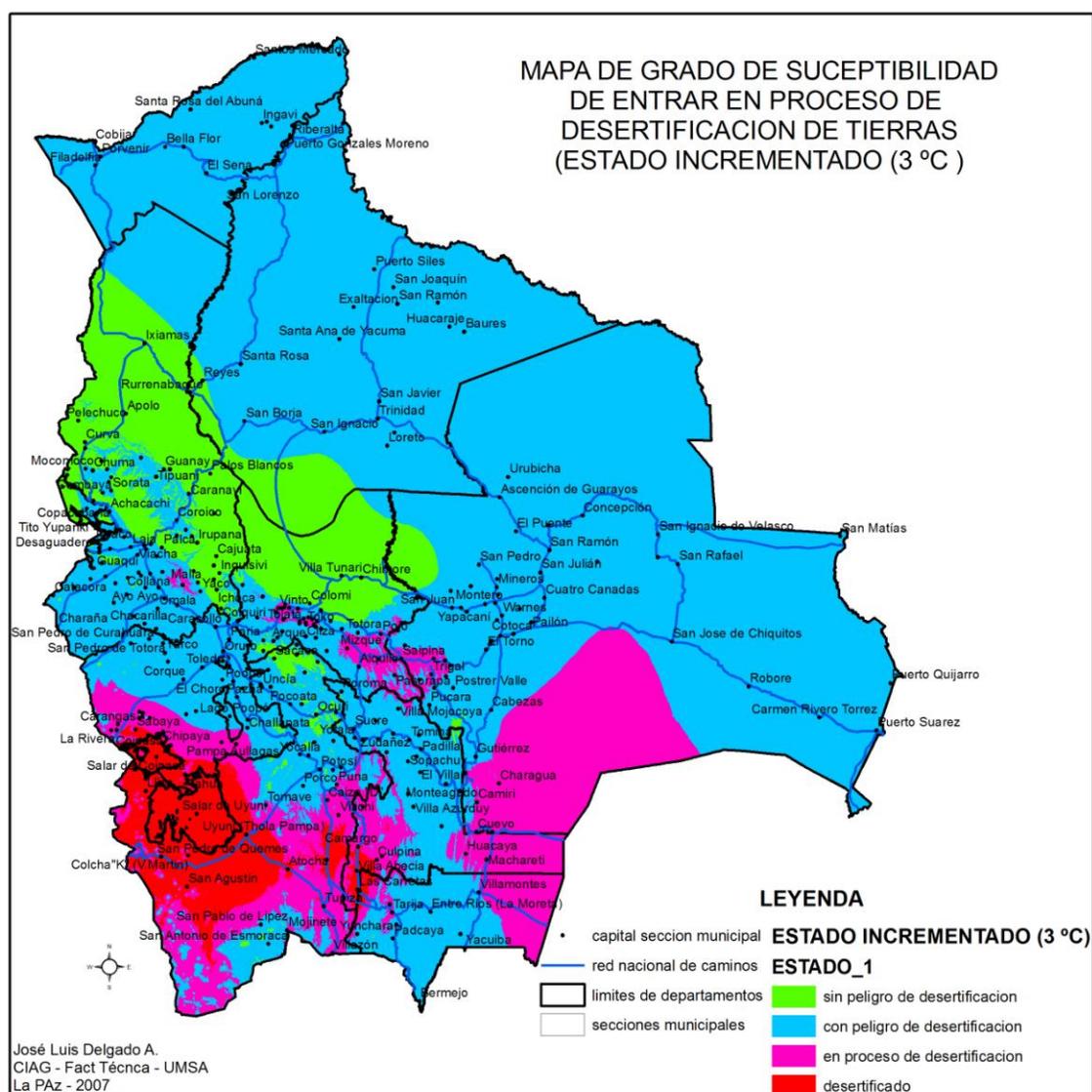


Figura 4. Estado incrementado del proceso de desertificación de tierras a nivel nacional como efecto de cambios climáticos globales (Fuente: elaboración propia – 2007)

La figura 5, muestra las relaciones de superficies, entre el estado actual y el incrementado, donde se puede notar claramente los cambios que podrían producirse a nivel nacional.

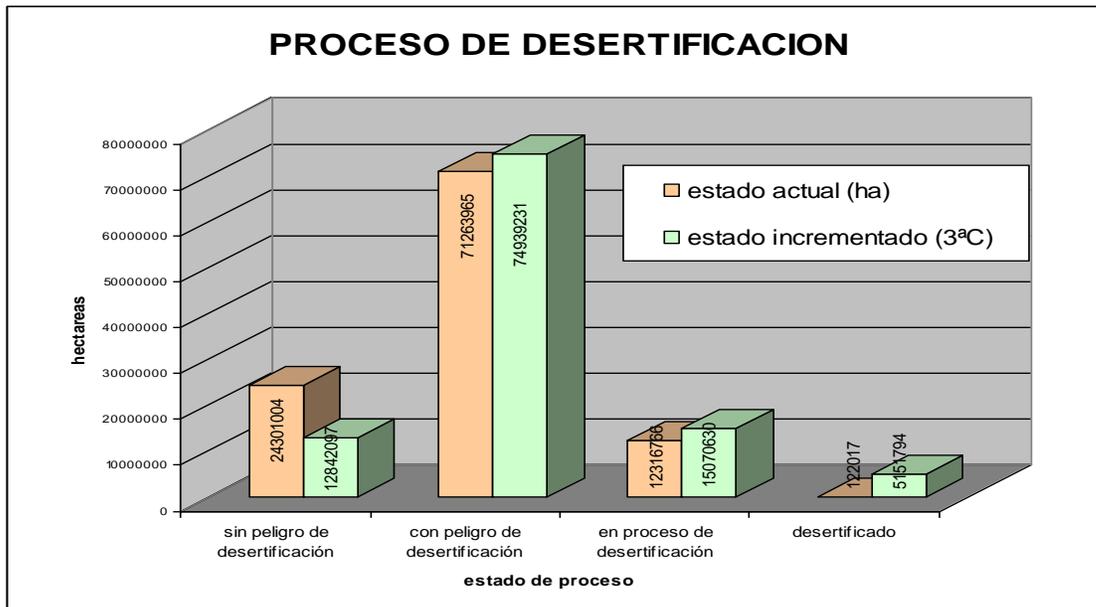


Figura 5. Relación de superficies de desertificación entre el estado actual, y el estado incrementado de temperatura por efecto de cambios climáticos globales (Fuente: Elaboración propia – 2007)

#### 4. CONCLUSIONES

Las conclusiones que podemos determinar de este trabajo son:

- La ampliación de la frontera agrícola sobre las TFPF, es una amenaza inminente, que en el mediano plazo puede acabar con los bosques naturales en el país, para el año 2006, se ha determinado cerca a 386000,00 ha, se estima que de seguir este ritmo, en los siguientes 10 años, habremos perdido algo mas de 3 millones de hectáreas de bosques.
- De la determinación de la zonas susceptibles con grado primero de ser deforestada, se tiene una superficie total de 9.6 millones de hectáreas, que corresponde aproximadamente al 24% de las TFPF, mismas que se encuentran distribuidas principalmente en las regiones de Chapare y Carrasco en Cochabamba; en las zonas de Guanay, Palos Blancos y San Buenaventura en La Paz; en el Beni entre las zonas de Riberalta y Guayaramerín, al igual que las zonas de Rurrenabaque hasta San Ignacio de Moxos, ; en las zonas de Guarayos y Concepción de Santa Cruz; y en Chuquisaca en la zona nor este, Padilla, el Villar, Villa Azurduy; finalmente en Tarija, en la zona central.
- Todas estas áreas mencionadas, deberían entrar en programas de prevención, a objeto de mitigar los efectos de las deforestaciones, y que si estas se hacen, deben hacerse de manera muy controlada por las instancias correspondientes.
- En cuanto a los procesos de desertificación actual, y los que podrían darse por efecto de los cambios climáticos globales, se han identificado todas aquellas zonas con mayores susceptibilidades, por lo que habrá que tomarse medidas al respecto, a objeto de mitigar las consecuencias.

- De la validación del mapa de riesgos de deforestación elaborado, tenemos que en las categorías máximas de riesgo (1 y 2, elaborado el año 2007), con datos de deforestación del año 2011, se ha determinado que el 72% de las deforestaciones se han producido en estas dos primeras categorías, lo que nos da la pauta de certitud en la elaboración del mapa de riesgos de deforestación, siendo el Departamento de Santa Cruz el mayor afectado (Zabaleta 2015).
- Es muy importante que el estado, asuma verdaderas políticas de conservación de recursos naturales, bosques en este caso, y todas las medidas necesarias a objeto de reducir las consecuencias que seguramente traerán consigo estos cambios climáticos globales, así como las acciones de destrucción de los bosques en las que estamos inmerso.
- EL estado de situación relativo a la desertificación, es un problema que debe llamarnos la atención, ya que de esta muy rápida evaluación, los resultados son altamente negativos para el país
- Finalmente, indicar que el CIAG de la Facultad de Tecnología UMSA, está inmerso en investigaciones y trabajos conjuntos con otras instituciones, en aspectos relacionados al estudio de la tierra, recursos naturales y medio ambiente, mediante el empleo de tecnologías espaciales.

## 5. BIBLIOGRAFIA

**Bonn F. Et Rochon G. (1993).** Précis de Teledetection, Principes et méthodes. Volume 1, presses de l'Université du Québec/AUPELF. , Canada, 421p.

**Collet C. (1992).** Systemes d'Information Geographique en mode image. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lousanne, Suisse, 186p.

**Collet C. (1981).** Comparaison des méthodes de classification appliquées á des données de télédétection, 1, Espace Geographique, N° 1, pp28-32.

**Delgado A. JL, (1996).** La province de Tiraque, Cochabamba – Bolivie, Application d'un Système d'Information Geographique (SIG) et Recherche en Télédétection, Université de Liège – Belgique, Faculté des Sciences, **Thèse de Maîtrise en “Geologie des Terrains Superficiels”**, 120p.

**Delgado A. JL, (2006),** Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Herramientas claves para el estudio de la tierra y sus recursos naturales, (INEDITO), CIAG, - UMSA, La Paz, 455p.

**Eastman J. R et al (1994).** Raster Procedures for Multi-objective Decision Making in GIS Under Condition of Competing Objectives, Proceedings EGIS 93, 438-447.

**Food Agriculture Organisation (FAO) (1976).** Cadre pour l'évaluation des terres. Bulletin pédologique de la FAO, N° 32.64p

**Holdridge R. (1967).** Ecología basada en zonas de vida, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícola (IICA). San José – Costa Rica, 216p.

**Peguy Ch. P. (1970).** Précis de climatologie, Masson, Paris, 468p.

**Unzueta Orlando (1975).** Mapa Ecológico de Bolivia, Memoria explicativa, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, La Paz – Bolivia, 315p.

**Zabaleta Adalid, Delgado José Luis (1975).** Evaluación de la deforestación en Bolivia en Tierras de Producción Forestal Permanente para el año 2011, Proyecto de grado a nivel de licenciatura, Carrera de Topografía y Geodesia - Facultad de Tecnología - UMSA, La Paz – Bolivia, 104 p.