

EVALUACIÓN CARTOGRÁFICA DE LAS TIERRAS DE PRODUCCIÓN FORESTAL PERMANENTE (TPFP), RIESGOS DE DEFORESTACIÓN, DESERTIFICACIÓN POR ACCIONES ANTRÓPICAS Y EFECTOS DE CAMBIOS CLIMÁTICOS GLOBALES

• José Luis Delgado Álvarez*

Resumen

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.

EL estado de situación relativo a la desertificación mostrado en dos escenarios (actual e incremento temperatura 3°C), es un problema que debe llamar la atención, debido a que los resultados son altamente negativos para las (TPFT Tierras de Producción Forestal Permanente) del país, véase mapas 2 y 3.

PALABRAS CLAVES: Desertificación. SIG RASTER. Tierras de Producción Forestal Permanente TPFP. Evaluación multicriterio MCE, validación de imágenes. Cartografía SIG.

Abstract

This work is framed in an application of space technologies for the study of land, natural resources and environment, through a spatial analysis in RASTER GIS environment (map algebra) supplemented with vector GIS and database thematic data.

The state of affairs concerning desertification shown in two scenarios (current and 3°C temperature raise), it is a problem that needs attention, because the results are highly negative for TPFT (Permanent Forest Production Lands) of the country. Vide maps 2 and 3.

KEYWORDS: Desertification. RASTER GIS Permanent Production Forest Lands. MCE multi-criteria evaluation, validation of images. GIS mapping.

Resumo

Este trabalho é parte de uma aplicação de tecnologias espaciais para o estudo da terra, recursos naturais e meio ambiente, através de uma análise espacial em ambiente SIG raster (álgebra de mapas) suplementado com SIG vetorial e banco de dados temáticas.

O estado de coisas relativas à desertificação mostrado em duas (atual e aumento de temperatura de 3°C) cenários, é um problema que precisa de atenção, porque os resultados são altamente negativo para TPFT (Terras de Produção Florestal Permanente) do país. Vista mapeamento 2 y 3.

PALAVRAS-CHAVE: Desertificação. Raster SIG. Terras de Produção Florestal Permanente. MCE multi-critérios de avaliação, validação de imagens. Mapeamento SIG.

Article history: Received 07 august 2015. Style revision: 12 august 2015. Accepted 12 september 2015.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, se enmarca en una aplicación de tecnologías espaciales para el estudio de la tierra, recursos naturales y medio ambiente, a través del análisis espacial en entorno SIG RASTER (álgebra de mapas), complementado con un SIG vectorial y una base de datos temática. Considerando los aspectos siguientes:

1. Definición de áreas propensas a ser deforestadas por orden de grado (mayor o menor susceptibilidad dentro las Tierras de Producción Forestal Permanente - TPFP).
2. Susceptibilidad de los ecosistemas de ingresar en procesos de desertificación, por efecto de los inminentes cambios climáticos globales.

A principios de la década de los años 2000, se declaran a nivel gubernamental, 41.149.891,00 hectáreas del territorio nacional, bajo el rótulo de Tierras de Producción Forestal Permanente (TPFP), con la finalidad de preservar estas áreas, y definiendo que cualquier intervención humana sobre éstas, debería enmarcarse dentro un plan de manejo, elaborado mediante normas establecidas, y reguladas 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, describiendo todas aquellas áreas que fueron deforestadas, para las gestiones 2004 y 2005. En 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, e identifica una cobertura de deforestación solo sobre las TPFP, correspondiente a una superficie de 385.862,00 hectáreas. Estimándose que la tasa de deforestación en el país, es de alrededor de 300.000,00 hectáreas por año, y tomando este dato para la proyección de los siguientes diez años,

3.000.000,00 de hectáreas de TPFP, son susceptibles de perder su cobertura boscosa, para ser incorporadas a la producción agropecuaria u otros rubros.

Adicionalmente, en el trabajo de investigación a nivel de proyecto de grado realizado el año 2014 por Adalid Zabaleta, se ha trabajado con imágenes satelitales LANDSAT del año 2011, para actualizar las áreas deforestadas sobre las TPFP, y evaluar el mapa de riesgos de deforestación, que sobrepuesto a este mapa, muestran una apreciación de la certeza del mismo (Zabaleta, 2015).

Por otra parte, por efecto de los cambios climáticos globales, se analiza la desertificación de tierras; incorporando cartográficamente dos escenarios: el actual y un futuro suponiendo un incremento de la temperatura media anual de tres grados centígrados (pronóstico para los tres próximos decenios, según modelos climáticos).

DESARROLLO

Objetivos:

- Cualificar el riesgo de susceptibilidad de ser objeto de intervenciones entrópicas, y perder la cobertura forestal, en todas las TPFP 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.

Materiales y métodos

- Material Informático: Hardware: un computador Pentium I5, con sus respectivos periféricos. Software: IDRISI TAIGA, ARCGIS, ERDAS IMAGINE, ACCESS, Word y Excel.

- Material cartográfico: SIG Coberturas nacionales, departamentales, municipales, viales, hidrográficos, poblacionales.
- Imágenes satelitales LANDSAT TM5 del año 2006 y 2011.
- Otros materiales: Información de 54 estaciones meteorológicas. Otros datos cartográficos temáticos.

Metodología

Susceptibilidad de intervenciones entrópicas, y pérdida de la cobertura forestal, en las TFPF del país (riesgo de ser deforestado)

Se aplicó un sistema de evaluación multicriterio con un solo objetivo, dos restricciones y ocho factores: las restricciones consideradas fueron:

1. Que las áreas seleccionadas correspondan necesariamente a TFPF.
2. Que las áreas seleccionadas, no incluyan áreas que ya fueron deforestadas hasta el año 2006.

Para cada una de estas restricciones, se produjo una cobertura 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, asignando un peso específico o escala de importancia, entre 9 como el de mayor importancia, hasta 1/9, como el de menor importancia, ver tabla 1. Con estas ponderaciones, se procedió al armado de una matriz, que determinó el vector de coeficientes para cada uno de estos factores.

Tabla 1
Ocho factores considerados y peso específico

Factor considerado	Peso específico F_i
F_1 Distancias a caminos (red nacional)	$F_1 = 2$
F_2 Distancia a las redes hidrográficas	$F_2 = 0,34$
F_3 Distancias a poblaciones con más de 5000 habitantes	$F_3 = 5$
F_4 Distancias a poblaciones con 3000 a 5000 habitantes	$F_4 = 3$
F_5 Distancias a poblaciones con 1000 a 3000 habitantes	$F_5 = 1$
F_6 Distancias a poblaciones con menos de 1000 habitantes	$F_6 = 0,5$
F_7 Humedad en las regiones (precipitación media anual)	$F_7 = 0,25$
F_8 Distancia a zonas TFPF anteriormente deforestadas	$F_8 = 4$

Fuente: Elaboración propia

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

$$IC = \sum p_i F_i R \quad (\text{Eastman 1994})$$

IC : Índice compuesto, que corresponderá a un valor comprendido entre 0 a 255. p_i : Coeficientes en función a los pesos asignados, para cada uno de los factores. (La sumatoria de los ocho coeficientes debe ser igual a 1). F_i : Factores considerados. R : Restricciones consideradas, que según el caso, puede no existir.

Aplicando esta fórmula, se tiene una cobertura, donde los valores de cada pixel, corresponderán a valores comprendidos entre 0 y 255, que posteriormente se reclasifican, para definir zonas de rangos de susceptibilidad.

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 delimitaron 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).

Susceptibilidad de los ecosistemas para ingresar a procesos de desertificación, frente a un inminente cambio climático global (incremento 3° C de la temperatura media anual)

Se trabajó 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.

Al respecto, se elaboró una cobertura bio-temperatura media anual, resultado del análisis de la temperatura promedio por año de 54 estaciones meteorológicas, correlacionando la temperatura media anual, con su posición y altura sobre el nivel del mar respectivo, obteniéndose una ecuación, que correlaciona la bio-temperatura media anual, con la altitud.

Para el cálculo del potencial de evapotranspiración, según lo propuesto por Holdridge, se estima que por cada grado de bio-temperatura 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 en 3° C de temperatura por cambio climático, solo se hace una suma de la cobertura de bio-temperatura, y el cálculo de la ETP, sigue el mismo procedimiento).

Por otra parte, a partir de 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. La resolución espacial es de 100 metros (píxeles de 100 m), que corresponde aproximadamente a una escala de 250000. La proyección cartográfica, corresponde a la cónica conforme Lambert y Datum WGS84.

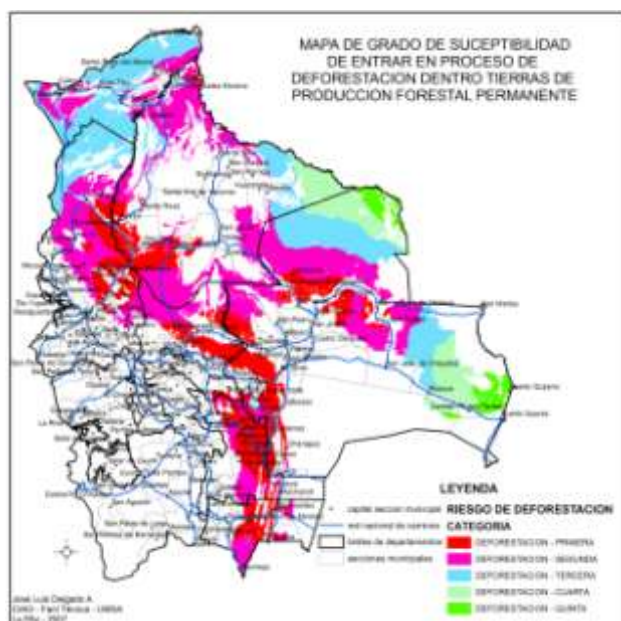
Resultados

1) Riesgo de deforestación

Cálculo de los coeficientes de los vectores para cada F_i :

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

En la determinación de la susceptibilidad, los factores más significativos son: el 3, 8 y 1, siendo el de menor incidencia el factor 7. El factor de consistencia 0,03. Indica una consistencia aceptable y coherente para la asignación de pesos. Los valores del IC, corresponden a valores entre 0 y 255, donde 255 representa mayor susceptibilidad y 0 menor, categorizando cada uno de los píxeles en 5 grupos, la categoría primera representa las zonas con mayores susceptibilidades de ser deforestada, y la categoría quinta la de menor riesgo. El mapa 1, muestra el resultado de esta categorización.



Fuente: Delgado, A. JL., /07

Mapa 1: Susceptibilidad de deforestación sobre TPFP

La tabla 2, muestra las superficies (ha) y porcentaje en peligro de deforestación por actividades antrópicas:

Tabla 2
Riesgo de deforestación por actividades antrópicas

CATEGORÍA	Superficie (ha)	Porcentaje
PRIMERO	9 646 680,00	23,7
SEGUNDO	15 989 990,00	39,3
TERCERO	10 029 666,00	24,7
CUARTO	3 743 545,00	9,2
QUINTO	1 254 818,00	3,1
TOTAL	40 664 699,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

2) Validación del mapa de riesgos de deforestación

Para validar la eficiencia del mapa 1, se ha trabajado en un proyecto de grado, con imágenes satelitales LANDSAT TM5 del año 2011, delimitando todas las áreas deforestadas para las TPFP. Delimitadas las áreas

deforestadas sobre las TPFP, e intersectadas estas con el mapa de riesgo de deforestación, se tiene los resultados mostrados en la tabla 3.

Tabla 3
Áreas de deforestación Tierras de Producción Forestal Permanente TPFP

Año	Primera categoría (ha)	Segunda categoría (ha)	Tercera categoría (ha)	Cuarta categoría (ha)	Quinta categoría (ha)
2004	10892,4	7601,2	1120,5	488,8	688,2
2006	8465,6	6360,2	2564,1	1012	250,1
2011	85674,7	95332,3	22794,7	25666,9	27503,4
Total	105032,7	109293,7	26479,3	27167,7	28441,7

Fuente: Categorías de riesgo de deforestación (Zabaleta, A., 2015)

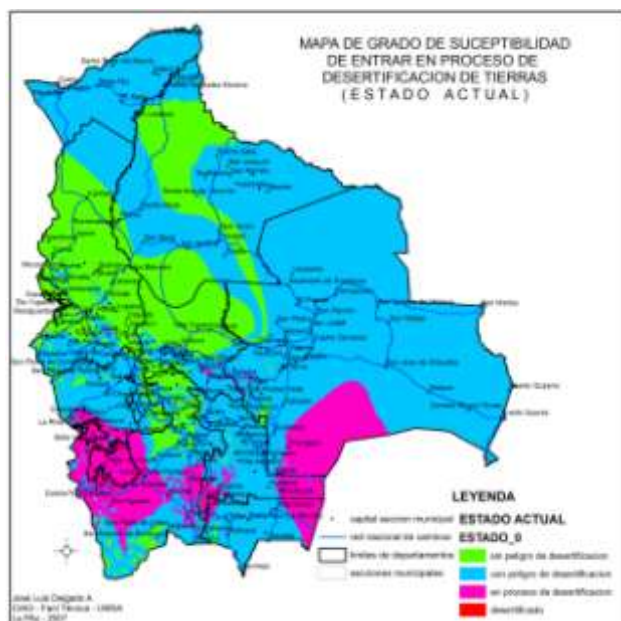
En términos porcentuales, tenemos las siguientes relaciones de superficies, ver tabla 4.

Tabla 4
Áreas de deforestación Tierras de Producción Forestal Permanente TPFP, porcentaje por categoría para 2011

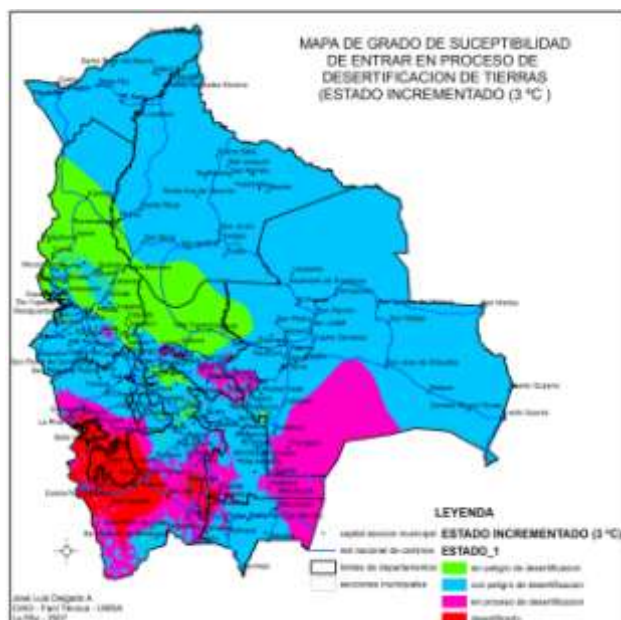
Primera categoría (ha)	Segunda categoría (ha)	Tercera categoría (ha)	Cuarta categoría (ha)	Quinta categoría (ha)	Área total
10892,4	7601,2	1120,5	488,8	688,2	20791,1
8465,6	6360,2	2564,1	1012	250,1	18652,0
85674,7	95332,3	22794,7	25666,9	27503,4	256972,0
105032,7	109293,7	26479,3	27167,7	28441,7	296415,1
35,43 %	36,87%	8,93 %	9,17 %	9,60 %	100 %

Fuente: Elaboración propia sobre datos de (Zabaleta, A., 2015)

- Donde la primera categoría de deforestación tiene el 35,43% del total de áreas deforestadas, y la segunda categoría el 36,87%, sumando ambas categorías como las de mayor riesgo, se llega al 72,30 % de las áreas deforestadas a lo largo del tiempo considerado en este estudio.
- **3) Susceptibilidad de los ecosistemas para ingresar en procesos de desertificación**
- Para establecer La susceptibilidad de ingresar en procesos de desertificación, se procedió a la elaboración de los mapas respectivos, tanto para el escenario actual, como para el escenario donde la temperatura media anual se incrementa en 3°C, por efecto de cambios climáticos globales. Ver mapas 2 y 3.
- En la tabla 5, se tienen las cuantificaciones respectivas, y los porcentuales de cada una de las categorías de estado de desertificación, donde se resalta que en la actualidad hay un 22% del territorio sin peligro de desertificación, que ante el cambio climático, se reduciría al 11%.



Mapa 2: Estado actual del proceso de desertificación de tierras



Mapa 3: Susceptibilidad del proceso de desertificación de tierras a nivel nacional por efecto de cambios climáticos globales

Tabla 5
Estado de desertificación dos escenarios

Estado de desertificación	ESCENARIOS			
	Escenario actual		Escenario incrementado 3 °C	
	Superficie (ha)	(%)	Superficie (ha)	(%)
Sin peligro	24 301 004,00	22,50	12 842 097,00	11,89
Con peligro	71 263 965,00	65,98	74 939 231,00	69,39
En proceso	12 316 766,00	11,40	15 070 630,00	13,95
Desertificado	122 017,00	0,11	5 151 794,00	4,77
TOTAL	108 003 752,00	100,00	108 003 752,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

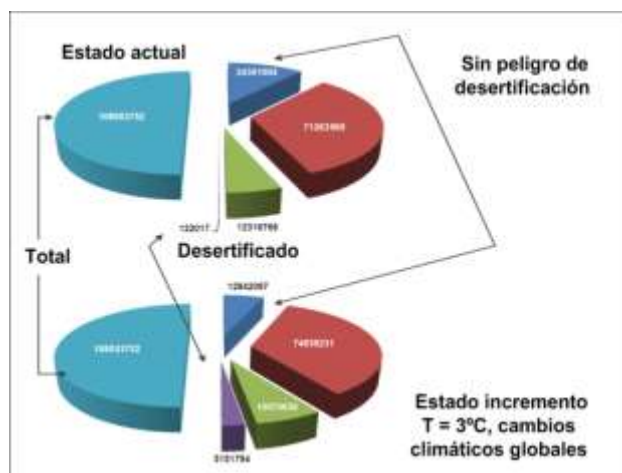


Figura 5: Variaciones de susceptibilidad desertificación de tierras, estado actual frente al estado de un aumento de 3°C temperatura promedio anual debido a cambios climáticos globales.

CONCLUSIONES

De la determinación de las 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 TFP, 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 ser muy controladas 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 tomar medidas al respecto, que minimicen sus consecuencias.

La validación del mapa de riesgos de deforestación, marca las categorías máximas de riesgo 1 y 2, (según mapa del año 2007, más los datos de deforestación del año 2011), con un 72%, demostrando así, la certeza en la elaboración del mapa de riesgos de deforestación, siendo el departamento de Santa Cruz el más afectado (Zabaleta 2015).

El estado de situación relativo a la desertificación visible en dos escenarios (actual e incremento temperatura 3°C), es un problema que debe llamar la atención, debido a que los resultados son altamente negativos para las Tierras de Producción Forestal Permanente (TPFP) del país. En consecuencia, es necesario que las instituciones de nuestro país apliquen 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 también las acciones humanas (antrópicas) que están afectando a los bosques de nuestro territorio.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

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

Delgado, A. J.L., 1996, La province de Tiraque, Cohabamba – 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",

Delgado, A. J.L., 2006, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Herramientas claves para el estudio de la tierra y sus recursos naturales, (INEDITO), CIAG, – UMSA, La Paz,

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

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

Peguy, Ch. P., 1970, Précis de climatologie, Masson, Paris, Francia

Unzueta, O., 1975, Mapa Ecológico de Bolivia, Memoria explicativa, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, La Paz – Bolivia,

Zabaleta, A., Delgado, J.L., 1975, Evaluación de la deforestación en Bolivia en Tierras de Producción Forestal Permanente para el año 2011, Proyecto de grado a nivel de licenciatura 2014, Carrera de Topografía y Geodesia – Facultad de Tecnología – UMSA, La Paz – Bolivia.

CONVOCATORIA REVISTA TECNOLÓGICA Primer Semestre 2016

El Instituto de Investigaciones y Aplicaciones Tecnológicas IIAT por Resolución Facultativa convoca a los señores Docentes y Estudiantes, a participar en la edición: **décimo segundo Volumen, décimo octavo número de la REVISTA TECNOLÓGICA**, correspondiente al primer semestre 2016. Enviando trabajos escritos sobre investigaciones: teóricas, experimentales, comparativas, analíticas, de solución concreta a diferentes problemas, de vinculación tecnológica y de interacción social. Para su respectiva publicación.

Cobertura de la Revista: Temáticas libres referidas a transferencia, mejoramiento e innovación tecnológica, derivando corolarios que promuevan la importancia y alcances de la variable tecnológica en las sociedades actuales.

Avances de la investigación: Puede ser clasificada en una de las etapas siguientes: Concepción de ideas y perspectivas de impacto. Coordinación de elementos en la investigación fundamental. Implementación investigativa aplicada. Investigación y Desarrollo (I&D). Explotación comercial. Proyectos totalizadores y de convenios. Investigación operativa. Perspectiva productiva. Simulación. Mecanizado. Automatización. Optimización. Estandarización.

Organización:

1. Título: Debe hacer la mayor referencia posible al contenido de la investigación.
2. Autor: Incluye nombre de (los) autor (es) e institución (es) a las que perteneció durante la realización del trabajo y direcciones actuales.
3. Resumen: Informe conciso (250 palabras) de resultados y temas cubiertos en la investigación.

Resaltando en lo posible las palabras claves. Opcional: Abstract (Inglés)

4. Introducción: Debe considerar. El interés o la importancia que reviste el tema objeto de investigación.

Los antecedentes bibliográficos, metodológicos o de indagaciones precedentes. Formulación de los objetivos, hipótesis o interrogantes que persigue satisfacer la investigación.

5. Desarrollo: Debe considerar. El plan que animó la investigación. En los casos de investigaciones donde se incluyen prácticas o experimentaciones, describir brevemente las condiciones materiales, los procedimientos empleados y los resultados obtenidos.

(5.1) Cuerpo del informe: Resaltando toda aquella información que es necesaria para dar respuesta a los objetivos, hipótesis e interrogantes planteadas, y especialmente para justificar las conclusiones a las que el investigador o grupo de investigadores arribarán.

(5.2) Inclusiones adicionales de importancia: Gráficos, cuadros, fotografías, tablas en los casos que las características del tema así lo requiera. Uso de citas textuales y notas a pie de página.

6. Conclusiones: Debe considerar. La generación de los aspectos más importantes tratados en el desarrollo (cuerpo del informe). Una clara relación entre los resultados y objetivos que motivan la investigación. (Opciones para el autor: mostrarlas enumeradas o en forma de texto redactado).

7. Bibliografía: Debe considerar: Bibliografía citada, bibliografía consultada, bibliografía virtual. Según el marco teórico elegido para la investigación.

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN:

Extensión de los trabajos: máximo veinte hojas (carta).

Márgenes: Derecho (25mm.), Izquierdo (30 mm.), Superior (30 mm.), Inferior (25 mm.). Soporte físico: Una copia en papel bond y otra en formato Word para Windows (CD). Tipo de letra: Arial 10 para título, 9 para los contenidos y subtítulos.

**FECHA LÍMITE RECEPCIÓN DE TRABAJOS PARA SU PUBLICACIÓN
EN EL DÉCIMO OCTAVO NÚMERO RT: viernes 04 de marzo de 2016
Secretaría IIAT, Av. Arce 2299, segunda planta sector A.
Teléfono 2440973. Email: iiat@umsa.bo**

(*), Ingeniero Agrónomo, MSc. Medio Ambiente, Docente Investigador Centro de investigaciones y Aplicaciones Geomáticas CIAG – Carrera de Topografía, Facultad de Tecnología – UMSA.