

# TÓPICOS AMBIENTALES Y CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS NATURALES

## Environmental Topics and Conservation of Natural Ecosystems



**Coordinadores:**

Carmelo Peralta Rivero | Carlos Contreras Servín | María Guadalupe Galindo | Luis Armando Bernal Jacomé



**Universidad Autónoma de San Luis Potosí - UASLP**

**Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología - CIACyT**

**Laboratorio Nacional de Geoprocésamiento de Información Fotosanitaria - LaNGIF**

**Programas Multidisciplinarios de Posgrados en Ciencias Ambientales - PMPCA**

1a Edición 2016

D.R. © Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología  
Av. Sierra Leona No. 550 Lomas 2a Sección C.P. 78280

Diseño Editorial: DG. Danira Portilla

ISBN: 987-607-9453-81-7

**Coordinadores**

Dr. Carmelo Peralta Rivero  
Dr. Carlos Contreras Servín  
Dra. María Guadalupe Galindo  
Dr. Luis Armando Bernal Jacomé

**Comité científico dictaminador de la obra:**

Dra. Brisa Bioleta Carrasco Gallegos  
Dr. Juan Carlos Torrico Albino  
Dr. Alberto Centellas Quezada  
Dr. Luis Alberto Olvera Vargas  
Dr. Mario Zenteno Claros

**Correctores de Idioma**

LAE. Ana Luisa Pérez Soriano  
Lic. Idiom. Sofía Sandra López Cruz  
MS. Claudia Heindorf

**Autores de las fotos de portada**

Alzaena Ulya  
Carmelo Peralta  
Claudia Heindorf  
Joab Quintero  
Luis Olvera  
Remberto Terrazas  
Vincent Vos

Hecho en México

El contenido de esta publicación es responsabilidad de los autores. Queda prohibida la reproducción parcial o total del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización por escrito del editor en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y en su caso de los tratados internacionales aplicables.

---

## **DIRECTORIO**

**Arq. Manuel Fermín Villar Rubio**

*Rector de la Benemérita Universidad Autónoma de San Luis Potosí*

**Dr. Aunar Abraham Kasis Ariceaga**

*Secretaro General*

**M.C. Lus María Nieto Caraveo**

*Secretaria Académica*

**Dr. Jorge Fernando Toro Vazquez**

*Secretario de Investigación y Posgrado*

**Dr. Hugo Ricardo Navarro Contreras**

*Coordinador General de la CIACyT*

**Dra. María Guadalupe Galindo Mendoza**

*Coordinadora técnica del SINAVEF - LaNGIF*

**Dr. Luis Armando Bernal Jacomé**

*Coordinador General del Posgrado Multidisciplinario en Ciencias Ambientales*

---

## PRESENTACIÓN

Las investigaciones presentadas en el libro “Tópicos Ambientales y Conservación de Ecosistemas Naturales” reúne trabajos de especialistas de diferentes campos de la ciencias ambientales, y fueron realizadas en el marco de los Programas Multidisciplinarios de Posgrados en Ciencias Ambientales (PMPCA) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, y a través Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria (LANGIF) de la Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACYT). Asimismo, participaron investigadores de la red de universidades del Center For Natural Resources and Development (CNRD), tales como la Universidad de Gadjah Mada, de Indonesia, la Universidad Federal Fluminense de Brasil y el Centro de Investigación y Promoción del Campesinado Regional Norte Amazónico de Bolivia (CIPCA).

Las publicaciones del presente libro pretenden mejorar la comprensión de los problemas ambientales a través de diferentes casos de estudios a nivel local, regional y global. Resalta los principios de la sustentabilidad que promueve la protección del ambiente y amplía el conocimiento de los procesos ambientales en relación con los factores sociales, económicos y culturales. Asimismo, fomenta la extensión de prácticas y medios de vida sostenibles en diferentes contextos, y acrecienta el conocimiento científico acerca de cuestiones ambientales en el contexto local, regional e internacional.

El libro reúne una serie de investigaciones con diferentes tópicos que abordan la problemática ambiental desde diferentes perspectivas y se presentan casos de estudios relacionados a la conservación de ecosistemas naturales.

En el primer caso de estudio se analiza el impacto de las actividades turísticas sobre las islas Karimunjawa en Java Central, Indonesia, en donde a través de percepción remota se identificó la relación entre el crecimiento de las actividades turísticas y los cambios de coberturas de los hábitats bénticos. En el segundo capítulo se evalúa el potencial de los recursos del suelo en el área del Volcán Kelud, Java Oriental, Indonesia; basado en el análisis de la unidad de relieve se identificó el efecto de los recursos alterados del suelo en el área del Volcán Kelud sobre las actividades de turismo, de las plantaciones y la minería.

El capítulo tres resalta la importancia del manejo y conservación del bosque húmedo tropical a escala

global, que a través del Manejo Forestal Sostenible evitaría mayor cantidad de emisiones de carbono, y se lo considera como una herramienta de mitigación ante el cambio climático. El capítulo cuatro se analiza el valor económico de la producción familiar en la Amazonía Boliviana para poder evaluar su potencial para propuestas alternativas de desarrollo y así mejorar la sostenibilidad de los ecosistemas amazónicos. El subsiguiente caso de estudio (capítulo 5), analiza la vulnerabilidad de los recursos forestales en la Sierra de San Miguelito, en el Estado de San Luis Potosí, México; y a través sistemas de información geográfica y análisis estadísticos se detectaron los cambios espacio-temporales ocurridos en la zona y aquellas áreas sujetas a mayor presión según factores ambientales y sociales. En esa misma línea, el capítulo seis se propone una metodología para identificar las trayectorias evolutivas de los cambios en la cobertura del suelo y el paisaje, a través de un análisis híbrido de imágenes de satélite utilizando percepción remota, en un área de Río de Janeiro, Brasil.

Los restantes casos de estudios que se abordan tienen una relación con la Región Huasteca de México. El capítulo siete se evalúa en materia de historia ambiental los principales cambios de cobertura y uso de suelo en la región Huasteca entre 1521 y 2011, en diferentes etapas de la historia mexicana, dado que en esta región ha existido una pérdida considerable del recurso forestal que ha generado un impacto sobre sus ecosistemas. El capítulo ocho hace un análisis general sobre el potencial económico y la actual problemática social y ambiental en las tres microrregiones de la Huasteca Potosina. El subsiguiente caso de estudio (capítulo 9) analiza a través de modelo bayesianos los patrones de distribución espacial de riesgo y los factores ambientales y socioeconómicos que favorecen la propagación de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina.

En el capítulo 10, se realiza una reconstrucción de escenarios forestales en el “Ejido Laguna del Mante” y la “Comunidad Tocoy” de la Huasteca Potosina, a través de talleres participativos de percepción de las coberturas y usos de suelo, y apoyados en imágenes de satélite, con el fin de desarrollar estrategias y generación de políticas locales en pro de la conservación y manejo de los recursos forestales. El capítulo 11, se reconoce y evalúa a través de mediciones in situ con un espectroradiómetro hiperespectral, la

variabilidad espacial y espectral de la infección por el barrenador *Diatraea saccharalis*, plaga de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en la Huasteca Potosina, enfoque importante para dar una mirada desde lo geográfico a los problemas relacionados con la evaluación de riesgos de plagas y enfermedades, su incidencia, propagación y severidad, así como apoyo a las actividades de muestreo y seguimiento. Finalmente, en el capítulo 12 basado en el análisis de riesgo con la integración de variables antrópicas, se aborda

la problemática de los factores que favorecen el ingreso de plagas exóticas al estado de San Luis Potosí, México. Agradecemos los valiosos aportes en el idioma español, inglés y portugués de los colegas participantes en esta obra. También agradecemos a los Programas Multidisciplinario de Posgrados en Ciencias Ambientales (PMPCA) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, y al Laboratorio Nacional de Geoprocésamiento de Información Fitosanitaria (LANGIF) por el valioso apoyo brindado para la publicación de este libro.

Atentamente

Dr. Carmelo Peralta Rivero  
Dr. Carlos Contreras Servín  
Dra. María Guadalupe Galindo  
Dr. Luis Armando Bernal Jacomé

## PRESENTATION

The research presented in the book “Environmental Topics and Conservation of Natural Ecosystems” brings together papers of specialists from different fields of environmental science, and were carried out under umbrella of the Programas Multidisciplinarios de Posgrados en Ciencias Ambientales (PMPCA) of the Autonomous University of San Luis Potosi, Mexico, and through Laboratorio Nacional de Geoprosesamiento de Información Fitosanitaria (LANGIF) of the Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACYT). Also participated researchers from the university network of Center For Natural Resources and Development (CNRD), such as the University of Gadjah Mada, Indonesia, Universidade Federal Fluminense of Brazil and the Centro de Investigación y Promoción del Campesinado Regional Norte Amazónico de Bolivia (CIPCA).

The publications of this book are intended to improve understanding of environmental problems through different case studies at local, regional and global levels. The book emphasizes the principles of sustainability that promotes environmental protection and extends the knowledge of environmental processes in relation to social, economic and cultural factors. It also encourages the spread of practices and sustainable livelihoods in different contexts and increases the scientific knowledge about environmental issues at the local, regional and international context.

The book collect a series of investigations with different topics that address environmental topics from different perspectives and case related to the conservation of natural ecosystems studies are presented.

In the first case study is analysed the impact of tourism activities on Karimunjawa islands in Central Java, Indonesia, where through remote sensing was identified the relationship between the growth of tourism activities and the land cover changes of benthic habitats. In the second chapter the potential of land resources in the area of Kelud volcano, East Java, Indonesia is evaluated; based on the analysis of the unit highlighted the effect of altered soil resources in the area of Kelud Volcano on the activities of tourism, plantation and mining were identified.

Chapter three highlights the importance of management and conservation of tropical rainforest

on a global scale, which through the Sustainable Forest Management would avoid greater amount of carbon emissions, and is considered as a tool for climate change mitigation. In episode four, the economic value of household production in the Bolivian Amazon is analysed to assess their potential for alternative development proposals and improve the sustainability of the Amazonian ecosystems. The subsequent case study (Chapter 5), analyses the vulnerability of forest resources in the Sierra de San Miguelito, in the State of San Luis Potosi, Mexico; and through geographic information systems and statistical analysis spatio-temporal, changes in the area and those areas under greater pressure as environmental and social factors were detected. In the same line, the sixth chapter proposes a methodology to identify the evolutionary trajectories of changes in land cover and landscape, through a hybrid analysis of satellite images using remote sensing, in an area of Rio de Janeiro, Brazil.

The remaining case studies that are addressed have a relationship with the Huasteca region of Mexico. In chapter seven is evaluated through environmental history the main land cover and land use changes in the Huasteca region between 1521 and 2011, at different stages of Mexican history, since there has been considerable loss of forest resources in this region and it has generated an impact on their ecosystems. Chapter eight makes a general analysis of the economic potential and the current social and environmental problems in the three micro-regions of the Huasteca Potosina. The subsequent case study (Chapter 9) analyses through Bayesian model the spatial distribution patterns of risk and environmental and socioeconomic factors that favour the spread of Chagas disease in the Huasteca Potosina.

In section 10, a reconstruction of forest scenarios in the “Ejido Laguna del Mante” and “Tocoy Community” of the Huasteca is made, through participatory workshops about perception of land cover and land use, and supported by images, in order to develop local strategies and policies generation in pro of conservation and management of forest resources. In chapter 11, is recognized and evaluated through in situ measurements with a hyperspectral spectroradiometer, the spatial and spectral variability of infection by borer *Diatraea saccharalis*, pest of sugarcane (*Saccharum officinarum*), in the Huasteca Potosina, important approach to take a look from

the geographical to the problems related to risk assessment pest and disease incidence, spread and severity, as well as support for sampling and monitoring activities. Finally, in Chapter 12 based on risk analysis with the integration of anthropic variables, is addressed the problem of the factors that favour the entry of exotic pests to the state of San Luis Potosi, Mexico.

We appreciate the valuable contributions in Spanish, English and Portuguese of the colleagues participants in this work. We also thank the Programas Multidisciplinario de Posgrados en Ciencias Ambientales (PMPCA) of the Autonomous University of San Luis Potosi, Mexico, and the Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria (LANGIF) for the valuable support for the publication of this book.

Sincerely

Dr. Carmelo Peralta Rivero  
Dr. Carlos Contreras Servín  
Dra. María Guadalupe Galindo  
Dr. Luis Armando Bernal Jacomé

# ÍNDICE

<b>9</b>	CAPITULO 1 ASSESSMENTS OF TOURISM ACTIVITIES IMPACTS ON SMALL ISLANDS USING REMOTE SENSING: CASE STUDY ON KARIMUNJAWA ISLANDS, CENTRAL JAVA, INDONESIA
<b>23</b>	CAPITULO 2 POTENTIAL OF LAND RESOURCES IN KELUD VOLCANO AREA, EAST JAVA, INDONESIA. AN OVERVIEW: POST-ERUPTION 2014 LAND USE ACTIVITY
<b>32</b>	CAPITULO 3 IMPORTANCIA DE LA APLICACIÓN DEL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE PARA LA REDUCCIÓN DE EMISORES DE CARBONO EN EL BOSQUE HÚMEDO TROPICAL. "REFLEXIONES RESPECTO AL CAMBIO CLIMÁTICO"
<b>43</b>	CAPITULO 4 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN FAMILIAR EN LA AMAZONÍA BOLIVIANA
<b>60</b>	CAPITULO 5 VULNERABILIDAD DE LOS RECURSOS FORESTALES DE LA SIERRA DE SAN MIGUELITO, SAN LUIS POTOSÍ
<b>70</b>	CAPITULO 6 DETECÇÃO DE MUDANÇAS DA TERRA ATRAVÉS DE ANÁLISE HÍBRIDA DE SÉRIES MULTITEMPORAIS DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO
<b>87</b>	CAPITULO 7 HISTORIA AMBIENTAL DE LA REGIÓN HUASTECA: PRINCIPALES CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE SUELO ENTRE 1521 Y 2011
<b>117</b>	CAPITULO 8 PROBLEMÁTICA SOCIAL Y AMBIENTAL EN LA HUASTECA POTOSINA EN EL MARCO DEL DESARROLLO ECONÓMICO REGIONAL
<b>130</b>	CAPITULO 9 MODELOS BAYESIANOS PARA EL ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE ENFERMEDADES: ENFERMEDAD DE CHAGAS EN LA HUASTECA POTOSINA
<b>143</b>	CAPITULO 10 CONOCIMIENTO LOCAL Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL EN LA (RE) CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS FORESTALES EN COMUNIDADES DE LA HUASTECA POTOSINA
<b>156</b>	CAPITULO 11 VARIABILIDAD ESPACIAL DEL BARRENADOR DE LA CAÑA DE AZUCAR Y SU DETECCIÓN A TRAVÉS DE SENSORES REMOTOS EN LA REGIÓN HUASTECA
<b>165</b>	CAPITULO 12 SITUACIÓN FITOSANITARIA DE SAN LUIS POTOSÍ, 2000-2015

## **CAPITULO 1**

### **ASSESSMENTS OF TOURISM ACTIVITIES IMPACTS ON SMALL ISLANDS USING REMOTE SENSING “CASE STUDY ON KARIMUN-JAWA ISLANDS, CENTRAL JAVA, INDONESIA”**

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LAS ACTIVIDADES TURÍSTICAS SOBRE ISLAS PEQUEÑAS UTILIZANDO PERCEPCIÓN REMOTA “CASO DE ESTUDIO DE LAS ISLAS KARIMUNJAWA, JAVA CENTRAL, INDONESIA”**

# ASSESSMENTS OF TOURISM ACTIVITIES IMPACTS ON SMALL ISLANDS USING REMOTE SENSING “CASE STUDY ON KARIMUNJAWA ISLANDS, CENTRAL JAVA, INDONESIA”

## EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LAS ACTIVIDADES TURÍSTICAS SOBRE ISLAS PEQUEÑAS UTILIZANDO PERCEPCIÓN REMOTA “CASO DE ESTUDIO DE LAS ISLAS KARIMUNJAWA, JAVA CENTRAL, INDONESIA”

Pramaditya Wicaksono<sup>1</sup>, Surani Hasanati<sup>2</sup>, Prama Ardha Aryaguna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Geographic Information Science, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta Indonesia.

<sup>2</sup>Department of Development Geography, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta Indonesia.

<sup>3</sup>Master's Program of Remote Sensing, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta Indonesia.

Corresponding author: prama.wicaksono@geo.ugm.ac.id

### ABSTRACT

Tourism activities in Karimunjawa Island that flourish since 2009 has put a pressure to the benthic habitats. The number of tourist visiting Karimunjawa Islands has increase significantly, almost four times higher than before. Consequently, as a marine national park, Karimunjawa Islands need special management in regards to its protected natural resources, especially dealing with the current and forthcoming pressures of tourism activities. As a starting point, understanding benthic habitats spatial distribution and changes over time is required. The objectives of this research are to map benthic habitats changes in Karimunjawa Island using the integration of remote sensing approach and field benthic habitats data, and to identify the relationship between the increase of tourism activities and benthic habitats cover changes in Karimunjawa. The 2004 JPEG Compressed Quickbird image from GoogleTM Earth and 2012 Worldview-2 image were used. Benthic habitats changes analysis was performed between 2004 and 2012 for Karimunjawa Island, Menjangan Besar Island and Menjangan Kecil Island. Both 2004 and 2012 classified images produced relatively similar classification accuracy (48-52%). Change detection analysis was applied to obtain the extent and spatial distribution of the changing habitats. During 2004-2012, there is a sign that coral reefs and seagrass cover are gradually decreasing, especially in areas near the shoreline. Coral reefs changed into macro algae (26.41%) and bare substratum (12.14%) and seagrass become bare substratum (30.88%). The result provides a warning sign for national park

office that their benthic habitats are evidently under pressure due to increasing tourism activities.

**Keywords:** Benthic Habitats, Remote Sensing, Worldview-2, GoogleTM Earth, Tourism, Karimunjawa.

### RESUMEN

Las actividades turísticas en la isla Karimunjawa que crece desde 2009 han puesto una presión a los hábitats bentónicos. El número de turistas que visitan las Islas Karimunjawa ha aumentado significativamente, casi cuatro veces más que antes. En consecuencia, como parque nacional marino, las Islas Karimunjawa necesitan un manejo especial en lo que respecta a sus recursos naturales protegidos, especialmente aquellos destinados a las presiones actuales y futuras por las actividades turísticas. Como punto de partida, se requiere la comprensión de la distribución espacial de hábitats bentónicos y sus cambios en el tiempo. Los objetivos de esta investigación son mapear los cambios de los hábitats bentónicos en las islas Karimunjawa utilizando el enfoque de integración de la percepción remota y datos de campo de hábitats bentónicos, e identificar la relación entre el aumento de las actividades turísticas y los cambios de hábitats bentónicos en Karimunjawa. Para ellos se utilizó una imagen JPEG QuickBird comprimida de 2004 de GoogleTM Earth, y una imagen WorldView-2 del 2012. Se realizó un análisis de los cambios de los hábitats bentónicos entre 2004 y 2012 para las islas Karimunjawa, Menjangan Besar y Menjangan Kecil. Ambas imágenes clasificadas, la del 2004 y del 2012, produjeron una precisión

de clasificación relativamente similares (48-52%). Se aplicó el análisis de detección de cambios para obtener el grado y la distribución espacial de los hábitats cambiantes. Durante 2004-2012, hay indicio de que los arrecifes de coral y la cubierta de pastos marinos están disminuyendo gradualmente, especialmente en las áreas cercanas a la costa. Los arrecifes de coral cambiaron a macroalgas (26,41%) y a sustrato desnudo (12,14%), y los pastos marinos se convirtieron a sustrato desnudo (30,88%). El resultado proporciona una señal de advertencia para oficina del parque nacional, ya que sus hábitats bentónicos están evidentemente bajo presión debido al aumento de las actividades turísticas. Palabras clave: Hábitats Bentónicos, Percepción Remota, WorldView-2, Google™ Earth, Turismo, Karimunjawa.

## 1. INTRODUCTION

There are emerging pressures in coastal area and small islands as an impact of coastal management policy and social economic trends occur globally, especially in Indonesia. These include the development of coastal areas for settlement, ponds, mining, boating and anchoring, port development, and tourism activities (Wilson, 1998; Nelleman et al., 2009). These activities made a direct contact to several fragile ecosystems occupying coastal areas such as coral reefs and seagrass. Currently, tourism activities in Indonesia, especially marine tourism, are increasing considerably. In Indonesia, each province or even at lower level of governance, try to attract and invite people to their areas by promoting their natural and cultural landscape i.e. Visit Jawa Tengah (Central Java), Visit Aceh, and Visit Jakarta. In the natural landscape context, these governments usually offer their beautiful beaches, underwater benthic habitats landscapes, and water-based sports and tourism activities. This has improved the livelihood of people in coastal areas, and has shifted the job of many formerly fisherman and fish farmer into tourist guide, culinary, and accommodation.

One of these areas that receive an increase in tourism activities is Karimunjawa Islands of Central Java Province, which was declared as a marine national park since 1999. There is a sudden increase in numbers of tourism activities, shown by the increasing number of tourism and the supporting infrastructure. Since 2009, the number of tourist visiting Karimunjawa Islands has increased significantly, almost four times higher than before (Jepara Tourism Information Center, 2015, Figure 2). Consequently, as a marine national park, Karimunjawa Islands need special management effort in regards to its protected

natural resources, especially dealing with the current and forthcoming pressures of tourism activities. Although the national park office has already divided Karimunjawa Islands into several zonation based on their types of human contacts and activities, spatial and temporal information about the element at risk, which is the benthic habitats (especially coral reefs), which is ironically their main asset and commodity, is strongly required. Benthic habitats including coral reefs and seagrass are very fragile biota that receive direct impact of management activities. As a result, they are easily damaged and when the environmental condition does not recover, they will be difficult to recuperate. Damages into these habitats will have chained ecological and economic impacts to the surroundings.

As a starting point, understanding their spatial distribution and changes over time is required. Spatial and temporal information, provided as a map, is necessary to understand the baseline condition of benthic habitats and monitoring the impacts of management. Unfortunately, at present there is no benthic habitats map available in the national park, hence, the national park is not equipped with any monitoring tools to evaluate the impact of sudden increase in tourism activities to benthic habitats.

In response to the aforementioned issue, this research aimed at 1) mapping benthic habitats changes in Karimunjawa Island using the integration of remote sensing approach and field benthic habitats data and 2) identifying the relationship between the increase of tourism activities and benthic habitats cover changes in Karimunjawa. The availability of benthic habitats map is beneficial for coastal manager such Karimunjawa national park office because it can be used as a baseline of benthic habitats condition and monitoring tool, as well as for future evaluation of management impacts. Furthermore, their availability is also beneficial for predicting species occurrence, predicting and anticipating future pressure, determining protected area and zoning process, managing resource extraction and evaluating the management effect, assessing the biodiversity, improving physiological understanding and for abundance study (OzCoast, 2010).

Remote sensing approach was preferred because it is a cost-effective solution for providing spatial and temporal information about the earth surface. It covers large area, fast, frequent information acquisition, minimize contact with object of interest, provides various level of information precision, and

minimize contact with object of interest, hence environmentally friendly and reducing the need of field survey and danger to the surveyor.

Secondary aim is to utilize freely available high spatial resolution image from GoogleTM Earth system (GE). In this research, for past satellite image of Karimunjawa Island, we used high spatial resolution image provided by GE. Images available in GE system covers most parts of the earth, and if these abundance data can be used to assist coastal management activities by providing reliable benthic habitat spatial and temporal distribution, the cost for managing coastal areas and small islands can be greatly reduced.

## 2. MATERIAL AND METHOD

### 2.1. Study Area

This research was carried out in Karimunjawa Islands, Jepara District, Central Java Province (Figure 1). Karimunjawa Islands are declared as marine national park since 1999 by the Decree of the Minister of Forestry No. 78/Kpts-II/1999. To manage this marine national park, the area is divided into nine zones based on their utilization, which was updated in 2005 by the Decree of the Director General of Forest Protection and Nature Conservation No. 28/TV-SET/2012 on 6th March 2012.

Specifically, southern parts of Karimunjawa Island, Menjangan Besar Island, and Menjangan Kecil Island were selected as the study areas. These areas were chosen due to the high tourism activities in these three sites. Karimunjawa Island is the mainland where the main social and economic activities take place. Menjangan Besar and Menjangan Kecil is one of the main tourist destinations for snorkeling and diving due to its rich underwater benthic habitats diversity. Sea Turtle nesting ground and shark conservation are also located in these two islands. Nevertheless, according to the zonation of national park, these areas are listed in Marine Tourism and Marine Aquaculture Zone, meaning that tourism activities are allowed.

Karimunjawa Islands shelter high biodiversities of benthic habitats including various species of coral reefs, seagrass and macro algae and the corresponding biota. According to Nababan et al. (2010), there are more than 90 species of 51 genera of coral biota and 450 species of 146 genera of coral fish. Furthermore, there are 11 species of seagrass (Wicaksono, 2015), and three divisions of seaweeds (Wicaksono, 2014).

As mentioned, Karimunjawa Islands suddenly became a tourist attraction since 2009 (Figure 2). The number of tourist increased significantly by 400% within five years. This condition has provided

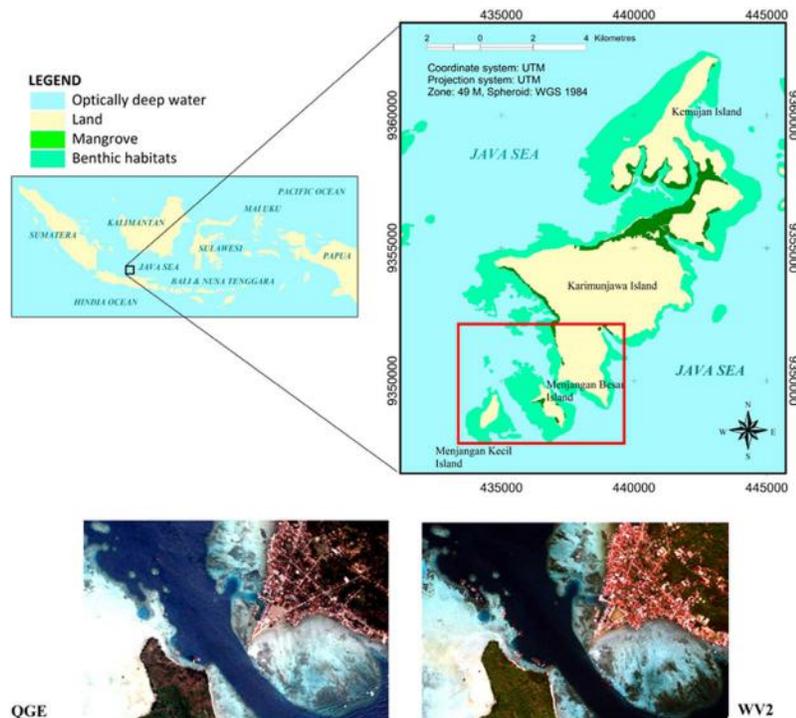


Figure 1. The location of Karimunjawa Islands. Red box shows the location of the study areas (top). Subset of the study area showing the difference in radiometric quality between QGE 2004 and WV2 2012 (bottom).

various new jobs and improves social welfare of the local people. Local people that mainly a fisherman has shifted into tourist guide and rent their boat for tourism activities. The increasing number of visiting tourist also lead to the number of restaurant, hotel and guest house, also supporting tourism attractions. This also further accelerating land conversion and land trading by locals and investors. In the past, benthic habitats of Karimunjawa Islands had faced a brutal pressure from local people that performed Muro Ami fishing technique (Marnane et al., 2005). Since declared as marine national park, Muro Ami practice is prohibited and considered disappeared. However, after a decade, benthic habitats are facing another issue in form of tourism. With the current trend of social lifestyle, the number of tourist visiting Karimunjawa is unlikely to decrease. Therefore, when not controlled and properly managed, tourism pressure to benthic habitats may turn adverse.

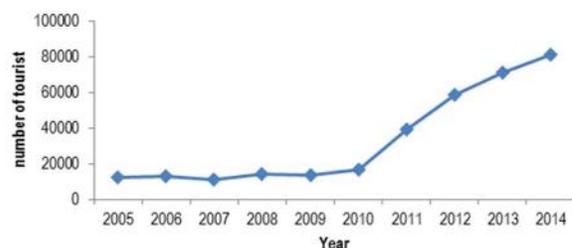


Figure 2. The number of visiting tourist in Karimunjawa Islands from 2005-2014 (Jepara Tourism Information Center, <http://ticjepara.com/?cat=47>, accessed 14 April 2015).

## 2.2 Methodology

### 2.2.1 Satellite images

High spatial resolution satellite image was used to map benthic habitats spatial distribution in 2004 and 2012. These two different years represent the time when Karimunjawa was still unheard of and when Karimunjawa has become a main tourist destination. Satellite image of 2004 was obtained from GoogleTM Earth system, which is the JPEG compressed Quickbird image acquired on 23rd August 2004 (hereafter, QGE). For benthic habitats mapping of 2012, Worldview-2 multispectral image acquired on 24th May 2012 was used (hereafter, WV2). This image has eight spectral bands, of which six of them are visible bands (e.g. cyan, blue, green, yellow, red, red-edge) with the ability to penetrate water body to detect benthic habitats

variations. The two infrared bands are beneficial for shoreline detection and sunglint correction. Both images have two meters spatial resolution. The quality comparison between these images is shown in Figure 1.

High spatial resolution image was preferred because it can be used to detect changes in small areas compared to the medium or lower spatial resolution. Only massive changes could be detected by remote sensing image with medium or coarse spatial resolution. Indeed, providing high spatial resolution data overtime could be costly. Nevertheless, since aerial photography taken from UAV is getting operational and GoogleTM Earth system keep updating their high spatial resolution database, the cost issue will not become a hindrance. Other data are annual and monthly tourism data, which was obtained from Jepara Tourism Information Center.

### 2.2.2 Field Data Collection

Field survey to collect benthic field data was conducted from 2011 to 2013. Field data is required to perform classification and accuracy assessment. Field benthic data was collected in the field using photo-transect method (Roelfsema & Phinn, 2009). GPS Garmin 76CSx was put inside a floating dry bag so that it continuously record the coordinate along the transect. Surveyor to capture benthic photos used underwater camera. In total, 5,681 benthic photos were collected and registered to the coordinate obtained from GPS reading, using the interpolation of the closest time between photo acquisition and GPS record. Half of these samples were used to perform classification and other half were used to perform accuracy assessment.

Major benthic habitats classification scheme consist of four benthic classes namely Coral Reefs, Seagrass, Macro Algae, and Bare Substratum was used in this research as this is the most consistent and confidence classification scheme for benthic habitats mapping using remote sensing data. Hence, these samples were labeled based on the dominant benthic classes. In total, there are 1,846 samples for Coral Reefs class, 1,111 samples for Seagrass Class, 1,045 samples for Macro Algae Class, and 1,679 samples for Bare Substratum Class. In fact, it is possible to go into more detailed classification scheme (Mumby & Harborne, 1999; Phinn et al., 2012). However, given the quality of QGE image, and the quality of its classification result that will be used in the change detection analysis, it is scientifically sound to select the least detailed scheme as the working classification scheme.

### 2.2.3 Image Processing

QGE was downloaded and saved into JPEG format and registered to WV2 coordinate using image to image registration technique. The spatial resolution of QGE was matched with the spatial resolution of WV2. This was done to eliminate spatial displacement between 2004 and 2012 images during change detection analysis.

Radiometric normalization such as radiance and reflectance conversion, and atmospheric correction, was only applied on WV2 image using formulas described in Updike & Comp (2010). There is no radiometric calibration coefficient available for QGE needed to perform such tasks. Sunlint correction was only performed on WV2 image using method described in Hedley et al. (2005). As near infrared band is required, sunlint correction could not be performed on QGE. Water column correction was not performed in this research as it will adversely impact the quality of QGE.

It is important to maintain the gap in the radiometric quality of the two images so that the classification result will not be significantly affected by radiometric quality instead of the change in the benthic habitats composition. Applying water column correction of QGE image with downgraded radiometric quality and the existence of sunlint is not recommended.

Multispectral classification was performed on QGE and sunlint-corrected WV2 (hereafter Deglint) using minimum distance, mahalanobis distance, and maximum likelihood algorithm. Training areas for each classification process were taken from the aforementioned field benthic data. Since there is significant time differences between field data collection and QGE acquisition date, there is a possibility that the training area may not be representative of the condition in QGE image.

Therefore, not all training areas were used for classifying QGE, instead, only training area that corresponds to the existing benthic cover condition in QGE were used. Accuracy assessment of the classification result was carried out using confusion matrix analysis (Foody, 2004). This analysis produces overall accuracy, user accuracy and producer accuracy for each class.

The area of each benthic class in the classification result of 2004 and 2012 was measured and changes were identified using change detection analysis. The change in the area extent was calculated and the spatial distribution of the changes was also mapped.

Finally, analysis of the relationship between the number of visiting tourist and the extent of benthic habitats in the corresponding year was performed.

## 3. RESULTS

### 3.1 Benthic Habitats Mapping

Benthic habitats map of 2004, consist of four benthic habitats classes were created using several multispectral classification algorithms. Of these three algorithms, using input from QGE, maximum likelihood yielded the highest classification accuracy with 52.19% overall accuracy. The user accuracy is 74.48%, 45.66%, 17.08%, and 56.09% for coral reefs, seagrass, macro algae, and bare substratum class respectively, while the producer accuracy for coral reefs, seagrass, macro algae, and bare substratum class is 52.35%, 82.37%, 19.43%, and 41.67% respectively.

In the 2004 classification result from QGE (Figure 3), seagrass dominates area near and along the shoreline across the three study areas. However this extent may be overestimated due to effect of generalization during image compression process. Bright sand areas were misclassified to darker object such as seagrass or coral reefs. The averaged value sourced from the surrounding pixels makes the sand pixels appear darker than they should be, and the classification algorithm recognized them as seagrass in areas near the shoreline and as coral reefs in areas further away from the shore near back reef and reef crest.

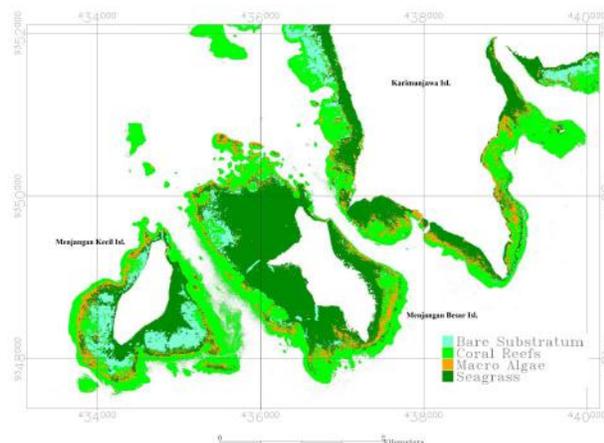


Figure 3. Benthic habitats map of 2004 derived from QGE.

Similar to the map of 2004, the most accurate benthic habitats map of 2012 is generated from maximum likelihood classification with 48.01% overall accuracy (Figure 4). Coral reefs class has the highest user accuracy with 76.36% and seagrass class has the

highest producer accuracy with 87.59%. The pattern of 2012 benthic habitats spatial distribution is relatively similar with 2004. The main difference is the level of precision of the resulting map where WV2 provide more detailed variation than 2004 GE image. Due to its better radiometric precision, WV2 managed to separate coral reefs and macro algae better than QGE, especially in areas near back reef and along reef crest. In addition, seagrass along the shoreline are well represented in 2012 image. Although to some extent, it may represent how seagrass along the shoreline are harvested due to coastal infrastructure development including boating, port, and tourisms. Bare substratum is properly represented in the 2012 image.

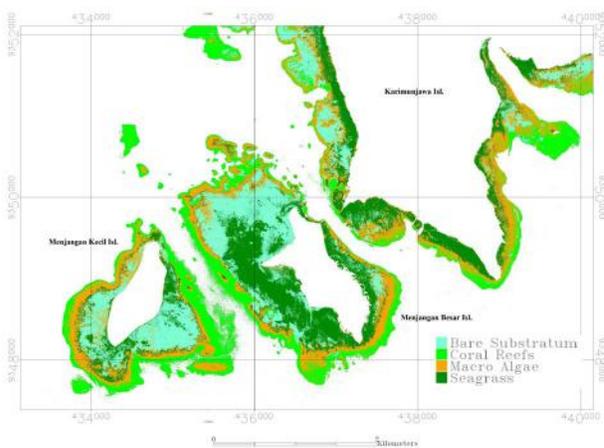


Figure 4. Benthic habitat map of 2012 obtained from WV2. The extent of seagrass in Menjangan Besar Island decreased significantly and coral reefs areas in reef flat of Karimunjawa Islands is getting smaller, and mainly located in back reef, reef crest and fore reefs.

Accuracy comparison of benthic habitats classification result from 2004 and 2012 is given in Figure 5. As previously mentioned, the pattern and spatial distribution of benthic habitats in both 2004 and 2012 classification result is relatively identical. The pattern of user and producer accuracy for coral reefs, seagrass and macro algae class is also similar. Coral reefs in both 2004 and 2012 are underrepresented, shown by the high user accuracy (>70%) but lower producer accuracy. In average, only 30-50% coral reefs in the field are correctly classified in the image. In contrast, there is only 50% the chance of classified seagrass pixel are actually seagrass in the field. However, almost 90% seagrass in the field are correctly represented in the classification result. As a result, the extent of seagrass is somehow overestimated.

Macro algae is the most difficult class to classify, shown by the very low user accuracy in both 2004 and 2012 result (<20%). Furthermore, only less than 30% of macro algae in the field are correctly classified. Macro algae are easily misclassified as either coral reefs or seagrass, mainly due to its wide range of spectral response. Macro algae contain various coloring pigments which may have similar absorption characteristics to those in coral reefs and seagrass; hence the absorption feature is almost similar.

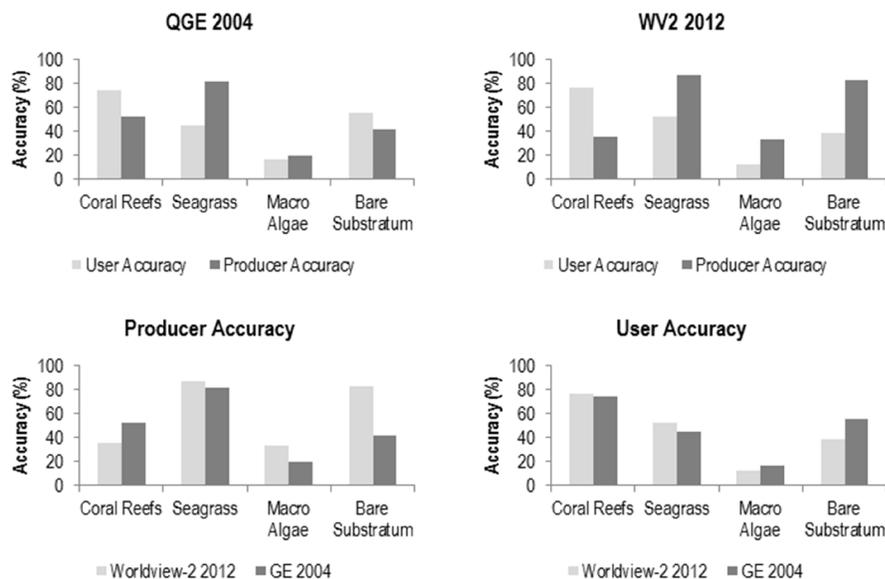


Figure 5. User accuracy and producer accuracy of benthic habitats map of 2004 and 2012.

### 3.2 Benthic habitats cover changes

From the aforementioned classification results, the area extent for each class was calculated and changes were measured (Figure 6). Highlighted boxes show the percentages of the unchanging areas of particular benthic habitats (Table 1).

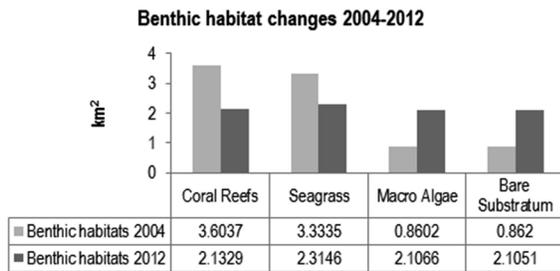


Figure 6. Benthic habitats extent and changes from 2004-2012 in Menjangan Besar Island, Menjangan Kecil Island, and southern parts of Karimunjawa Island derived from maximum likelihood classification.

	% of area changes	2012				Total
		Coral Reefs	Seagrass	Macro Algae	Bare Substratum	
2004	Coral Reefs	56.65	4.80	26.41	12.14	100
	Seagrass	0.99	53.37	14.76	30.88	100
	Macro Algae	5.54	30.28	59.10	5.08	100
	Bare Substratum	1.24	11.84	17.92	69.00	100

Table 1. Percentage of benthic habitats changes on the study area from 2004 to 2012 estimated from maximum likelihood classification.

From Figure 6, it was clear that there is a change in the composition of benthic habitats before and after the flourish of tourism activities in Karimunjawa Islands. Coral reefs and seagrass extent are decreasing up to 30%. In contrast, the extent of macro algae and bare substratum increase more than 200% from 2004 state. This result at least can be interpreted in two ways.

First, it may be due the difference in the level of precision of 2004 and 2012 image. Higher level of generalization in QGE image may overestimate seagrass and coral reefs extent, although only less than half of coral reefs are correctly classified. Therefore, the difference of coral reefs and seagrass extent in 2004 and 2012 may also be due to the increasing information precision from WV2 image compared to QGE. Seasonal growth of seagrass may also contribute to seagrass cover changes.

Second, given the rapid development of tourism industry in Karimunjawa, it is possible that the value provided in Figure 6 is true, although partially. While

the decrease may not as high as the mentioned values, this result can be used as warning sign for Karimunjawa national park office how their benthic habitats are facing serious threat.

Figure 7 shows that the main benthic habitats changes are located in areas near the shoreline, areas where the contact with human activities is the highest. Coral reefs mostly changed into macro algae (26.41%). Changes of coral reefs into macro algae in areas near the shoreline are mainly due the destruction of coral reefs caused by the decreasing water quality (pollution from household sewage, oils from boating, tourism activities). Dying coral reefs are overgrown by algae dominated by fleshy and turf brown algae. While in outer parts of the reefs, the changes of coral reefs to macro algae may mainly be the function of classification errors. Changes from coral reefs to bare substratum along the shoreline may be due anchoring, boat activities, port development, and settlement expansion. Destroyed coral reefs become rubble and eventually will become a carbonate sand or even overgrown by algae.

The change of seagrass into bare substratum, mainly carbonate sand, may be due to harvesting and degrading water quality in areas near settlement in western part Karimunjawa Island, prolonged exposed to sunlight due their very shallow location in Menjangan Besar and Menjangan Kecil Island. Massive changes of seagrass in northwestern parts of Menjangan Besar Island are suspected to be due to classification error produced by QGE. As previously mentioned sand pixels appear darker and classified as seagrass.

Any changes to macro algae are possibly due to misclassification. Unless there is a recovery effort, it will be difficult to reverse macro algae into seagrass or coral reef. Unfavorable water quality and benthic environment will benefit macro algae growth and hinder the return of healthy coral reefs and seagrass. Bare substratum such as rubble or sand is a good substrate for macro algae and seagrass growth. Around 18% of bare substratum changed into macro algae may be due the growth of macro algae in rubbles near the back reefs, areas suspected to be covered by healthy coral reefs times ago. The growth of new seagrass colony in a sandy substrate in flat areas near the shoreline is the primary reason for the change of bare substratum into seagrass.

To strengthen the confidence of the aforementioned mapping results, we also perform benthic habitats mapping using object-based image analysis (OBIA).

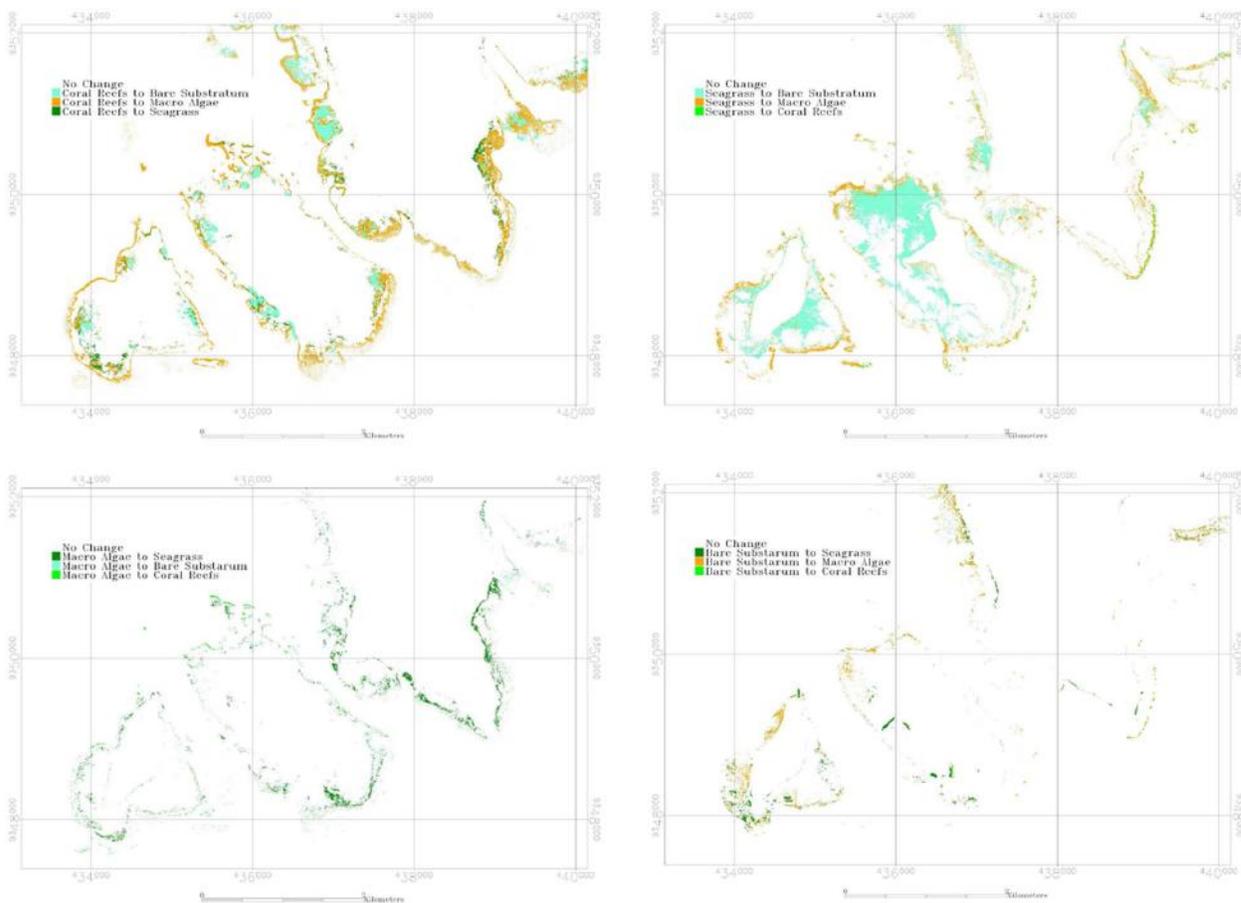


Figure 7. Maps of benthic habitat changes from 2004 to 2012.

This classification approach does not only consider spectral information of each pixel to classify the benthic classes, but also taking into account the spatial variability of the pixels such as texture, compactness, shape, area, and pattern. Thus, this type of classification method not only based on pixel qualities, but also incorporates spatial feature and dimension of the object, hence, benefiting image with poor pixel radiometric quality, such as compressed images. The result of benthic habitats changes analysis using OBIA is provided in Figure 8 and Table 2.

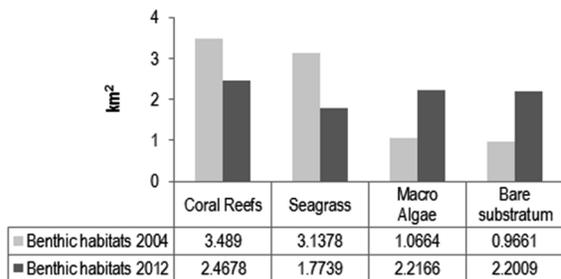


Figure 8. Benthic habitats extent and changes from 2004-2012 in Menjangan Besar Island, Menjangan Kecil Island, and southern parts of Karimunjawa Island derived from OBIA.

	% of area changes	2012				Total
		Coral Reefs	Seagrass	Macro Algae	Bare Substratum	
2004	Coral Reefs	64.10	2.60	23.04	10.26	100
	Seagrass	1.96	45.35	18.45	34.24	100
	Macro Algae	14.70	15.89	63.57	5.84	100
	Bare Substratum	1.37	9.41	16.15	73.07	100

Table 2. Percentage of benthic habitats changes on the study area from 2004 to 2012 derived from OBIA.

OBIA results on the distribution and the rate of benthic habitats changes are relatively similar to those from maximum likelihood classification result (Figure 8). Both coral reefs and seagrass are decreasing, followed by the increasing area of macro algae and bare substratum. The pattern and spatial distribution of benthic habitats changes from OBIA are also similar, where most changes of coral reefs and seagrass occurred in areas near the shoreline (Maps are not shown).

These changes of benthic habitats composition may have a direct relationship with the increase of tourism activities in coastal areas of small islands, especially for coral reefs and seagrass near the

shoreline and tourist destination areas. To testify this statement, tourism data from 2005 and 2012 was collected from Jepara Tourism Information Center. The data is available from 2005 to date, therefore, tourism data from 2005 is used to analyze the benthic habitat composition in 2004. The exact value of the graphic shown in Figure 2 is provided in Table 3.

Year	Local tourist	Foreign tourist	Total
2005	No data	No data	12,507
2006	No data	No data	12,795
2007	No data	No data	11,125
2008	No data	No data	14,528
2009	12,812	879	13,691
2010	15,070	1,567	16,637
2011	37,208	2,016	39,224
2012	53,633	5,005	58,638
2013	65,568	5,372	70,940
2014	72,331	8,904	81,235

Table 3. The number of visiting tourist of Karimunjawa Islands 2005-2014.

According to Figure 9, it is evident that there is an initial trend that increasing tourism activities may have adverse impacts on coral reefs and seagrass health. This statement will be further confirmed by the next research by incorporating more years in the analysis, as well as additional land cover changes information.

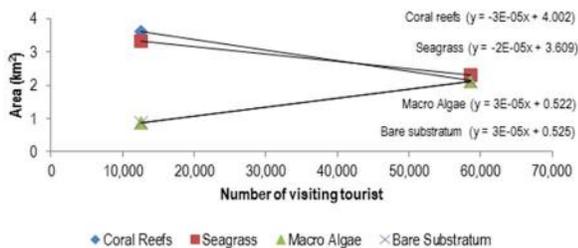


Figure 9. Relationship between benthic habitats areas and the number of visiting tourist in 2004-2012.

#### 4. DISCUSSION

Natural and mainly human pressure to benthic habitats, either via tourism activities or others will only get intensified and producing negative impacts on benthic habitats health (Pilcher & Alsuhaibany, 2000). Pessimistic prediction stated that with the current pace of coral reefs degradation, coral reefs in the world would be lost in the next 30 years

(Wilkinson, 2000). Remote sensing is a powerful tool to identify changes and evaluating management impact on coastal benthic habitats including coral reefs and seagrass. Tourism pressure on benthic habitats not only occurred in Karimunjawa Island, but also in other areas such as Egypt (Wilson, 1998), Maldives (Kundur & Murthy, 2013), and Hawaii (State of Hawaii, Department of Business, Economic Development and Tourism, 2005). To address this issue, several researches to identify human impacts on coastal habitats were conducted (Moufaddal, 2005; Vanderstraete et al., 2006).

Despite the success, there are several issues that must be carefully considered in using remote sensing approach to map and monitor benthic habitats. These issues are related to the data, methods and benthic habitats complexities. Regarding the data, when selecting the appropriate remote sensing data for benthic habitats mapping, we need to get image with high spectral resolution on water penetration bands (Hedley et al., 2012; Goodman et al., 2013). In addition, we also need infrared band to perform sunglint correction and shoreline extraction (Kay et al., 2009).

Hyperspectral data is the most ideal remote sensing data for benthic habitats mapping. However, hyperspectral image is not widely available and primary data acquisition using airborne platform is expensive to most coastal managers and stakeholders, even government institution. Furthermore, for monitoring effort, this can be a big issue for coastal managers with tight budget. Hyperion, the currently widely available hyperspectral image, has a coverage and spatial resolution issue, which sometime does not fit to the requirement of mapping benthic habitats at small islands. Therefore, at least presently, satellite multispectral image is still the best input data for benthic habitats mapping and monitoring.

Image with visible and near infrared bands are the minimum requirement to perform benthic habitats mapping. However, when sunglint is not visible in the scene, near infrared may not be necessary. Image such as Worldview-2 and Worldview-3 is promising for benthic habitats mapping at big map scales (bigger than 1:25,000). The earlier Quickbird, IKONOS, and Geoeye-1 also meet the minimum requirement. Aerial photography from UAV (Unmanned Aerial Vehicle) also provides a way of data acquisition with cheaper and faster repetition. For milder map scales (1:25,000 – 1:100,000) images such as Rapideye, SPOT 6 and 7, Landsat 8 OLI are the best option. For archived image, that is

necessary for monitoring changes, ALOS ANVIR-2, ASTER VNIR, Landsat 5 TM and 7 ETM+, and SPOT 4 and SPOT 5 are available.

Geometric correction is a vital step in performing benthic habitats mapping, especially for multi temporal mapping. This is important to make sure that the GPS coordinate of samples collected in field are fall within the correct pixel in the scene. If this fundamental process is not performed, low accuracy benthic habitats map will be produced since the pixel used as training area in the image does not represent the actual benthic habitats class in the field. Exception can be made when there is no Ground Control Points (GCPs) with accuracy better than the default geolocational accuracy of the image. It is better not to do any geometric correction to avoid further spatial displacement. High spatial resolution images have an-already-high geolocational accuracy and sometime it is difficult to obtain better field GCPs to improve the accuracy, as experienced in this research. Common source of GCPs are topographic maps, RBI maps (Indonesian Peta Rupabumi), image of the same area with better geolocational accuracy, and field GPS data.

Radiometric normalization may not too significant for per-pixel classification or OBIA classification results. However, if we want to go further into biophysical properties analysis of benthic habitats such as percent cover, leaf area index, or biomass, radiometric normalization is required. This includes the normalization due to the atmospheric and water condition during the date of image acquisition and also the normalization between images for multi temporal analysis.

Change detection analysis using continuous multi temporal image pixel also requires radiometric normalization. Principle Component Analysis (PCA) could also be used to identify the changing areas, and since the analysis is performed directly on image pixel value instead on classification result, images acquired on different dates needs to be radiometric-normalized.

The use of remote sensing for land cover change detection is common, but for benthic habitat is rare due to the complexities of mapping and accuracy issue. Environmental conditions of benthic habitats limit the capability of satellite remote sensing to accurately map and monitor the changing habitats (Hedley et al., 2012). The most difficult benthic class to map is macro algae. The user and producer accuracy is always low, not only in this research, but also in other research (Wicaksono, 2014).

We also performed the classification using OBIA. The change detection analysis using OBIA shows similar results to those from maximum likelihood, showing that changes of benthic habitats in study areas are evident. Several past studies have used remote sensing for multi temporal benthic habitats mapping, namely Moufaddal (2005), Vanderstraete et al. (2006), Lyons et al. (2012), and El-Askary et al. (2014). All these research tried to monitor the dynamic and changes of benthic habitats due to seasonal variability and human impact on benthic habitats. Lyons et al. (2012) utilize OBIA approach to classify seagrass percent cover overtime, reducing the need of field data for past images. The rest utilized per-pixel classification algorithm, both unsupervised and supervised.

An issue needed to be addressed in using remote sensing for monitoring benthic habitat changes is that damages to coral reefs or seagrass may not be able to be directly related to the extent of each benthic class in the resulting classification. Coral reefs overgrown by algae due to the decrease of water quality (Done, 1992), mainly due to sewage and pollution entering water bodies, is difficult to be identified using multispectral bands. It is because the spatial extent stays similar while the ecological class has changed from coral reefs into macro algae. Unfortunately, since their absorption feature is almost similar, this type of change is difficult to be properly mapped from multispectral remote sensing.

Another aim of this study is to analyze the relationship between the increase of tourism activities and benthic habitats composition changes. Based on Table 1, within 2005-2014, the number of tourist is growing. There are positive and negative impacts of tourism activities to benthic habitats. The positive impact is the improvement of locals' socio-economic conditions, mainly from the incoming investors that invest on hotel and resort, restaurants, and guided tour. Local people also responded pretty to this condition, such as offering their house as a cheap accommodation alternative, opening local culinary, opening souvenir markets, and acting as tour guide.

However, tourism activities as part of coastal management policies and social economic trends may adversely impact benthic habitats health. The possible negative impact is various types of environmental degradation when these tourism activities are not controlled. Pollution such as sewage, trash and rubbish from the hotel and restaurant are increasing. These pollutions may accumulate and reduce the water quality as

well as the benthic habitats. The degradation of benthic habitats quality will directly and indirectly disrupt the balance and interaction of the surrounding ecosystems. The increase of humans' direct contact to coral reefs and seagrass due to snorkeling and diving may also lead to damaging these ecosystems. Early alarms of the adverse impact of tourism activities were documented in this study (Figure 6-9). This is a critical issue since the degrading coral reefs and seagrass will have a long term impacts on the sustainability of the livelihood in coastal areas, especially for their ecological and economical supports. Karimunjawa national park has done well in protecting valuable coastal natural resources, such as coral reefs, seagrass and mangroves from human activities such as mangrove illegal logging, coral reefs mining, and illegal fishing method. However, a specific management effort dealing with minimizing negative impacts of tourism activity on these ecosystems needs to be promoted, especially for maintaining the environmental sustainability of national park zones dedicated for tourist activities.

For that reason, it is important for the authority of Karimunjawa Islands, either the National Park office or local government, to start collaborating and adopting sustainable tourism management. They may adopt the strategies from more established and developed tourism hotspot such as Hawaii Island and Maldives Island for example (State of Hawaii, Department of Business, Economic Development and Tourism, 2005; Kundur & Murthy, 2013). They promote sustainable eco-tourism, which is a more comprehensive tourism management effort by balancing economic, environmental and social benefits to reduce pollution and negative environmental impacts. In addition, it also beneficial to include local wisdom in the management efforts, as in Maldives, the government issued a regulation to maintain the concept of culture and tradition in their tourism areas.

## 5. CONCLUSIONS

Benthic habitats in Karimunjawa Islands are currently receiving pressure from tourism activities, which suddenly flourish in 2009. The number of visiting tourist increase almost 400% and the number keep growing to date. Consequently, coastal manager, in this case the marine national park office, needs to understand their benthic habitats spatial distribution and changes over time, which is necessary to understand the baseline condition of benthic habitats and monitor the impacts of management.

Remote sensing provides a tool to identify changes in spatial distribution of benthic habitats cover overtime. The use of remote sensing data can significantly decrease the need to perform intensive field survey for frequent monitoring effort, hence reducing management cost and resources. High spatial resolution remote sensing data may provide the required detail of benthic habitats changes.

This research also presents the use of highly compressed QGE data, which is freely available. This image also shows promising result as a source for cheap high spatial resolution image. Benthic habitats changes analysis was performed between 2004 and 2012 for Karimunjawa Island, Menjangan Besar Island and Menjangan Kecil Island. These areas are among the main tourist destination and the center of local activities. Image of 2004 and 2012 were classified using field benthic data as training areas. Both 2004 and 2012 classified images produced relatively similar classification accuracy (48-52%).

Change detection analysis was applied to obtain the extent and spatial distribution of the changing habitats. During 2004-2012, there is a sign that coral reefs and seagrass cover are gradually decreasing, especially in areas near the shoreline. Coral reefs changed into macro algae (26.41%) and bare substratum (12.14%) and seagrass become bare substratum (30.88%). This may be caused by the degradation of water quality due to increased pollution entering water body and infrastructure development along the shoreline to cope with tourism industry development.

Although some of the changes may be sourced from classification error, the result provides a warning sign for national park office that their benthic habitats are evidently under pressure due to increasing tourism activities. In order to sustain both tourism industry and benthic habitat preservation, marine national park must work together with local government to regulate a sustainable eco-tourism.

## ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to thank DigitalGlobe and Prof. Stuart Phinn for providing us with Worldview-2 image of Karimunjawa Islands. Big thanks to Muhammad Hafizt from LIPI (Indonesian Research Institute), Dimar Wahyu Anggara from Ministry of Energy and Mineral Resource (ESDM), and Hendry Frananda Nasution from Universitas Negeri Padang for the assistance during field data collection.

## REFERENCES

- Done, T. J. (1992). Phase Shifts in Coral Reef Communities and Their Ecological Significance. *Hydrobiologia*, 247, 121–132.
- El-Askary, Abd El-Mawla, S. H., Li, J., El-Hattab, M. M., & El-Raey, M. (2014). Change detection of coral reef habitat using Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI data in the Red Sea (Hurghada, Egypt). *International Journal of Remote Sensing*, 35 (6), 2327-2346.
- Foody, G. M. (2004). Thematic Map Comparison: Evaluating the Statistical Significance of Differences in Classification Accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70 (5), 627–633.
- Goodman, J. A., Purkis, S. J., & Phinn, S. R. (2013). *Coral Reef Remote Sensing A Guide for Mapping, Monitoring and Management*. (S. R. Phinn, Ed.) Springer.
- Hedley, J. D., Harborne, A. R., & Mumby, P. J. (2005). Simple and Robust Removal of Sunlight for Mapping Shallow-Water Benthos. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (10), 2107-2112.
- Hedley, J. D., Roelfsema, C. M., Phinn, S. R., & Mumby, P. J. (2012). Environmental and sensor limitations in optical remote sensing of coral reefs: implications for monitoring and sensor design. *Remote Sensing*, 4, 271-302.
- Jepara Tourism Information Center. (2014). *Kunjungan Statistik Wisatawan*. Retrieved April 15, 2015, from Tourism Information Center. Your Gateway to Jepara Tourism: <http://ticjepara.com>
- Kay, S., Hedley, J. D., & Lavender, S. (2009). Sun Glint Correction of High and Low Spatial Resolution Images of Aquatic Scenes: a Review of Methods for Visible and Near-Infrared Wavelengths. *Remote Sensing*, 1, 697-730.
- Kundur, S. K., & Murthy, K. (2013). Environmental Impacts of Tourism and Management in Maldives. *International Journal of Environmental Sciences*, 2 (1), 44-50.
- Lyons, M. B., Phinn, S. R., & Roelfsema, C. M. (2012). Long term land cover and seagrass mapping using Landsat and object-based image analysis from 1972 to 2010 in the coastal environment of South East Queensland, Australia. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 34-46.
- Marnane, M. J., Ardiwijaya, R. L., Wibowo, J. T., Pardede, S. T., Kartawijaya, T., & Herdiana, Y. (2005). *Laporan Teknis Survei 2003-2004 di Kepulauan Karimunjawa, Jawa Tengah*. Bogor, Indonesia: Wildlife Conservation Society - Marine Program Indonesia.
- Moufaddal, M. W. (2005). Use of Satellite Imagery as Environmental Impact Assessment Tool: A Case Study from the NW Egyptian Red Sea Coastal Zone. *Environmental Monitoring and Assessments*, 107, 427–452.
- Mumby, P. J., & Harborne, A. R. (1999). Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs. *Biology Conservation*, 88, 155-163.
- Nababan, M. G., Munasik, Yulianto, I., Kartawijaya, T., Prasetya, R., Ardiwijaya, R. L. (2010). *Status Ekosistem di Taman Nasional Karimunjawa: 2010*. Bogor: Wildlife Conservation Society-Indonesia Program.
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., De Young, C., Fonseca, L. (2009). *Blue Carbon. A Rapid Response Assessment*. (G. Grimsditch, Ed.) United Nations Environment Programme, GRID-Arendal.
- OzCoasts. (n.d.). *Why Make Habitat Maps*. Retrieved January 15, 2010, from OzCoasts: [http://www.ozcoasts.gov.au/geom\\_geol/toolkit/mapwhymap.jsp](http://www.ozcoasts.gov.au/geom_geol/toolkit/mapwhymap.jsp)
- Phinn, S. R., Roelfsema, C. M., & Mumby, P. J. (2012). Multi-scale, object-based image analysis for mapping geomorphic and ecological zones on coral reefs. *International Journal of Remote Sensing*, 33 (12), 3768-3797.
- Pilcher, N., & Alsuhaibany, A. (2000). Regional Status of Coral Reefs in the Red Sea and the Gulf of Aden. In C. Wilkinson (Ed.), *Status of Coral Reefs in The World: 2000* (pp. 35-54). Townsville: AIMS.
- Roelfsema, C. M., & Phinn, S. R. (2009). *A manual for conducting georeferenced photo transects surveys to assess the benthos of coral reef and seagrass habitats*. Queensland: Centre for Remote Sensing & Spatial Information Science, School of Geography, Planning & Environmental Management, University of Queensland.
- State of Hawaii, Department of Business, Economic Development and Tourism. (2005). *Hawaii Tourism Strategic Plan: 2005-2015*. Honolulu: State of Hawaii, Department of Business, Economic Development and Tourism, Research and Economic Analysis Division.
- Updike, T., & Comp, C. (2010). *Radiometric Use of WorldView-2 Imagery*. Longmont, Colorado: DigitalGlobe®.

- Vanderstraete, T., Goossens, R., & Ghabour, T. K. (2006). The Use of Multi-Temporal Landsat Images for the Change Detection of the Coastal Zone Near Hurghada, Egypt. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (17), 3645–3655.
- Wicaksono, P. (2014). Pemetaan Makro Alga Menggunakan Citra Penginderaan Jauh Resolusi Spasial Tinggi di Pulau Kemujan Kepulauan Karimunjawa. Seminar Nasional Teknologi Terapan II. Yogyakarta: Sekolah Vokasi UGM.
- Wicaksono, P. (2015). Remote Sensing Model Development for Seagrass and Mangrove Carbon Stock Mapping. Yogyakarta: Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada.
- Wilkinson, C. (2000). Status of Coral Reefs of the World: 2000. Townsville: Australian Institute of Marine Science.
- Wilson, M. (1998). The GEF Egyptian Red Sea Coastal and Marine Resource Management Project –A Decade of Effort, Experience and Trade-Offs Required to Achieve Marine Tourism and Conservation Goals. *International Tropical Marine Ecosystems Management Symposium Proceedings*. 239–250 pp. Townsville: GBRMPA.

## **CAPÍTULO 2**

### **POTENTIAL OF LAND RESOURCES IN KELUD VOLCANO AREA, EAST JAVA, INDONESIA AN OVERVIEW: POST-ERUPTION 2014 LAND USE ACTIVITY**

**POTENCIAL DE RECURSOS DEL SUELO EN EL ÁREA DEL VOLCÁN KELUD,  
JAVA ORIENTAL, INDONESIA UNA VISIÓN GENERAL: ACTIVIDAD DEL USO  
DEL SUELO POST- ERUPCIÓN 2014**

# POTENTIAL OF LAND RESOURCES IN KELUD VOLCANO AREA, EAST JAVA, INDONESIA AN OVERVIEW: POST-ERUPTION 2014 LAND USE ACTIVITY

## POTENCIAL DE RECURSOS DEL SUELO EN EL ÁREA DEL VOLCÁN KELUD, JAVA ORIENTAL, INDONESIA UNA VISIÓN GENERAL: ACTIVIDAD DEL USO DEL SUELO POST- ERUPCIÓN 2014

Wardhani, P. I.<sup>1</sup>, Rusdimi, A. U.<sup>2</sup>, Sartohadi, J.<sup>3</sup>, and Sunarto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD Student of Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.

<sup>2</sup>Graduate Student of Magister Program on Planning and Management of Coastal Area and Watershed, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.

<sup>3</sup>Lecture of Department of Geography and Environmental Science, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada.

Corresponding author: ulyarusdimi@live.com

### ABSTRACT

The explosive eruption of Kelud Volcano in 2014 has directly affected the land resources in Kelud Volcano Area. It is due to the erupted material released from the eruption which has shifted the configuration of landform of Kelud Volcano Area. The recently formed land resources had given rise to a question whether it would give damage or benefit to the main activities undertaken in Kelud Volcano Area, such as tourism, plantation and mining. The objective of this research is to identify the land resources in Kelud Volcano Area based on landform unit analysis and to identify the effect of the altered land resources in Kelud Volcano Area to the activities of tourism, plantation and mining. Field survey is conducted as research method to meet the objectives. The landscape analysis is conducted to explain the landform condition and the distribution of land resources in Kelud Volcano Area. The materials used in the landscape analysis are the result of analysis of landform unit and human activity in Kelud Volcano Area. The result has shown that the alteration of land resources spatial pattern in Kelud Volcano Area was due to accumulation of erupted material above the land surface. The eruption had form a new view of Kelud Volcano that is beneficial for tourism if well managed. The plantation sector suffered a little disturbance due to deposited material, although there was not significant influence to its income. The mining sector has developed rapidly due to abounding material in the upstream. A proper management is needed in case an excessive mining would harm the river area and its surrounding.

**Keywords:** Land Resources, Land Use, Volcanic Eruption.

### RESUMEN

La erupción explosiva del volcán Kelud en 2014 ha afectado directamente a los recursos del suelo en el área del Volcán Kelud. Esto se debe a que los materiales emitidos de la erupción ha cambiado la configuración de la forma de relieve de la zona del Volcán. La reciente formación de los recursos del suelo a dado lugar a una pregunta de si se hace daño o beneficia a las principales actividades llevadas a cabo en el área del Volcán Kelud, como el turismo, las plantaciones y la minería. El objetivo de la investigación es identificar los recursos del suelo en el área del Volcán Kelud basado en el análisis de la unidad de relieve para identificar el efecto de los recursos alterados del suelo en el área del Volcán Kelud sobre las actividades de turismo, de las plantaciones y la minería. Se llevó a cabo trabajo de campo como método de investigación para cumplir con los objetivos. Se realizó un análisis del paisaje para explicar la condición de relieve y la distribución de los recursos del suelo en la zona del Volcán Kelud. Los materiales utilizados en el análisis del paisaje son el resultado del análisis de la unidad de forma del relieve y la actividad humana en el área de Volcan. Los resultados han demostrado que la alteración de los patrones espaciales de los recursos del suelo en el área del Volcán Kelud fue debido a la acumulación de materiales en erupción por encima de la superficie del suelo. La erupción ha formado una nueva vista del Volcán Kelud, lo cual es beneficioso para el turismo si este es bien manejado. El sector de las plantaciones sufrió un pequeño disturbio

debido al material depositado, aunque no hubo una influencia significativa en sus ingresos económicos. El sector minero se ha desarrollado rápidamente debido al material que abunda río arriba. Se necesita una gestión adecuada en caso de una minería excesiva lo cual dañaría el área del río y sus alrededores.

Palabras clave: Recursos del Suelo, Uso del Suelo, Erupción Volcánica.

## 1. INTRODUCTION

Kelud Volcano is known as one of the most active volcanoes in Indonesia. It is located in East Java, built on the west site of Kawi-Laksono-Anjasmoro volcanic range. The history of its volcanic activity since the year of 1000 AD is dominated by the explosive eruption (Kusumadinata, 1979; Badrudin, 1994; Bourdier et al., 1997; Thouret et al., 1998, Zaennudin, 2008). Following the occurrence of explosive eruption of Kelud volcano on February 2014, the potential emerged of post-eruptive lahar flow through several rivers on the volcanic slopes.

Kelud Volcano Area is covered by various kinds of land resources, magnificent view, fertile volcanic soil and abundant water resources. The land resources in Kelud Volcano had become the main support for the livelihood in the surrounding of Kelud Volcano Area. The condition of land resources in Kelud Volcano is highly affected by the volcanic eruption of Kelud. It is formed by the deposited pyroclastic material released by Kelud Volcano up until the most recent time (Bourdier et al., 1997). The Kelud Volcanic Area is included in the national spatial plan as Volcanic Hazard Prone Area (KRB), of which volcanic eruption is the main hazard threat of the area (Badrudin, 1994; Bourdier et al., 1997; Thouret et al., 1998, Belizal et al., 2012). Understanding the development pattern of existing land resources and its sustainability is substantial considering the dynamic of hazard threat in Kelud Volcano Area.

Land use in Kelud Volcano Area represents the result of interaction between humans as communities and the environment, which highly associates with land characteristic and human need. The presence of each land cover class is highly related to one another to the relief condition of volcanic slope. The upstream of Kelud which comprises part of volcanic cone and peak is dominated by the presence of natural vegetation such as forest, grass and bush, as well as the affected areas of volcanic eruption that covered

by volcanic material. Plantation is the most land use that covers Kelud Volcano Area. It is cultivated along the volcanic slope from the sloppy areas in the upstream to flat areas in the downstream. The crops that are being cultivated in the upper slope are mainly dominated by pineapple. Annual crops such as clove, coffee and cacao can also be found in undulating areas of Kelud Volcano Area.

Tourism has been one of main activities in Kelud Volcano Area. The government specifically Tourism Department with the local communities, manage it. Kelud Volcano Area as tourism object offers a magnificent view of Kelud Volcano, especially its volcanic peaks (Kelud peak; Sumbing peak; Gajah Mungkur peak; and Gedang peak), rock climbing, hot springs and camping ground. However some damages due to the explosive eruption in 2014 had changed some of the tourism spots, even demolished them.

Some of the particular points in the main river valleys in the middle slope down to the lower one became mining sites as the locations are filled with deposited volcanic material of rock and sand. The mining activity in Kelud Volcanic Area uses traditional instruments such as backhoes and crowbars as modern tools such as backhoes are prohibited due to conservation purpose.

The objective of this research is to identify the land resources in Kelud Volcano Area based on landform unit analysis and to identify the effect of the altered land resources in Kelud Volcano Area to the activities of tourism, plantation and mining. These activities have become the main income source to the most of the local communities in Kelud Volcanic Area. Understanding the existing development pattern of land resources is crucial considering the dynamic of hazard risk in Kelud Volcano Area.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Study area

The study area of this research is situated in Kelud Volcano Area, East Java, Indonesia, and specifically located in 49 M, 643859 mE and 9122244 mN. It administratively covers the areas of Kediri Regency, Blitar Regency and Malang Regency. Kelud Volcano Area is bordered to the northeast by Arjuna-Welirang Volcanic Complex and east by Kawi-Butak Old Volcano. The situation of study area can be seen in Figure 1.

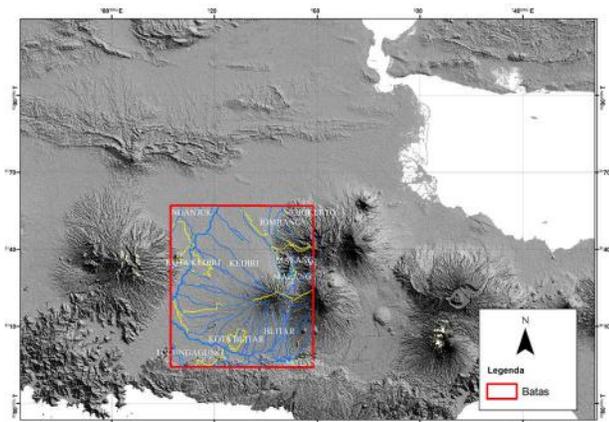


Figure 1. Research location.

## 2.2 Methodology

A survey methodology for land resources must provide for some method of abstraction in order to group land into manageable number of categories. A landscape mapping relies on the identification of areas of recurring patterns of topography and soil based on their visual appearance on aerial photos (van Gool et al., 2008). An integrated survey of land resources was pioneered by Christian and Stewart (1953, 1968 in McKenzie, 2008) which provided the means for mapping land resources in an approach that emphasized the connectedness of geology, landform, climate, soil, vegetation, fauna, hydrology and land use. This research adopts the concept of how a landform unit can distinguish the variety of physical characteristic of a volcanic area. The analysis on geomorphological map described the physical condition of Kelud Volcano Area. Each landform unit has its own unique case of physical characteristic that distinguishes one from another, which can also be defined as form of land resource. Thus, identifying landform unit of Kelud Volcano Area is also identifying the distribution of its land resources.

Geographic Information System (GIS) is the main tool for map and satellite imagery interpretation to produce results spatially as maps. To obtain the distribution of land resources based on landform unit analysis, geomorphological map of Kelud Volcano Area is needed to be established. The materials required to build the geomorphological map are the Map of Rupa Bumi Indonesia (RBI) scale 1: 25,000, Geologic Map of Java Island scale 1: 100,000, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) imagery of 30 meters, Landsat ETM satellite imagery and Digital Globe Imagery of Kelud Volcano (Rahmadana, et al., 2014). ArcGIS

10.2 is the mapping software used to process the input maps and imageries.

The geomorphological map of Kelud Volcano Area is used to identify based on each landform unit by analyzing the reliefs and the covering material on surface (Sartohadi, et al., 2014). Identifying the landform unit is conducted by interpreting the morphological condition on RBI map and satellite imageries, and covering material on geological map (Rahmadana, et al., 2014). Field observation is done for accuracy assessment by collecting rocks and soils as variables Figure 2.



Figure 2. Sample collection by researcher in surrounding Kelud Volcano.

Field survey was conducted to understand the human activity in Kelud Volcano Area by doing interviews to the communities living in Kelud Volcano Area. Spatial approach based on landscape is used as unit analysis. The landscape unit analysis compares the land resources distribution obtained from landform unit analysis with the results obtained from field survey to get the output of distribution of land resources both the existing and the potential ones to be developed as well.

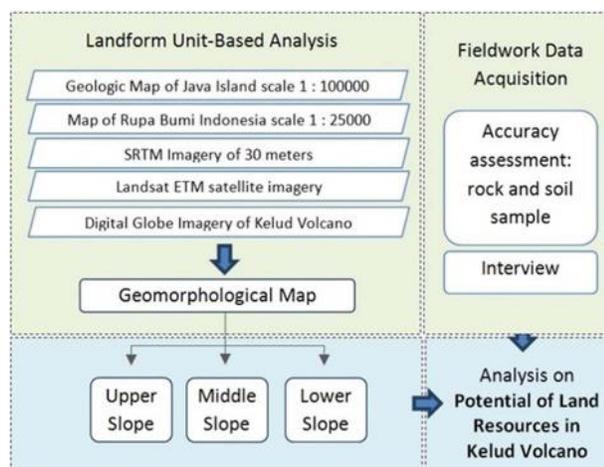


Figure 3. Methodological Framework

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Land Resources in Kelud Volcano Area based on Landform Unit Analysis

Kelud Volcano stands with the altitude of 1731 m above sea level and has a rough morphology in its peak area (Zaennudin, 2008). It is a composite stratovolcano built by the accumulation of lava flows, pyroclastic flows, pyroclastic surges and lahar deposits due to volcanic activity (Thouret et al., 1998). Based on its forming process, the landform of Kelud Volcano Area can be divided into volcanic, structural, fluvial, and solutional landform. Volcanic process of Kelud Volcano is the main force that forms its geomorphic condition, which also determines the characteristic of covering material and its thickness variation (Rusdimi, 2015). Thus, volcanic landform covers most of the Kelud Volcano Area, which characterized by the appearance of Kelud Volcano and the condition of surface material resulted from the volcanic eruption (Rahmadana, et al., 2014). The volcanic material has gone through fluvial-gravitational process so that the deposited materials are most likely to be found in the plain and sunken areas in Kelud Volcano Area.

The landform unit is used to analyze the land resources in an area as it provides information on physical characteristic of the given area. It divides the physical characteristic based on the conditions of its genesis, reliefs, arrangement and surface material. The geomorphological unit of Kelud Volcano Area is shown in figure 4.

Based on genesis characteristic, the landform unit of Kelud Volcano Area can be divided into volcanic (V), fluvial (F), structural (S) and solutional (K). The topographic or relief condition of Kelud Volcano Area can be divided into plain (P), undulating (U), hilly (H) and mountainous (M). The arrangement of Kelud Volcano Area can be classified into mountain complex (0), peak (1), upper slope (2), middle slope (3), lower slope (4), hills (5) and plains (6). The surface materials of Kelud Volcano Area are classified into 29 symbols spread in the entire area from breccias to the gravel-sand deposition. The surface materials represent the types of rocks and identified as the rock cover material.

Observing from the relief condition of Kelud Volcano Area, the peak area consists of the peaks of the old volcano, such as Gajahmungkur peak, Sumbing peak, and Lirang peak that surround the crater of Kelud Volcano. Such number of volcanic crater indicates that the point source of the eruption

switches from time to time due to the geological condition (Zaennudin, 2009). The volcanic peak and crater is composed by lava flow, lava dome and pyroclastic material, which can be characterized by the irregular morphology with hillocks and cliffs with slope more than 40%. The line of volcanic peaks presents a magnificent view with fresh air as it is situated above more than 1,500 meters above sea level. This situation allows Kelud Volcano Area to become a potential area for tourism.

The upper slope of Kelud Volcano is covered by tuff, breccias and lahar material. The upper slope of Kelud Volcano Area is characterized by steep slope angle and deep valleys, which pose as starting point of the river flows in Kelud Volcano Area. The deep valleys are also grow as the points of deposited material from Kelud volcanic eruption. The materials of upper slope is dominated by loose material with the size of bom to gravel, which are supported by the intensity Kelud volcanic eruption that occurred in every relatively short period, which is  $\pm 25$  years that cause the soils cannot develop. New materials would cover the surface off upper slope of Kelud Volcano area. As the upper slope of Kelud Volcano Area is located in the hazard prone area (KRB) with topography of very steep slope and covered by loose materials, it is then being managed as Protected Area according to the national law of Regulation No. 41 Year 1999.

The middle slope of Kelud Volcano has wide ridges and undulating topography. The dominated surface materials are breccias, tuff and lahar deposit. Developed soils can be found in this area, thus can be cultivated for agricultural purposes as the climatic condition is suitable as well.

The valleys in middle slope of Kelud Volcano are being functioned as lahar pocket, which pose as channel that carries lahar flow with materials of sand and gravel from the upper slope. These lahar pockets contain the accumulation of deposited material, thus become land resources for rock and sand mining. In lower area, the slope gradient comes down to moderately steep and the river valleys get wider. Springs can be found in the river valley walls that the streamflow in the middle slope began to increase.

The lower slope of Kelud Volcano has undulating topography and mostly covered by sand material. The river valleys get lower and started to assimilate with the riverbanks. Volcanic materials are being transported in the river and restrained by the embankments. The soil is more developed in this area and very fertile for agricultural activity as it was originally from deposited material. The relatively

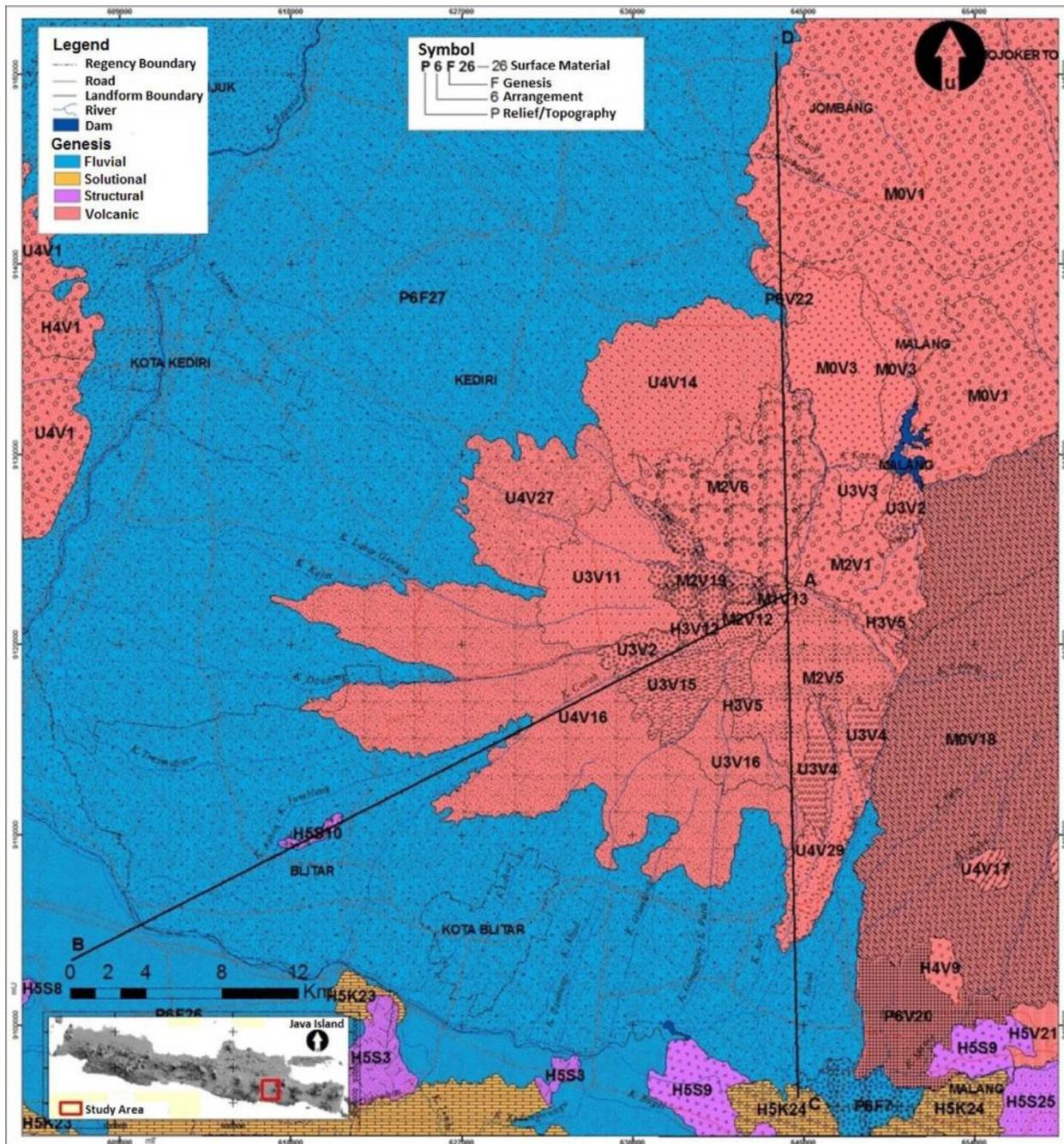


Figure 4. Geomorphological map of Kelud Volcano Area. Rahmadana et al. (2014).

plain area, fertile soil and abundant water support this area to develop as central activity for the communities.

### 3.2 Pre-eruption Activities in Kelud Volcano Area

Protection forest, plantation, tourism, agriculture, mining and settlement are the most activities carried out in Kelud Volcano Area. The plantation had been cultivated from during the colonialism of the Dutch

in the 18th century. With the growing population in Kelud Volcano Area, the land use became more vary. The distribution of land use in Kelud Volcano Area can be seen in figure 5.

The volcanic peak of Kelud had gone through alteration in its configuration at least two times. Before the eruption in 1990, the volcanic peak was originally a crater lake with an area of 109,000 m<sup>2</sup> and 2.5 million m<sup>3</sup> of volume of water. The alteration came through the effusive eruption in 2007. The

Crater Lake was drain and replaced by a lava dome, which posed as lava plug. The volcanic peak in this recent time is being functioned as tourism area and managed by the local government.

by woody trees, bushes and grass. It is directly managed by the Indonesia National Forestry Enterprise and activities by the communities are prohibited in this area.

The protection forest in the upper slope of Kelud Volcano gives sustainability to the ecosystem in Kelud, water distribution and works as barrier when the volcano erupts. The upper slope poses as the first area being damaged after volcanic eruption occurred. The area is mostly overgrown

The middle slope of Kelud Volcano is mostly cultivated for plantation. The area is more fertile compared to the upper slope as the soil began to develop. Breccias and tuff composed the area and there are also seepages can be found, which also contribute to the fertility of the soil (Rahmadana,

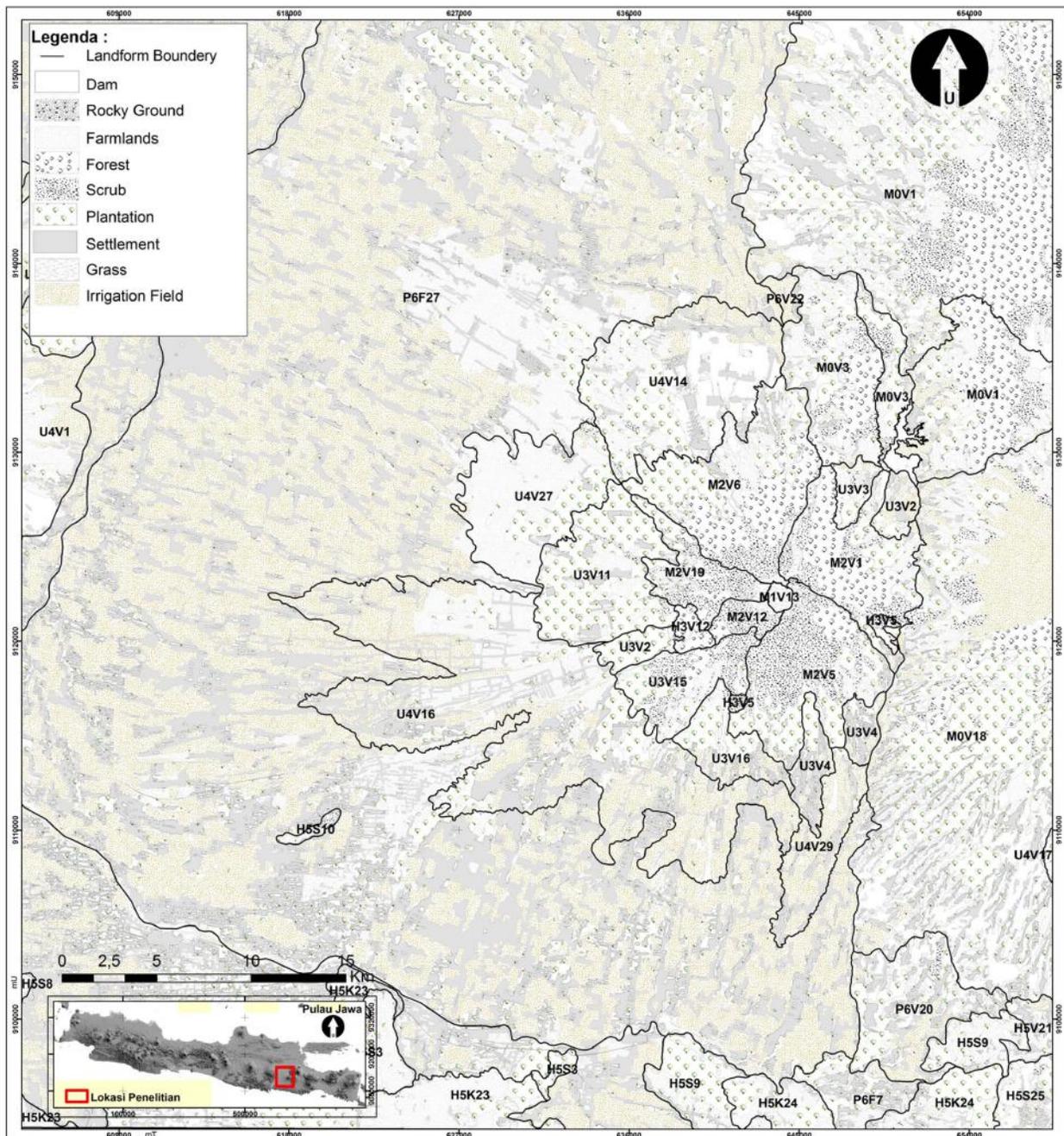


Figure 5. Land use map of Kelud Volcano and its surrounding.

et al., 2014). The commodities of the plantation are mostly clove, coffee, tea, rubber and pineapple. The river valleys in the middle slope are being exploited as mining site for rock and sand as it is filled with the deposited material. Local communities in Kelud Volcano area manage the mining site.

The lower slope of Kelud Volcano is mostly cultivated for pineapple, sugar cane and clove. Vegetables and other agricultural products have also been cultivated by farmers in this area. Settlement mostly covered plain area in the lower slope of Kelud Volcano.

The alluvial plain of Kelud Volcano has a good system for water distribution, thus agricultural activities is more intensely cultivated in the area. The materials had gone through sortation that the sizes are smoother. The river valleys in the alluvial plain with the upstream located on the upper slope of Kelud Volcano is also being utilized for mining sites for rocks and sand.

### 3.3 Post-eruption Activities in Kelud Volcano Area

After the explosive eruption in 2014 (figure 6), there are major alterations in land condition of Kelud Volcano Area. The most alteration took place in the volcanic peak: upper slope: and middle slope, while the lower slope and alluvial plain had not suffered any significant transformation. The explosive eruption completely destroyed the lava plug from the effusive eruption in 2007 that the tourism facilities suffered total damage.



Figure 6. (a) lava plug arose after the effusive eruption in 2007; (b) the crater released gas after explosive eruption in 2014, the lava plug was already destroyed, PVMBG (2014).

The tourism activities in Kelud Volcano Area did not completely stop due to the damaged facilities. The government reopened the tourism spots one month after the eruption, although the visitors were only allowed to go up until certain distance to the volcanic crater. It was due to the unstable condition of the area surrounding the volcanic crater, such as damaged road and the unstable volcanic material covering the surface. However, the dramatic view

of the damaged areas became an attraction to the tourists (Figure 7). Such number of tourists that visit the Kelud Volcano Area revived the economic activity of the area. The local community took the benefit by starting to open shops for the visitors.



Figure 7. Tourism activities after eruption of Kelud Volcano 2014.

The relief condition of upper and middle slope of Kelud Volcano suffered the most transformation due to the volcanic eruption, particularly regarding its distance from the volcanic crater where the pyroclastic materials were accumulated. In the upper slope, the most pyroclastic materials can be found in size block and bom, with the deposited material of pumice and sand. Pumice with the size of 5 to 10 cm and sand covered most of the middle slope. The erupted materials were also accumulated in the valleys situated in the upper and middle slope, which also dominated by pumice. The issue that followed such condition is that there was no any measure yet to overcome the excessive amount of pumice since its function was not significantly utilized by the local community. The protection forest in the upper slope was completely burnt due to the released lava and extremely hot atmosphere during the eruption occurred.

The middle slope of Kelud Volcanic Area is covered by pumice and sand. It was initially cultivated for crops, such as cocoa, coffee and other annual crops. The volcanic eruption brought damage to the agricultural activity, specifically within the distance of 3 kilometers from the crater. However, most of the crops survived the impact of the covering material which was dominated by pumice. To restore the agricultural activity, pumice were removed and the crops were being treated by the local farmers and government (Plantation Agency).

Fewer damages were suffered in the lower slope and alluvial plain in Kelud Volcano Area, which was caused by the cold lahar flow after the eruption. The erupted materials reached this area were pumice with the size of 50 mm to 3 cm, sand and volcanic ash. The mixing of rain water with pyroclastic material crushed the surrounding areas of river valleys to the agricultural land and settlements. However, on the other hand it gave benefit to the mining activity as

the lahar flow left behind such amount of deposited material of rock and sands.

#### 4. CONCLUSION

The study on land resources in Kelud Volcano Area after the explosive eruption in 2014 had come to conclusion, such as:

Spatial analysis based on landform unit using GIS as a tool had been able to produce identification of land resources in Kelud Volcano Area systematically. The identification encompasses in-depth evaluation of on-going activities in Kelud Volcano Area that is divided into volcanic peak, upper slope, middle slope and lower slope.

Most of the alterations were situated in the upper and middle slope due to the accumulation of pyroclastic material and the damage directly after the eruption such as burnt protection forest.

The alteration of land resources spatial pattern in Kelud Volcano Area was due to accumulation of erupted material above the land surface. The eruption had form a new view of Kelud Volcano that is beneficial for tourism if well managed. The plantation sector suffered a little disturbance due to deposited material, although there was no significant influence to its income. The mining sector has developed rapidly due to abounding material in the upstream.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors want to thank all contributors i.e. Aries Dwi Wahyu R., M.Sc., Febrin Maritimo, S.Si., Evi Dwi, M.Sc., Edwin Maulana, M.Sc., Elok Surya Pratiwi, S.Si., Garry Martha Kusuman W., S.Si., Galih Aries S., M.Sc, Anastasia Neni, M.Sc dan Listyo Yudha, M.Pd., M.Sc for their help during data collection in Kelud area. We also thank to Kediri's government and Blitar's government for their permission during data collection.

#### REFERENCES

Badrudin, M. (1994). Kelud Volcano Monitoring: Hazards, Mitigation, and Changes in Water Chemistry Prior to The 1990 Eruption, *Geochemical Journal*, 28, 233-241  
Belizel, E. D., Lagvine, F., Gaillard, J. C., Grancher, D., Pratomo, I. & Komorowski, J. C. (2012). The 2007 Eruption of Kelut Volcano (East Java, Indonesia):

Phenomenology, Crisis, Management and Social Response. *Geomorphology, Science Direct*. 136, 165-175.

Bourdier, J. L., Pratomo, I., Thouret, J. C., Boudon, G., & Vincent, P. (1997). "Observations, Stratigraphy and Eruptive Processes of The 1990 Eruption of Kelut Volcano Indonesia", *Journal of Volcanology dan Geothermal Research, Elsevier*. 79, 181-203.

Kusumadinata, K. (1979). *Data Dasar Gunung api Indonesia*. Dit. Vulk., Bandung.

McKenzie, N. J., Grundy, M. J., Webster, R. & Ringrose-Voase, A.J. (eds.). (2008). "Guidelines for Surveying Soil and Land Resources", CSIRO, Collingwood, Vic.

PVMBG, (2014). *Album Visual Bencana Geologi Di Indonesia 2014*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

Rahmadana, A. D.W., Sartohadi, J. & Munawaroh (2014). *Kajian Bentang Sumberdaya Lahan Gunungapi Kelud, in Pengelolaan Bencana Kegunungapian Kelud pada Periode Krisis Erupsi 2014*, Editor by Junun Sartohadi and Elok Surya Pratiwi, Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Rusdimi, A. U. (2015). *Retarding Basin as Lahar Hazard Management: Case Study of Bladak Catchment, East Java*. Thesis. Universitas Gadjah Mada. Indonesia.

Sartohadi, J., Sianturi, R., Rahmadan, A., Maritimo, F., Wacano, D., Munawaroh, Suryani, T. & Pratiwi, E. (2014). *Bentang Sumberdaya Lahan Kawasan Gunungapi Ijen dan Sekitarnya*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Thouret, J. C., Abdurachman, K. E. & Bourdier, J. L. (1998). Origin, Characteristics, and Behaviours of Lahars Following The 1990 Eruption of Kelud Volcano, Eastern Java (Indonesia). *Bull. Volcano*. 59, 460-480.  
Undang Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.

Van Gool, D., Vernon, L. & Runge, W. (2008). *Land resources in the South-West Agricultural Region: a shire-based summary of land degradation and land capability*. Department of Agriculture and Food, Western Australia. Report 330.

Zaennudin, A. (2008). Kubah Lava Sebagai Salah Satu Ciri Hasil Letusan Gunung Kelud. *Buletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, Volume 3 Nomor 2, Agustus 2008: 18-29.

Zaennudin, A. (2009). Prakiraan Bahaya Erupsi Gunung Kelud. *Buletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, 4 (2), 1-17.

## **CAPÍTULO 3**

### **IMPORTANCIA DE LA APLICACIÓN DEL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CARBONO EN EL BOSQUE HÚMEDO TROPICAL “REFLEXIONES RESPECTO AL CAMBIO CLIMÁTICO”**

**IMPORTANCE OF THE APPLICATION OF SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT  
IN THE REDUCTION CARBON EMISSION IN THE TROPICAL RAINFOREST  
“REFLECTIONS ON CLIMATE CHANGE”**

# IMPORTANCIA DE LA APLICACIÓN DEL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CARBONO EN EL BOSQUE HÚMEDO TROPICAL “REFLEXIONES RESPECTO AL CAMBIO CLIMÁTICO”

## IMPORTANCE OF THE APPLICATION OF SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT IN THE REDUCTION CARBON EMISSION IN THE TROPICAL RAINFOREST “REFLECTIONS ON CLIMATE CHANGE”

Carmelo Peralta-Rivero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programas Multidisciplinarios de  
Posgrados en Ciencias Ambientales,  
Universidad Autónoma San Luis  
Potosí. San Luis Potosí, México.

Autor de correspondencia: peralta.carmelo@gmail.com

### RESUMEN

En el presente trabajo se analiza en términos cuantitativos la reducción de emisiones de Carbono, aplicando el Manejo Forestal Sostenible en el bosque húmedo tropical y se plantea la posibilidad de este que sea considerado como una herramienta de mitigación ante el cambio climático. Metodológicamente, se revisó literatura sobre emisiones de CO<sub>2</sub> en bosques tropicales y se comparó emisiones evitadas derivadas de bosques tropicales bajo un Manejo Forestal Sostenible y otros en donde se aplica un Aprovechamiento Convencional. Se estimó que a nivel de ecosistema el Manejo Forestal Sostenible retiene o evita las emisiones de unas 54 tC/ha más que el Aprovechamiento Convencional. Asimismo, tanto en el bosque húmedo tropical en Malasia como en un área de la Amazonía brasilera bajo MFS, aumentando los años en el ciclo de corta u aprovechamiento, se estimó que se podrían retener entre 30 y 36 t C/ha en Malasia y de 7 a 10 t C/ha en Brasil, en un periodo de 30 y 60 años respectivamente. Por otro lado, en más del 90% de área de bosque húmedo tropical correspondiente a 37 países, se calculó que unas 34.23 Gt C podrían ser retenidas si en los bosques se aplicara un Manejo Forestal Sostenible a un área de 1,569.80 Mha. Los países que reducirían mayores emisiones serían Brasil con unas 7,794.24 Mt C/ha por poseer unas 421.31 Mha y China que evitaría 3,196.62 Mt C/ha de 172.70 Mha de bosque húmedo tropical. Se llega a la conclusión de que el Manejo Forestal Sostenible evita las emisiones de Carbono y debe ser considerada como una herramienta para mitigar el cambio climático, sin embargo, es necesario

realizar más estudios para mejorar esta opción que permita reducir aún más las emisiones.

Palabras claves: Emisiones de Carbono, Bosque Húmedo Tropical, Manejo Forestal Sostenible, Aprovechamiento Convencional, Cambio Climático.

### ABSTRACT

In this paper, it is analysed quantitatively reducing carbon emissions by applying Sustainable Forest Management in the tropical rainforest and the possibility for this to be considered as a tool to climate change mitigation. Methodologically, literature about CO<sub>2</sub> emission in tropical rainforest was reviewed and avoided emissions from tropical rainforests were compared under Sustainable Forest Management and others where a conventional logging was applied. It was estimated at ecosystem-level that Sustainable Forest Management retains or prevents emissions in about 54 tC/ha more than conventional logging. Additionally, the tropical rainforest of Malaysia and the Brazilian Amazon under SFM, it was estimated that by increasing the years of the cutting cycle or logging over a period of 30 and 60 years, this could retain between 30 and 36 t C/ha in Malaysia and 7 to 10 t C/ha in Brazil. Analysis indicate that more than 90% from the area from 37 tropical rainforest countries could benefit of 34.23 Gt C retain by applying Sustainable Forest Management, potentially on 1,569.80 Mha estimated. The most relevant Countries that could reduce higher emissions are Brazil 7,794.24 Mt C/ha (421.31 Mha), and China that could avoid 3,196.62 Mt C/ha (172.70 Mha). Review suggest that Sustainable Forest Management avoids carbon

emissions and should be considered as a tool to mitigate climate change; however, there are some research gaps for determine if SFM could even reduce even more emissions.

Keywords: Carbon Emissions, Tropical Rainforest, Sustainable Forest Management, Conventional Logging, Climate Change.

## 1. INTRODUCCIÓN

Ecosistemas forestales en el mundo cubren aproximadamente 41 millones km<sup>2</sup> (4.1x10<sup>9</sup> hectáreas) de la superficie terrestre (31%) que en conjunto con el Carbono del suelo, contienen unos 1,146 Gigatoneladas de Carbono (Gt C) (Dixon, 1994). Este stock de Carbono mundial estimado proveniente de ecosistemas forestales estaría compuesto de 861 Gt C, de las cuales 363 Gt C se encuentra en plantas vivas, 116 Gt C están en material de plantas muertas y 383 GtC están en el suelo (Pan et al., 2011).

En la última década estos bosques han venido desapareciendo en un promedio de 13 millones de hectáreas anualmente, tanto por fenómenos naturales y antropogénicos, como la degradación forestal y deforestación. Esto ha ocasionado una reducción de la biomasa forestal en unas 0.5 Gt de Carbono por año entre el periodo 2005-2010 contribuyendo de esta manera al aumento de las emisiones a nivel global con el consecuente calentamiento global (FAO, 2010).

Uno de los principales tipos de bioma que aporta con aproximadamente un 20% de las emisiones globales (1.5 Gt C/año tanto de la biomasa aérea y bajo el suelo) a la atmosfera, son los bosques húmedos tropicales (FAO, 2010). Estos alcanzan una extensión aproximada entre 19.27 y 19.50 millones de km<sup>2</sup> (1.927x10<sup>9</sup> – 19.50x10<sup>9</sup> hectáreas) de los cuales son destinadas a la producción unas 350 millones de hectáreas (IPCC, 2007; Putz et al., 2008a; Campbell et al., 2008; ITTO, 2009).

Pan et al. (2011) estima que los bosques tropicales almacenan aproximadamente 471±93 Gt C en plantas vivas, suelo y material de plantas muertas. Los principales factores de la pérdida y degradación de estos bosques son la actividad agrícola industrial y la tala comercial, los cuales se dan principalmente en países de América del Sur y el Sureste de Asia (Goodman & Herold, 2014). La degradación forestal juega un papel importante en la pérdida significativa de Carbono en este tipo de ecosistemas, y la magnitud del impacto depende de la intensidad de intervención en el aprovechamiento forestal

maderero, incluso esta puede ser semejante a la deforestación, lo cual requiere un conocimiento más profundo sobre esta temática (Asner et al., 2006; Putz et al., 2008a).

Aproximadamente el 28% (5.46 millones de km<sup>2</sup>) del área total de bosques tropicales se destina a la producción bajo un aprovechamiento forestal convencional, es decir, extracción selectiva de especies maderables. En este sistema se aplican técnicas de aprovechamiento de alto impacto que reducen significativamente el stock de Carbono, y además de dejar las áreas explotadas susceptibles a procesos de deforestación e incendios forestales que pueden degradar aún más los remanentes forestales (Asner et al., 2006; Greenpeace, 2009).

En contraposición al Aprovechamiento Forestal Convencional (AFC), aproximadamente un 5% del área forestal aplica el Manejo Forestal Sostenible (MFS) (IITO, 2007; Putz et al., 2008a). Dicho aprovechamiento supone que debe causar menor impacto al bosque, debido a la aplicación de técnicas de bajo impacto, antes, durante y después del aprovechamiento forestal maderable, consiguientemente podría causar una menor degradación del bosque y consecuente reducción en las emisiones de Carbono.

Los estudios sobre las ventajas del manejo forestal indican que el MFS evita las emisiones de Carbono en un 30% menos en comparación del AFC, y también, para fines del presente trabajo se estima que una hectárea de bosque húmedo tropical contiene aproximadamente unas 200 t C/ha a nivel de ecosistema basado en Putz et al. (2008a) e Imai et al. (2009).

Expuesto de esa manera, un aprovechamiento forestal aplicando MFS no sólo evitaría mayor degradación forestal y las consecuencias ecológicas, sino también que evitaría una mayor pérdida de Carbono lo cual es relevante para mitigar el actual cambio climático.

En sí, la degradación del bosque es un evento que se diferencia de la deforestación debido a que esta última se basa en la tala raza de un área boscosa, y la degradación tan sólo en un determinado volumen de dicha biomasa forestal. Entonces se entiende como degradación forestal a los cambios en el bosque que afectan negativamente la estructura o función del sitio o área forestal, y por lo tanto, disminuyen la capacidad del bosque de suministrar productos o servicios.

En el Contexto de un Mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal (REDD), la degradación forestal resulta en una pérdida neta de Carbono del ecosistema (Angelsen, 2009). Una manera de medir la degradación, es calcular la reducción de las reservas de Carbono del bosque por unidad de área (por ejemplo, hectárea). Estas formas de medición tienen profundos impactos sobre la importancia de desarrollar un mejor manejo forestal y desarrollar acciones ante el cambio climático.

## **Manejo Forestal Sostenible**

Además de garantizar el cumplimiento del aspecto social y económico de la producción forestal, el MFS se fundamenta indicando que aunque el aprovechamiento forestal cause un cierto impacto en el bosque, este debe ser lo suficientemente capaz de mantener la biodiversidad, proteger las funciones hidrológicas y reducir las emisiones atmosféricas como los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Por otro lado, las técnicas de Extracción de Impacto Reducido (EIR) son entendidas como la planificación intensa y cuidadosa de extracción de madera de una manera controlada, llevadas a cabo por un personal capacitado de forma que reduzcan al mínimo los efectos nocivos de la tala. Este proceso lleva a reducir en un 30% las emisiones de Carbono en relación del Aprovechamiento Convencional (Putz et al., 2008a; 2008b).

De esta manera se entiende que la EIR no puede por sí sola lograr el MFS, ya que se debe cumplir con los aspectos social y económico durante la actividad y no tan solo la reducción de impactos en procesos ecológicos.

El Aprovechamiento Convencional se distingue del MFS porque considera que los recursos maderables son aprovechados como si el bosque no fuera un recurso natural renovable. La tala de árboles se la realiza en muchos casos por personal sin capacitación y sin supervisión en el trabajo, las máquinas de arrastre de la madera operan sin la ayuda de mapas topográficos u otras que prevean las mejores rutas de extracción de la madera, asimismo, son poco o escasos los incentivos financieros para reducir los efectos perjudiciales al medio ambiente. De esta manera este tipo de aprovechamiento forestal logra dañar entre el 10 y 70% de árboles remanentes, perjudicando no solo el volumen de madera futura a aprovechar según el ciclo de corta del mismo área, sino también a los cambios en las funciones del ecosistema (Asner et al., 2004; Putz et al., 2008b; Greenpeace, 2009).

Es evidente la importancia de manejar y conservar los bosques tropicales, dado que estos tienen una relevante importancia con la regulación del clima a nivel mundial, además, éstos cumplen una función indispensable en el ciclo hidrológico y alberga miles de especies de flora y fauna, y además es considerado un reservorio mundial importante de Carbono.

Hasta hoy en día se sigue discutiendo las mejores alternativas para el manejo sustentable del bosque tropical dado la complejidad de su funcionamiento a nivel de ecosistema, igualmente, se necesita información comparativa que permita entender las ventajas y desventajas de los tipos actuales de manejo que permitan hacer inferencias para la toma de decisiones sobre esta temática.

Por lo mencionado, el presente trabajo busca responder a las preguntas ¿Cuál sería la cantidad de CO<sub>2</sub> que se puede retener mediante la aplicación del Manejo Forestal Sostenible en el bosque húmedo tropical en comparación con el aprovechamiento bajo el Manejo Forestal Convencional? y ¿Es conveniente considerar al MFS como una herramienta para enfrentar el actual cambio climático?

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Alcance**

Los bosques tropicales húmedos se encuentran a bajas latitudes norte y sur. Alcanzan una extensión aproximada entre 19.27 y 19.50 millones de km<sup>2</sup> y almacenan aproximadamente 471±93 Gt C en plantas vivas, suelo y material de plantas muertas (Pan et al., 2011) (Figura 1).

Estos bosques poseen ecosistemas complejos en términos de diversidad de especies; posee suelos que por lo general son pobres en nutrientes, resultado de prolongados periodos sin perturbaciones geomorfológicas. La biomasa forestal total ofrece pocas variaciones a lo largo de los trópicos húmedos con respecto a la fertilidad inherente de los materiales originales de los suelos (Lamprecht, 1990).

Por sus características medioambientales, resultan ser ecosistemas muy complejos pero, a su vez, de una enorme fragilidad. El uso de maquinaria pesada, por ejemplo, puede destruir la capa de humus que se encuentra en los primeros centímetros del suelo y perderse, de forma irreversible, la capacidad de retener los nutrientes necesarios para las plantas y los cultivos (Nepstad et al., 1991).

El desconocimiento de la riqueza de flora y fauna y otras características de importancia de los bosques tropicales, es una de las principales causas del avance de la deforestación y degradación ambiental de los bosques tropicales (Plana & Meya 2000).

En cuanto a la tenencia de la tierra, los cambios en la propiedad y tenencia de los bosques en algunos países, la mayor parte siguen siendo propiedad estatal, aunque la situación varía entre regiones y países (Sabogal et al., 2013).

## 2.2 Metodología

Se hizo una revisión de más de veinte publicaciones de los últimos años referente al manejo forestal en bosque tropicales, y también un análisis comparativo de las emisiones de CO2 evitadas por aplicar un Manejo Forestal Sostenible (MFS) en el bosque húmedo tropical en contraste con el Aprovechamiento Convencional (AC), asimismo, se revisaron trabajos sobre las Técnicas de Extracción de Impacto Reducido (EIR) que se aplica en el MFS para entender si estas técnicas ayudan a la retención del carbono en este tipo de ecosistemas.

Se realizó una comparación sobre la retención de Carbono aplicando Manejo Forestal Sostenible (MFS) y Aprovechamiento Convencional (AC) en un área de bosque húmedo tropical en Borneo, Malasia.

Asimismo, se llevó a cabo una comparación sobre la retención de Carbono aplicando el Manejo Forestal Sostenible en áreas de bosque húmedo tropical en Borneo, Malasia y en la Amazonía brasilera. Esto sirvió como base para resaltar la importancia del MFS sobre el AC.

Por otro lado, se comparó también la retención de carbono el bosque húmedo tropical según el tipo de aprovechamiento forestal, y se tomó en cuenta el ciclo de corta en años de aprovechamiento. Igualmente, fue realizada una estimación hipotética de la retención de Carbono a más del 90% de países que poseen bosque tropical, si es que estos aplicaran el MFS y no así el AFC. Para este análisis, se tomó como base la información de la cobertura forestal de 37 países presentada por ITTO (2009), en dónde se encuentra descrita el área de bosques administrados por el gobierno, áreas forestales designadas para comunidades campesinas e indígenas, comunidades privadas y tierras indígenas, propiedades privadas y de empresas.

Asimismo, se identificaron ventajas de aplicar un MFS en relación a un AC en cuanto a la retención de Carbono o emisiones evitadas. De igual manera, este análisis ayudó a resaltar la necesidad de fortalecer estrategias y acciones en manejo y conservación del bosque húmedo tropical para mitigar el cambio climático.

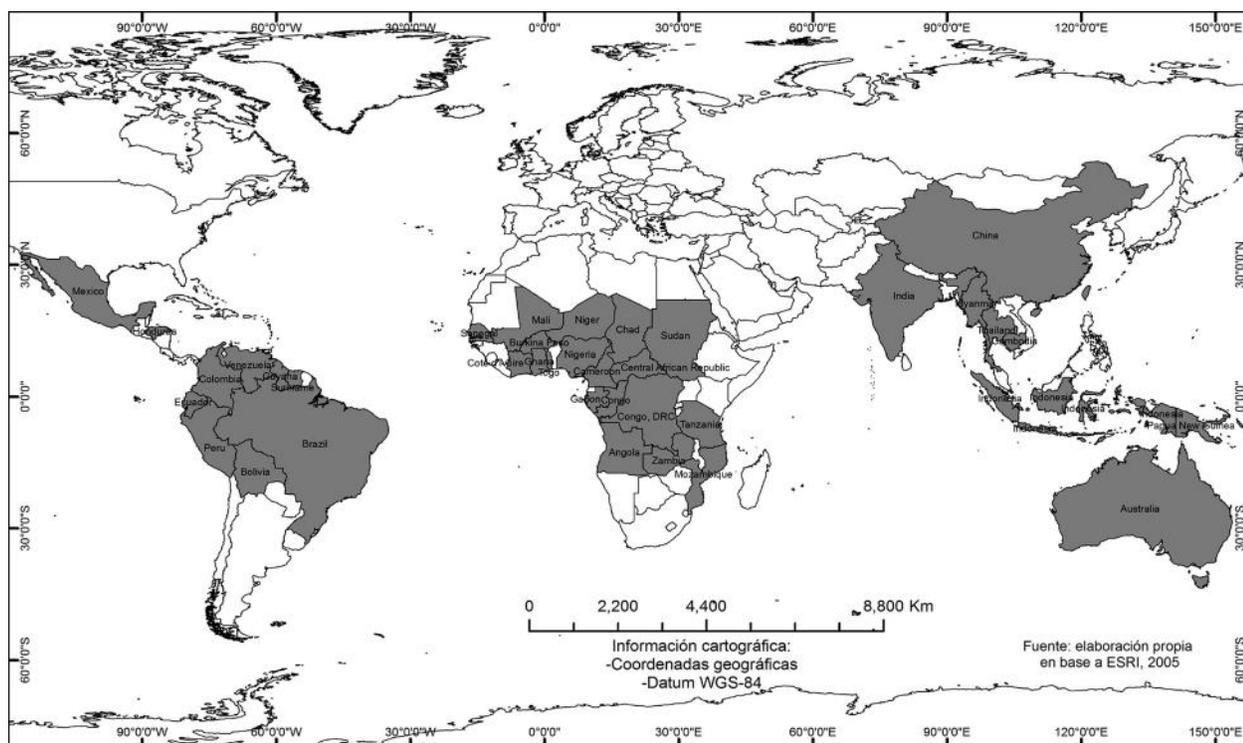


Figura 1. Países que poseen bosque húmedo tropical para el presente caso de estudio

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Emisiones de Carbono Según el Tipo de Aprovechamiento Forestal

La reducción del stock de Carbono del bosque por el aprovechamiento forestal maderero, puede variar según las técnicas de aprovechamiento empleada al momento de corta, arrastre y en otras etapas de este proceso. Por lo general, en el Aprovechamiento Convencional de tala selectiva de especies maderables, no se consideran y se conoce muy poco los impactos ecológicos que causan durante las operaciones de aprovechamiento. No obstante, estos impactos son reducidos a través de un MFS, a través de técnicas EIR con el objetivo de mitigar los efectos nocivos al medio ambiente de la tala de árboles (Obs. Pers.).

Por ejemplo en Borneo Malasia, en un área de bosque tropical donde se aplicó un AC y también un MFS, se pudieron observar diferencias en cuanto al Carbono retenido posterior al aprovechamiento (Figura 2).

En la figura dos, se presenta el stock de Carbono retenido en un área forestal posterior al aprovechamiento maderero, y nos indica que cuando se aplicó un MFS

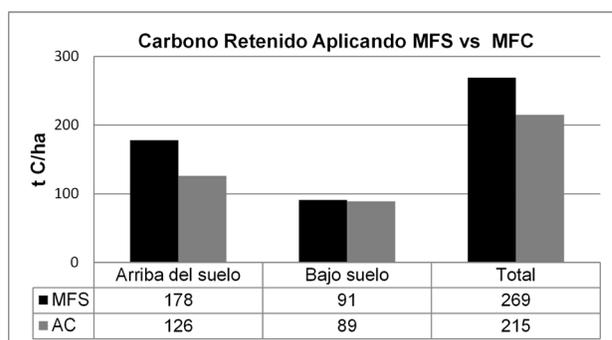


Figura 2. Retención de Carbono aplicando Manejo Forestal Sostenible (MFS) y Aprovechamiento Convencional (AC) en un área de bosque húmedo tropical en Borneo, Malasia (Fuente: elaboración propia en base a Imai et al., 2009).

en el área, se pudo retener un remanente forestal con un promedio de 178 t C/ha en la vegetación o arriba del suelo, y 91 t C/ha en el suelo en relación al Aprovechamiento Convencional que sólo retuvo 126 t C/ha y 89 t C/ha respectivamente. El MFS retuvo o evitó las emisiones de 52 t C/ha en la vegetación y a un nivel de ecosistema hasta 54 t C/ha. Las diferencias en el contenido de Carbono retenido en el suelo en ambos casos es muy parecido con apenas una diferencia de dos toneladas de Carbono por hectárea. Esto nos da a entender que el aprovechamiento con un MFS evita mayor pérdida de cobertura forestal y por ende evita mayor cantidad de emisiones en relación al AC.

#### 3.2 Retención de Carbono Aplicando un Manejo Forestal Sostenible

Estudio realizados en un área de bosque húmedo tropical en la Amazonía brasilera, estimaron la retención de Carbono, tomando en cuenta los periodos de ciclos de corta (CC) de áreas boscosas que se podrían aplicar durante el MFS, que por lo general son entre 30 y 60 años. Asimismo, con la aplicación del MFS en un área de bosque tropical en Malasia se puede retener entre 30 y 36 t C/ha en un ciclo de corta de 30 y 60 años respectivamente, y en Brasil, se retendría entre 7 y 10 t C/ha en el mismo lapso de tiempo (Figura 3). Según Imai et al. (2009) y Putz et al. (2008a), en ambas áreas aprovechadas se redujeron la emisiones en un 30% en relación a otro tipo de aprovechamiento convencional, es decir, la extracción de impacto reducido funciona mejor en relación a otros tipos de aprovechamiento (Tabla 1).

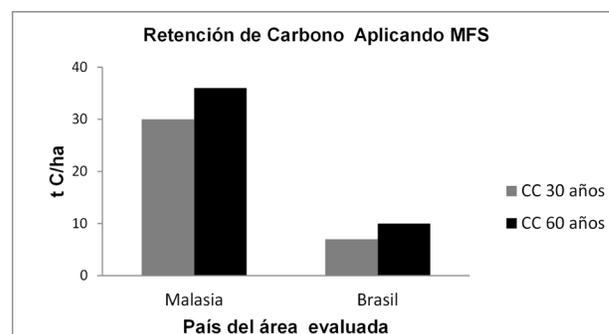


Figura 3. Retención de Carbono aplicando el Manejo Forestal Sostenible en áreas de bosque húmedo tropical en Borneo, Malasia y en la Amazonía brasilera (Fuente: elaboración propia en base a Imai et al., 2009 y Putz et al., 2008a).

	Malasia	Brasil	Ciclo de corta
t C/ha	213	186	
m3 cortados	125	30	
Perdida de C por MFC	108	19	
Perdida de C por MFS	78	12	
C retenido por MFS	30	7	30 años
Pérdida de C por MFC	93	24	
Pérdida de C por MFS	57	14	
C retenido por EIR	36	10	60 años

Tabla 1. Relación de la retención de Carbono aplicando MFS en áreas de bosque húmedo tropical de Malasia y Brasil (Fuente: elaboración propia en base a Imai et al., 2009 y Putz et al., 2008a).

#### 3.3 Estimaciones de emisiones retenidas por el MFS en países con bosque húmedo tropical

A nivel mundial los ecosistemas de bosque húmedo tropical se encuentran administrados en su mayor

parte por el gobierno central de los diferentes países y en menor proporción por comunidades privadas e indígenas, propietarios privados individuales y empresas. De esta manera, se consideró importante estimar posibles emisiones evitadas de Carbono con datos del año 2008 de 37 países, que abarcan más del 90% de área de bosque húmedo tropical tomando en cuenta la aplicación del MFS.

Considerando que con el MFS se emiten unas 45 t C/ha, 30% menos que el AC (63.5 t C/ha) basado en estudios de Malasia y Brasil, y que en promedio una hectárea de bosque tropical contiene unas 200 t C/ha, se estimó que con la aplicación del MFS se podrían evitar las emisiones de 21,996.13 millones de toneladas de Carbono por hectárea (Mt C/ha) en relación al AC de bosques que son administrados por los diferentes gobiernos de estos 37 países (Tabla 2).

Asimismo, en bosques designados para comunidades campesinas e indígenas se evitarían las emisiones de 1,415.99 Mt C/ha, en comunidades privadas y

tierras indígenas 6,604.87 Mt C/ha, y en propiedades individuales y de empresas unas 4,213.19 Mt C/ha. En total se podrían evitar unas 34,230.18 Mt C/ha (34.23 Gt C) de unas 1,569.80 millones de hectáreas (Mha).

Los países que podrían evitar mayor cantidad de emisiones de Carbono, serían Brasil con unas 7,794.24 Mt C/ha por poseer unas 421.31 Mha y China que evitaría 3,196.62 Mt C/ha de 172.70 Mha de bosque húmedo tropical (Tabla 2). De la misma forma, aquellos países con mayor superficie son aquellos que emitirían más cantidad de CO<sub>2</sub> según el tipo de manejo que se le proporcione al bosque, es decir, un MFC o un AC (Figura 4).

La figura cuatro, indica que la línea continua son las hipotéticas emisiones en Mt C/ha si el área forestal fuese sometido al AC, mientras que la línea punteada indica las emisiones de Carbono hipotéticas cuando los bosques están bajo un MFS. De esta manera, esto sugiere que con la aplicación de un AC en los ecosistemas de bosque húmedo tropical de los diferentes países, las emisiones de Carbono serán mayores que en aquellas provenientes de un área bajo MFS.

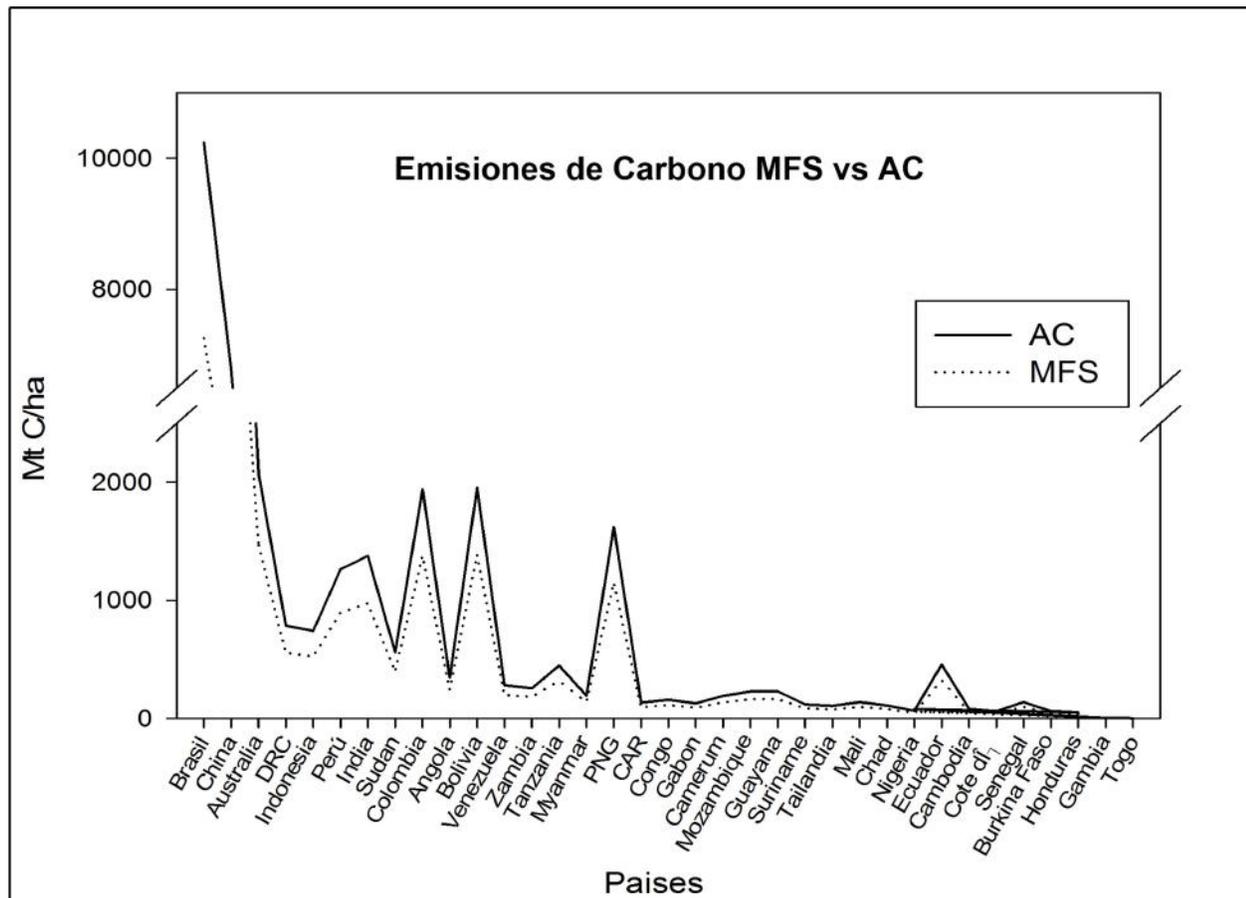


Figura 4. Estimación de emisiones de Carbono en países que poseen bosque húmedo tropical según el MFS y el AC. Elaboración propia en base a ITTO (2009); Putz et al. (2008a); Imai et al. (2009).

Pais	Administrado por el gobierno (Mha)	Carbono retenido por MFS (Mt C/ha)	Designada para comunidades campesinas e indígenas (Mha)	Carbono retenido por MFS (Mt C/ha)	Comunidades privadas y tierras indígenas (Mha)	Carbono retenido por MFS (Mt C/ha)	Propiedades individuales y de empresas (Mha)	Carbono retenido por MFS (Mt C/ha)
Brasil	88.56	1,638.36	25.62	473.97	109.13	2,018.91	198.00	3663
China	72.85	1,347.73	0.00	0.00	99.94	1,848.89	0.00	0
Australia	109.30	2,022.05	0.00	0.00	20.86	385.91	17.24	318.94
DRC	133.61	2,471.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Indonesia	121.89	2,254.97	0.23	4.26	0.00	0.00	1.71	31.635
Perú	42.34	783.29	2.86	52.91	12.62	233.47	5.29	97.865
India	49.48	915.38	17.00	314.50	0.00	0.00	1.07	19.795
Sudan	64.68	1,196.58	2.82	52.17	0.00	0.00	0.05	0.925
México	nd	nd	0.00	0.00	38.71	716.14	nd	nd
Colombia	33.23	614.76	0.00	0.00	27.50	508.75	0.00	0
Angola	59.10	1,093.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Bolivia	22.88	423.28	19.52	361.12	9.04	167.24	1.10	20.35
Venezuela	47.70	882.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Zambia	42.44	785.14	0.10	1.85	0.00	0.00	0.00	0
Tanzania	31.79	588.12	1.77	32.75	2.35	43.48	0.06	1.11
Myanmar	32.18	595.33	0.04	0.74	0.00	0.00	0.00	0
PNG	0.26	4.81	0.00	0.00	25.51	471.94	0.00	0
CAR	22.76	421.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Congo	22.01	407.19	0.46	8.51	0.00	0.00	0.00	0
Gabon	21.76	402.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Camerun	20.11	372.04	1.14	21.09	0.00	0.00	0.00	0
Mozambique	17.26	319.31	0.00	0.00	2.00	37.00	0.00	0
Guayana	13.68	253.08	0.00	0.00	2.36	43.66	0.00	0
Suriname	14.70	271.95	0.51	9.44	0.00	0.00	0.03	0.555
Tailandia	14.57	269.55	0.25	4.63	0.00	0.00	1.05	19.425
Mali	15.90	294.15	0.71	13.14	0.00	0.00	0.00	0
Chad	11.22	207.57	0.70	12.95	0.00	0.00	0.00	0
Nigeria	11.09	205.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Ecuador	3.94	72.89	0.00	0.00	6.83	126.36	0.04	0.74
Cambodia	10.76	199.06	0.30	5.55	0.00	0.00	0.00	0
Cote d'Ivoire	10.31	190.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	2.22
Senegal	12.77	236.25	0.99	18.32	0.00	0.00	0.06	1.11
Burkina Faso	6.35	117.48	0.39	7.22	0.00	0.00	0.05	0.925
Honduras	2.60	48.10	0.27	5.00	0.11	2.04	1.86	34.41
Nigeria	4.13	76.41	0.87	16.10	0.00	0.00	0.01	0.185
Gambia	0.41	7.59	0.02	0.37	0.03	0.56	0.00	0
Togo	0.37	6.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
<b>Solo 30 casos</b>	<b>1,093.96</b>	<b>2,0238.26</b>	<b>71.57</b>	<b>1,324.05</b>	<b>303.66</b>	<b>5,617.71</b>	<b>222.34</b>	<b>4,113.29</b>
<b>Total (37 casos)</b>	<b>1,188.98</b>	<b>2,1996.13</b>	<b>76.54</b>	<b>1,415.99</b>	<b>357.02</b>	<b>6,604.87</b>	<b>227.74</b>	<b>4,213.19</b>

Tabla 2. Estimación de emisiones de Carbono (millones de t C/ha) posibles a evitar en países con bosque húmedo tropical (millones de hectáreas-Mha) por la aplicación del MFS en relación al AC.

#### 4. DISCUSIÓN

Las emisiones de Carbono según el aprovechamiento forestal en el bosque húmedo tropical como se explica en la figura dos, tres y cuatro nos indican que estas serán dependientes según el tipo de manejo u aprovechamiento, es decir, la aplicación de un MFS o un AC. Los resultados demuestran que con la aplicación de un MFS aplicando técnicas EIR, a nivel de ecosistema se pueden reducir hasta 54 t C/ha, y esta cantidad se incrementaría con la aplicación del ciclo de corta como en los dos casos presentados, Malasia y Brasil (30 y 60 años). Asimismo, en el bosque donde se aplicó un MFS y AC en Malasia, además de retener una mayor cantidad de Carbono, se puede evidenciar que también hubo una mayor frecuencia en diversidad de vertebrados lo que indica que el bosque es más saludable (Asner et al., 2005; Asner et al., 2006; Imai et al., 2009).

Pese a ello, informes sobre evaluación del MFS y su posible contribución de reducción de emisiones de Carbono, contrarrestan y disminuyen el valor de los resultados expuestos. Por ejemplo, Greenpeace ha estimado que el MFS solo contribuye en 3% a la reducción de emisiones de Carbono y no en un 30% como expuesto en este trabajo, basado en Putz et al. (2008a), ni en 10% equivalente a 0.16 Gt C/ha por año estimado para deforestación (Greenpeace, 2009).

Asimismo, Putz et al. (2008a) ha estimado que el MFS reduce los daños a los arboles remanentes durante el aprovechamiento maderero en un 50% con la aplicación de técnicas EIR y es 30% mejor al AC en cuanto a la retención de Carbono, sin embargo, estudios en Brasil y Bolivia demuestran que con la aplicación de únicamente técnicas de EIR no se garantiza la recuperación del bosque en la

producción de volumen de madera para el siguiente ciclo de corta, y lo cual sería un riesgo someter los bosques bajo este manejo. Por ejemplo, en un área de bosque en Brasil con un ciclo de corta de 30 años, tan solo se habrá recuperado el 50% del volumen inicial aprovechado; y en Bolivia, un aprovechamiento con un ciclo de corta de 25 años tan solo se habrá recuperado en un 21%, eso debido a la intensidad de aprovechamiento, infestación de lianas y otros factores que impedirán el aumento normal del volumen de madera (Dauber et al., 2005; Sist & Ferreira, 2007; Putz et al., 2008a).

Debido a la falta de resultados positivos contundentes, se puede decir que las técnicas EIR deben ser evaluadas y mejoradas para ser incluida y utilizadas eficazmente y al mismo tiempo también garantizar que el MFS sea una herramienta que reduzca las emisiones de Carbono y permita la continuidad de los procesos ecológicos del ecosistema como se reportó para Brasil y Malasia previamente.

Específicamente en a las áreas de Malasia y Brasil, existen diferencias de retención de Carbono aplicando MFS se deben a que los bosques tropicales de Asia poseen un mayor volumen de madera que los bosques de la Amazonía brasilera lo que aumenta el contenido de Carbono. Por ejemplo, en Borneo Malasia, este contenido de Carbono oscila entre 156 t C/ha en bosque degradado y hasta 427 t C/ha en un bosque que no ha sido aprovechado, y en Brasil tan solo con 186 t C/ha en promedio (Putz et al., 2008a; Imai et al., 2009).

Las estimaciones evitadas aplicando un MFS en todos los ecosistemas del bosque húmedo tropical de los 37 países que representan más del 90% del área de estos bosques, se evitarían las emisiones de 7.26% del total del Carbono almacenado en estos tipos de bosques, tomando en cuenta que el total de Carbono almacenado en bosques tropicales es de  $471 \pm 93$  Gt C. esto sugiere que En otras palabras se evitaría la emisión de unas 34,23 Gt C/ha, sin tomar en cuenta el ciclo de corta y los años que se planifiquen en el aprovechamiento, así como el avance de la deforestación que reduce las áreas boscosas y las áreas que serán protegidas si es que este tipo de manejo de bosque aumenta ya que tan sólo es del 5% en todo el bosque tropical. Asimismo, mientras más área forestal este bajo el MFS, mayor será la retención de Carbono, así como se pudo estimar en 80 tipos de boques comunes de 10 países tropicales (Chhatre & Agrawal, 2009 en Putz et al., 2010).

También hay que tener en cuenta que los bosques tropicales en su mayoría de los casos se encuentran administrados por los gobiernos, los mismos que cuentan con normas que permiten el aprovechamiento de los recursos forestales. Obviar esta realidad, sería negativo al no tomar en cuenta el MFS, para tratar de mejorar la retención de Carbono en estos bosques. Aunque existen faltas de incentivos para la aplicación del MFS, este podría ser estimulado mediante la certificación del producto que aumenta el valor en el mercado.

Por lo mencionado, y respondiendo a las preguntas de presente trabajo, podemos decir que el MFS debe considerarse como una herramienta de manejo forestal que reduce los daños al bosque y retiene mayor cantidad de CO<sub>2</sub> en relación al Aprovechamiento Convencional. De de esta manera, el MFS es una alternativa para combatir el cambio climático, y se considera que debe ser motivo de debate dado su importancia, y que no puede ser descartarlo de las políticas actuales que se relacionan con el manejo del bosque húmedo tropical (Putz et al., 2008a; Imai et al., 2009; Putz et al., 2010).

#### 4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este trabajo son dirigidas a la comparación del MFS y el AC y su importancia en la reducción de emisiones de Carbono en el bosque húmedo tropical, de manera que se puedan permitir estrategias para desarrollar alternativas para la mitigación del cambio climático, son:

El Manejo Forestal Sostenible de los bosques, es beneficioso en cuanto a la captura de Carbono en comparación del Aprovechamiento Convencional.

La retención de Carbono en el bosque húmedo tropical, puede aumentar según un ciclo de corta más prolongado que el planificado normalmente (30 años).

Aunque la reducción de las emisiones de Carbono con la aplicación del MFS representa un 7.26%, es decir, unos 34,23 Gt de Carbono del total del reservorio encontrado en el bosque húmedo tropical, se puede considerar significativo para combatir el actual cambio global.

Dado que el Manejo Forestal Sostenible muestra ser una alternativa para evitar mayor cantidad de CO<sub>2</sub> durante el aprovechamiento forestal, éste debe ser incluido en las

discusiones de manejo y conservación del bosque húmedo tropical para enfrentar el actual cambio climático.

## 5. RECOMENDACIONES

Debido a la falta de información identificada en este tipo de trabajos, las principales recomendaciones son:

Estudiar la reducción de emisiones con la aplicación de un MFS en el bosque húmedo tropical en áreas que abarquen y representen de manera significativa a este bioma para realizar una mejor validación en esta temática.

Para poder tener información a más detalle y diferentes escalas sobre la cantidad de Carbono que se logra reducir con el MFS, se deben estimar el contenido de Carbono por tipo de ecosistema en el bosque húmedo tropical.

Se debe estudiar el progreso de las técnicas de Extracción de Impacto Reducido para reducir aún más las emisiones de Carbono durante el aprovechamiento forestal.

En base a la información disponible referente al MFS desarrollar estrategias y propuestas para enfrentar el actual cambio climático, la conservación de flora y fauna y los beneficios socio-económicos para los actores sociales que viven en estas áreas.

## REFERENCIAS

- Angelsen, A. (ed.) (2009). Avancemos con REDD: problemas, opciones y consecuencias. CIFOR, Bogor, Indonesia. 156 Pág.
- Asner, G.P., Keller, M., Silva, N. M. (2004). Spatial and temporal dynamics of forest canopy gaps following selective logging in the eastern Amazon. *Global Change Biology* 10, 765–783.
- Asner, G.P., Knapp, D. E., Broadbent E. N., Oliveira P. J., Keller, M. (2005). Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310, 480-482.
- Asner, G. P., Eben N., Broadbent E. N., Oliveira P. J., Keller, M., Knapp, D. E., Silva, N. M. (2006). Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. *PNAS* 103, 12947–12950.
- Campbell, A., Kapos, V., Lysenko, I., Scharlemann, J., Dickson, B., Gibbs, H., Hansen, M., Miles, L. (2008). Carbon emissions from forest loss in protected areas: Summary. UNEP World Conservation Monitoring Centre. 5 pp.
- Dauber, E., Fredericksen, T.S., Pena-Claros, M. (2005). Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology Manage.* 214, 294-304.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon A. M., Trexler, M. C., Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science* 263, 185-190.
- ESRI, (2005). World Countries, Scale of the map, 1:15,000,000.
- FAO, (2010). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. Departamento Forestal Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 12 pp.
- Goodman, R. C. & Herold, M. (2014). “Why Maintaining Tropical Forests Is Essential and Urgent for a Stable Climate.” CGD Working Paper 385. Washington, DC: Center for Global Development. 51 pp.
- Greenpeace, (2009). Why logging will not save the climate?. Research Laboratories Technical. 16 pp.
- Imai, N., Samejima, H., Langner, A., Ong, RC., Kita, S. (2009) Co-Benefits of Sustainable Forest Management in Biodiversity Conservation and Carbon Sequestration. *PLoS ONE* 4(12): e8267. doi:10.1371/journal.pone.0008267.
- IPCC, (2007). Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. 996 pp.
- ITTO, (2009). Tropical Forest Tenure Assessment: Trends, Challenges and Opportunities. International Tropical Timber Organization. Yokohama, Japan. 55 pp.
- Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los trópicos. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). República Federal Alemana.
- Murdiyaso, D., Skutsch, M., Guariguata, M., Kanninen, M., Luttrell, C., Verweij, P., Stella, O. (2009). ¿Cómo medimos y monitoreamos la degradación forestal?. En: Angelsen, A. (ed.). (2009). Avancemos con REDD: problemas, opciones y consecuencias.

- Nepstad, D.C., C. Uhl., Serrano, E.A.S. (1991). Surmounting Barriers to Forest Regeneration in Abandoned, Highly Degraded Pastures: A Case Study from Paragominas, Pará, Brazil. In Anderson A.B. (eds) *Alternatives to Deforestation*, 215-229, New York, Columbia University Press.
- Pan, Y. D., R. A. Birdsey, J. Y. Fang, R. Houghton, P. E. Kauppi, W. A. Kurz, O. L. Phillips, A. Shvidenko, S. L. Lewis, J. G. Canadell, P. Ciais, R. B. Jackson, S. W. Pacala, A. D. McGuire, S. L. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch, and D. Hayes. (2011). "A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests." *Science* no. 333 (6045):988-993. doi: DOI10.1126/science.1201609.
- Putz, F. E., Zuidema P.A., Pinard M. A., Boot, R., Sayer, J.A. (2008a). Improved tropical forest management for carbon retention. *PLoS Biology* 6(7): e166. doi:10.1371/journal.pbio.0060166
- Putz, F. E., Sist, P., Fredericksen, T., Dykstra, D. (2008b). Reduced-impact logging: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 256, 1427-1433.
- Putz, F. E. & Nasi, R. (2010). Chapter 45. Carbon Benefits from Avoiding and Repairing Forest Degradation. *International Society of tropical Foresters*. 14 pp.
- Plana, E. & Meya, D. (2000). La certificación forestal como instrumento de política forestal. Hacia una gestión sostenible de los bosques. IV Forum de Política Forestal. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya.
- Sabogal, C; Guariguata, MR; Broadhead, J; Lescuyer, G; Savilaakso, S; Essoungou, N; Sist, P. (2013). Manejo forestal de uso múltiple en el trópico húmedo; oportunidades y desafíos para el manejo forestal sostenible. *FAO Forestry Paper No. 173*. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Bogor, Indonesia, Centro Internacional de Investigación Forestal.
- Sist, P.& Ferreira, F. N. (2007). Sustainability of reduced-impact logging in the eastern Amazon. *Forest Ecology Manage.* 243,199-209.

## **CAPÍTULO 4**

### **ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN FAMILIAR EN LA AMAZONÍA BOLIVIANA**

**ESTIMATING THE ECONOMIC POTENCIAL OF SMALLFARMER PRODUCTION  
IN THE BOLIVIAN AMAZON**

# ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN FAMILIAR EN LA AMAZONÍA BOLIVIANA

## ESTIMATING THE ECONOMIC POTENCIAL OF SMALLFARMER PRODUCTION IN THE BOLIVIAN AMAZON

Vincent A. Vos<sup>1</sup>, Ramiro Chávez Antelo<sup>1 2</sup> Heidy Teco López<sup>1</sup>, Roberto Menchaca Morales<sup>1</sup> & Daniel Sánchez Galarza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Promoción del Campesinado Regional Norte Amazónico, Riberalta Beni, Bolivia.

<sup>2</sup>Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra, Programa de Producción de Alimentos y Restitución de Bosques, Cobija, Pando, Bolivia.

Autor de Correspondencia: vincentvosbolivia@gmail.com

### RESUMEN

Con el crecimiento del conocimiento sobre los beneficios ecológicos y climáticos aportados por los ecosistemas amazónicos, también han incrementado las llamadas para su conservación y el manejo sostenible de sus recursos naturales. No obstante, en los últimos años se ha visto un nuevo aumento en las inversiones en megaobras y proyectos de desarrollo con un enfoque extractivista que ponen en riesgo esta sostenibilidad. En el presente estudio se analiza el valor económico de la producción familiar en la Amazonía Boliviana para poder evaluar su potencial para propuestas alternativas de desarrollo. Aprovechando datos de productividad de una gran variedad de fuentes bibliográficas y usando Sistemas de Información Geográfica aquí extrapolamos la productividad de los principales sistemas productivos manejados por las familias campesinas e indígenas de la región. Estimamos que la producción de estas familias en su conjunto alcanza \$US 226,354,740, incluyendo aproximadamente \$US 28.2 millones (12%) en productos agrícolas, \$US 23.3 millones (10%) por la crianza de animales, \$US 68.7 millones (30%) en productos forestales no-maderables y \$US 106,1 millones (47%) por la caza y pesca. Nuestros resultados revelan una importancia seriamente subestimada de los productos naturales dentro de la economía regional. Argumentamos que esta importancia debe ser revalorada para la adaptación de planes regionales de desarrollo a favor de una mayor eficiencia económica de las políticas públicas de fomento a la producción, a tiempo de beneficiar la sostenibilidad de los paisajes amazónicos.

**Palabras claves:** Amazonía Boliviana, Producción Familiar, Campesinos, Indígenas, Productos Forestales, Potencial Económico, Desarrollo Sostenible.

### ABSTRACT

With the growth of our knowledge on the environmental and climatological benefits from the Amazon, the call for its conservation and the sustainable management of its natural resources has also increased. However, over the last years, there has been a new increase in the investments in megaconstructions and development projects with an extractivist focus that put in risk this sustainability. This study analyses the economic value of the production of families of smallfarmers in the Bolivian Amazon, to evaluate its potential for alternative development proposals. By recovering data on productivity from a variety of bibliographical sources, and using Geographic Information Systems, here we extrapolate the productivity of the main production systems managed by the 22,048 peasant and indigenous smallfarmer families in the region. We estimate that the combined productivity of these families values at \$US 226,354,740, including approximately \$US 28.2 million (12%) in agricultural products, \$US 23.3 million (10%) from animal husbandry, \$US 68.7 (30%) from Non-Timber Forest Products and \$US 106.1 million (47%) from hunting and fishing. Our results reveal a severely underestimated importance of the harvesting of natural resources within the regional economy. We argue that this importance should be taken into account by adapting regional development plans to increase the economic efficiency of development policies, while benefiting sustainability.

**Keywords:** Bolivian Amazon, Family Production, Smallfarmers, Indigenous, Forest Products, Economic Potential, Sustainable Development.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha incrementado nuestra comprensión acerca de los múltiples beneficios ambientales y climáticos generados por los ecosistemas amazónicos. Considerando estos beneficios se ha argumentado que la conservación de la Amazonía constituye uno de los grandes desafíos para la humanidad (ej. Nobre, 2014, Maretti et al., 2014). Aunque la conservación de los bosques amazónicos ha logrado un lugar importante dentro de los discursos populares, en la práctica más bien se puede observar una clara tendencia de una creciente presión sobre la región pan-amazónica, con un aumento explosivo de inversiones en megaobras como carreteras y hidroeléctricas, un incremento en proyectos mineros, un avance de la frontera agropecuaria, e incluso incrementos en tasas de aprovechamiento - frecuentemente ilegal - de madera y otros recursos forestales (RAISG 2012, Laurance 2016, del Granado 2016). Estas nuevas presiones repiten un viejo patrón de desarrollo con visión extractivista con gobiernos y empresas promoviendo una mayor apertura de la Amazonía para mejorar el acceso a los recursos naturales a tiempo de facilitar el avance de la frontera agrícola con una visión que toma el bosque como un obstáculo del desarrollo en desvalorización de sus potencialidades económicas, ambientales y sociales (Vos, 2011; Pokorny et al., 2008).

La Amazonía Boliviana tradicionalmente ha sido un área aislada del desarrollo nacional y olvidada por los gobiernos de turno (Vos, 2015a; b). No obstante, en los últimos años se ha visto un incremento enorme en la inversión pública que repite las tendencias regionales mencionadas. No solo se han incrementado los recursos manejados por las instituciones públicas locales, pero también se ha destinado importantes recursos a la apertura y el mejoramiento de la red caminera y diversas represas hidroeléctricas (ConsuladodeBolivia, 2016). Al mismo tiempo se viene impulsando la explotación de hidrocarburos y recursos mineros así como el avance de la frontera agropecuaria con la promoción de la ganadería y el agronegocio (FAN, 2015; Vos, 2015a). Estas inversiones han sido cuestionadas fuertemente por grupos ambientalistas y en los últimos años han provocado múltiples conflictos ambientales (Ribera, 2013; Rojas, 2013). Diversas organizaciones campesinas e indígenas de la región han argumentado que estas inversiones constituyen una desvalorización del potencial económico, social y ambiental de los modos tradicionales de producción, y critican que las políticas públicas actuales benefician directamente a empresas

transnacionales dentro de un modelo de desarrollo que genera múltiples impactos negativos para la población nacional (ej. declaración de Tiquipaya (CFMP, 2015), y manifiestos de organizaciones campesino-indígenas de Bolivia (OIOCACO, 2015) y de la región Andina-Amazónica (OSAA-SA, 2015).

La nueva tendencia de desarrollo parece desconsiderar un gran cuerpo de literatura científica y propuestas técnicas que argumentan a favor de un desarrollo más sostenible que permite garantizar una mayor estabilidad de paisajes a tiempo de mejorar el bienestar de las poblaciones locales (ej Pokorny et al., 2008; PNUD 2008; PNUD, 2011; Nepstad et al., 2014). De hecho, el mismo plan de desarrollo de Bolivia (EPB, 2006), y su versión renovada conocida como Agenda Patriótica (Ley 650: EPB, 2014) plantean la necesidad de fomentar la producción familiar y enfoques de desarrollo en el marco de una mayor armonía con la Madre Tierra incluyendo una revalorización del potencial de los bosques. Aunque se puede reconocer diversos avances puntuales a favor de la concretación de esta propuesta nacional de desarrollo (ver también Vos, 2015a; b), hasta la fecha los principales programas con un enfoque de desarrollo integral sostenible provienen de la cooperación internacional, con escalas y alcances relativamente limitados en comparación con los enormes montos de recursos públicos destinados al desarrollo con enfoques principalmente económicos. Además, en la mayoría de los casos la información sobre este tipo de iniciativas se encuentra dispersa, y frecuentemente de difícil acceso, limitando su uso como base de propuestas de políticas públicas con visiones más integrales de desarrollo. Además hay que considerar que muchos de los productos producidos por las familias campesinas e indígenas son consumidos y/o comercializados en ámbitos informales, implicando que las estadísticas oficiales por lo general no incluyen datos al respecto. En este sentido la importancia económica de la producción familiar es subestimada y subvalorizada dentro de las políticas públicas (Van Andel, 2006; Pokorny et al., 2008; Alarcón & Camacho, 2014).

Para generar una base para políticas públicas de desarrollo integral sostenible frente a las actuales tendencias de desarrollo a nivel panamazónico, para el presente estudio se planteó como objetivo: visualizar la importancia de la producción familiar dentro de la economía de la Amazonía Boliviana, mediante un intento de estimar el potencial económico de los principales sistemas de producción de las familias campesinas e indígenas en la Amazonía Boliviana. A partir de este análisis, se evaluó las inversiones públicas actuales en esta

parte de Bolivia y se plantan propuestas a favor de un desarrollo más integral y más sostenible.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

El presente estudio enfoca en el potencial productivo de la Amazonía Boliviana, contemplando todo el Departamento de Pando, y la Provincia Vaca Diez del norte del Departamento del Beni (Figura 1). La región presenta un clima tropical con una temperatura media entre 26 y 33°C y una precipitación anual de 1.687 a 2.039 mm (Senahmi, 2015). Existen estaciones claramente marcadas con una época de lluvia entre enero y abril con una precipitación mensual de hasta 300 mm y una época seca entre junio y agosto en que la evapotranspiración es mucho mayor que la precipitación (Michel, 2011). La topografía es levemente ondulada con un rango altitudinal entre 100 a 250 m.s.n.m. (Corredor Norte, 2006). La región es transcortada por varios ríos caudalosos como el Madre de Dios, Beni, Mamoré, Madera y Orthon. Hasta hace poco estaba

virtualmente completamente cubierto por bosques tropicales de alta biodiversidad. No obstante en los últimos años, tasas de deforestación y degradación ambiental han incrementado debido al avance de la frontera agropecuaria, y el aprovechamiento de madera en combinación con una mayor proliferación de incendios (Müller et al., 2014; FAN, 2015).

Aunque la población del norte amazónico está creciendo rápido, las densidades poblacionales aún son muy bajas. Según el censo poblacional del 2012 (INE, 2012) la región está habitada por 241,272 habitantes, de los cuales el 66% se concentra en las tres ciudades más grandes de la región: Riberalta (78,773 habitantes), Guayaramerín (35,803 habitantes) y Cobija (44,120 habitantes), mientras que en las áreas rurales están esparcidas los demás 82,576 personas (INE, 2012). La composición de la población está estrechamente relacionada al auge de goma, que para muchos de los pueblos originarios de la región significó un verdadero genocidio, o, en el mejor de los casos, una pérdida drástica de sus culturas. Grupos como los Caripunas, Toromonas y Maropas fueron exterminados por completo. Otros

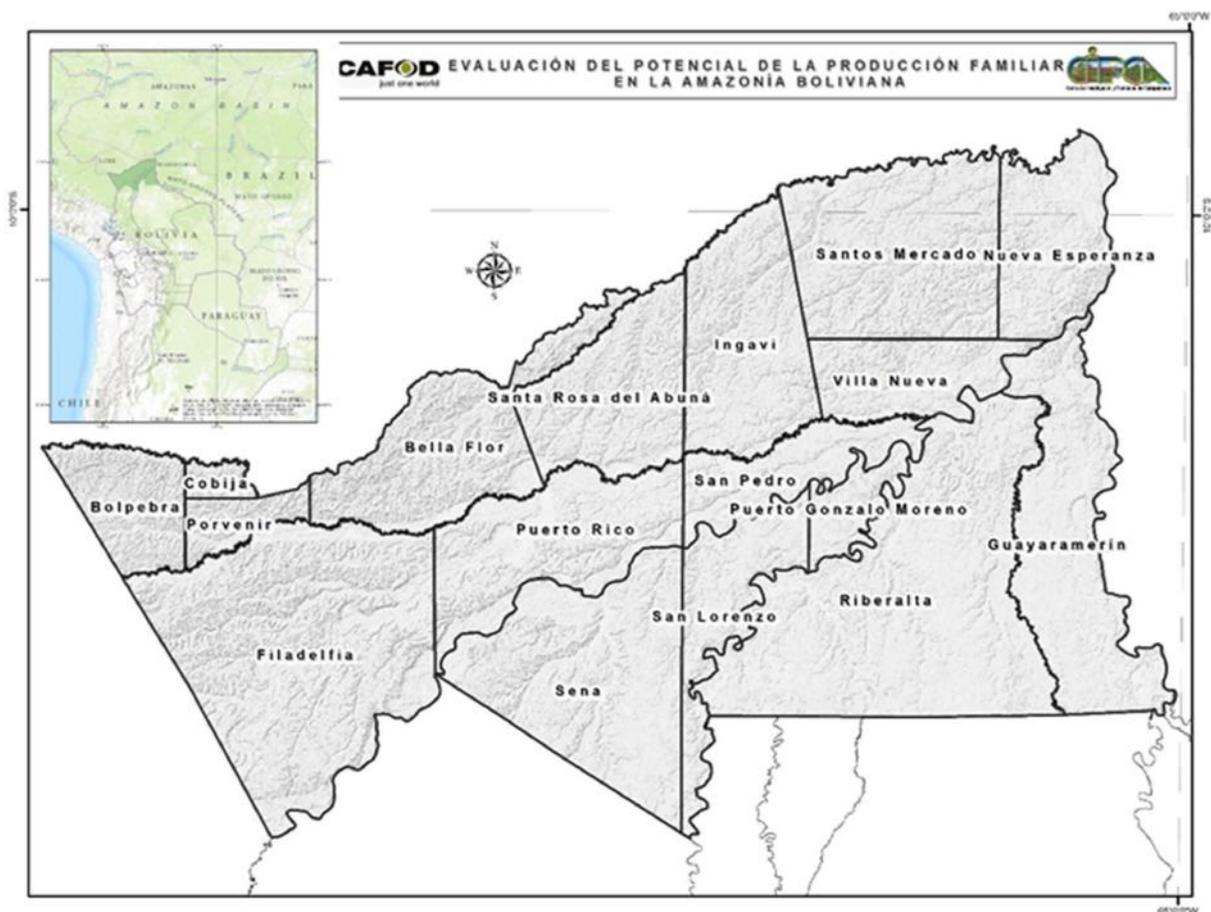


Figura 1. Ubicación del área de estudio incluyendo los 15 municipios del Departamento de Pando y los municipios Riberalta y Guayaramerín

como los Yaminahuas (132 personas), Machineris (38), Araonas (910), Pacahuaras (161), Ese Ejjas (695) y Chacobos (826) hasta la fecha no han podido recuperar la disminución de sus números. Solo los Tacanas (11,730 personas) y Cavineños (2,005 personas) tienen poblaciones relativamente numerosas (INE, 2012). En base de un análisis de los mismos datos del Censo Poblacional, CEPAL/CELADE (2014) indica que dentro del área de estudio existe una población laboral de 103,943 personas, de cual un 21.9% se autoidentifica como “trabajadores agrícolas, pecuarios, forestales, acuicultores y pesqueros” (22,048 personas, considerando datos limpiados).

## 2.2. Metodología

### 2.2.1 Fuentes secundarias de datos productivos

Considerando que la Amazonía Boliviana es una región muy subestudiada, para poder generar una línea base de la producción regional como base de la evaluación de su potencial, se requirió la combinación de un gran número de fuentes de información, desde estadísticas oficiales y datos de literatura hasta extrapolaciones a partir de sistemas de información geográfica, estudios socioeconómicos e información levantada a partir de entrevistas a informantes claves.

Para la estimación de la producción en primera instancia se identificó los principales sistemas de producción dentro de la producción familiar en la Amazonía Boliviana considerando los resultados de anteriores estudios del Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA) sobre la composición de los ingresos familiares de las familias campesina-indígenas en la región (Czaplicki, 2013). En consideración de estos estudios en el presente estudio analizamos el potencial productivo de la agricultura (sus principales productos arroz, maíz, yuca y plátano), la producción agroforestal, la crianza de animales (gallinas, patos, ganado vacuno, ovino y porcino), el aprovechamiento de castaña y otros productos forestales no-maderables (asaí, majo, cacao), la caza y la pesca (Figura 2). Solo se consideraron datos de producción agropecuaria y forestal, y no ingresos por Venta de Fuerza de Trabajo (VFT) y Otros Ingresos (OI: ej. remesas), considerando su aporte mínimo a los ingresos familiares en la región; VFT = 3.71%, promedio OI = 5.37% (Czaplicki, 2013).

Los datos del IFA analizados y referidos fueron levantados por técnicos de las diferentes regionales de CIPCA. Han sido publicados anteriormente en

informes internos y otros documentos (Vedia & Córdoba, 2009; Czaplicki, 2013; Salazar, 2015). Para la Amazonía Norte el estudio ha considerado encuestas de un total de 138 hogares representando 15.37% de los hogares con que trabajó la regional Norte Amazónico en el momento del estudio. Para esta región las familias cuentan con un promedio de 6.0 miembros (Czaplicki, 2013).

En cuanto a datos demográficos se utilizó datos poblacionales de Pando y Beni agrupados por edad quinquenal, según provincia, municipio y ciudad o comunidad, del último censo poblacional del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2012) y datos sobre el número de familias campesinas e indígenas en cada municipio (CEPAL/CELADE, 2014) extrapolados del mismo censo.

Para los principales sistemas de producción identificados se hizo una cuantificación del potencial productivo, utilizando una gran variedad de fuentes disponibles para rescatar los principales parámetros de la producción, como base de una extrapolación de la productividad en el norte amazónico en general. Dentro de esta metodología se puede diferenciar dos aplicaciones distintas.

Para la estimación de la producción agrícola y pecuaria se ha usado información sobre los números de productores utilizando datos de censos poblacionales del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2012) e interpretaciones correspondientes en cuanto a la ocupación urbana y rural (CEPAL/CELADE, 2014). Los niveles de producción, rendimientos y valores de las actividades agrícolas y pecuarias fueron estimados a partir de datos sobre la composición de los Ingresos Familiares Anuales (IFA) ya mencionados, y datos de rendimientos productivos en la región brindados por el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierra (Michel, 2011).

Se aplicó un método ligeramente distinto para las estimaciones de la productividad de los productos forestales (maderables y no-maderables). En este caso se estimó potenciales productivos a partir de una clasificación de vegetaciones (Josse et al., 2007) y datos sobre densidades locales de las diferentes especies forestales evaluadas (censos para las especies analizadas). Estos datos fueron extrapolados con un Sistema de Información Geográfica para generar estimaciones de números de árboles de cada especie por municipio. La combinación de estos datos con información secundaria sobre producción por árbol y precios de mercado, proveniente de una diversidad de fuentes bibliográficas especializadas, permitió la estimación

del potencial productivo y de los respectivos valores totales de producción para cada municipio dentro del área de estudio. Considerando que por lo general el aprovechamiento actual solo representa un porcentaje mínimo del potencial productivo de estos productos forestales, también se estimó el aprovechamiento actual, utilizando datos sobre cantidades aprovechadas rescatadas en el estudio de los Ingresos Familiares Anuales (IFA: CIPCA, 2011), en combinación con datos de los números de productores rurales por municipio según CEPAL/CELADE (2014).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Ingreso Familiar Anual

Dentro del Valor Neto de Producción el estudio del IFA (Czaplicki, 2013) permite diferenciar diferentes sistemas de producción y sus aportes a los ingresos familiares (Figura 3). La siguiente figura refleja claramente la importancia de la castaña y otros Productos Forestales No-Maderables (PFNM) como el asaí, el majo y la goma, dentro de los medios de vida de las familias campesinas e indígenas de la región

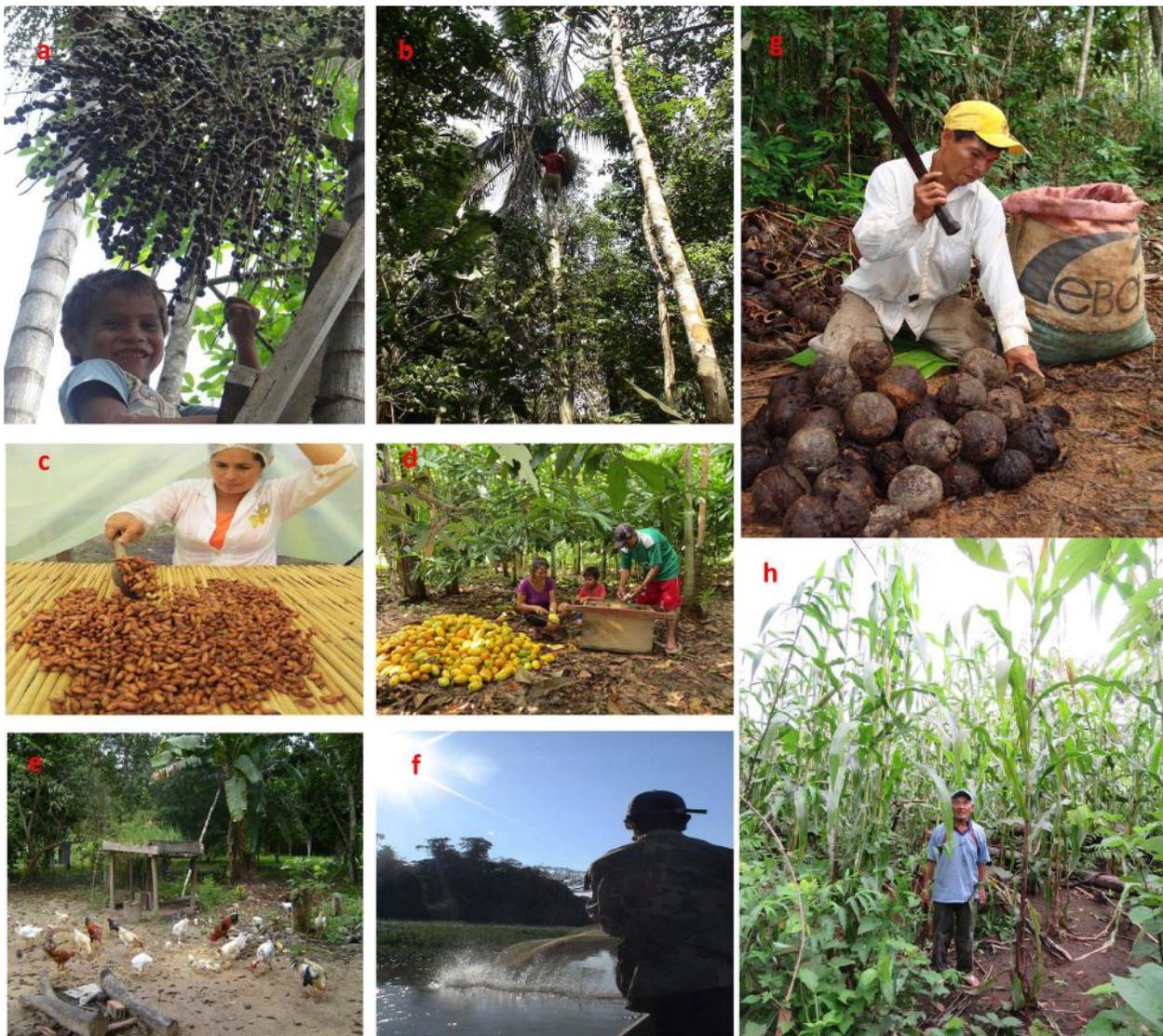


Figura 2. Sistemas productivos en el norte amazónico de Bolivia. a) El asaí es apreciado por su alto valor nutritivo; b) El majo es una especie de palmera silvestre abundante en la Amazonía Boliviana; c) En los últimos años se han hecho mejoras en el procesamiento de cacao; d) Desconchado de cacao de un sistema agroforestal en comunidad tacana San Juan del Urucú; e) Los animales menores generalmente andan sueltos por los patios de las comunidades; f) Aunque la pesca mayormente es realizada con ansuelos, en especial en la pesca comercial también se emplean mallas y tarrafas; g) Castañero durante la zafra de la almendra (foto: Remberto Terrazas); h) Cultivo de maíz, comunidad tacana Portachuelo Medio.

## INGRESO FAMILIAR ANUAL POR RUBRO PRODUCTIVO

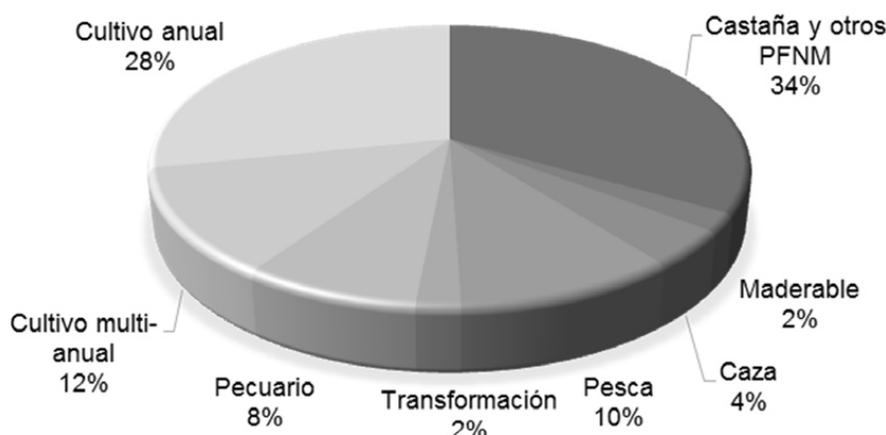


Figura 3. Composición de los ingresos por venta de productos (VNP) en la región amazónica (En base de datos IFA 2011: Czapliski, 2013)

amazónica; con 34% del Valor Neto de Producción, estas actividades constituyen el principal ingreso familiar. La producción de cultivos anuales y multi-anuales (incluyendo SAF) son otros rubros de gran importancia (28 y 12% respectivamente). Las demás actividades son principalmente complementarias.

### 3.2 La agricultura

La agricultura típica del norte amazónico es de subsistencia y precaria en lo técnico. Se trata de pequeños chacos con superficies de entre 1 a 2 ha cultivados en un sistema rotativo de roza y quema (Corredor Norte, 2006). Según Eyzaguirre (2005) la agricultura en promedio genera alrededor de 40% de los ingresos totales anuales, los beneficios en términos de la contribución a la dieta familiar son aún más importantes ya que sin duda la mayor parte de los alimentos consumidos por las familias campesinas e indígenas proviene de sus propios chacos. Los principales cultivos tradicionales son arroz (13%), plátano (11%), maíz (11%) y yuca (8%) (valores relativos: Eyzaguirre, 2005). En tabla 1 se presenta los parámetros utilizados para estimar el valor total de la producción agrícola de estos cuatro principales cultivos.

### 3.3. Sistemas Agroforestales

En las últimas décadas un creciente número de familias campesinas e indígenas ha adoptado la agroforestería como actividad complementaria a los medios de vida tradicionales. Existe una gran diversidad de Sistemas Agroforestales (SAF) pero en todos los casos combinan el cultivo de especies anuales con árboles frutales como el cacao y el cupuazú, y con árboles maderables. Con el tiempo

Cultivo	Superficie por familia (Ha/fam.)	Beneficio por familia (\$US/fam.)	Superficie Total (Ha.)	Rendim. Total (Tn/Ha)	Prod. total (Tn.)	Precio local (\$US/Kg)	Valor Prod. Total (\$US)
	Eyzaguirre 2005		Michel 2011		Este estudio		
Arroz	1.0	437	6,683	2.3	10,222	0.38	3,879,147
Maíz	1.0	573	4,856	1.8	8,623	0.51	4,992,813
Yuca	0.9	1,579	4,047	5.8	36,689	0.32	11,620,362
Plátano <sup>a</sup>	0.8	1,087	3,619	8.6	30,098	0.15	4,393,003
TOTAL	-	3,676	19,205	-	85,632	-	24,885,325

Tabla 1. Superficies, rendimientos y productividad de los principales cultivos agrícolas en la Amazonía Boliviana.

<sup>a</sup>En el caso del plátano la superficie fue estimada tomando en cuenta una producción de 344 plantas por familia (Eyzaguirre, 2011), y asumiendo una densidad promedio de 400 plantas/Ha en la fase productiva. Los datos de producción de plátano fueron calculados tomando en cuenta la variabilidad productiva debido a su carácter multianual, y diferencias en rendimientos entre el cultivo en altura y bajo (ver anexos). Aunque la venta de plátano es realizado por racimos, un pequeño sondeo en el mercado de Riberalta mostró que el precio se relaciona directamente con el peso del racimo, resultando en un precio promedio de \$US 0.15/Kg.

cada vez más familias están logrando obtener beneficios financieros concretos que en varios casos estudiados superan significativamente los ingresos de otras alternativas productivas (Escalera, 2010; Vos et al., 2015).

Un estudio reciente de CIPCA (Vos et al., 2015) muestra que la productividad de los SAF depende en gran medida del tipo de suelo, ya que tanto los ingresos como las utilidades son mucho más bajos en los SAF implementados en áreas de tierra firme (no inundados) con sus suelos ácidos y pobres en nutrientes. Así mismo es necesario considerar que la producción de los SAF varía con el tiempo. La siguiente figura 4 presenta los ingresos por hectárea

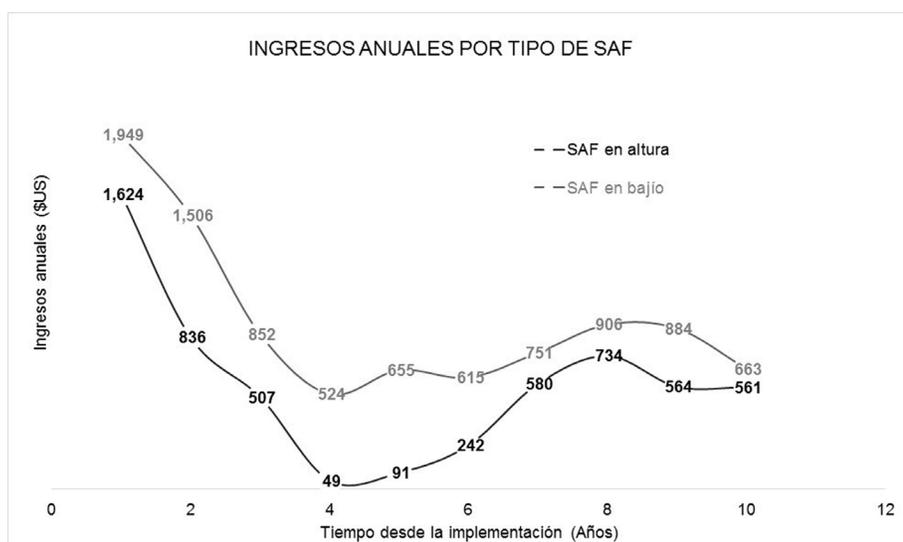


Figura 4. Ingresos anuales promedio por tipo de SAF: comportamiento económico de los ingresos a partir de la implementación de SAF en dos diferentes contextos (Altura: Área no-inundable, y Bajo: área inundable). Datos a partir de 11 estudios de caso en Vos et al., 2015.

de SAF estimados en el estudio mencionado, sumando ingresos de tanto los cultivos agrícolas como de los productos perenes (principalmente frutales, pero también cantidades menores de productos medicinales, maderables y hasta leña). Los datos presentados incluyen producción para autoconsumo y venta. Para poder estimar la producción de los SAF, se usaron estos promedios de la producción por hectárea según la edad de los SAF, en combinación con las superficies de SAF estimadas en

el área de estudio. Estas superficies fueron estimados a partir de las parcelas implementadas en los diferentes municipios en los últimos 15 años, según estimaciones de personal técnico de instituciones de apoyo (CIPCA e IPHAE). En tabla 2 se presentan las estimaciones correspondientes, incluyendo un ajuste considerando estimaciones de pérdidas de SAF debido a desastres naturales como inundaciones, sequías e incendios (hasta 40% de las superficies en parte de los municipios).

Año implementación	Edad (años)	Superficies implementadas (Ha)	Superficies considerando pérdidas (Ha)	Producción total en altura (\$US)	Producción total en bajo (\$US)	Producción total SAF (\$US)
2000	15	35	21	4,879	8,154	13,032
2001	14	150	90	22,712	32,813	55,525
2002	13	285	171	43,405	62,047	105,452
2003	12	295	177	44,415	64,831	109,246
2004	11	473	284	63,459	113,116	176,575
2005	10	377	226	50,270	90,524	140,794
2006	9	662	418	102,051	210,021	312,072
2007	8	1,154	770	258,311	378,134	636,444
2008	7	935	696	222,731	234,494	457,225
2009	6	565	449	67,287	104,749	172,035
2010	5	520	411	23,424	99,969	123,393
2011	4	400	306	8,806	66,554	75,360
2012	3	380	292	88,642	99,645	188,287
2013	2	380	292	146,106	176,085	322,191
2014	1	s.d.	s.d.	283,960	227,841	511,801
<b>TOTAL</b>		<b>6,611</b>	<b>4,603</b>	<b>1,430,458</b>	<b>1,968,974</b>	<b>3,399,432</b>

Tabla 2. Estimaciones de superficies y potenciales productivos de sistemas agroforestales en la Amazonía Boliviana (Elaboración propia).

### 3.4 Crianza de animales

La producción ganadera en la región amazónica principalmente se basa en ganado de carne. En Pando existen 230 establecimientos ganaderos pequeños (de 1 a 100 cabezas), 90 medianos (101 a 500 cabezas) y 22 grandes (superior a 500 cabezas), con un promedio de 180 cabezas por propiedad (CIPCA en elaboración). En 2006 Corredor Norte identificó un crecimiento veloz de la ganadería, especialmente en la Provincia Vaca Diez de Beni y la Provincia Nicolás Suárez de Pando. Esta tendencia continua y en especial en los últimos años se ha visto un apoyo desde el gobierno central a favor de la adopción de la ganadería entre las comunidades campesinas e indígenas. A pesar de estas tendencias la ganadería en Pando apenas puede cubrir el mercado local (CIPCA en elaboración) y en la Provincia Vaca Diez se estima que cubre solo un 25% de la demanda (com. pers. Presidente Asociación Ganadera de Riberalta).

Aunque existen importantes diferencias entre regiones, para la gran mayoría de las familias campesinas e indígenas en la Amazonía boliviana la ganadería sigue siendo una actividad fuera de su alcance debido a su requerimiento de grandes inversiones iniciales. Con excepción de algunos municipios (como El Sena), en las comunidades donde hay ganadería por lo general son solo unas pocas familias con unos pocos animales.

En contraste, casi todas las familias campesinas e indígenas se dedican a la crianza de varias especies de animales menores, en especial gallinas, patos y chanchos (porcinos) y en algunos casos ovejas (ovinos). Por lo general la crianza de animales es de pequeña escala bajo sistemas extensivos tradicionales. La mayor parte de la producción es destinada a la alimentación familiar, aunque en comunidades relativamente cerca a las áreas urbanas existe un creciente número de familias que destina parte de la producción para la venta (Comité Interinstitucional, 2015).

El estudio del IFA (CIPCA, 2011) nos brinda datos sobre el porcentaje de familias que cría diferentes tipos de animales ( $P_{cria}$ ) y el número de animales por familia ( $N_{fam}$ ). Tomando en cuenta el valor para cada tipo de animal en el mercado regional ( $V$ ), entonces podemos estimar el valor en animales por familia según la fórmula  $V_{fam} = P_{cria} * N_{fam} * V$ . Tomando en cuenta el número de familias campesinas e indígenas en la región según CEPAL/CELADE (2014), entonces podemos estimar la cantidad total de animales ( $N_{tot}$ ). Finalmente la multiplicación de

esta cantidad de animales con el valor de cada animal ( $V$ ) nos da el Valor Total de animales en la región ( $V_{tot}$ ) (Tabla 3).

Parámetros	Gallinas	Patos	Porcino	Ovino	V acuno
$P_{cria}$ (% familias que cría)	74.6%	45.5%	19.4%	2.2%	6.0%
$N_{fam}$ (N° animales por familia)	32.7	14.3	7.5	2.7	27.8
$V$ (Valor/animal en \$US)	8.76	14.60	116.77	109.47	306.51
$V_{fam}$ (Valor de animales por familia en \$US)	214	95	170	7	508
$N_{tot}$ (N° animales total)	537,770	143,436	32,075	13,095	36,771
$V_{tot}$ (Valor total de animales en \$US)	4,709,502	2,093,556	3,745,330	1,433,458	11,270,741

Tabla 3. Principales parámetros utilizados para la estimación de los ingresos familiares por la crianza de animales. (Elaboración propia en base de datos de producción familiar de CIPCA 2011, valores de CIPCA en elaboración y datos poblacionales de CEPAL/CELADE 2014).

### 3.5 Aprovechamiento de castaña

Desde los años '80, después de la caída final del mercado de la goma (*Hevea brasiliensis*), la castaña (*Bertholletia excelsa*) poco a poco ha ido tomando la posición del producto principal de la región. El valor de las exportaciones de castaña creció de US\$ 3 millones en 1985 a US\$ 175 millones en 2014 (FAOSTAT, 2014; IBCE, 2015) y actualmente constituye de lejos el producto de exportación más importante tanto para el departamento del Beni (91.1% de las exportaciones del departamento) como para el Pando (70,7%).

El alto valor de la castaña es reflejada en la importancia que este producto forestal no-maderable tiene en la región. En especial en el área rural es el motor de la economía y la principal oportunidad de generación de ingresos. Anualmente más de 20,000 personas se trasladan a los bosques amazónicos para sumarse a las familias campesinas e indígenas de la región para realizar la recolecta de las almendras en plena selva amazónica (Vos & Aviana, 2015). Los datos levantados en el estudio del Ingreso Familiar Anual (CIPCA, 2011) muestran que las familias evaluadas en promedio recolectaron 2,742 Kg de almendra por año con un valor económico promedio de \$US 2,411. Este alto valor dentro de la economía familiar confirma similares resultados encontrados anteriormente por otras investigaciones (Llanque et al., 2010; Bojanic, 2001).

Para poder tomar en cuenta variaciones regionales en la producción de castaña, en el presente estudio deducimos los ingresos familiares por la castaña a partir de variables biológicas que permiten estimar

el potencial productivo por zona (i.e. densidad de árboles y superficies de bosque alto por comunidad). Esta metodología toma en cuenta que hasta el 97% de la producción natural de almendra es recolectada (Zuidema, 2003) y que existen datos confiables de densidades de castaña por municipio.

Entonces los ingresos familiares son calculados tomando en cuenta la densidad local de castaña y las superficies locales de bosque alto, tomando en cuenta los parámetros y fuentes de información mencionados en la tabla 4.

Parámetros	Estimaciones (Media)	Unidad	Fuente
Densidades de árboles de castaña	Variable según tipo de vegetación	Pl./Ha	Este estudio (extrapolaciones SIG) y Josse et al., 2007
Superficies de vegetaciones	Variable por municipio	Ha./municipio	Este estudio (extrapolaciones SIG) y Josse et al., 2007
Número de familias por municipio	Variable	N/municipio	CEPAL/CELADE, 2014
Producción de cajas por árbol	2.0	Cajas/árbol	Ajuste de estimaciones DHV (3.5 cajas en 1997) tomando en cuenta la reducción en productividad por el cambio climático y la degradación del bosque (com. pers. actores castaña)
Peso de almendra (seca) por caja	23.0	Kg.	Cronkleton & Albornoz, 2009
Precio por caja recibido en las comunidades	15.33	\$US/caja	Datos IFA (CIPCA, 2011)*
Factor acceso	Variable según accesibilidad de zonas castañeras	Valor entre 0 y 1	Este estudio, en base de entrevistas con actores regionales de la castaña

Tabla 4. Principales parámetros utilizados para estimar y triangular la productividad de castaña

\*El valor indicado representa el valor de venta por parte de las familias en el campo. El precio por caja a puerta de fábrica puede ser mucho mayor.

Usando esta metodología se estimo la productividad de castaña en todos los municipios del área de estudio. A partir de nuestros análisis estimamos que en el norte amazónico existe un total de 3.7 millones de árboles de castaña, que producen un total de 168,753 Tn de almendras con cáscara, representando un valor de \$US 112 millones para las familias campesinas e indígenas. Por motivos de accesibilidad se estima que la cantidad de almendra efectivamente aprovechada es bastante menor: aproximadamente 96,150 Tn representando un valor de aprox. \$US 64.07 millones. Cabe mencionar que los datos indicados representan volúmenes y valores a nivel de las comunidades. Mientras que los volúmenes exportados de almendra sin cáscara son mucho menor que estos valores (i.e. aprox. 25,000 Tn) debido a mermas en el proceso de transformación. No obstante el valor de la almendra comercializada es mucho mayor (i.e. aprox. \$US 175 millones en 2014 según IBCE, 2015) debido al valor agregado generado a lo largo de la cadena productiva.

### 3.6 Otros Productos No-Maderables

Los Productos Forestales No-Maderables (PFNM) representan una alternativa de uso de los bosques que viene ganando importancia. Fuera de la castaña, en la Amazonía Boliviana existe una gran variedad de especies no maderables que son explotadas a pequeña escala, como el asaí, majo, cacao, motacú, sangre de grado, chuchuhuasos, paquíu, cusi, copaibo y siringa (goma) (Peralta et al., 2009). La importancia de estos PFNM tiende a ser subestimado, porque en lo general no son comercializados por mercados oficiales, y consecuentemente no aparecen en estadísticas económicas nacionales (la castaña formando una clara excepción). No obstante, para el sustento de los habitantes del bosque los PFNM constituyen una fuente importante de alimentación, cobija, materiales y herramientas de trabajo, alimentación para animales domésticos y medicinas. Además su comercialización genera ingresos financieros para las personas involucradas en su extracción, procesamiento y/o comercialización (Vos et al., 2010, Peralta et al., 2009).

Para evaluar la importancia económica de los PFNM en la amazonía boliviana, aquí estimamos los aportes económicos de los productos Majo (*Oenocarpus bataua*), Asaí (*Euterpe precatoria*) y Cacao (*Theobroma cacao*), seleccionados por su alto potencial según anteriores estudios (Ej. Vos et al., 2010, Peralta et al., 2009; Eyzaguirre, 2015).

#### 3.6.1 Majo

La siguiente tabla presenta los principales parámetros usados para estimar las densidades y potenciales productivos de majo. A partir de una extrapolación de estos parámetros se estima que en todo el área de estudio existen aproximadamente 51 millones palmeras de majo con una producción total de 2,461 millones de toneladas de frutos, representando un valor de \$US 692 millones después de considerar las mermas en la cadena productiva (Tabla 5).

Parámetros	Valores Literatura	Valores Usados	Unidad	Fuentes
Densidades de plantas adultas por hectárea	22 a 58 (80 en manchas)	Variable según tipo de bosque	Pl./Ha	Peralta et al., 2009; Vos, 2014, Extrapolación SIG en este estudio.
Promedio número de racimos por planta productiva	2 a 6	3	Rac./Pl.	Shanley & Medina, 2005
Peso por racimo	2 a 60	16	Kg/Rac.	Shanley & Medina, 2005
Volúmenes típicas producidas por hectárea	200 a 1856	900	Kg/Ha	Peralta et al., 2009; Vos 2014
Mermas en la cadena productiva	-	30	%	Com. pers. actores regionales
Precio de venta local	0.40 a 0.43	0.40	\$US/Kg	Vos et al., 2015; CIPCA, 2011

Tabla 5. Principales parámetros del potencial productivo del majo (Elaboración propia).

A pesar de este enorme potencial, el aprovechamiento actual de majo es mínimo. Según los datos del IFA (CIPCA, 2011) las familias en la región aprovechan un promedio de 108 kg de majo por familia. Tomando en cuenta un total de 22,045 familias campesinas e indígenas en la región (CEPAL/CELADE 2014), estimamos que el aprovechamiento actual está en el orden de 4,321 Tn (incluyendo aprovechamiento para autoconsumo y venta), con un valor total estimado de \$US 1.85 millones.

### 3.6.2 Asaí

El asaí boliviano (*Euterpe precatoria*) es una palmera de tronco solitario que vive de forma natural en los bosques de la Amazonía boliviana. En el pasado el asaí fue valorado por su potencial como palmito (el meristema de la planta) cuyo aprovechamiento provocó un aprovechamiento irracional que implicó la muerte de hasta más de 7 millones de palmeras de asaí por año (Datos, 1997 en Terán et al., 2005), implicando una drástica reducción de las poblaciones regionales de asaí. A pesar de esta reducción poblacional, hoy en día el asaí sigue siendo un producto importante para el consumo local e incluso existe un interés creciente en el aprovechamiento de las frutas, principalmente relacionado a la producción de jugo conocido como leche de asaí.

Al igual que en el caso de majo, el asaí muestra un gran potencial económico considerando su abundancia en los bosques naturales de la región. En base de una extrapolación de densidades encontradas en censos de asaí en la región, estimamos que en toda la región hay un total de 179 millones de palmeras adultas de asaí. Tomando en cuenta los parámetros de producción presentados en la tabla 6, esta población regional de asaí teóricamente representa un potencial productivo de 4,024 millones de toneladas de frutos de asaí, con un valor de \$US 1,233.5 millones después de considerar las mermas en la cadena productiva.

Parámetros	Zonas	Valores Literatura	Valores Usados	Unidad	Fuentes
Densidades típicas de plantas adultas por hectárea	Bajo	40.5 a 57	Variables según tipo de vegetación	Pl./Ha	Shanley & Medina, 2005; Extrapolación SIG datos censos según tipo de vegetación Josse et al., 2007
	Altura	5.4 a 39			
Promedio número de racimos por planta productiva	Bajo	2 a 6	3	Rac./Pl.	Shanley & Medina, 2005
	Altura	1 a 5			
Producción de frutos por planta	Bajo	7.5	7.5	Kg/Pl.	
	Altura	8.5			
Volumenes típicos producidos por hectárea	Bajo	200-300	Variable a partir de SIG	Kg/Ha	
Mermas en cadena productiva	-	-	30	%	Actores regionales
Precio de venta local	Gral.	0.36 a 0.45	0.44	\$US/Kg	CIPCA, 2011 actualizado con actores regionales

Tabla 6. Principales parámetros del potencial productivo del asaí diferenciando entre áreas de bajo (bosques inundables a lo largo de los grandes ríos) y áreas de altura (bosques en terrazas no inundables).

No obstante, al igual que en el caso de majo el aprovechamiento actual de asaí es mucho menor que el potencial productivo estimado. Para hacer el ajuste correspondiente nuevamente hemos tomado el número de 22,045 familias campesinas e indígenas (CEPAL/CELADE, 2014) y el consumo familiar promedio de 99 Kg/fam, según los datos del IFA (CIPCA, 2011) como referencias bases. A partir de estos datos se estimó el consumo local de asaí por municipio para la estimación del aprovechamiento comercial, incorporando un "factor comercial" que refleja una estimación de la importancia del aprovechamiento comercial versus el aprovechamiento para autoconsumo considerando la accesibilidad a mercados según informantes claves. A partir de esta extrapolación se estima un aprovechamiento actual (autoconsumo y venta) de 4,363 Tn de asaí, con un valor de \$US 1.91 millones.

### 3.6.3 Cacao

El cacao (*Theobroma cacao*) es una planta forestal que crece bajo condiciones de sombra, y actualmente es ampliamente cultivada en la Amazonía y a nivel mundial en relación a la producción de chocolate a partir de sus semillas (Menchaca, 2012). Bazoberry & Salazar (2008) han estimado que Bolivia cuenta con aproximadamente 20,750 Ha de cacaotales; la mayor parte se encuentra en el Beni (47.2%), y el resto es distribuido entre La Paz (30%), Santa Cruz (15.6%), Cochabamba (4.5%) y Pando (2.7%). Dentro de estas superficies podemos diferenciar entre cacaotales silvestres (58%), plantaciones con cacao híbrido (31%) y plantaciones agroforestales (11%).

No obstante, los mismos autores reconocen que posiblemente subestiman las cantidades de cacaotales silvestres existentes en la región, por falta de información al respecto. En este sentido, otra fuente para la estimación del potencial productivo de cacao forman los planes de uso de suelo (ZONISIG, 1997) que clasifican gran parte del área alrededor de los grandes ríos de aguas blancas (Madre de Dios, Beni y Mamoré principalmente) como potenciales para un uso de suelo basado en el aprovechamiento de cacao. La superficie total de esta clase de uso de suelos sería 4,349 km<sup>2</sup> con superficies relativamente grandes en los municipios de Filadelfia (794 km<sup>2</sup>), San Pedro (710 km<sup>2</sup>) y Ribalta (583 km<sup>2</sup>). Menchaca (2012) menciona densidades de 30 a 100 árboles de cacao por hectárea en cacaotales silvestres. En base a esta referencia podemos hacer una estimación bruta del número de árboles de cacao en la Amazonía boliviana multiplicando las superficies de "áreas con cacao" con una densidad cautelosa de unos 30 árboles por hectárea en un 10% de estas áreas

(densidad de cacaotales según estimación de actores locales). Aplicando este acercamiento estimamos un total de unos 1.3 millones de árboles de cacao en el área de estudio. La tabla 7 muestra los principales parámetros productivos para la producción de cacao.

ParámetrosV	alores Literatura	Valores Usados	Unidad	Fuentes
Densidades de plantas adultas por hectárea en cacaotales	30 a 100	30	Ud.	Menchaca 2012
Densidad "cacaotales" en "bosques aptos para cacao" según PLUS	-	10	%	Com. Pers. actores locales
Producción por hectárea	92	92	Kg/Ha	Menchaca 2012
Precio de venta local	29.1 a 35.0	29.1	\$/US/Arroba	Com. Pers. APARAB

Tabla 7. Principales parámetros del potencial productivo del cacao silvestre amazónico.

Una extrapolación de las superficies de "bosques de cacao" y estos parámetros permite estimar un total de 1.3 millones de árboles de cacao, con un potencial productivo de 4,002 Tn de cacao representando un valor de \$US 10.2 millones a nivel de las comunidades.

Nuevamente este valor potencial es mayor que el valor actualmente aprovechado. Tomando en cuenta una población de 22,045 familias campesinas e indígenas (CEPAL/CELADE, 2014) y un aprovechamiento de 59 Kg de cacao por familia rescatada en el estudio del IFA (CIPCA, 2011) podemos estimar un aprovechamiento actual de unos 537 Tn de cacao con un valor aproximado de \$US 0.88 millones para las familias de la región.

Cabe mencionar que el potencial productivo de cacao aún podría incrementar. Existen experiencias de productores de la Asociación APARAB apoyados por CIPCA en cuanto al trabajo con cacaotales silvestres. Resultados preliminares de este trabajo muestra que con una inversión relativamente pequeña para mejorar el acceso a los cacaotales y un manejo para mejorar la productividad de los árboles se puede incrementar significativamente la productividad de los cacaotales. Así mismo existe un número creciente de sistemas agroforestales que incorporan el cacao como uno de sus principales componentes (Vos et al., 2015). Con una producción de 322 kg/ha (Menchaca, 2012) y mejores condiciones de acceso, los rendimientos de estos sistemas son mucho mayores que los de los cacaotales silvestres. Los datos correspondientes a la producción agroforestal son presentados de forma separada en uno de los anteriores párrafos.

### 3.7 Caza

Para las comunidades rurales en la Amazonía Boliviana la cacería de fauna silvestre es una actividad muy importante como fuente de proteína animal. El destino de las presas cazadas es para consumo familiar y la comercialización local al interior de las mismas comunidades, y existe muy poca comercialización de carne silvestre hacia fuera de la comunidad (FAN, 2015). En un estudio en 6 comunidades de Pando (114 familias), Calderón (2008) establece un promedio de 9,486 kg de animales cazados por comunidad, que implica un aporte de 1,581 kg de carne.

Una evaluación de nuestros datos del IFA (CIPCA, 2011) genera datos comparables. De las 134 familias evaluadas, 113 indicaron cazar, con un promedio de 292.02 kg de carne aprovechada por año, y un valor total por familia de \$US 629 estimado a partir del peso de los animales cazados y el precio local de venta (promedio \$US 2.16). Para estimar la "producción" total de carne de monte podemos extrapolar estos datos, tomando en cuenta una población total de 22,045 familias campesinas e indígenas (CEPAL/CELADE, 2014). Según esta estimación en todo el área de estudio se aprovecha aproximadamente 6,438 Tn de carne de monte, con un valor estimado de \$US 13.9 millones.

### 3.8 Pesca

En líneas generales la pesca es una actividad económica cada vez más importante para la región. Coca et al (2012) estiman que la comercialización de pescado en Riberalta en 2012 aportaba un total de \$US 55,555 al PIB de la región. Es importante resaltar que este valor aún no incluye la pesca para autoconsumo en las comunidades, aunque en especial para muchas familias indígenas la pesca se constituye en una actividad cultural realizada diariamente, y representa un elemento crucial de su dieta alimenticia (FAN, 2015).

Un análisis de los datos de los Ingresos Familiares Anuales (CIPCA, 2011) muestra que 70 de las 134 familias evaluadas se dedican a la pesca de un total de 38 especies de peces. En promedio pescan 2,496 Kg de pescado por año, de cual 1,784 kg (72%) es usado para el consumo local. Los restantes 711 kg (28%) son vendidos a un precio promedio de 1.68 \$US/kg. Considerando los precios locales de venta, la pesca de estas 70 familias representa un valor \$US 4,180 por familia, mostrando la gran importancia que esta actividad tiene dentro de los medios de vida locales. Las especies más importantes para la pesca son el Tucunaré (con una representación de 17% del valor total), el Bentón

(4%) y el Paiche (13%). Dentro de estas especies solo el Paiche es principalmente destinado a la venta (61%). El Tucunaré y el Bentón más bien son especies típicas para el autoconsumo con una comercialización mínima de 2 y 3% respectivamente. Una extrapolación de estos valores, tomando en cuenta una población de 22,045 familias campesinas e indígenas (CEPAL/CELADE, 2014) permite estimar una producción total de 55,024 Tn de pescado con un valor total de \$US 92.2 millones.

#### 4. CONCLUSIONES

La siguiente tabla presenta los valores de la producción familiar para el Norte Amazónico de Bolivia, para todos los productos analizados en el presente estudio, y agrupados por rubro. Según nuestras estimaciones la producción familiar aporta más de \$US 226 millones a la economía de la región. Es probable que la producción familiar total en realidad aún es más grande, ya que solo hemos considerado los principales productos y principales rubros productivos. De todos modos es necesario reconocer que las estimaciones generadas son extrapolaciones relativamente brutas, y no necesariamente reflejan la productividad de forma perfecta.

Cabe mencionar que los valores estimados representan los valores directos para las familias, y para muchos de los productos el valor aumenta a lo largo de las cadenas productivas correspondientes. Por ejemplo en el caso de la castaña el valor directo a las familias, estimado a partir de precio percibido localmente por la venta de cajas de almendra, según nosotros alcanza \$US 64 millones, mientras que, con \$US 175 millones (datos 2014 según IBCE, 2015) el valor de las exportaciones de castaña es 2,7 veces mayor. En este sentido nuestras estimaciones solo representan la parte local del potencial productivo (Tabla 8).

RubroP	roducto	Valor por producto (\$US)	Imp. rel.* (%)	Valor por rubro (\$US)	Imp. rel. (%)
Agricultura	Arroz	3.879.147	1,7%	28.284.758	12%
	Maíz	4.992.813	2,2%		
	Yuca	11.620.362	5,1%		
	Plátano	4.393.003	1,9%		
	SAF	3.399.433	1,5%		
Crianza de animales	Gallinas	4.709.502	2,1%	23.252.586	10%
	Patos	2.093.556	0,9%		
	Porcino	3.745.330	1,7%		
	Ovino	1.433.458	0,6%		
	Vacuno	11.270.741	5,0%		
Productos Forestales	Almendra	64.067.736	28,3%	68.712.649	30%
	Majo	1.852.763	0,8%		
	Asaí	1.910.431	0,8%		
	Cacao silvestre	881.719	0,4%		
Caza y pesca	Caza	13.906.295	6,1%	106.104.738	47%
	Pesca	92.198.443	40,7%		
<b>TOTAL GENERAL</b>				<b>226.354.730</b>	<b>100%</b>

Tabla 8. Valor de los principales rubros de la producción familiar campesina-indígena en la Amazonía Boliviana  
\*Imp. Rel. = Importancia relativa: valor del producto o rubro en comparación a la producción total

La siguiente figura 5 muestra las mismas estimaciones de forma gráfica, visualizando la enorme importancia de los productos naturales dentro de la economía familiar en la región. En especial la pesca tiene una gran importancia y juntos con la caza representa cerca de la mitad (47%) de la producción familiar. En combinación con los productos forestales, donde destaca la castaña (28%) los productos extraídos de su entorno natural componen más de tres cuartos (77%) de la producción regional.

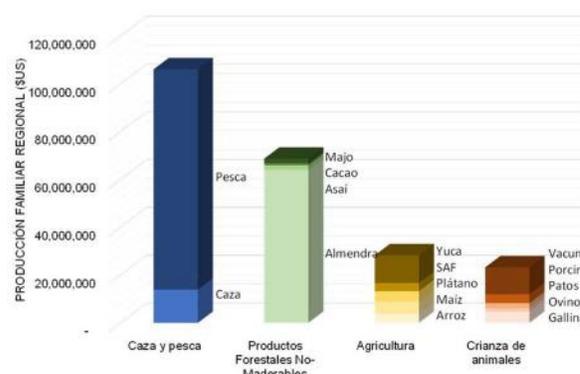


Figura 5. Valores estimados de los principales productos y rubros de la producción familiar en el Norte Amazónico de Bolivia.

Aunque descrita anteriormente en diversas publicaciones (ej. Vos et al., 2010; Pokorny et al., 2008; PNUD, 2011) esta importancia relativa de los productos naturales renovables no es considerada adecuadamente en las políticas públicas. La mayoría de los gobiernos municipales y departamentales destinan porcentajes mínimos de su presupuesto en el aprovechamiento de estos recursos naturales renovables. Por ejemplo Fundación Jubileo (2015) indica que los Departamentos de Beni y Pando invierten respectivamente 28% y 5% de su presupuesto en la producción agropecuaria. La inversión a nivel municipal es aún más baja; en el caso de Riberalta y Guayaramerín 2% y 6% respectivamente. Dentro de estos presupuestos limitados casi todos los recursos van a proyectos de fomento a la ganadería, y, en menor grado, a proyectos de producción agrícola. Recién en los últimos años también han surgido algunos proyectos menores de fomento al aprovechamiento de productos forestales no-maderables como el cacao, el majo y el asaí.

Una figura similar se observa con la inversión desde el gobierno nacional. Por ejemplo en el caso del Plan Patujú desarrollado para rehabilitar la producción en

la región después de las extremas inundaciones del 2014, se observa que cerca del 50% del presupuesto de \$US 196,343,918 fue destinado a infraestructuras. Dentro del presupuesto para la producción un 62% fue destinado al sector ganadero, un 28% a los productores campesinos e indígenas, y el restante 10% al sector castañero (Rámirez, 2014).

Nuestros resultados muestran que esta inversión es incoherente con la realidad de los productores en la Amazonía Boliviana. En efecto las organizaciones campesinas e indígenas en reiteradas oportunidades han cuestionado este gasto público parcializado, a tiempo de indicar que perciben una discriminación a sus tradicionales formas de producción (ej. OIOCACO, 2015; OSAA-SA, 2015).

En este sentido nuestros resultados confirman su argumento que es necesario que se adapte la planificación de las inversiones de fomento a la producción a la realidad productiva de la Amazonía Boliviana. Esta adaptación no solamente permitiría un apoyo más eficiente a la producción regional, pero además será fundamental para garantizar la sostenibilidad de los paisajes de la región en vista de la presión inherente a las actuales inversiones públicas para la producción desde los diferentes niveles de gobierno. Los ajustes a las inversiones públicas propuestos aquí son especialmente importantes tomando en cuenta recientes estudios que han demostrado que intervenciones enfocadas en los sistemas productivos son más efectivas para reducir tasas de deforestación que los tradicionales mecanismos de control y castigo actualmente aplicados en la región (Nepstad et al., 2014).

## AGRADECIMIENTOS

A tiempo de expresar nuestra gratitud para las instituciones públicas y privadas que nos brindaron acceso a sus publicaciones e incluso datos originales usados como fuentes de información para el presente estudio, queremos agradecer en especial a los técnicos y productores consultados como expertos y actores locales, que ayudaron en la triangulación de nuestras estimaciones y a veces facilitaron información no disponible en la literatura técnica. También queremos resaltar el apoyo de todos los colegas del Centro de Investigación y Promoción del Campesinado, y debemos un agradecimiento especial a CAFOD (Catholic Agency for Overseas Development) del Reino Unido por su apoyo financiero en el marco del proyecto Posibles Impactos Económicos y Ambientales de la Construcción de la Represa de Cachuela Esperanza en la Amazonía Norte de Bolivia: Fase 2, caracterización y análisis de beneficios y costos económicos y ambientales de las comunidades afectadas.

## REFERENCIAS

Alarcón J.C. & Camacho, N. (2014). La Agricultura Familiar para retomar el rumbo de la seguridad alimentaria. CIPCA Notas 214/2014. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. [http://cipca.org.bo/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3079:fortalecer-la-agricultura-familiar-para-retomar-el-rumbo-de-la-seguridad-alimentaria&catid=185:cipcanotas2014&Itemid=215](http://cipca.org.bo/index.php?option=com_content&view=article&id=3079:fortalecer-la-agricultura-familiar-para-retomar-el-rumbo-de-la-seguridad-alimentaria&catid=185:cipcanotas2014&Itemid=215)

Bazoberry, O. & Salazar, C. (2008). El cacao en Bolivia, una alternativa económica de base campesina indígena. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA). Cuadernos de Investigación N° 72. La Paz, Bolivia. 282 pp.

Bojanic A. J. (2001). "Comercialización de productos forestales no maderables- factores de éxito y fracaso". La Paz. 24 pp.

Calderón V., R. (2008). Presión de la cacería de la fauna silvestre en seis comunidades de la Amazonía Boliviana. En: IV Reunión Sobre Investigación Forestal (IV RNIF). PROMAB. Cobija. Bolivia.

CEPAL/CELADE, (2014). Reporte ocupación rural y urbana. Bolivia Censo de Población y Vivienda 2012. CEPAL/CELADE Redatam +SP 11/03/2014. La Paz, Bolivia.

CFMP, (2015). Declaración de la Confederación Mundial de los Pueblos sobre Cambio Climático y Defensa de la Vida, Tiquipaya Bolivia. 10-12 Octubre 2015. 32 pp.

CIPCA, (2011). Base de datos original para la región norte amazónica del estudio de Ingreso Familiar Anual (publicado en Czaplicki 2013). Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. La Paz, Bolivia.

Coca Méndez, C., Rico López, G., Carvajal Vallejos, F. M., Salas Peredo, R., Wojchiechowski, J. M. & van Damme, P. (2012). La Cadena de Valor del Pescado en el Norte Amazónico de Bolivia. Contribución de especies nativas y de una especie introducida (el paiche - *Arapaima gigas*). Fundación PIEB, La Paz. Bolivia. 167 pp.

Comité Interinstitucional, (2015). Sistematización cría de gallinas. Línea base para la estrategia para el fortalecimiento de iniciativas económicas productivas pecuarias. Comité Interinstitucional (CIPCA-NA, SENASAG, Corregimiento de Riberalta, MAMUNAB, GAM-Riberalta, GAM-Guayaramerín, GAM-Puerto Gonzalo Moreno, SDDA, Sub-gobernación de la Provincia Vaca Díez, IPHAE, FSUTCRVD, IIFA-UAB). Riberalta, Bolivia. 20 pp.

- Consulado de Bolivia, (2016). Evo anuncia inversiones de \$US 1.900 millones en carreteras y puentes para la Amazonía. Noticia en Consulado de Bolivia, 16/02/2016. <http://www.consuladodebolivia.com.ar/2016/02/16/evo-anuncia-inversiones-us-1-900-millones-carreteras-puentes-la-amazonia/>
- Corredor Norte, (2006). Diagnóstico socioeconómico: Evaluación ambiental estratégica del corredor norte de Bolivia. Corredor Norte. La Paz, Bolivia.
- Cronkleton, P. & Albornoz, M. A. (2009). Acción colectiva y mercados alternativos para la castaña. Análisis comparativo de tres cooperativas en el norte amazónico de Bolivia. CIFOR / CEDLA / RRI. La Paz, Bolivia.
- Czaplicki Cabezas, S. T. (2013). Informe final del estudio de los ingresos familiares anuales 2010-2011. CIPCA. La Paz, Bolivia.
- Del Granado, S. (2016). Extractivism in Bolivia: How raw materials extraction changed since neoliberal governments (1985-2004). INESAD. <http://inesad.edu.bo/developmentroast/>
- Escalera, M. E. (2010). Productores individuales con sistemas agroforestales; La familia Beyuma Salvatierra, Comunidad Palmira, Bolivia. En: Vos, V., O. Llanque Espinoza & A. Zonta (Eds.). 2010. Medios de Vida y Manejo Forestal por Pequeños/as Productores en la Amazonía. UAB/ForLive. Riberalta. Bolivia.
- Estado Plurinacional de Bolivia, (2006). Plan Nacional de Desarrollo. La Paz, Bolivia.
- Estado Plurinacional de Bolivia, (2014). 13 pilares de la Bolivia digna y soberana, agenda patriótica del bicentenario 2025. La Paz, Bolivia. 29 pp.
- Eyzaguirre, J. L. (2005). Composición de los ingresos familiares de campesinos indígenas. Un estudio de seis regiones de Bolivia. CIPCA. La Paz, Bolivia.
- FAN (Fundación Amigos de la Naturaleza), (2015). Atlas Socioambiental de las Tierras Bajas y Yungas de Bolivia. Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 182 pp.
- FAN, (2015). Diagnóstico Integral para el área de Intervención del Proyecto Territorios Sustentables en la Amazonía Norte de Bolivia. Fundación Amigos de la Naturaleza. Primer borrador 04/09/2015.
- FAOSTAT, (2014). Página web con estadísticas de la FAO, consultado el 25/10/2014. <http://faostat.fao.org/site/406/default.aspx>
- IBCE, (2015). Bolivia: exportaciones de castaña. CIFRAS, boletín electrónico bisemanal N° 458, 29 de octubre 2015. Santa Cruz, Bolivia. 1 pp
- INE, (2012). Censo nacional de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística. Base de Datos. La Paz, Bolivia.
- INE, (2014). Bolivia, características de la población y vivienda. Censo Nacional de Población y Vivienda 2012. Instituto Nacional de Estadística. La Paz. Bolivia.
- Josse, C., Navarro, G., Encarnación, F., Tovar, A., Comer, P., Ferreira, W., Rodríguez, F., Saito, J., Sanjurjo, J., Dyson, J., Rubin de Celis, E., Zárate, R., Chang, J., Ahuite, M., Vargas, C., Paredes, F., Castro, W., Maco, J. & Reátegui, F. (2007). Ecological Systems of the Amazon Basin of Peru and Bolivia - Classification and Mapping. NatureServe, Arlington, Virginia, USA.
- Laurance, B. (2016). In 2016, rain forest conservation needs to focus on these two things. <http://ensia.com/voices/in-2016-rain-forest-conservation-needs-to-focus-on-these-two-things/>
- Llanque, O., Vos, V., Escalera, E., Peralta C., & Zonta, A. (2009). La importancia de castaña (*Bertholletia excelsa*) en los medios de vida de pequeños productores del norte amazónico de Bolivia. En: Peralta et al., 2009. Productos del bosque. UAB-ForLive. Riberalta, Bolivia.
- Maretti, C.C., Riveros S. J. C., Hofstede, R., Oliveira, D., Charity, S., Granizo, T., Alvarez, C., Valdujo, P. & Thompson, C. (2014). State of the Amazon: Ecological Representation in Protected Areas and Indigenous Territories. Brasília and Quito: WWF Living Amazon (Global) Initiative. 82 pp.
- Menchaca, M. R. (2012). Evaluación de la producción de cacao y alternativas de certificación orgánica para la asociación de productores agroforestales de la región norte de la Amazonía Boliviana. Proyecto de fin de Master. Instituto Internacional de Formación Ambiental. Riberalta, Beni, Bolivia
- Michel P. G. T. (2011). Agroclimatología de Bolivia. Documento Técnico de información básica de apoyo a la gestión de riesgo agroclimático y emergencia agrícola. MDRyT & INIAF. La Paz, Bolivia.
- Miranda, J. (2009). La palmera majo (*Oenocarpus bataua*) en la región de Guanay, Departamento de La Paz, Bolivia. En: Peralta, C., V. Vos, O. Llanque Espinoza & A. Zonta (Eds.). 2009. Productos del Bosque; Potencial Social, Natural y Financiero en

- Hogares de Pequeños Productores de la Amazonía. UAB/ForLive. Riberalta. Bolivia
- Müller, R., Pacheco, P. & Montero, J. C. (2014). El contexto de la deforestación y degradación de los bosques en Bolivia, Causas, actores e instituciones. CIFOR, Documentos Ocasionales 100. Bogor, Indonesia. 103 pp.
- Nepstad, D., McGrath, D., Stickler, C., Alencar, A., Azevedo, A., Swette, B., Bezerra, T., DiGiano, M., Shimada, J., Seroa da Motta, R., Armijo, E., Castello, L., Brando, P., Hansen, M. C., McGrath-Horn, M., Carvalho, O. & Hess, L. (2014). Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science* Vol. 344, Issue 6118 (2014), Pp. 1118 - 1123. DOI: 10.1126/science.1248525.
- Nobre, A. D. (2014). El Futuro Climático de la Amazonía. Informe de Evaluación Científica, 1era edición. INPA. São José dos Campos – SP, Brasil. 43 pp.
- OIOCACO (Organizaciones Indígenas Originarias Campesinas de la Amazonía, Chaco y Oriente), (2015). Manifiesto de las Organizaciones Indígenas Originarias Campesinas de la Amazonía, Chaco y Oriente. Central de Pueblos Étnicos Mojeños del Beni (CPEMB), el Bloque Oriente (BO), la Asamblea del Pueblo Guaraní y el Bloque de Organizaciones Campesinas Indígenas del Norte Amazónico de Bolivia (BOCINAB). Manifiesto firmado en base de una reunión del 23 y 24 de julio en Trinidad, Bolivia. 7 pp.
- OSAA-SA (Organizaciones Sociales Andinas Amazónicas Sud Americanas), (2015). Manifiesto de las Organizaciones Sociales Andinas Amazónicas Sud Americanas suscrito en el evento Foro Andino Amazónico. La Paz, Bolivia. 13 pp.
- Peralta, C., V. Vos, Llanque Espinoza, O. & Zonta, A. (Eds.). (2009). Productos del Bosque; Potencial Social, Natural y Financiero en Hogares de Pequeños Productores de la Amazonía. UAB/ForLive. Riberalta. Bolivia.
- Peralta, C., & Tonore C. (2009). Potencial Natural y Económico del Majo (*Oenocarpus bataua*) en el Norte Amazónico de Bolivia. En: Peralta, C., V. Vos, O. Llanque Espinoza & A. Zonta (Eds.). 2009. Productos del Bosque; Potencial Social, Natural y Financiero en Hogares de Pequeños Productores de la Amazonía. UAB/ForLive. Riberalta. Bolivia.
- PNUD, (2008). Informe temático sobre Desarrollo Humano; La otra frontera: usos alternativos de recursos naturales en Bolivia. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. La Paz, Bolivia.
- PNUD, (2011). La sostenibilidad del desarrollo a 20 años de la cumbre para la tierra, avances, brechas y lineamientos estratégicos para América Latina y el Caribe. Río +20; conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible. Santiago de Chile.
- Pokorny, B., Godar, J., Hoch, L., Johnson, J., de Koning, J., Medina, G., Steinbrenner, R., Vos, V. & Weigelt, J. (2011). La producción familiar como alternativa de un desarrollo sostenible para la Amazonía: Lecciones aprendidas de iniciativas de uso forestal por productores familiares en la Amazonía boliviana, brasilera, ecuatoriana y peruana. CIFOR, Bogor, Indonesia. 174 pp.
- RAISG, (2012). Amazonía Bajo Presión. Red Amazónica de Información Socioambiental Georeferenciado. 68 pp. ([www.raisg.socioambiental.org](http://www.raisg.socioambiental.org))
- Ribera, A.M.O. (2013). Estudios de caso sobre problemáticas socioambientales en Bolivia. Actualización 2011-2013. La Paz, Bolivia. LIDEMA. 419 pp.
- Rojas, R. (2013). La actual problemática socioambiental en Bolivia. [https://www.researchgate.net/publication/261135226\\_La\\_actual\\_problemativa\\_socio-ambiental\\_en\\_Bolivia?enrichId=rgreq-d8a51f76-530c-4cc7-8106-8afbbbffdb74&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MTEzNTIyNjBUZoxMDE2MTY5MzgxMjc2NjNAMTQwMTIzODc3NDMzMg%3D%3D&el=1\\_x\\_3](https://www.researchgate.net/publication/261135226_La_actual_problemativa_socio-ambiental_en_Bolivia?enrichId=rgreq-d8a51f76-530c-4cc7-8106-8afbbbffdb74&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MTEzNTIyNjBUZoxMDE2MTY5MzgxMjc2NjNAMTQwMTIzODc3NDMzMg%3D%3D&el=1_x_3)
- Salazar, (2015). Ingreso anual de familias campesinas indígenas en seis regiones de Bolivia: 2010-2011. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. La Paz, Bolivia. 19 pp.
- Shanley, P. & Medina, G. (2005). Frutíferas e Plantas Úteis na Vida Amazônica. Patricia Shanley, Gabriel Medina; ilustrado por Silvia Cordeiro, Antônio Valente, Bee Gunn, Miguel Imbiriba, Fábio Strympl. Belém: CIFOR, Imazon, 2005.”
- Terán J., Escalante E., Rodríguez P. (2005). Potencial de los Productos Forestales No Maderables en Bolivia. Elementos Reglamentarios y Técnicos Para su Regulación. Santa Cruz de la Sierra. 62 p.
- USDA FS, (2016). Landscape pattern analysis reveals global loss of interior forest. USDA Forest Service. Southern Research Station. <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/01/160128113837.htm>
- van Andel, T. (2006). Non-timber forest products, the value of wild plants. Agrosima Foundation and CTA. Wageningen, The Netherlands.

- Vedia C. & Córdoba, A. (2009). Estudio sobre los ingresos familiares anuales (2007-2008): resultados generales. CIPCA. La Paz, Bolivia
- Vos, V. A. & Aviana, E. (2015). La Castaña, Orgullo Boliviano (Brazil Nuts - Bolivian Pride). En: Enfoque Amazónico N° 2. 9-33 pp.
- Vos, V. A. (2011). Informe Final Modelos de Desarrollo, Economía Campesina-Indígena y Políticas Públicas en el Norte Amazónico. Informe de Consultoría Centro de Investigación y Promoción del Campesinado Norte. Riberalta, Bolivia.
- Vos, V. A. (2014). Potencial productivo de majo y asaí en la comunidad campesina Berlín. ACOPEMA-A & FAN. Riberalta, Bolivia.
- Vos, V. A. (2015a). La frontera agrícola en Bolivia; transgénicos, deforestación y seguridad alimentaria. Nota de opinión en la página web de CIPCA: [http://cipca.org.bo/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3390](http://cipca.org.bo/index.php?option=com_content&view=article&id=3390)
- Vos, V. A. (2015b). El Contexto Ambiental de la Amazonía Boliviana, un aporte a la línea base contextual para la Red Eclesial de la Amazonía Boliviana. CIPCA, CAFOD y Secours Catholique. 51 pp..
- Vos, V.A., Zonta, A. & Llanque, O. (2010). Medios de vida y manejo forestal de pequeños productores en la Amazonía. IV Reunión Nacional sobre Investigación Forestal: Hacia un manejo Forestal Comunitario. Cobija, Pando, Bolivia. 150 pp.
- Vos, V.A., Vaca, O. & Cruz A. (Ed.) (2015). Evaluación Económica-Ambiental Integral de Sistemas Agroforestales implementados bajo principios agroecológicos en la Amazonía de Bolivia, Análisis de viabilidad económica y valorización de funciones ecosistémicas a partir de 11 estudios de caso. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. La Paz. Bolivia
- ZONISIG, (1997). Zonificación Agroecológica y Socioeconómica y Perfil Ambiental del Departamento de Pando. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente – Prefectura del Departamento de Pando. La Paz, Bolivia. 159 pp.
- Zuidema, P. (2003). Ecología y manejo del árbol de castaña (*Bertholletia excelsa*) PROMAB Serie Científica N. 6

## **CAPÍTULO 5**

### **VULNERABILIDAD DE LOS RECURSOS FORESTALES DE LA SIERRA DE SAN MIGUELITO, SAN LUIS POTOSÍ**

VULNERABILITY OF FOREST RESOURCES OF THE SIERRA DE SAN  
MIGUELITO, SAN LUIS POTOSÍ

# VULNERABILIDAD DE LOS RECURSOS FORESTALES DE LA SIERRA DE SAN MIGUELITO, SAN LUIS POTOSÍ

## VULNERABILITY OF FOREST RESOURCES OF THE SIERRA DE SAN MIGUELITO, SAN LUIS POTOSÍ

Luis Manuel Leyva González<sup>1</sup>, Guadalupe Galindo Mendoza<sup>2</sup>, Carlos Contreras Servín<sup>2</sup>, Víctor Hugo López Vázquez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup>Laboratorio Nacional de Geoprocusamiento de Información Fitosanitaria, Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, San Luis Potosí, México.

<sup>3</sup>Secretaría de Desarrollo Agrario y Urbano, Ciudad de México, México.

Autor de correspondencia: geografialeyma@gmail.com

### RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la vulnerabilidad de los recursos forestales en la Sierra de San Miguelito, en el Estado de San Luis Potosí. Se tomó en cuenta la vulnerabilidad física (ambiental y ecológica) y social; así como la caracterización de la zona que le otorga el sentido de análisis. Para ello se emplearon metodologías que combinan el uso de técnicas de adquisición de datos, clasificación digital y visual a partir de imágenes de satélite, sistemas de información geográfica (SIG) y análisis estadísticos, con el fin de observar los cambios espacio-temporales ocurridos en la zona e identificar las áreas sujetas a mayor presión por parte de los factores ambientales y sociales. El método empleado fue un análisis multicriterio en el que se logró distinguir aquellos cambios producto de transiciones sistemáticas, con el fin de realizar una valoración completa de la vulnerabilidad de los recursos forestales en la zona de estudio. Con las áreas de vulnerabilidad definidas en el sentido ambiental, social y en conjunto, los agentes que confieren el sentido de pertenencia podrán reconocer la situación de los recursos forestales para poder mantener la capacidad de recuperación y por ende, conservación de las diversas coberturas.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad Social, Vulnerabilidad Ambiental, Recursos Forestales, Sierra San Miguelito.

### ABSTRACT

The current research it aimed to analyze the vulnerability of forest resources in the Sierra de San Miguelito, in the state of San Luis Potosí, it

was taken into account the physical vulnerability (environmental and ecological) and social; and the characterization of the area that gives the sense of analysis. It took place methodologies that combine the use of techniques of data acquisition, digital and visual classification from satellite imagery, geographic information systems (GIS) and statics analysis, in order to observe changes where used spaced-time occurred in the areas under greater pressure from environmental and social factors. The method employs multi criteria analysis to distinguish those changes resulting from systematic transitions, in order to make a full assessment of research is to know the situation and status of the vulnerability of forest resources in the study area. With areas of vulnerability defined in the environmental, social and together, giving agents a sense of belonging may recognize the situation of forest resources in order to maintain resilience, and thus preserving the various coverages.

**Keywords:** Social vulnerability, Environmental Vulnerability, Forest Resources, Sierra San Miguelito.

### 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la situación de los recursos forestales es un tema recurrente cuando se exponen temáticas concernientes al cambio climático y a la preservación de la biodiversidad a nivel mundial. Se estima que un tercio de la superficie terrestre continental (3,540 millones de hectáreas) aún se encuentra bajo alguna cubierta forestal (Velázquez, et al., 2002). Un punto importante a tomar en cuenta, es que dentro de los diez países con mayor superficie boscosa, siete se encuentran en

América y de estos, sólo México tiene plantaciones forestales productivas. Desde un sentido social, los bosques proveen madera, condiciones favorables para la fauna y productos no maderables útiles para el hombre, sin embargo, éste ha sido también el causante de la transformación de los ecosistemas forestales, superando los cambios ocasionados por los eventos naturales. Para resarcir el deterioro forestal se ha buscado promover políticas de conservación a nivel mundial, entre las cuales, las más recurrentes son la creación de nuevas áreas naturales protegidas, no obstante, en el caso de los países en vías de desarrollo, este título, no asegura la permanencia de los recursos forestales, pues la presión en cuanto el manejo de los mismos ha propiciado conflictos ambientales y sociales, lo que ha dejado a la deriva y en vulnerabilidad al manejo forestal sustentable.

En cuanto a recursos forestales de México, éste se ubica en el cuarto lugar a nivel mundial de endemismo (Mittermeir et al., 1998). Los bosques del género *Pinus* son representados por 55 especies nativas, al ser las de mayor frecuencia en los bosques de coníferas, pues 85% guardan endemismo (Perry, 1991); los de género encino son los segundos más diversos con 138 especies, 70% de las cuales son endémicas (SEMARNAP, 1999); y referente al bosque mesófilo de montaña, persiste sólo en el 0.87% del territorio nacional como comunidades relictas (Puig, 1991). Sin embargo, también es uno de los países que tiene una alta vulnerabilidad forestal, pues en él se registra una de las mayores tasas de pérdida de recursos forestales, ya que de las 198 millones de hectáreas que conforman el territorio, 36 % tienen una superficie arbolada de las cuales incluyen bosques y selvas, de las cuales 24.34% se encuentran perturbadas (SAGARPA, 2002). La perturbación de los ecosistemas naturales, se deriva de diversos procesos de deterioro como son los que conciernen a cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura a causa de los incendios forestales, y a la nula regulación forestal, dando por consecuencia la explotación fuera de toda legalidad.

La importancia medular de la Sierra de San Miguelito radica en tener un relictos de cobertura boscosa con una cercanía relativa a la mancha urbana de la ciudad de San Luis Potosí, que proporciona beneficios positivos para el ambiente, sin embargo, las complicaciones por cambio de uso de suelo a consecuencia de los diversos núcleos agrarios, se conjugó con los incendios producidos por un periodo de estiaje en el 2011 (Argüelles, 2010; Protección Civil de San Luis Potosí, 2011). De ahí que el objetivo determinar la vulnerabilidad de

los recursos forestales a partir del aspecto físico (ambiental, ecológico) y social.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

La Sierra de San Miguelito comprende parte de los municipios de San Luis Potosí, Villa de Reyes, Villa de Arriaga y Mexquitic de Carmona, en cuanto al trabajo de investigación, la parte en estudio es la Sierra de San Miguelito, en su porción Sur, que cuenta con 37,959 hectáreas de cobertura forestal que se encuentra situada dentro de las coordenadas 22° 7' y 21°49' de latitud Norte, y los 101°10' y 100°54' de longitud Oeste (Figura 1). Dentro de las peculiaridades de la zona forestal, existen diversos ecosistemas indispensables al equilibrio ecológico y bienestar general, pues contribuyen a la recarga de los mantos acuíferos superficiales. Además de encontrarse, especies como el Pino Piñonero (*Pinus cembroides* Zucc), que logra contener el 50.25% de carbono conforme al volumen del espécimen (CONAFOR, 2008), asimismo, constituyen una variedad con una distribución limitada en el Estado, que podría considerarse reducida, dado que dicha especie compone en su contexto total menos del 1% de la cubierta forestal del Estado.

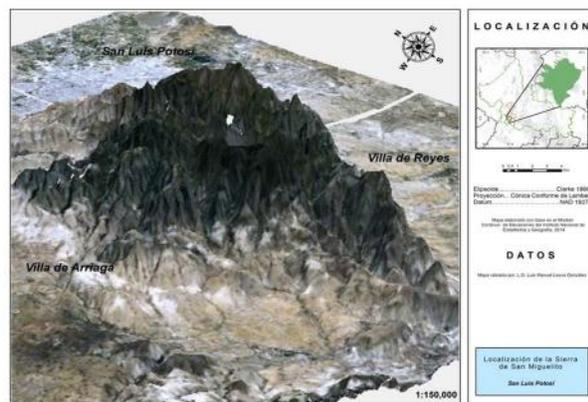


Figura 1. Localización de la Sierra de San Miguelito (elaboración propia).

### 2.2 Metodología

Para identificar de manera concreta la vulnerabilidad es necesario conocer los riesgos y amenazas a los que se está expuesto; asimismo, es importante estudiar y conocer los fenómenos perturbadores para detectar dónde, cuándo y cómo estos afectan,

y además, conocer la relación entre ellos. La vulnerabilidad debe promover la identificación y caracterización de los elementos que se encuentran expuestos, en una determinada área geográfica, a los efectos desfavorables de un peligro adverso. En ese sentido, el concepto de vulnerabilidad acorde a esta investigación, será el propuesto por CENAPRED (2006), donde la **vulnerabilidad se define como el grado de susceptibilidad, pérdida o incapacidad de un elemento o elementos expuestos bajo riesgo a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador o un suceso desastroso ya sea físico o antrópico.**

Para entender la asimilación de factores físicos y sociales se parte del modelo de riesgos de lugar de la vulnerabilidad (Cutter, 1996). Este modelo demuestra como riesgo y mitigación interactúan, y bajo su graduación de elementos desarrollan el peligro potencial, que se filtra a través de (1) la estructura social para crear vulnerabilidad social y (2) el contexto geográfico para producir vulnerabilidad física, culminando en el desarrollo de un lugar vulnerable (Figura 2).

En este caso, los elementos y especies que se encuentran presentes en la zona de estudio son los que están expuestos al riesgo de ser afectados por diversos tipos de siniestros de índole social o ambiental, tomando en cuenta la cantidad de captura de carbono y la importancia que radican en dicho ecosistema (Figura 3).

### 2.2.1 Vulnerabilidad física

Para desarrollar los objetivos planteados en esta investigación, la metodología se elaboró a partir

de la distinción de los procesos conforme a la vulnerabilidad física (ambiental, ecológica), donde se indican los antecedentes, procesos e insumos de cada una de las situaciones de riesgo identificables en la Sierra de San Miguelito, San Luis Potosí.

En cuanto a la vulnerabilidad física (ambiental, ecológica) (Figura 4) se toma en cuenta como variables los puntos de calor. Como respuesta a la grave situación de incendios forestales en el año 1998, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) inició un estudio que posteriormente sirvió de base para la puesta práctica del “Programa para detección de puntos de calor mediante técnicas de percepción remota” que funciona desde el año 2000. La información diaria está conformada por una tabla con la localización de los incendios y algunas características del sitio, la visualización de cada incendio sobre un modelo digital del terreno y sobre la vegetación, un mapa de la distribución de los incendios en el país y en un formato para sistemas de información geográfica.

En ese sentido, se recurrió al análisis de la base de datos del 2000 al 2013, tomando en cuenta la distribución espacial de los puntos de calor dentro del área forestal, para llegar a establecer la tendencia espacial y encontrar, si así lo hubiere clústers y establecer los patrones.

Para conocer el estado de la vegetación presente en la cubierta forestal, se realizó un análisis del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) del año 2013. Los índices de vegetación, están diseñados para proveer una comparación permanente y consistente, de los cambios temporales y espaciales de la vegetación al responder a la cantidad fotosintéticamente activa

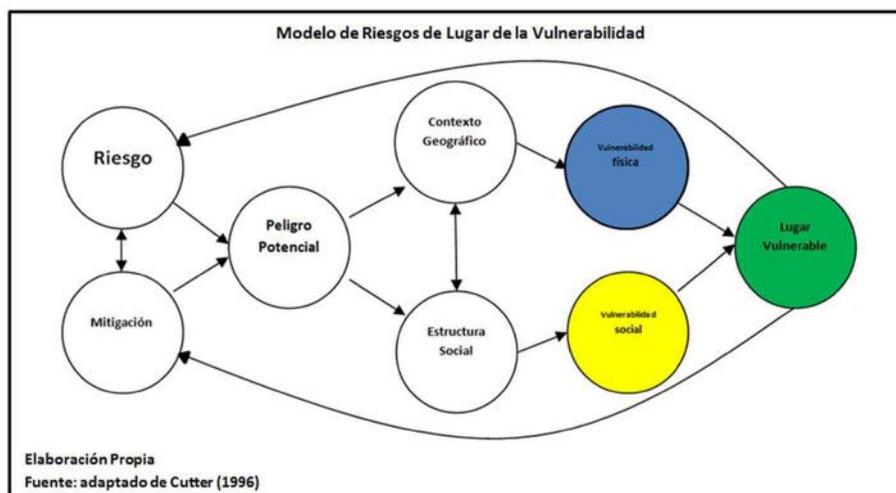


Figura 2. Modelo de Riesgos de Lugar de la Vulnerabilidad (Cutter, 1996).

en determinado pixel, al contenido de clorofila y óptica foliar, y a las características estructurales del dosel (Chuvieco & Congalton, 1989). El NDVI, está en función del fuerte contraste existente entre la reflectancia de las plantas en el espectro visible (rojo) y el infrarrojo cercano. Este parámetro refleja el estado de una cubierta vegetal, permite dar seguimiento temporal a las condiciones de vigor o estrés de los hospederos susceptibles a plagas y con ello poder determinar a su nivel de vulnerabilidad, 0.3 es un valor de referencia para considerar estrés (Vicente & Heredia, 2004).

revisión a partir de la temperatura superficial, ya que este indicador constituye uno de los parámetros más relevantes al determinar cambios ambientales (Parra, J. et al., 2006), estees generado a partir de las bandas térmicas de Landsat 8TIRS (ThermalInfrared Sensor), involucrando entre otros elementos la constante de Planck y la constante de Boltzmann; este indica las áreas con mayor temperatura y, tomando en cuenta la temporalidad donde se suscitaron más puntos de calor dentro del área forestal las incidencias a futuro donde se pueden registrar los siniestros (Rajeshwari & Mani, 2014).

En relación a las plagas, al haber una correspondencia intrínseca entre los impactos generales de la sequía y afectación en áreas forestales, se realizó una

Referente al cambio de vegetación y uso de suelo, la información geo-espacial proporciona una perspectiva única para analizar eventos y procesos

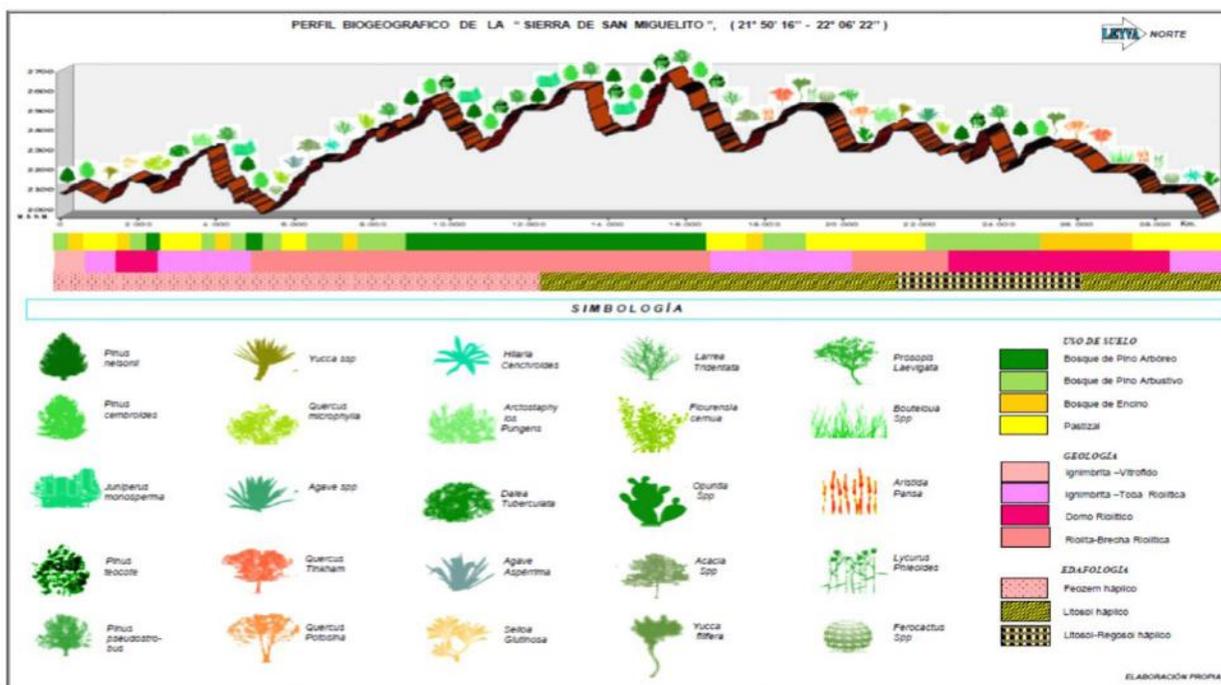


Figura 3. Perfil biogeográfico de la Sierra de San Miguelito (elaboración propia).

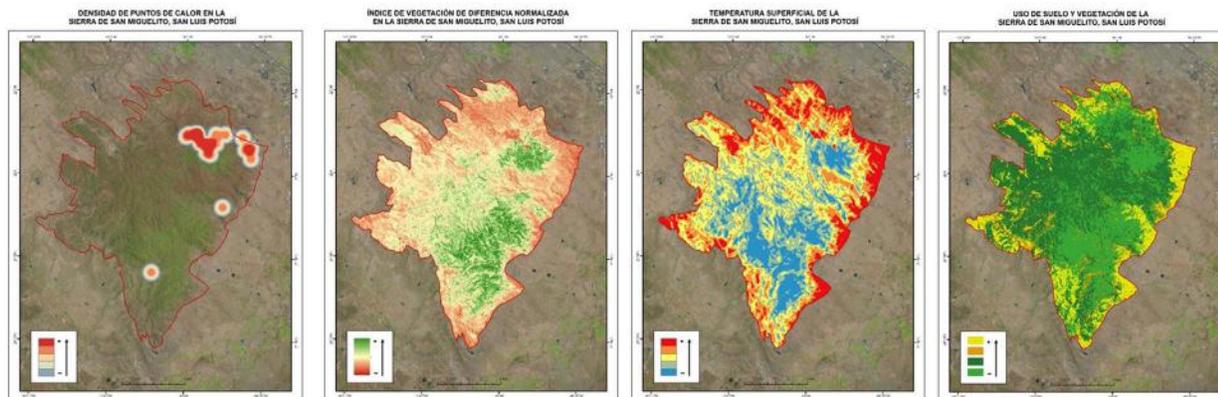


Figura 4. Elementos en relación a la vulnerabilidad física (ambiental, ecológica).

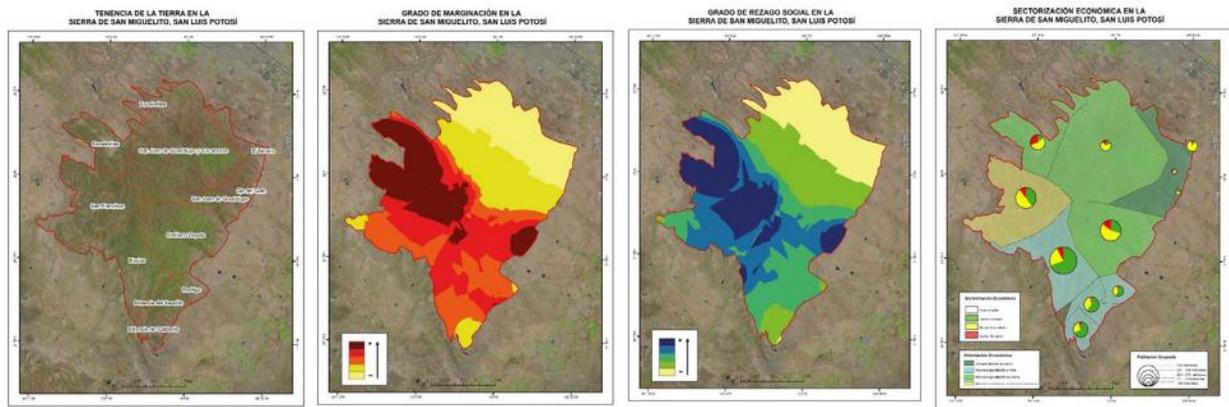


Figura 5. Elementos en relación a la vulnerabilidad social.

que tienen lugar sobre un territorio a través del tiempo, pues permite localizar cada evento en su posición geográfica exacta, lo que resulta imprescindible al momento de realizar un estudio del medio ambiente (Chuvienco, 1996). En el proceso de la interpretación de imágenes satelitales, se generan los compuestos de las diferentes bandas; que incrementan la percepción de determinados detalles de la superficie, el conjunto de bandas espectrales son el flujo de energía radiante en función de su longitud de onda o frecuencia; el cual es denominado espectro electromagnético, que comprende longitudes de ondas más cortas (rayos gamma, rayos x), hasta kilométricas (telecomunicaciones) (Lachowski, 1996). Este proceso también requirió una verificación de campo de las distintas coberturas, para obtener una correcta georreferenciación de las mismas.

### 2.2.2 Vulnerabilidad social

Es común llegar a pensar que circunstancias sociales en detrimento de la misma pueden denotarse en forma particular como un hecho de vulnerabilidad por sí mismo, sin embargo, en este caso la unión de elementos permiten determinar la vulnerabilidad social de la serie de procesos que causan riesgo (Figura 5). Ya que como lo expone Kaztman (2000), los recursos que controlan los grupos sociales, sin importar el tipo, no se pueden valorar con independencia de la estructura de la sociedad que aprovecha los mismos.

En el caso de los núcleos agrarios, la vulnerabilidad está ligada a los procesos que allí se desarrollan y está relacionada con la fragilidad, susceptibilidad o la falta de resiliencia de los elementos expuestos ante amenazas diversas; además de la relación directa con la degradación ambiental por los adyacentes procesos de transformación. Como lo

estipula Cardona (2003), los desastres no son otra cosa que sucesos ambientales y su materialización es el resultado de la construcción social del riesgo, mediante la gestación de la vulnerabilidad.

La marginación implica un problema estructural en donde la falta de oportunidades se manifiesta en los sectores de la sociedad que padecen desigualdades socioeconómicas. De ahí que los grupos en relación con estos sectores puedan estar definidos claramente mediante las localidades consideradas en función de categorías sociales. Si bien el sentido espacial de la localidad no tiene un fundamento ante la ley, esta concepción está relacionada con aspectos socio-territoriales que en muchas ocasiones superan la geo-estadística de la terminación. El índice de marginación permite diferenciar el impacto de las carencias que padece la población residente, lo cual da como resultado la inaccesibilidad a la educación, vivir en viviendas adecuadas, la percepción de ingresos suficientes y la distribución de la población (CONAPO, 2010). Se consideran tres dimensiones de la marginación de las localidades: educación, vivienda e ingreso, donde estas se miden en sentido privativo.

En lo que concierne al rezago social, dentro de los procesos de medición de pobreza, la Ley General de Desarrollo Social establece que se debe considerar el carácter multidimensional de la misma, con base en indicadores de educación, acceso a servicios de salud, servicios básicos, calidad y espacios en la vivienda y activos en el hogar, así como la cohesión grupal (CONEVAL, 2010). El Índice de Rezago Social es una medida ponderada que resume cuatro indicadores sociales en un solo índice que tiene como finalidad ordenar a las unidades de observación según sus carencias y aspectos, bajo la técnica estadística de componentes principales, que permite resumir las dimensiones del fenómeno de

estudio, apoyados en la técnica de estratificación de Dalenius&Hodgens (1959), ya que esta cumple con el propósito de obtener una medida unidimensional en la que se resume la información de las variables consideradas para la estratificación, esta técnica permite observar las estructuras de variación de los datos y, en algunos casos, identificar observaciones atípicas o variables cuya aportación es mínima o redundante para realizar la clasificación.

Por último, en cuanto al aprovechamiento de los recursos forestales y para reconocer su aprovechamiento, es necesario conocer la orientación sectorial de la economía de cada localidad y núcleo agrario; y evidenciar si hacen uso de las actividades primarias y por ende explotación forestal. El procedimiento empleado en la determinación de las orientaciones sectoriales de la economía es el diagrama de coordenadas triangulares debido a su fácil manejo técnico e interpretativo. Mediante dicho diagrama es posible revelar los tipos de orientaciones económicas los cuales pueden ser representados en un mapa de expresión sintética (fondo cualitativo), facilitando la caracterización y aprehensión de rasgos del diagnóstico económico (Palacio, J. et al., 2004).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a los puntos de calor, se han presentado un total de 23 puntos de calor, del 2000 al 2013 en la Sierra de San Miguelito; sin embargo, es evidente que hay una mayor tendencia de incidencias a partir del año 2011 con 4 y en el 2013 con 12; además que estos fueron los de mayor consideración al afectar una superficie de 400 hectáreas de bosque de pino y encino además de vegetación arbustiva de pastizal (NOTIMEX, 2011; Aguilar, 2013). Además, se puede apreciar que las zonas con menor NDVI y mayor temperatura concuerdan con las zonas de mayor daño por incendios forestales; aunado a la susceptibilidad de la zona por las perturbaciones de las transiciones a consecuencia de la sucesión ecológica que dan como resultado los mosaicos que muestra un paisaje de parches en dimensiones diversas, perturbaciones que en este caso se han presentado de forma recurrente en la Sierra de San Miguelito.

En relación al aspecto social, las actividades humanas pueden tener un efecto poderoso sobre los ecosistemas y las formas en que éstos cambian. Esto se conoce como sucesión inducida por el hombre, y puede conducir a cambios frecuentemente inesperados y ocasionalmente dañinos. La orientación económica mantiene una mayor disposición a las actividades secundarias desde altas a moderadas

con una poca incidencia de las especializaciones primarias, ya que en ese sentido, el uso de la sociedad que hace de la naturaleza a través de la economía implica un consumo de territorio, entendido que este espacio que comparten los núcleos agrarios, es parte del espacio económico, es decir, el territorio con sus recursos naturales, sociales y económicos (García de Fuentes, 1993).

Para la unificación de los procesos previos, se implementaron procedimientos de evaluación multicriterio en el entorno de los sistemas de información geográfica para obtener una zonificación en torno a la vulnerabilidad de los recursos forestales tanto de aspectos físicos (ambientales, ecológico) y sociales, basados en los grados de aptitud. Ya con los rangos graduados y las variables ponderadas se generan los mapas con las características de vulnerabilidad física (ambiental, ecológica) y la social, en los cuales se refleja la desigualdad de los recursos forestales tomando en cuenta los peligros de origen natural y antrópicos (Figura 6).

La vulnerabilidad alta en el mapa que corresponde a la de tipo físico se caracteriza por presentar un número mayor de puntos de calor conforme a la tendencia espacial de los incendios forestales; zonas con una mayor superficie de pastizales en detrimento de alguna otra cobertura ya sea bosque encino o pino aunado a la deforestación paulatina; mayor grado de severidad de la sequía pasando de las zonas anormalmente secas hasta la sequía moderada y severa; y al final un mayor grado de estrés en las coberturas mostrando una disminución en la cantidad de agua en las paredes celulares de las mismas. Estas áreas son las que requieren mayor atención en el caso de la ocurrencia de algún siniestro, por la susceptibilidad mostrada.

En cuanto a la vulnerabilidad social esta se define por la división de los núcleos agrarios y su número de miembros en cada padrón, ya que estos potencializan la capacidad de responder ante los peligros que puedan presentarse; en cuanto a la marginación estas áreas presentan condiciones precarias, localidades compuestas por familias con poca población en edad productiva, donde se observan los niveles más bajos de educación e inclusive miembros de la familia que no recibieron instrucción académica alguna, no cuentan con servicios de salud, además de que las viviendas se caracterizan por carecer de servicios básicos. Estas poblaciones son las que requieren mayor atención en el caso de la ocurrencia de algún peligro natural, por lo que es primordial desarrollar e implementar medidas de prevención adecuadas.

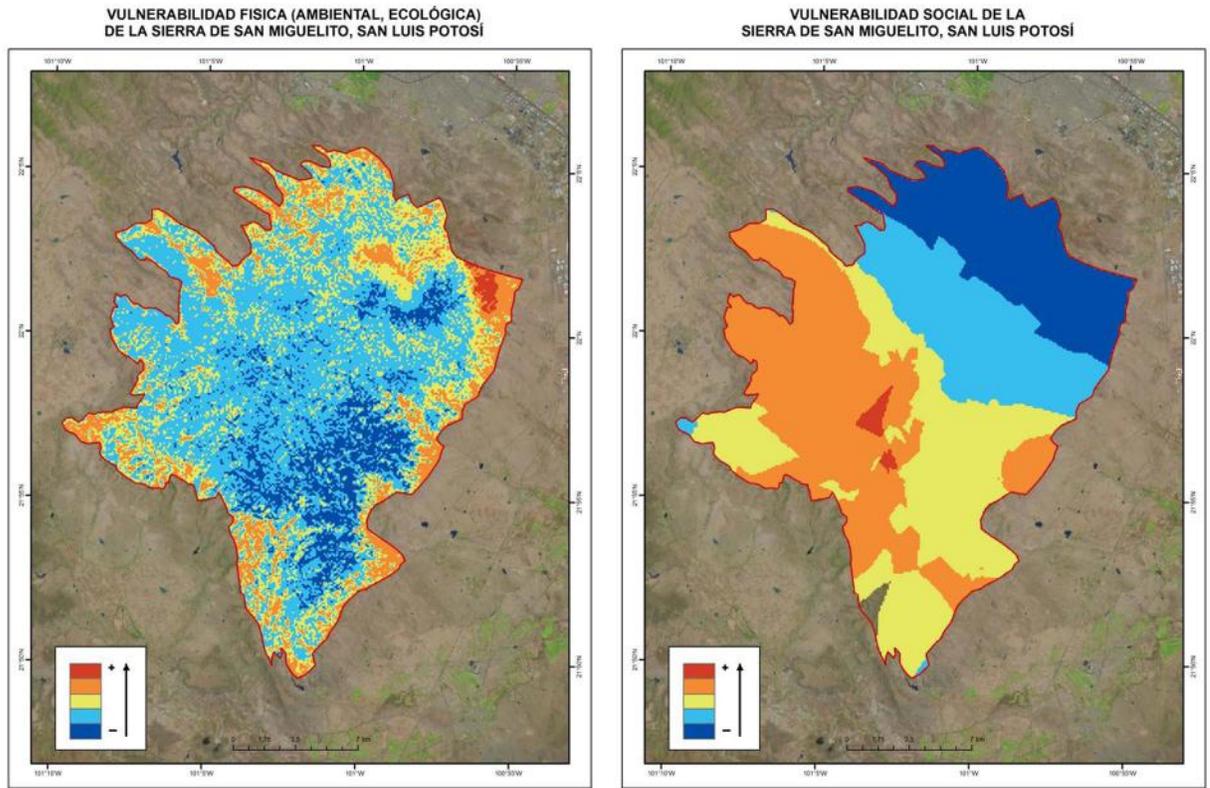


Figura 6. Vulnerabilidad física (ambiental, ecológica) y social de la Sierra de San Miguelito.

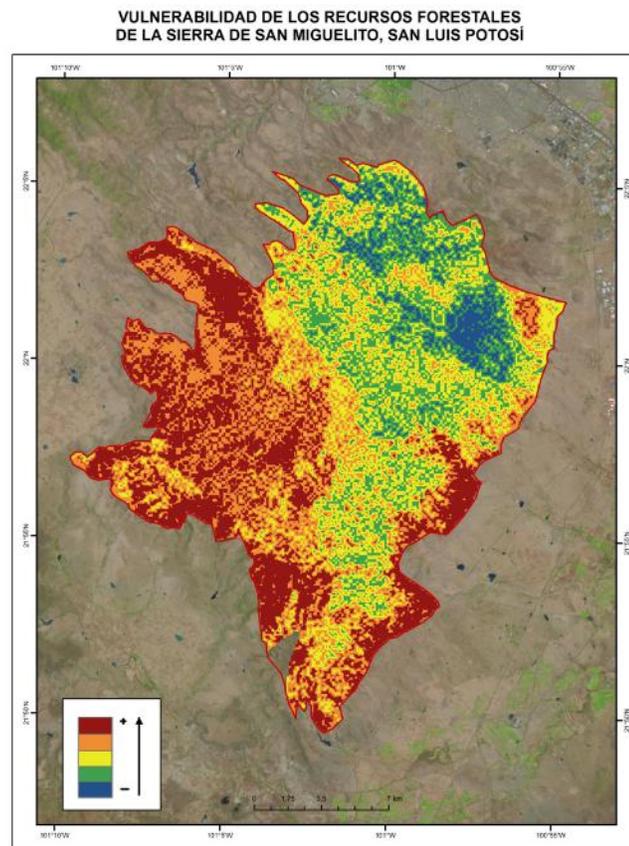


Figura 7. Vulnerabilidad de los Recursos Forestales de la Sierra de San Miguelito

Ya con la información anterior, se presenta un mapa final con la vulnerabilidad de los recursos forestales de manera totalitaria (Figura 7), donde la superficie de áreas vulnerables, que tiene una mayor cantidad en cuanto a graduación corresponde a las de vulnerabilidad alta con 10,208.165 hectáreas y vulnerabilidad muy alta con 5,180.188 has., contrastando con la área de vulnerabilidad baja 9,779.261 hectáreas y 3,178.843 has., con vulnerabilidad muy baja. Las áreas de bosque se ven afectadas por la sequía, reduciendo drásticamente el índice de vegetación de las coberturas, sin embargo, las actividades antrópicas como incendios y deforestación están llevando a una reducción inexorable por la presión que ejercen en los recursos forestales, ya que aquellas áreas que se encuentren alteradas, disminuyen notablemente su capacidad de respuesta a enfrentarse a un riesgo.

#### 4. CONCLUSIONES

A través de la presente investigación, trabajo de campo y sistematización de los datos fue posible concluir lo siguiente:

Las áreas de bosque de encino son las que han tenido más perturbaciones naturales y antrópicas, en aumento de las áreas de pastizal tomando en cuenta que a su vez, estas corresponden con el perímetro del área de estudio; además de que las áreas de bosque de pino ya sea arbóreo y arbustivo, se encuentran en las áreas más abruptas y de más difícil acceso.

Conforme a los cambios observados en la cobertura vegetal y uso del suelo en la Sierra de San Miguelito, durante el periodo de 1975 al 2013, en lo que respecta a la cubierta vegetal de pino arbóreo y arbustivo, se generaron procesos de optimización de la energía y no una tendencia de sucesión ecológica conforme a la degradación de una especie y crecimiento de especies arbustivas a arbóreas y efectos recíprocos. Respecto a la recarga del acuífero, la área forestal contribuye a que se mantenga dichas acciones pero con respecto al horizonte acuífero somero y no al acuífero profundo por las propiedades geológicas de tipos de roca ígnea; en ese sentido la recarga al subsuelo se lleva a cabo esencialmente por filtraciones de agua pluvial sobre las elevaciones topográficas cuando los temporales son los idóneos.

La tenencia y en algunos casos pulverización de la tierra, vuelve difícil las tareas de conservación de un relicto de bosque en áreas de uso común ya que la heterogeneidad del contexto físico y social en que se desarrollan dichos núcleos les otorga diferentes capacidades en lo que a los recursos forestales se

refiere y por ende, el mantenimiento de las áreas. La recomendación general que se deriva de esta investigación es el de conocer la situación y estado de la vulnerabilidad de los recursos forestales de la Sierra de San Miguelito; además de reconocer los agentes que confieren esta situación para poder mantener la capacidad de recuperación y por ende, conservación.

#### REFERENCIAS

Aguilar, J. (2013) "Incendio forestal en Sierra de San Miguelito, SLP, es controlado" [WWW Document] URL <http://noticierostelevisa.esmas.com/estados/580704/incendio-forestal-sierra-san-miguelito-slp-controlado/> (Accesed 5.11.13).

Argüelles, E. (2010). "Con engaños, empresarios pretenden quedarse con tierras en San Luis Potosí: comuneros" [WWW Document] URL <http://www.jornada.unam.mx/2010/05/23/estados/026n2est/> (Accesed 28.8.12).

Cardona, O. (2003). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo "una crítica y una revisión necesaria para la gestión" International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice.

CENAPRED, (2006). Guía básica para la elaboración de Atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Sistema Nacional de Protección Civil.

Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. Ed. RIALP España. 568 pp.

Chuvieco, E. & Congalton, R. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing Environment* 29, 147-159.

CONABIO, (1998). La diversidad biológica de México: estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

CONAFOR, (2008). Catalogo de contenido de carbono en especies forestales de tipo arbóreo del noreste de México. Comisión Nacional Forestal.

CONAPO, (2010). Índice de Marginación por Localidad, 2010 [WWW Document] URL [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice\\_de\\_Marginacion\\_por\\_Localidad\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010) (Accesed 8.4.14).

- CONEVAL, (2007). Los mapas de pobreza en México. Anexo técnico metodológico [WWW Document] URL [www.coneval.gob.mx](http://www.coneval.gob.mx) (Accesed 25.4.14).
- Cutter, S. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography* 20: 529- 539.
- Dalenius, T. & J. Hodges. (1959). Minimum Variance Stratification. *Journal of the American Statistical Association* 54(285), 88-101.
- García de Fuentes, A. (1993). Asimilación económica del territorio (un nuevo enfoque en la interpretación regional del País) Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 69 – 94 pp.
- Kaztman, R. (2000). Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 275-301.
- Lachowski, H. (1996). Guidelines for the use of digital imagery for vegetation mapping. United States Department of Agriculture. Forest Service.
- Mittermeir, R., Myers, N., Thomsen, J. & Fonseca, G. (1998). Biodiversity hot spots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. *Conservation Biology*, 12, 516-520.
- NOTIMEX, (2011). “Suman 84 incendios forestales durante 2011 en SLP” [WWW Document]. URL <http://www.sdnoticias.com/notas/2011/04/27/suman-84-incendios-forestales-durante-2011-en-slp> (Accesed 5.11.13).
- Palacio, J., Sánchez, M. & Casado, J. (2004). Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Parra, J., Sobrino, J., Acevedo, P. & Morales, L. (2006). Estimación de la temperatura de suelo desde datos satelitales AVHRR-NOAA aplicando algoritmos de splitwindow. *Revista Mexicana de Física* 52(3), 238-245.
- Perry, J. (1991). *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press. E.U.A
- Protección Civil San Luis Potosí, (2011). “Continua incendio en Sierra de San Miguelito” [WWW Document]. URL <http://proteccioncivilslp.blogspot.mx/2011/04/continua-incendio-en-sierra-de-san.html> (Accesed 28.8.12).
- Puig, H. (1991). Vegetación de la Huasteca, México. Estudio fitogeográfico y ecológico. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), Instituto de Ecología A.C. & Centre D’Etudes Mexicainities et Centraméricaines (CEMCA).
- Rajeshwari, A., & N. Mani. (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul District using Landsat 8 Data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5), 122-126.
- SAGARPA, (2002). *Blindaje Agropecuario*. Claridades, 112, 1-34.
- SEMARNAP, (1999). *Atlas Forestal de México*. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
- Velázquez, A., Mas, J., Mayorga, R., Díaz, J., Alcántara, C., Castro, R., Fernández, T., Palacio, J., Bocco, G., Gómez, G., Luna, L., Trejo, I., López, J., Palma, M., Peralta, A., Prado, J. & González, F. (2002). Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México. *Biodiversitas* 41, 8-15.
- Vicente, S. & Heredia, A. (2004). NAO influence on NDVI trends in the Iberian Peninsula (1982 – 2000). *International Journal of Remote Sensing*, 25, 2871-2879.

## **CAPÍTULO 6**

### **DETECÇÃO DE MUDANÇAS DA COBERTURA DA TERRA ATRAVÉS DE ANÁLISE HÍBRIDA DE SÉRIES MULTITEMPORAIS DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

LAND COVER CHANGES DETECTION THROUGH HYBRID ANALYSIS OF  
MULTITEMPORAL SERIES OF REMOTE SENSING IMAGES

# DETECÇÃO DE MUDANÇAS DA COBERTURA DA TERRA ATRAVÉS DE ANÁLISE HÍBRIDA DE SÉRIES MULTITEMPORAIS DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

## LAND COVER CHANGES DETECTION THROUGH HYBRID ANALYSIS OF MULTITEMPORAL SERIES OF REMOTE SENSING IMAGES

Rômulo Weckmüller<sup>1</sup>, Raúl Sánchez Vicens<sup>1 2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geografia; UFF - Universidade Federal Fluminense - Instituto de Geociências, Niterói, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense - Instituto de Geociências, Niterói, Brasil.

Corresponding author: weckmuller@gmail.com

### ABSTRACT

The use of all images at one time, also known as a multi-temporal cube, considerably increases the dimensionality of the data to detect changes and evolutionary trajectories of vegetation. Therefore, it is considered a hybrid approach, based on the association between pixels and objects, as a good alternative to reduce the processing time of multi-temporal cubes techniques, maintaining the accuracy of change detection. The main objective is to propose an identification methodology of evolutionary trajectories of the landscape. The building of change images, generated pixel by pixel, was used as input for the segmentation process and also used like descriptors that separate the changes of no changes by object-oriented classification based on a fuzzy logic in eCognition®. As this is a multi-temporal range with three RapidEye® scenes (dated 2009, 2010 and 2011) were used and compared two statistical measures of dispersion: amplitude and standard deviation. The study area represents a very dynamic area of the state of Rio de Janeiro with a lot of changes in land cover recently, due to the installation of a Petrochemical Complex (COMPERJ). The amplitude overestimated the class "change" but showed good results with an overall accuracy of 0.87 and a Kappa index of 0.74. But the use of standard deviation as change image showed the best results in this paper, identifying 2791 hectares of changes in the study area with an overall accuracy of 0.94 and a Kappa index of 0.88. **Keywords:** Radiometric Normalization, Change Images, Amplitude, Standard Deviation, RapidEye.

### RESUMO

A utilização conjunta de toda a série temporal de imagens, também conhecido como um cubo multitemporal, aumenta consideravelmente a dimensionalidade dos dados na detecção de mudanças e de trajetórias evolutivas da cobertura vegetal. Uma abordagem híbrida, com a associação entre técnicas baseada em pixels e objetos, é uma boa alternativa para diminuir o tempo no processamento dos cubos multitemporais, mantendo a precisão na detecção das mudanças. O principal objetivo está em propor uma metodologia de identificação das trajetórias evolutivas da paisagem, para tal, a construção de imagens mudança, geradas pixel a pixel, foi utilizado como insumo para o processo de segmentação e como escolha dos descritores que irão separar as mudanças das coberturas invariantes, utilizando classificação orientada a objetos, baseados numa lógica fuzzy. Por se tratar de um intervalo multitemporal de três datas de uma mesma cena RapidEye® (2009, 2010 e 2011), foram utilizadas e comparadas duas medidas estatísticas de dispersão: amplitude e desvio padrão. A área de estudo representa uma área bem dinâmica do estado do Rio de Janeiro, quanto a cobertura da terra nos últimos anos, devido à instalação de um Complexo Petroquímico (COMPERJ). A amplitude superestimou a classe de mudanças, porém apresentou bons resultados, com uma exatidão global de 0,87 e índice Kappa de 0.74. Já o uso do desvio padrão como imagem mudança apresentou os melhores resultados, identificando 2791 ha de mudança na área de estudo com uma exatidão global de 0.94 e índice Kappa de 0.88. **Palavras chaves:** Normalização Radiométrica, Imagens Mudança, Amplitude, Desvio Padrão, RapidEye.

## 1. INTRODUÇÃO

O processamento de imagens multitemporais e detecção de mudanças tem sido um campo de pesquisa ativa em sensoriamento remoto por décadas (Jianya et al., 2008). Detectar mudanças significa identificar alterações na superfície terrestre por meio da análise de imagens da mesma área coletadas em diferentes datas (Singh, 1989). Estes estudos permitem entendermos melhor a relação e interação entre sociedade e natureza, contribuindo para a gestão e utilização dos recursos, de uma maneira mais eficiente e sustentável (Lu et al., 2004). Como as mudanças induzidas pelo homem ocorrem em um ritmo cada vez mais rápido, espera-se que os sistemas de monitoramento baseados em sensoriamento remoto, que imageam o Planeta Terra em tempo integral, tenham papéis cruciais na política ambiental e tomadas de decisão (Chen et al., 2012).

Existem muitas técnicas para a análise multitemporal e cada uma possui uma forma própria de lidar com a extração e com a classificação das mudanças. Não existe um método universalmente aceito. Os parâmetros de escolha dessas técnicas dependem do objetivo da pesquisa e/ou da preferência por parte do pesquisador por determinada ferramenta (Coppin et al., 2004; Jensen, 2007).

Dentre as várias técnicas de detecção de mudanças, há um esforço da literatura em separá-las em grandes grupos. Coppin et al. (2004) classifica-as pelo número de imagens utilizadas. Caso sejam apenas duas, a metodologia é bi-temporal, se forem utilizadas três ou mais delas então a metodologia é de análise da trajetória temporal. Porém Peiman (2011) e Kiel (2008) salientam que a classificação mais usual das técnicas de detecção de mudanças seria em dois grandes grupos: pré-classificação e pós-classificação.

A análise pós-classificação consiste na geração de uma classificação para cada data em separado, para uma posterior detecção de mudanças na comparação destes mapas temáticos, que pode ser em uma integração entre o sensoriamento remoto e um Sistema de Informações Geográficas (Lu et al., 2004). É uma técnica abundante na literatura por ter sido o precursor das análises temporais.

Kiel (2008) salienta que a maior desvantagem talvez resida na sua exigência em tempo e custo, visto os mapeamentos e validações a serem realizados antes de detectar as mudanças. Além disso, Jensen (2005) acrescenta que os erros de classificação de cada data estabelecem uma maior probabilidade de erro

no mapa de mudanças, pois a precisão da detecção de mudanças é dependente de classificações individuais. Deer (1995) também acredita que os resultados desta técnica ficam muito restritos às classes iniciais, que são normalmente discretas. Já Coppin et al. (2004) acredita que um bom esquema de classificação pode ajudar no foco da detecção de mudanças ao isolar as transformações que não importam aos objetivos.

A comparação dos mapas temáticos obtidos através da classificação pode ser realizada visualmente ou em um ambiente de geoprocessamento (Kiel, 2008). Utilizando técnicas de geoprocessamento, esta análise pode aplicar funções de álgebras de mapas, resultando em um mapeamento do tipo “from-to”, como por exemplo os trabalhos de Sallaba (2009) e Weckmüller e Vicens (2013), ou cruzar três ou mais classificações dentro de um SIG, numa perspectiva multitemporal, formando trajetórias evolutivas, como visto em Mena (2008) e Weckmüller et al. (2013).

A análise pré-classificação, também chamada de análise direta, consiste na classificação de todas as imagens de diferentes datas juntas. A premissa básica é a de que todas as alterações na cobertura terrestre deverão resultar em mudanças nos valores de radiância (Singh, 1989).

A combinação de um conjunto de imagens de datas diferentes para uma análise direta é chamada de imagem ou cubo multitemporal. Uma vez construída, esta imagem multitemporal é classificada uma única vez para a detecção das mudanças, sob o princípio de que nas áreas onde correram as transformações se concentrem discrepâncias estatísticas quando comparadas com o restante da imagem, que se manteve inalterado (Mas, 1999; Coppin et al., 2004). O conhecimento e experiência do pesquisador são fundamentais para trabalhar com este cubo multitemporal, visto o aumento na dimensionalidade de dados a serem trabalhados (Weckmüller, 2015).

Muitos são os trabalhos que se destacam no uso desta técnica. Weismiller et al. (1977) constataram que a subtração de imagens (chamada pelos autores de “classificação delta”) pode ser considerada muito simples quando aplicada à zona costeira, pois muita informação é perdida na imagem diferença resultante. Nelson (1983) considerou a diferença entre índices de vegetação a técnica mais efetiva para detectar mudanças no dossel das florestas, já que associa razão e diferença no mesmo método. Um dos métodos mais difundidos, a detecção multivariada de alterações (MAD) (Canty et al., 2004;

Nielsen et al., 1998) utiliza análise de correlação canônica tradicional para achar combinações entre dois grupos de variáveis (bandas espectrais), cada grupo correspondendo a uma data diferente. O MAD segue uma distribuição qui-quadrado, de forma que os limiares de invariância podem ser facilmente estabelecidos.

Já Kiel (2008) comparou e avaliou diversas técnicas de análise direta na detecção de mudanças numa área rural do Rio Grande do Sul e não encontrou nenhuma que se sobressaísse muito sobre a outra. Porém o autor ressalta que talvez a presença significativa de nuvens e a escolha do mesmo por uma escala regional tenham contribuído para este resultado.

Seja qual for a análise escolhida, normalmente o pesquisador escolhe um método baseado em pixels ou um baseado em objetos. Jyania et al. (2008) defendem que a associação entre estes métodos melhora a precisão dos resultados. Os autores chamam esta associação de método híbrido de detecção de mudanças. A ideia deste algoritmo é que a informação preliminar de mudanças deve ser derivada de pixels, com a construção de imagens com informações estatísticas de dispersão (imagens mudança), enquanto que posteriormente o método baseado em objetos é aplicado para melhor extrair os resultados destas mudanças.

Diversos autores utilizaram este método híbrido para detectar mudanças. Carvalho et al. (2001) criaram imagens diferença e adicionam-na ao projeto de classificação para detecção de desmatamentos no sudeste brasileiro. Porém, na etapa de segmentação, somente estas imagens transformadas (imagens mudança) foram utilizadas no processo. Os autores destacaram a efetividade desta segmentação na extração de objetos de mudança. Além disso, o resultado foi obtido em menor tempo, visto que a tarefa de segmentar todo o cubo multitemporal, que exige muito mais processamento, foi evitada.

McDermid et al. (2008) utilizou metodologia similar, porém além de imagens diferença, acrescentou imagens com informações sobre umidade, que foram efetivas em detectar distúrbios em áreas florestadas no oeste do Canadá. De acordo com os autores, os algoritmos híbridos de detecção de mudanças reduziram as pequenas falsas mudanças provocadas pela delimitação inconsistente dos objetos, com um significativo grau de precisão.

Na maioria dos casos, o processo de segmentação é realizado em imagens diferença obtidas por subtração pixel a pixel de bandas correspondentes.

Porém, ressalta-se que qualquer tipo de imagem mudança pode ser utilizada, como por exemplo: razão, desvio-padrão, amplitude, dentre outros.

Neste trabalho, o principal objetivo está em propor uma metodologia de identificação das trajetórias evolutivas da paisagem que seja aplicável em distintas escalas temporais. Para tal, pretende-se aplicar um método híbrido de detecção de mudanças, através de uma abordagem pré-classificação pixel a pixel, seguida do processo de segmentação, associada ao posterior uso de classificação orientada a objetos para a definição do limiar fuzzy de mudança e invariância. Com o uso de um cubo multitemporal de imagens do satélite RapidEye, datadas de 2009, 2010 e 2011, pretende-se comparar o desempenho das imagens de amplitude e desvio-padrão, na detecção de mudanças em séries multitemporais.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A Mata Atlântica brasileira foi toda fragmentada pelas diferentes formas de usos da terra que foram se sucedendo através da evolução da técnica e do modelo econômico. A sequência da fragmentação desta floresta tropical causada pela supressão das matas levou a deterioração da biodiversidade, além, é claro, da diminuição de sua extensão, causando preocupação na comunidade científica e na sociedade brasileira. Este bioma se encontra sob forte pressão antrópica, visto sua ocorrência em grande parte do litoral brasileiro, região esta que concentra a maioria da população. Além disso, representa uma parcela muito significativa da diversidade biológica do Brasil, sendo detentora de grande quantidade de recursos naturais e de alto grau de endemismo de espécies da fauna e da flora. Diante da grande importância de se conservar e recuperar a Mata Atlântica brasileira faz-se necessários estudos técnicos que possam mensurar as mudanças nesta paisagem e viabilizem a definição de áreas que são prioritárias para conservação (Cronemberger, 2014).

O estado do Rio de Janeiro (RJ), cujo principal bioma é a Mata Atlântica, já passou por muitas modificações no que se refere ao uso e cobertura da terra. Sua história mostra que a urbanização dos antigos núcleos de colonização e os diferentes ciclos econômicos observados foram determinantes para a remoção da cobertura vegetal original (Cronemberger, 2014).

Recentemente, em 2008, a Petrobrás iniciou a construção do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) no município de Itaboraí,

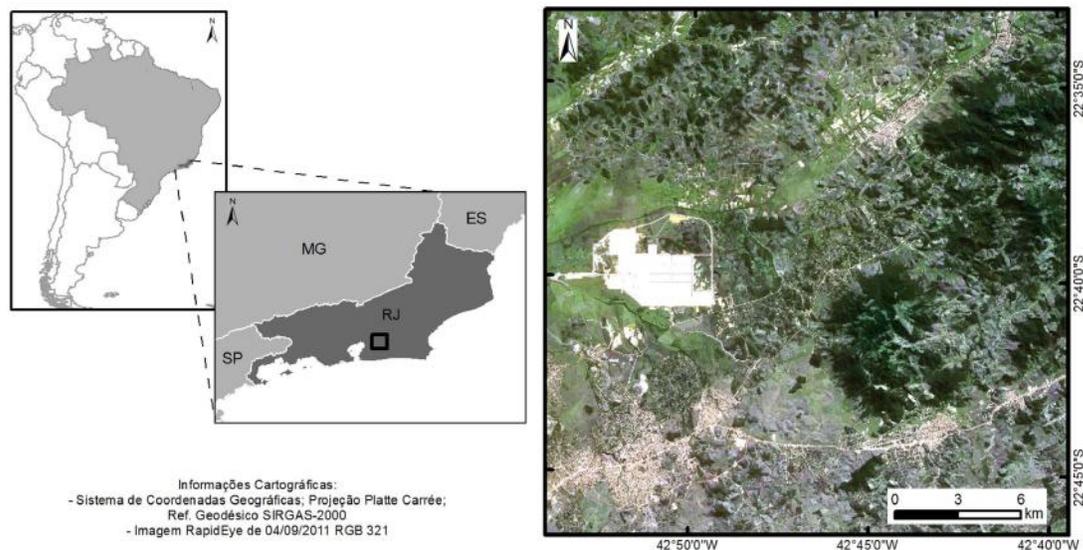


Figura 1. Localização da área de estudo no estado do Rio de Janeiro.

um mega-empreendimento com uma área de 45 km<sup>2</sup> (correspondente à aproximadamente 10% da área deste município), que possui uma área de influência que compreende 11 municípios do leste fluminense. Este empreendimento, quando iniciado, tinha previsão de atrair mais de 200 mil empregos diretos e indiretos até 2018, o que acarreta uma forte pressão no uso e cobertura da terra de Itaboraí e nos municípios do entorno. A natureza do empreendimento implica em mudanças rápidas e intensas na cobertura da terra, desde o início, atingindo as áreas próximas às obras, com destaque para o município de Itaboraí (Weckmüller, 2015).

Com resolução espacial e temporal capaz de atender a velocidade e dimensão das mudanças desse vetor de transformação, foi escolhida uma cena (ID: 2328624) do sensor Choros e Trochia/RapidEye, na área do COMPERJ e seu entorno, que compreende parte de cinco municípios do estado do Rio de Janeiro: Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Itaboraí, Rio Bonito e Tanguá (Figura 1).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Pré-processamento

As imagens RapidEye foram adquiridas com um nível de processamento 3A, ortorretificadas, com os pixels reamostrados para 5 x 5 m e formatados em imagens com tamanho de 25 x 25 km (625 km<sup>2</sup> de área). De acordo com Machado e Silva et al. (2013), o processo de correção geométrica do nível 3A faz

uso dos dados de efemérides e atitude do satélite, do modelo de visada da câmera, além de pontos de controle e modelo digital de elevação. Foram utilizadas três datas de passagens na mesma cena, coletadas pelos sensores RE4 e RE5 (tabela 1).

Data	Sensor	Nível processamento	Número de Bits
19/04/2009	RE4 - Choros	3A	16
19/08/2010	RE5 - Trochia	3A	16
04/09/2011	RE4 - Choros	3A	16

Tabela 1. Imagens RapidEye utilizadas na pesquisa

Para a detecção de mudanças nos sistemas terrestres, o pré-processamento é de fundamental importância, pois minimiza diferenças geométricas e radiométricas entre as imagens que podem resultar em falsas mudanças (Mas, 1999). De acordo com Coppin e Bauer (1996), estas falsas mudanças podem ser resultantes das diferenças de absorção e espalhamento atmosféricos devido a variações no vapor de água e/ou concentrações de aerossóis na atmosfera em momentos distintos no tempo, diferentes ângulos do posicionamento solar no momento de aquisição, problemas de calibração dos sensores, entre outros problemas já previamente citados.

Lu et al. (2004) destacam que antes de implementar a detecção de mudanças, as seguintes condições devem ser atendidas: (1) um registro preciso das imagens multitemporais; (2) correção atmosférica e/

ou normalização radiométrica entre as imagens; (3) estados fenológicos semelhantes entre as imagens; e (4) seleção de imagens com mesma resolução espacial e espectral, se possível. Coppin e Bauer (1996) consideram as correções geométricas e radiométricas como as mais importantes técnicas de pré-processamento para a detecção de mudanças.

### 3.1.1 Normalização Geométrica

O registro das imagens foi realizado no software Erdas 2013, através da extensão de ferramentas AutoSync, que permite o registro de imagens de maneira semiautomática, pois possui um algoritmo matemático que busca similaridades espectrais e texturais entre as imagens, para definir pontos homólogos entre elas. O usuário deve informar ao software pelo menos entre quatro e cinco pontos comuns entre a imagem base e a imagem a ser registrada. Após isso, configura-se a porcentagem de similaridade desejada e o algoritmo de reamostragem. Assim, o AutoSync gera novos pontos de controle, com exatidão sub-pixel, sendo bem mais eficiente e rápido que o método tradicional de registro manual, que é totalmente dependente da precisão visual do pesquisador.

As cenas de 2010 e 2011 foram registradas com base na de 2009. Para tal, até oito pontos de controle foram inseridos manualmente na imagem a ser registrada, de uma maneira bem dispersa pela cena. Os pontos automáticos foram gerados com mais de 90% de similaridade. Foi utilizada a equação polinomial de 1ª ordem, que permite um maior ajuste na imagem, e o método de reamostragem pelo vizinho mais próximo.

### 3.1.2 Correção radiométrica

Um fator fundamental numa detecção de mudanças é a correção radiométrica das imagens. De acordo com Song et al. (2001), esta correção pode ocorrer de duas formas: absoluta e relativa.

A correção absoluta é aquela que utiliza parâmetros de calibração do sensor e da atmosfera para estimar a refletância de superfície. Segundo Pimenta et al. (2013), estes parâmetros podem ser estimados, caso o modelo adotado seja alternativo, ou medido, caso o método usado seja o físico, que tenta retratar a complexidade da atmosfera e sua complexa interação com a radiação. Este último requer muito conhecimento acerca dessas interações por parte do pesquisador.

A correção relativa utiliza somente dados da própria imagem, não exigindo parâmetros atmosféricos. Dos diversos métodos existentes, dois foram escolhidos:

a subtração dos objetos escuros e a normalização radiométrica. A associação destes é uma proposta de Cronemberger (2014), adaptada para este trabalho, como uma tentativa de aproximação espectral das imagens com a realidade, permitindo o uso de índices de vegetação, e uma aproximação espectral das imagens entre si, otimizando a detecção de mudanças.

#### 3.1.2.1. Correção Atmosférica

A subtração de objetos escuros (Dark Object Subtraction-DOS) é provavelmente, a técnica de correção atmosférica mais simples. Song et al. (2001), num extenso trabalho comparando nove técnicas de correção atmosférica, das mais simples às mais complexas, quanto a sua influência na acurácia na detecção de mudanças, obtiveram os melhores resultados na correção por DOS. Embora os mais simples algoritmos de correção atmosférica não sejam tão precisos quanto os mais complicados, na estimativa de reflectância de superfície, eles fazem um trabalho melhor de reduzir as diferenças entre as imagens multitemporais..

O DOS, proposto por Chavez Jr. (1988), assume que em toda cena e em qualquer banda espectral, existem pixels que deveriam assumir o valor zero, uma vez que estes pixels não poderiam receber e refletir radiação, ou ainda absorvê-la por completo (sombras na região do visível ou corpos d'água límpidos na região do infravermelho próximo, por exemplo). Caso estes pixels apresentem valores maiores que zero, o valor excedente deve ser explicado pela interferência aditiva do espalhamento atmosférico (Ponzoni e Shimabukuro, 2009). Após a identificação destes valores excedentes em cada banda, o mesmo é subtraído dos pixels, considerando a interferência atmosférica como sendo uniforme em toda a cena.

A ferramenta Dark Object Subtraction, do software ENVI, foi utilizada para definir o número de pixels que deveria ser subtraído de cada banda. Após efetuar a operação, esta ferramenta gera uma imagem DOS. Este processo foi aplicado somente na imagem de referência (2009) para a normalização radiométrica.

#### 3.1.2.2 Normalização Radiométrica

Em algumas circunstâncias, aplicações que envolvem classificação e detecção de mudanças, a correção atmosférica é desnecessária, principalmente quando os dados utilizados no método não derivam de dados de radiância. Song et al. (2001), em testes

realizados com uma série multitemporal de imagens Landsat, mostraram que métodos complexos de correção atmosférica por extração de aerossol melhoram muito pouco a classificação e a detecção de mudanças. Os melhores desempenhos foram encontrados para métodos mais simples como o DOS. Resultado similar foi encontrado por Schroeder et al. (2006).

Para a maioria das séries históricas de imagens de satélites não existem informações associadas às condições atmosféricas, iluminação, entre outras. Em função disso, Canty et al. (2004) acreditam que a normalização baseada na informação radiométrica intrínseca às imagens é uma alternativa sempre que a radiância absoluta da superfície não é necessária, como no caso da detecção de mudanças.

Testes realizados por Schroeder et al. (2006) para vários métodos de correção radiométrica, comparando por datas e por bandas em imagens Landsat, mostraram que a normalização produz sempre os melhores resultados para séries temporais. Esses resultados são similares aos de Olson (1995) quem reportou a correção relativa como preferível à correção absoluta para detecção acurada de mudanças em floresta boreal.

A normalização é realizada num par de imagens correspondentes, de datas diferentes (sendo uma delas a referência), onde diferentes técnicas são empregadas para selecionar feições pseudo-invariantes (PIFs) as quais são subsequentemente utilizadas para calibrar empiricamente series temporais de imagens. Sendo assim a normalização radiométrica pode ser considerada uma correção relativa que consiste em minimizar diferenças radiométricas entre imagens, para que as mesmas possam ser comparadas ou classificadas em conjunto.

Proposta por Hall et al. (1991), com o nome de Retificação Radiométrica, a normalização desenvolvida por estes autores consiste no uso de um conjunto de pontos invariantes ao longo do tempo entre a imagem referência e a imagem a ser normalizada, para determinar os parâmetros de regressão linear através dos mínimos quadrados (Ordinary Least Square Regression).

O ajuste entre a imagem de referencia e as imagens a serem normalizadas segue dois critérios: a seleção manual de feições pseudo-invariantes (Pseudo-invariant Features –PIF) (Schott et al., 1988) ou a ordenação estatística através de detecção multivariada de alterações (Multivariate Alteration Detection – MAD) (Nielsen et al., 1998; Canty et al., 2004). Ambos métodos foram comparados por Schroeder et al.

(2006) que acharam poucas diferenças entre eles, com um desempenho ligeiramente melhor do MAD.

Embora seja um método com maior consumo de tempo e esforço, a utilização de PIFs, que de acordo com Song et al. (2001), representam formas bem definidas espacialmente e espectralmente estáveis ao longo do tempo, permite uma maior representatividade das diferentes coberturas invariantes, sendo selecionados PIFs claros e escuros, como sugerido por Eckhardt et al. (1990).

A coleta destes PIFs pode ser feita de várias maneiras. Uma delas seria a geração de pontos aleatórios, sendo escolhidos aqueles que possuem menor diferença entre si, o que apontam para possíveis áreas estáveis. Porém, este método é questionável no sentido de talvez não atender a heterogeneidade das classes de uma imagem, pois os pontos resultantes desta filtragem podem estar predominantemente em corpos d'água, por exemplo. Sendo assim, a obtenção dos PIFs neste trabalho foi adaptada dos trabalhos de Cronemberger (2014) e Weckmüller (2015), que consiste na coleta de pelo menos trinta pontos invariantes por classe, manualmente, que represente toda a heterogeneidade da cobertura da terra na cena.

Foram coletados cerca de 300 PIFs representativos das classes invariantes observadas em todas as imagens (de 2009 a 2011), portanto aptos ao processo de normalização. Após a extração dos números digitais destes pontos, em cada banda de cada imagem, foram obtidas as regressões lineares pelos mínimos quadrados.

A seguir, foi utilizada a ferramenta Raster Calculator, do software ArcGis 10.1, para estimar os valores normalizados nas imagens de 2010 e 2011, através dos parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  das regressões lineares, gerando imagens normalizadas radiometricamente. Novos parâmetros de regressão e diagramas de dispersão entre a imagem de referência e as imagens normalizadas foram utilizados para avaliar o desempenho do processo.

## 3.2 Método híbrido de detecção de mudanças

### 3.2.1 Construção das imagens mudança

As imagens mudança são resultantes de técnicas baseadas em pixels. Elas apresentam informações estatísticas entre as bandas do cubo multitemporal, que podem indicar possíveis áreas de mudanças na cobertura da terra.

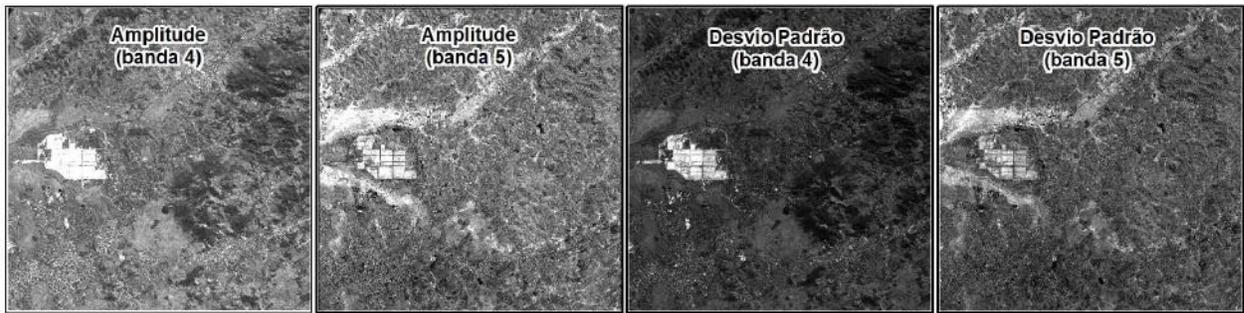


Figura 2. Imagens mudança de amplitude e desvio padrão geradas pixel a pixel (bandas 4 e 5).

Aplicações de detecção de mudanças que utilizam informações estatísticas inseridas diretamente no processo são comuns, principalmente a razão e a subtração de bandas. Porém, esta técnica aplica-se somente às detecções bi-temporais. Por se tratar de uma perspectiva multitemporal, com três datas, procurou-se adotar duas medidas de dispersão: o desvio-padrão e a amplitude.

As imagens mudança foram calculadas no software ArcGis, através da ferramenta Raster Calculator e adicionadas ao cubo multitemporal utilizado posteriormente na separação de duas classes: mudanças e invariante. Visualmente, a amplitude e o desvio-padrão das bandas 4 e 5 (borda do vermelho e vermelho, respectivamente) apresentam áreas com cores mais claras (valores digitais altos), que podem representar áreas de mudança (Figura 2).

### 3.2.2 Segmentação do cubo multitemporal

Com o objetivo de avaliar a precisão de cada banda estatística para separar as mudanças das invariâncias em imagens multitemporais, foram rodados processos de segmentação e classificação em projetos separados, utilizando software eCognition 8.8

Somente as bandas das imagens mudança foram usadas para a segmentação da cena, evitando utilizar todo o cubo multitemporal, o que aumentaria o tempo de processamento e talvez não tivesse o resultado esperado. Após o teste de vários parâmetros de segmentação, uma combinação destes foi escolhida como satisfatória a todos os projetos: 200 de escala, 0.8 de forma e 0.5 de compacidade. Apesar de as imagens mudanças se distinguirem pela cor (valor dos pixels), um fator de forma mais alto resultou em melhores segmentações (Figura 3).

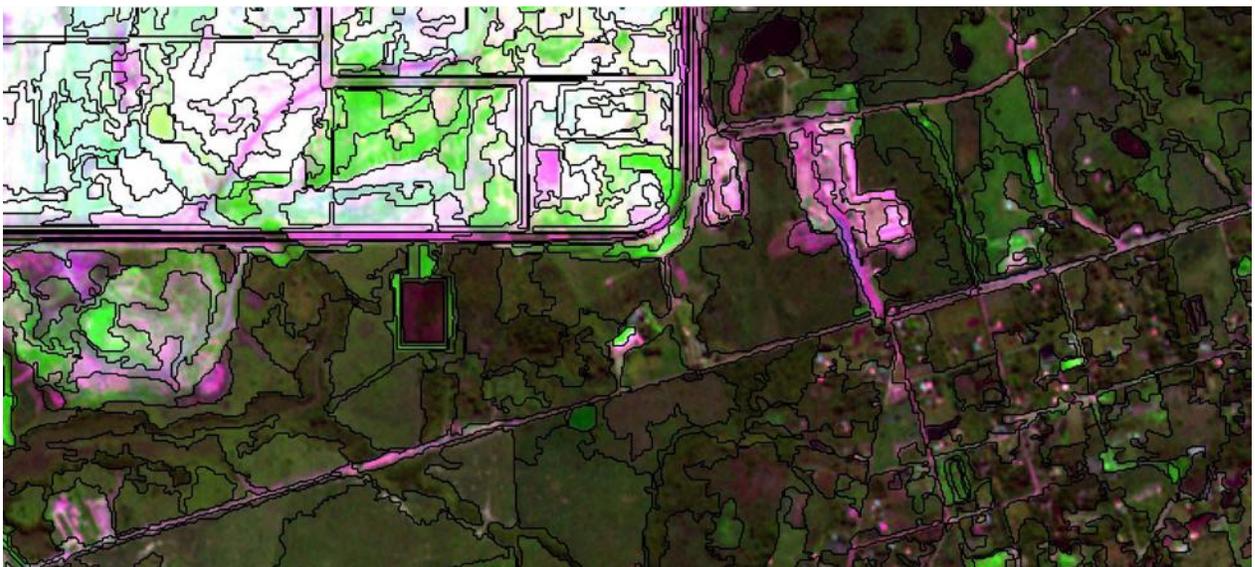


Figura 3. Detalhe da segmentação aplicada no cubo multitemporal de imagens RapidEye.

### 3.2.3 Classificação das mudanças

A classificação foi realizada no software eCognition, com ênfase na modelagem fuzzy e análise orientada a objetos. De acordo com Cruz et al. (2009), a análise Fuzzy fornece o grau de pertinência de um objeto para todas as classes definidas na legenda, numa lógica de probabilidades, cujos valores podem ser inseridos em novos contextos de classificação. Cruz et al. (2007) apontam que a classificação orientada a objeto busca simular técnicas de interpretação visual através da modelagem do conhecimento para identificação de feições, baseada na descrição de padrões identificadores, tais como textura, cor, métrica, contexto.

A fase de coleta de amostras das classes é considerada fundamental para o conjunto de respostas espectrais para cada classe. Uma alternativa utilizada para esta coleta foi a geração de composições coloridas multitemporais no próprio software, ou seja, o uso de bandas de diferentes datas no canal RGB. Este tipo de composição evidencia visualmente áreas de mudanças, com maior brilho, facilitando o processo de seleção das amostras. As imagens mudanças também são utilizadas no processo de amostragem, na ocorrência dos maiores valores.

Comparando as respostas espectrais das amostras de treinamento, foram escolhidos os limiares de classificação entre mudanças e invariância, utilizando quatro bandas das imagens amplitude e desvio padrão (tabela 2). As imagens de amplitude e desvio padrão da banda 1 (azul) não foram usadas pelos piores resultados apresentados nesta banda na normalização radiométrica. Foi modelada a classe invariância, enquanto que à classe mudança foi atribuído o critério de não-pertencia à classe anterior.

Não foi realizada edição manual pós-classificação em nenhum dos dois projetos, permitindo comparar o desempenho entre a amplitude e o desvio padrão na detecção das mudanças na série temporal.

Descritor estatístico	Banda espectral	Modelo Fuzzy	Limiars Fuzzy Mudança
Amplitude	B2 (Verde)		10586
	B3 (Vermelho)		10960
	B4 (Borda do Vermelho)		18040
	B5 (Infravermelho)		21662
Desvio Padrão	B2 (Verde)		13950
	B3 (Vermelho)		12010
	B4 (Borda do Vermelho)		16760
	B 5 (Infravermelho)		23985

Tabela 2. Descritores e limiares de classificação utilizados na separação de mudança e invariância. As bandas espectrais foram utilizadas nos dois projetos de classificação.

### 3.2.4 Validação dos resultados

Como forma de validação do desempenho de cada um dos parâmetros estatísticos indicativos de mudanças na série temporal, optou-se pelo índice Kappa, associado à análise da matriz de confusão.

Considera-se que a análise da matriz de confusão é tão importante quanto o índice Kappa, pois permite identificar a principal fonte de erros da classificação, se é proveniente do algoritmo e/ou do pesquisador. A seleção dos pontos amostrais para avaliação foi aleatória. No caso da análise de diferentes métodos numa mesma área de estudo, os pontos devem ser diferentes, evitando um efeito conhecido como pontos treinados, onde a localização dos mesmos pode superestimar os resultados. Congalton (1991) indicou como tamanho amostral representativo para uma validação  $n=50$ , sendo observado o mesmo tamanho neste trabalho o que, segundo o autor, garante a relevância estatística dos dados.

A figura 4 resume todas as etapas metodológicas supracitadas, destacando os softwares e ferramentas utilizadas para a detecção e validação das mudanças.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Pré-processamento

#### 4.1.1 Normalização geométrica

A correção geométrica apresentou RMS (erro médio quadrático, do inglês root mean square) parecidos para cada cena corrigida, com precisão sub-pixel, o que certamente é importante para a aplicação de uma detecção de mudanças (Tabela 3).

Data cena	Pontos manuais	Pontos automáticos	Similaridade (%)	RMS
2010	8	6	97	0.45
2011	7	11	96	0.49

Tabela 3: RMS resultante do processo de registro no AutoSync.

A correção atmosférica da imagem de 2009, através da subtração dos pixels escuros, foi realizada para cada banda espectral (tabela 4), corrigindo os efeitos de espalhamento da atmosfera. Esta nova imagem passou a ser a imagem referência para o processo de normalização radiométrica.

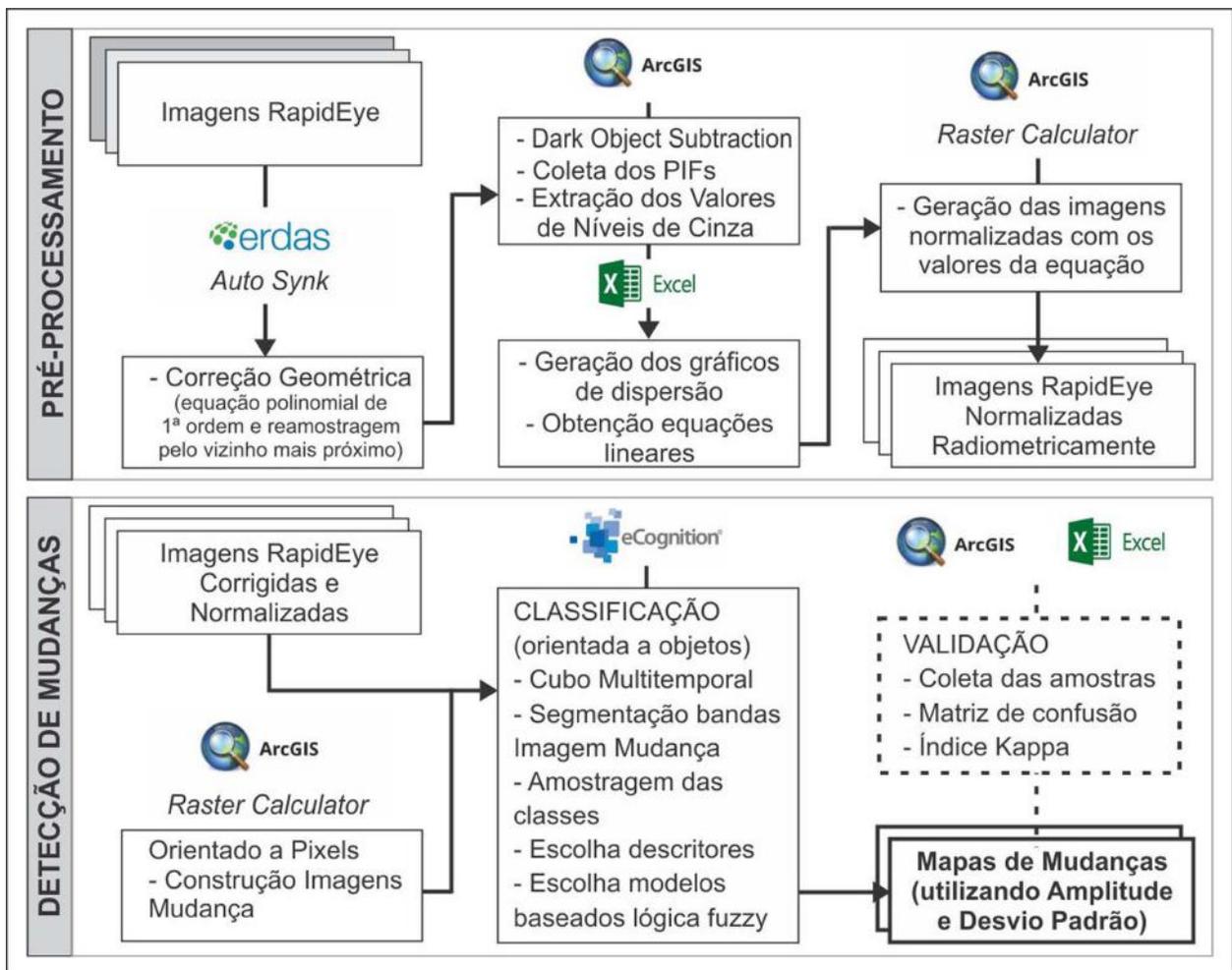


Figura 4. Fluxograma metodológico do pré-processamento e classificação pelo método híbrido de detecção de mudanças.

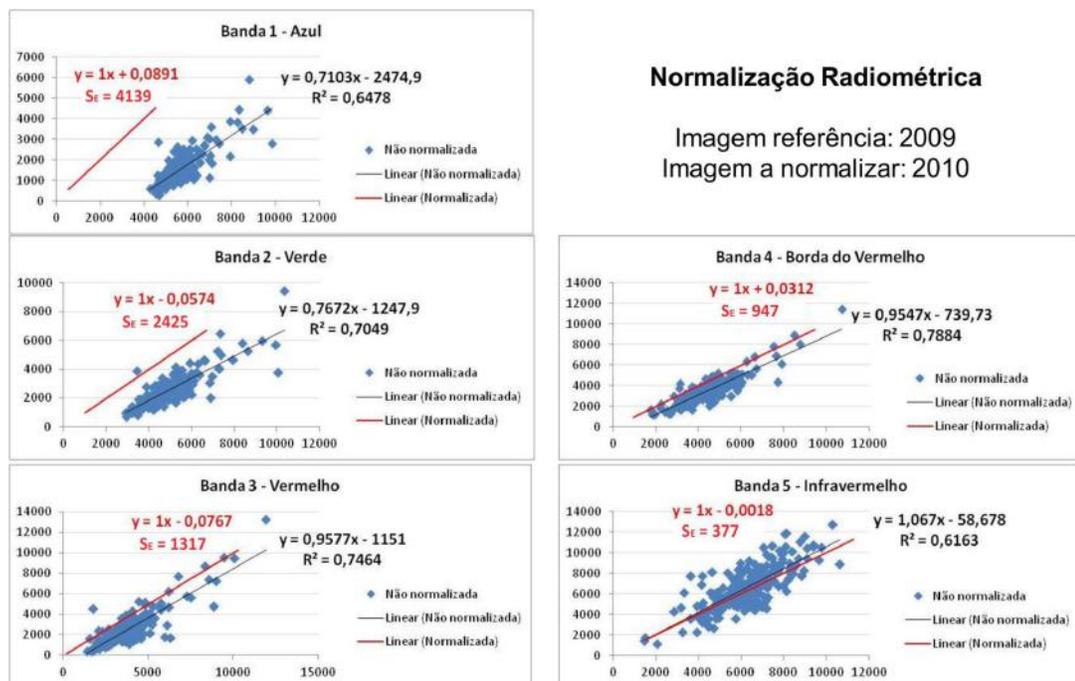
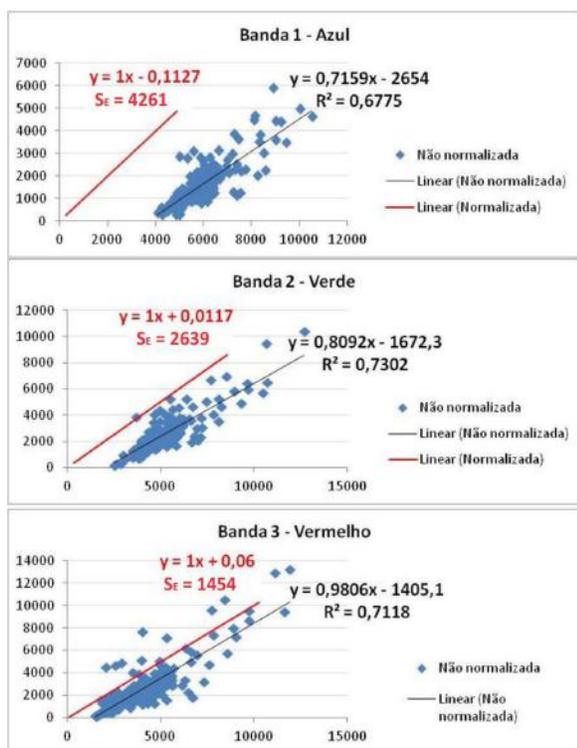


Figura 5. Normalização radiométrica da imagem de 2010 e sua avaliação. O erro padrão da estimativa ( $SE$ ) está em valores de níveis de cinza



## Normalização Radiométrica

Imagem referência: 2009  
Imagem a normalizar: 2011

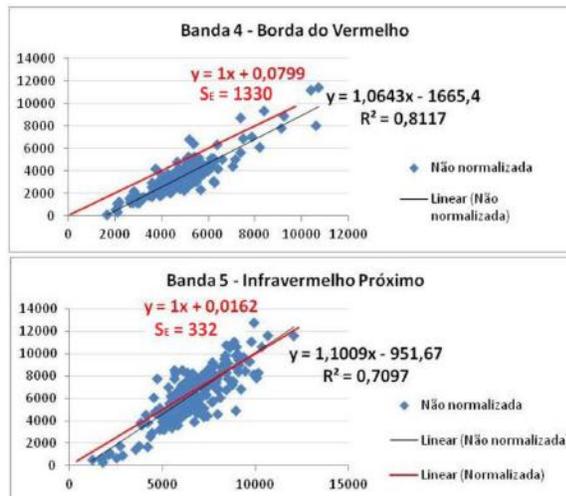


Figura 6. Normalização radiométrica da imagem de 2011 e sua avaliação. O erro padrão da estimativa ( $SE$ ) está em valores de níveis de cinza.

Bandas da imagem RapidEye	Valores a serem subtraídos dos pixels
Banda 1 (Azul)	3560.51262
Banda 2 (Verde)	1912.12465
Banda 3 (Vermelho)	603.09026
Banda 4 (Borda do vermelho)	793.00991
Banda 5 (Infravermelho)	716.81330

Tabela 4. Números de pixels subtraídos por banda espectral na correção atmosférica pelo método DOS.

### 4.1.2 Normalização radiométrica

Tendo como referência a imagem 2009 radiometricamente corrigida, foram normalizadas as imagens de 2010 e 2011. As figuras 5 e 6 representam as imagens antes e depois da normalização. Na função da reta de melhor ajuste após normalizar as imagens, observam-se valores de X e Y bem próximos, com gradiente próximo aos 45 (parâmetros  $\beta_0$  próximos de 0 e  $\beta_1$  próximos de 1), o que indica um bom resultado na normalização.

A proximidade dos PIFs com a reta no diagrama de dispersão indica alta probabilidade de serem pixels invariantes, o que nos leva a crer que o processo de coleta manual e por classe, mesmo sendo mais demorado, foi importante para a boa correlação obtida.

Analisando as duas retas lineares nos gráficos, a não normalizada (preta) e a normalizada (vermelha), observa-se um distanciamento decrescente entre elas da banda 1 a 5, ou seja, as bandas com menores comprimentos sofreram as maiores modificações no processo de normalização. O que se mostra coerente com a Tabela 3, visto que o número de pixels subtraídos destas bandas também decresceu, excetuando-se na banda do vermelho.

Este resultado é corroborado pela análise do erro padrão da estimativa ( $SE$ ) que também decresceu da banda 1 a 5 (Tabela 5). Mesmo a banda 1 tendo apresentado um  $SE$  bem mais elevado, quando comparado às bandas restantes, esta diferença não prejudicou a detecção de mudanças, visto que esta não foi utilizada como descritor para a classificação das mudanças (Tabela 2).

Banda	$SE$ (2010)	$SE$ (2011)
Azul	4139	4261
Verde	2425	2639
Vermelho	1317	1454
Borda do Vermelho	947	1330
Infravermelho	377	332

Tabela 5. Erro padrão da estimativa dos valores normalizados ( $SE$ ), por banda, em cada processo de normalização radiométrica (em níveis de cinza).

## 4.2 Detecção de mudanças

A detecção de mudanças bi-temporal baseia-se na diferença entre os valores de reflectância das N bandas de duas imagens separadas no tempo. No seu consagrado trabalho de detecção multivariada de alterações (MAD), Nielsen et al. (1998) utilizam as N diferenças temporais e a correlação entre as duas datas na estimativa de probabilidade de dispersão das diferenças em relação a uma função de invariância. Com três ou mais datas, é preciso utilizar parâmetros estatísticos de dispersão dos valores de reflectância.

Os resultados aqui comparados correspondem à amplitude e ao desvio padrão dos valores de reflectância, por bandas, em N=3 datas de aquisição das imagens (Figura 7). As duas imagens mudança/invariante, obtidas separadamente a partir dos dois parâmetros estatísticos de dispersão, tiveram seu desempenho comparado com 50 pontos amostrais de validação.

### 4.2.1 Amplitude

As imagens de amplitude tiveram bom desempenho na detecção das mudanças, principalmente as alterações da vegetação densa, detectadas nas imagens amplitude das bandas 4 (borda do vermelho) e 5 (infravermelho próximo). Mudanças associadas à atividade construtiva foram bem detectadas pela amplitude na banda do vermelho (banda 3).

Aparecem mudanças fenológicas nas planícies aluviais dos grandes rios, associadas às variações espectrais na vegetação em função das diferenças no grau de umedecimento do solo entre as duas datas. Também foram detectadas mudanças nas áreas agrícolas resultante da rotação de cultivos

e preparo do solo. A área referente ao COMPERJ foi totalmente classificada como mudança, pois mesmo nas áreas previamente antropizadas, a atividade construtiva modificou a resposta espectral dos pixels, caracterizando-os como mudança (Figura 8). Do total da cena, 4042 ha de mudança foram encontrados, o que corresponde a 6,46% (Tabela 5).

Classes	Área (hectares)	Área (%)
Mudança	4042	6.46
Não mudança	58508	93.54

Tabela 5. Áreas das classes de mudança e não-mudança (utilizando a amplitude).

### 4.2.2 Desvio Padrão

Assim como na amplitude, as imagens desvio padrão das bandas 3, 4 e 5 foram muito úteis no processo de detecção de mudanças, pois possibilitou detectar processos de intensificação de áreas já antrópicas. As mudanças permanentes ou evolutivas predominaram sobre as mudanças temporárias ou dinâmicas, o qual resulta mais apropriado para a detecção de mudanças na trajetória evolutiva natural da cobertura da terra, isto é, não associadas aos estados cíclicos da paisagem. No entanto, algumas rotações de cultura, na beira dos grandes rios, também foram detectadas (Figura 8).

Do total da cena, 2,791 ha de mudança foram encontrados, o que corresponde a 4.46% (tabela 7). Esta diminuição em relação à amplitude deve-se, provavelmente, a menor presença de mudanças cíclicas neste mapeamento.



Figura 7. Imagens RapidEye utilizadas no trabalho (datadas de 2009, 2010 e 2011).

	Não-mudança	Mudança
Não-mudança	39	2
Mudança	11	48
Exatidão Global	<b>0.87</b>	
Kappa	<b>0.74</b>	

Tabela 6. Matriz de confusão do mapeamento de mudanças que utiliza a amplitude como imagem mudança.

Classes	Área (hectares)	Mudança
Mudança	2791	4.46
Não mudança	59784	95.54

Tabela 7. Áreas das classes de mudança e não-mudança (utilizando o desvio padrão).

Analisando a matriz de confusão na tabela 8 observam-se bons resultados, com erro de apenas uma amostra na classe de mudança. O algoritmo errou ao classificar algumas áreas de mudança como não-mudança. Os erros de omissão se comportaram como na amplitude, em áreas de pastagem alteradas por materiais resultantes das obras de instalação do empreendimento. Com uma exatidão global de 94% e um índice Kappa de 0.88 o desvio-padrão foi obtido uma ótima precisão em detectar as mudanças, considerado um Kappa excelente, segundo Landis e Koch (1977).

	Não-mudança	Mudança
Não-mudança	45	1
Mudança	5	49
Exatidão Global	<b>0.94</b>	
Kappa	<b>0.88</b>	

Tabela 8. Matriz de confusão do mapeamento de mudanças que utiliza o desvio padrão como imagem mudança.

A detecção das mudanças através da amplitude dos valores espectrais foi subestimada em relação ao mesmo método utilizando o desvio padrão. O desvio padrão, em comparação com a amplitude, teve uma melhor exatidão global e índice kappa (Figura 9), resultante do seu melhor acerto na detecção das mudanças, onde teve menos erros de omissão. Ainda, embora a diferença tenha sido muito pequena, a classificação errônea de áreas invariantes como mudanças (erro de comissão) foi menor quando utilizado o desvio padrão.

Em geral, as mudanças predominaram no entorno das instalações do empreendimento. Destaca-se também a presença de mudanças ao longo das grandes rodovias e centros urbanos. As mudanças próximas aos grandes rios, provavelmente representam rotações de cultivos, áreas estas, que também concentraram grande parte dos erros encontrados no processo de validação.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na etapa de pré-processamento, o método semiautomático escolhido para a correção geométrica mostrou-se efetivo, pois alcançou erros a nível subpixel, em menor tempo que o método manual tradicional. Conclui-se que o grupo de ferramentas Auto Synk representa um método confiável e prático de registro de imagens de satélite.

A subtração dos objetos escuros, apesar de simples, foi considerada um bom método de correção atmosférica. Sua associação com a normalização radiométrica mostrou-se capaz de diminuir as distorções radiométricas entre as imagens, o que para um processo de detecção de mudanças por análise direta ou pré-classificação, é fundamental.

A detecção de mudanças híbrida representa uma possibilidade interessante e eficiente nesta temática. A construção das imagens mudança, através de técnica baseada em pixels, foi fundamental para a classificação baseada em objetos. Seu uso no processo de segmentação possibilitou extrair os objetos que correspondem a mudanças de uma forma mais precisa e rápida, visto o que o tempo de processamento foi bem menor na comparação com o uso de todo o cubo multitemporal neste processo.

O mapeamento de mudanças realizado com auxílio das imagens desvio padrão apresentou os melhores resultados, gerando medidas de dispersão com um menor intervalo que a amplitude. Estas imagens de dispersão apresentam ainda grande potencial na discriminação das mudanças, detalhando trajetórias evolutivas na cobertura vegetal e uso da terra.

Contudo, é necessário testar o desempenho desta medida de dispersão em séries temporais maiores e imagens de sensores com menor resolução radiométrica. Desta maneira, pode-se verificar a possibilidade de replicação deste método de detecção de mudanças em diferentes paisagens, otimizando estudos de degradação das mesmas e ratificando sua importância para o monitoramento de mudanças no bioma Mata Atlântica.

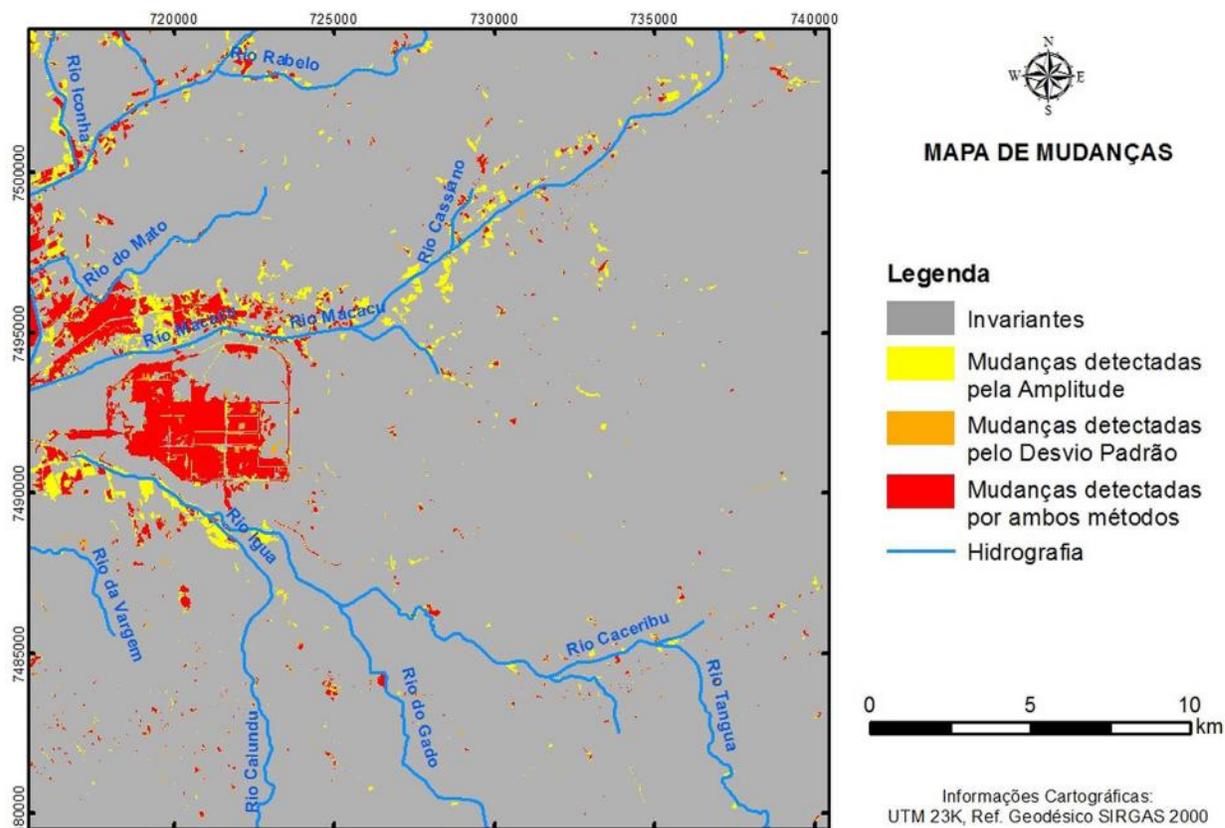


Figura 8. Mudanças encontradas na área de estudo com o uso das diferentes imagens mudança (amplitude e desvio padrão), pelo método híbrido de detecção de mudanças.

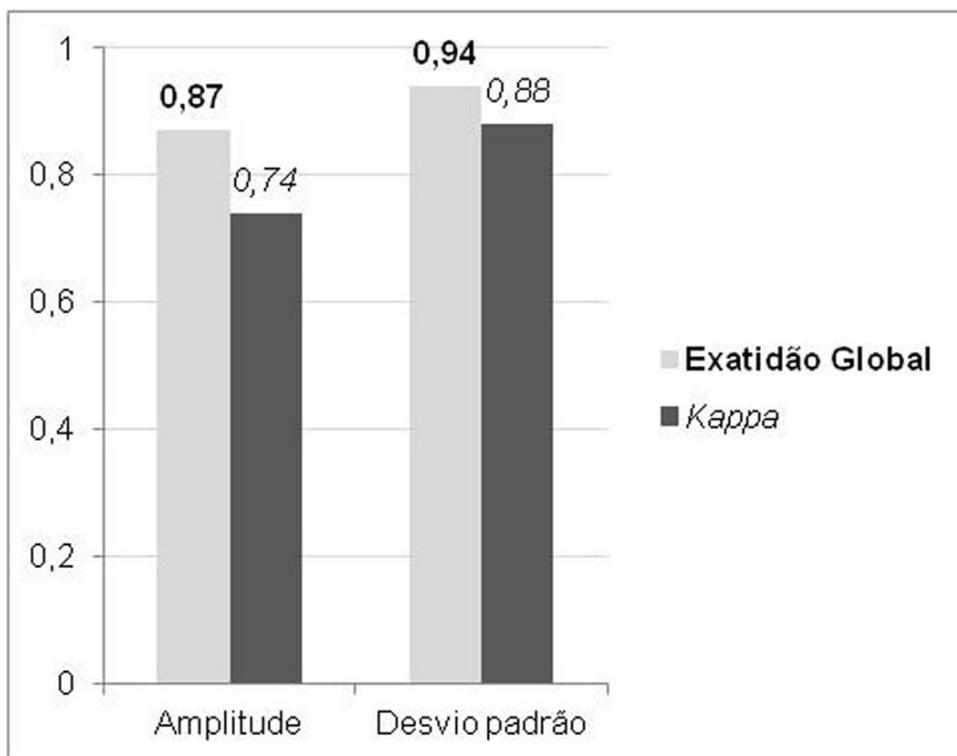


Figura 9. Comparação da exatidão global e índice kappa dos mapas de mudanças, utilizando a amplitude e o desvio padrão como imagem mudança.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Geografia Física (LAGEF), da Universidade Federal Fluminense (UFF); à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao CNRD (Center for Natural Resources and Development), pelo apoio a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Abreu, M. B. (2010). Análise Espaço-temporal da Cobertura e Uso da Terra no Estado do Rio de Janeiro de 1994 até 2007. Dissertação de Mestrado em Geografia, PPGG, UFRJ. Rio de Janeiro.
- Canty, M.J.; Nielsen, A.A.; Schmidt, M. (2004). Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 91, 441-451.
- Carvalho, L.M.T.; Fonseca, L.M.G.; Murtagh, F.; Clevers, J.G.P.W. (2001). Digital change detection with the aid of multiresolution wavelet analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18) 3871-3876.
- Chavez JR., P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multi-spectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24, 459-479.
- Chen, G., Hay, G. J., Carvalho, L.M.T., Wulder, M.A. (2012). Object based change detection. *International Journal of Remote Sensing*, 33(14) 4434-4457.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-76.
- Coppin, P. R., Bauer, M. E. (1996) Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote Sensing Reviews*, 13, 207-234.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., Lambin, E. (2004). Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 9, 1565-1596.
- Cronemberger, F. M. (2014). Paisagens da Serra do Mar: uma análise geocológica da dinâmica da paisagem. POSGEO, Tese de Doutorado em Geografia, UFF. Niterói, RJ, 133 pp.
- Cruz, C. B. M., Vicens, R. S., Rosário, L. S., Abreu, M. B., Almeida, P. M. M. & Cronemberger, F. M. (2009). Classificação orientada a objetos na geração do mapa de uso e cobertura do estado do Rio de Janeiro. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, RN. Anais, 7789-7796 pp.
- Cruz, C. B. M., Vicens, R. S., Seabra, V. S., Reis R. B., Faber, O. A., Arnaut, P. K. E. & Araújo, M. (2007). Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, SC. Anais, 5691-5698 pp.
- Deer, P. (1995). Digital Change Detection Techniques In: Remote Sensing. Technical Report Defensed Science and Technology Organization, Department of Defense United States of America, 169, 53 ppp.
- Eckhardt, D.W., Verdin, J. P., Lyford, G. R. (1990) Automated update of an irrigated lands GIS using SPOT HRV imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(11), 1515-1522.
- Hall, F. G., Strebel, D. E., Nickeson, J. E., Goetz, S. J. (1991). Radiometric Rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*, 35, 11-27.
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 525 pp.
- Jensen, J.R. (2007). *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Prentice Hall, Second Edition. 608 pp.
- Jiayna, G., Haigang, S., Guorui, M., Qiming, Z. (2008). A Review of Multi-Temporal Remote Sensing Data Change Detection Algorithms. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing, China.
- Kiel, R. (2008). Detecção de Mudanças no Uso e na Cobertura do Solo em uma Série Temporal de Imagens da Região da Campanha do Rio Grande do Sul. PPGSR, Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, UFRGS. Porto Alegre-RS.
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- Lu, D.; Li, G.; Moran, E. (2014) Current situation and needs of change detection techniques. *International Journal of Image and Data Fusion*, 5(1) 13-38.

- Lu D.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Moran, E. (2004) Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 2365-2407.
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20(1), 139-152.
- Mcdermid, G. J., Linke, J., Pape, A., Laskin, D. N., McLane, A. J., Franklin, S.E. (2008). Object-based approaches to change analysis and thematic map update: challenges and limitation. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34, 462-466.
- Mena, C. F. (2008) Trajectories of Land-use and Landcover in the Northern Ecuadorian Amazon: Temporal Composition, Spatial Configuration, and Probability of Change. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74, 737-751.
- Nelson, R.F. (1983) Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 49, pp. 1303-1314.
- Nielsen, A. A., Conradsen, K. & Simpson, J. J. (1998) Multivariate Alteration Detection (MAD) and MAF Postprocessing in Multispectral, Bitemporal Image Data: New Approaches to Change Detection Studies. *Remote Sensing of Environment*, 64, 1-19.
- Olsson, H. (1995). Reflectance calibration of Thematic Mapper data for forest change detection. *International Journal of Remote Sensing*, 16(1), 81-96.
- Peiman, R. (2011). Pre-classification and post-classification change-detection techniques to monitor land-cover and land-use change using multi-temporal Landsat imagery: a case study on Pisa Province in Italy. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (15), 4365-4381.
- Pimenta, M. L. F., Coura, P. H. F., Cruz, C. B. M., Lacerda, E. R. (2013). Estudo das incertezas da definição de parâmetros no processo de correção atmosférica. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, PR. Anais, 1915-1922 pp.
- Ponzoni; F.J., Shimabukuro, Y.E. (2009). Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. Ed. Parêntese, São José dos Campos, SP, 2ª edição. 144 pp.
- Sallaba, F. (2009). Potential of a Post-Classification Change Detection Analysis to Identify Land Use and Land Cover Changes: A Case Study in Northern Greece. Seminar Series, n. 159. Geobiosphere Science Centre, Lund University, Sweden, 49 pp.
- (2009). Classificação orientada a objetos na geração do mapa de uso e cobertura do estado do Rio de Janeiro. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, RN. Anais, 7789-7796 pp.
- Cruz, C. B. M., Vicens, R. S., Seabra, V. S., Reis R. B., Faber, O. A., Arnaut, P. K. E. & Araújo, M. (2007). Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, SC. Anais, 5691-5698 pp.
- Deer, P. (1995). Digital Change Detection Techniques In: *Remote Sensing*. Technical Report Defensed Science and Technology Organization, Department of Defense United States of America, 169, 53 ppp.
- Eckhardt, D.W., Verdin, J. P., Lyford, G. R. (1990) Automated update of an irrigated lands GIS using SPOT HRV imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(11), 1515-1522.
- Hall, F. G., Strebel, D. E., Nickeson, J. E., Goetz, S. J. (1991). Radiometric Rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*, 35, 11-27.
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 525 pp.
- Jensen, J.R. (2007). *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Prentice Hall, Second Edition. 608 pp.
- Jianya, G., Haigang, S., Guorui, M., Qiming, Z. (2008). A Review of Multi-Temporal Remote Sensing Data Change Detection Algorithms. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing, China.
- Kiel, R. (2008). Detecção de Mudanças no Uso e na Cobertura do Solo em uma Série Temporal de Imagens da Região da Campanha do Rio Grande do Sul. PPGSR, Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, UFRGS. Porto Alegre-RS.
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- Lu, D.; Li, G.; Moran, E. (2014) Current situation and needs of change detection techniques. *International Journal of Image and Data Fusion*, 5(1) 13-38.

- Lu D.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Moran, E. (2004) Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 2365-2407.
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20(1), 139-152.
- Mcdermid, G. J., Linke, J., Pape, A., Laskin, D. N., Mclane, A. J., Franklin, S.E. (2008). Object-based approaches to change analysis and thematic map update: challenges and limitation. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34, 462-466.
- Mena, C.F. (2008) Trajectories of Land-use and Landcover in the Northern Ecuadorian Amazon: Temporal Composition, Spatial Configuration, and Probability of Change. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74, 737-751.
- Nelson, R.F. (1983) Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 49, pp. 1303-1314.
- Nielsen, A. A., Conradsen, K. & Simpson, J. J. (1998) Multivariate Alteration Detection (MAD) and MAF Postprocessing in Multispectral, Bitemporal Image Data: New Approaches to Change Detection Studies. *Remote Sensing of Environment*, 64, 1-19.
- Olsson, H. (1995). Reflectance calibration of Thematic Mapper data for forest change detection. *International Journal of Remote Sensing*, 16(1), 81-96.
- Peiman, R. (2011). Pre-classification and post-classification change-detection techniques to monitor land-cover and land-use change using multi-temporal Landsat imagery: a case study on Pisa Province in Italy. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (15), 4365-4381.
- Pimenta, M. L. F., Coura, P. H. F., Cruz, C. B. M., Lacerda, E. R. (2013). Estudo das incertezas da definição de parâmetros no processo de correção atmosférica. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, PR. Anais, 1915-1922 pp.
- Ponzoni; F.J., Shimabukuro, Y. E. (2009). Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. Ed. Parêntese, São José dos Campos, SP, 2ª edição. 144 pp.
- Sallaba, F. (2009). Potential of a Post-Classification Change Detection Analysis to Identify Land Use and Land Cover Changes: A Case Study in Northern Greece. Seminar Series, n. 159. Geobiosphere Science Centre, Lund University, Sweden, 49 pp.

## **CAPÍTULO 7**

### **HISTORIA AMBIENTAL DE LA REGIÓN HUASTECA: PRINCIPALES CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE SUELO ENTRE 1521 Y 2011**

**ENVIROMENT HISTORY OF THE HUASTECA REGION: MAIN LAND COVER  
AND LAND USE CHANGES BETWEEN 1521 AND 2011**

# HISTORIA AMBIENTAL DE LA REGIÓN HUASTECA: PRINCIPALES CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE SUELO ENTRE 1521 Y 2011

## ENVIROMENT HISTORY OF THE HUASTECA REGION: MAIN LAND COVER AND LAND USE CHANGES BETWEEN 1521 AND 2011

Carmelo Peralta-Rivero<sup>1</sup>, Carlos Contreras Servín<sup>2</sup>, M. Guadalupe Galindo Mendoza<sup>2</sup> Dr. Luis Armando Bernal Jacomé<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup>Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria. Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, San Luis Potosí, México.

Autor de correspondencia: peralta.carmelo@gmail.com

### RESUMEN

Históricamente la región Huasteca se ha caracterizado por la producción de recursos forestales maderables y no maderables debido a la gran superficie cubierta de selvas. No obstante, ha existido una pérdida considerable del recurso forestal que ha generado un impacto sobre sus ecosistemas. El objetivo del estudio fue evaluar en materia de historia ambiental, los principales cambios de cobertura y uso de suelo (CCUS) en la región Huasteca, en diferentes etapas de la historia mexicana. Para ello se realizó un análisis estratigráfico en el cual se consideraron las etapas Precolonial, la Colonia y Postcolonial, el Porfiriato y la etapa Actual. Se realizó una revisión bibliográfica y hemerográfica así como de fuentes primarias como los expedientes del Archivo General de la Nación. Asimismo, se analizó información cartográfica de diferentes épocas a partir de la cuales se hicieron inferencias sobre CCUS y procesos de deforestación. Se observa que durante la etapa Precolonial el paisaje aún se encontraba con un impacto bajo o nulo, sin embargo, con el inicio de la etapa Colonial se iniciaron las transformaciones cuyos impactos repercutieron en los CCUS de la región. En el Porfiriato el desarrollo de la Huasteca estuvo basado en actividades productivas de acumulación del capital y se implementó el Ferrocarril Mexicano, el cual incentivó a las actividades agrícolas, ganaderas y petroleras dejando consigo impactos severos en la región. En la etapa Actual, los cambios en el paisaje fueron causados por una serie de eventos que van desde la el reparto agrario, expansión de la agricultura y la ganadería. Se estima que hasta el 2011 más del 80% de la Huasteca ha sufrido algún

tipo de transformación, y sus remanentes forestales conservados se encuentran sobre todo en las tierras altas de la Sierra Madre Oriental.

**Palabras clave:** Historia Ambiental, Análisis Estratigráfico, CCUS, Deforestación, Huasteca.

### ABSTRACT

Historically the Huasteca region has been characterized by the production of timber and non-timber forest resources due to the large area covered by forests. However, there has been a considerable loss of forest resources which has generated an impact on their ecosystems. The objective of the current study was evaluated in environmental history, the main changes in cover and land use (LCLU) in the Huasteca region at different stages of Mexican history. For this, we carried out a stratigraphic analysis in which different stages were considered like the Precolony, Colony and Postcolony, the Porfiriato and the Actual stage. A literature and hemerographic review, as well as expedients of the General Archive of the Nation, was performed. Alike, cartographic information was reviewed from which inferences were made of the main land cover and land use changes (LCLUC) and deforestation process. We observe that during the Precolony stage the landscape was still with low or without impact, however, with the start of the Colony and postcolonial stage, the transformations and impacts in the region had repercussions on LCLUC. At the Porfiriato, the development in the Huasteca was based on productive activities of capital accumulation and the Mexican Railroad was implemented, which encouraged the agricultural, livestock and fuel oil activities, leaving severe

impacts in the region. At the Actual stage, changes in the landscape were caused by a series of events ranging from land distribution, expansion of the agriculture and the livestock. We estimated that until 2011 more than 80% of the Huasteca has suffered some kind of transformation, and their conserved forest remnants are located especially in the highlands of the Sierra Madre Oriental.

**Keywords:** Environmental History, Stratigraphic Analysis, LCLUC, Deforestation, Huasteca.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según un consenso entre diferentes analistas de las cuestiones territoriales, teorías neoclásicas y desarrollistas respecto al deterioro ambiental en México y por consiguiente en la Región Huasteca, se debe a los efectos que genera el desarrollo de acumulación del capital. Entre algunas se los efectos de este modelo se pueden mencionar a la superconcentración urbana, el creciente deterioro de las condiciones de vida en las ciudades, la metropolización de algunas ciudades medias, el empobrecimiento constante de muchas áreas rurales, el deterioro de los recursos naturales, la superconcentración social de los excedentes, la ampliación de la pobreza y otros (Aguilar-Robledo, 2001).

Esas transformaciones son efectos del modelo de acumulación del capital al producir nuevas configuraciones del paisaje en espacios donde instala sus propios modos de producción (Harvey, 1996; Aguilar-Robledo, 2001). Asimismo, la aplicación de políticas territoriales en México, siguiendo ese modelo de desarrollo no han cumplido con las expectativas y sus resultados han sido escasos (Aguilar-Robledo, 2001).

En el caso de la Región Huasteca, esta ha sido impactada por diversos grupos sociales que en su búsqueda por satisfacer sus diversas necesidades ha generado modificaciones en el su entorno ambiental, propiciando cambios en la cobertura y uso de suelo, lo que a su vez se ha traducido en repercusiones negativas sobre sus ecosistemas (Quinteros, 2012; Hernández, 2012).

Históricamente esta región ha sufrido cambio sustanciales en el paisaje, y se estima que antes del año 1976, la Huasteca había cambiado su entorno natural por actividades antrópicas en un 62.65% (41,143.28 km<sup>2</sup>), y posteriormente, en el periodo 1976-2007, los cambios aumentaron en 17.43% (11,446.75 km<sup>2</sup>), siendo el área total modifica de 52,590.03 km<sup>2</sup> (80.08%) (Peralta-Rivero et al., 2014a; 2014b).

No obstante, el deterioro ambiental en la Huasteca tienen sus orígenes ya desde la época precolonial, colonial (Quinteros et al., 2014) y se ha ido intensificando conforme a avanzado la modernización capitalista, es decir, aumento de la actividad agrícola y pecuaria principalmente (Aguilar-Robledo, 2001).

La idea de analizar los cambios de uso de suelo y modificación del paisaje en materia de historia ambiental, es relevante para analizar los cuellos de botellas que se han desarrollado en los diferentes periodos que han vivido las sociedades en esta región, lo cual nos permite correlacionar el deterioro ambiental como producto de fenómenos sociales, económicos y políticos.

De esta manera, tomando en cuenta antecedentes sociales, económicos, ambientales y políticos, en el presente estudio se retoma los acontecimientos más relevantes en la historia ambiental de la Huasteca. La finalidad fue extraer las principales causas de su deterioro y para demostrar estos acontecimientos, se establecieron etapas significativas de la transformación del paisaje natural. Es decir, el análisis está basado en etapas relevantes de la Historia de desarrollo de México como la Precolonial, la Colonial y Postcolonial, el Porfiriato y la etapa Actual.

Por lo mencionado, el presente trabajo se planteó como objetivo principal evaluar en materia de historia ambiental, los principales cambios de cobertura y uso de suelo en la Región Huasteca en diferentes etapas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

La Huasteca es una región, que se encuentra compartida por diversas entidades político-administrativas, cada una de ellas se denomina según el estado de la república a la que pertenece. Así se tiene a la Huasteca Hidalguense, Potosina, Tamaulipeca, Veracruzana, y hay quienes consideran que existe una Huasteca Poblana y otra Queretana (Guzmán, 1987; Téllez, 1992), las cuales son tomadas en cuenta en el presente análisis (Figura 1).

Para contextualizar a la Huasteca, se pueden encontrar desde definiciones históricas hasta culturales, pasando por las cinematográficas, geográficas, biológicas, políticas, arqueológicas, "oficiales", económicas, socioétnicas, y las de seguridad nacional (Escobar & Carregha, 2002). Para una mejor comprensión y definición de lo que es la

Región Huasteca, habría que tratar de vincular en el tiempo y en el espacio, a la sociedad, la cultura, el medio ambiente y la historia.

Según Escobar & Carregha (2002), una región no puede definirse de acuerdo a una delimitación fija, no movernos con ella a lo largo del tiempo sin hacer una serie de ajustes necesarios, sino, por el contrario, observarla como un ente vivo en constante movimiento, constituido por un espacio o uniforme, sin una “frontera” lineal precisa y con una estructura interna propia, ya sea polarizada, nodal, funcional, o sistémica y donde la interrelación entre sus diversos actores es constante. Esto lleva a observar expansiones y contracciones del mismo espacio estudiado, a través de diversos y variados momentos y procesos históricos.

Además, se entiende por región como un concepto no determinado por el factor geográfico, si no por factores tales como la territorialidad y los intereses comunes inherentes en la sociedades que se desarrollan en ese espacio (Rangel & Salazar, 2002).

Por tales razones, el análisis histórico ambiental que realizamos no puede limitarse a unos de los contextos o límites ya mencionados, el análisis está enfocado en todos aquellos antecedentes directos e indirectos que está vinculada a la región Huasteca. Por ello, cuando se habla de la Región Huasteca habrá que preguntarse de dónde proviene tal término “Huasteca”. Ariel De Vidas (2013) describe bien este vocablo y basándose en diferentes autores indica que tiene un origen múltiple. Por su lado, Sahagún (1977) plantea que el término provendría del vocablo náhuatl *cuextlan* que designa un lugar geográfico pero que podría también provenir del nombre del soberano original de ese pueblo, llamado Cuextecatli. Según Van Zantwijk (1989) sería el lugar de *cuextli*; el sentido de la raíz *cuex* en náhuatl se refiere a la sinuosidad, la redondez o curvatura, por lo que el topónimo significaría, en el mismo orden de ideas, “caracol” (Molina, 1977) y estaría relacionado, en tal caso, con las conchas de caracoles marinos que adornaban los cinturones de los guerreros huastecas (Van Zantwijk, 1987). Por otro lado, según Sahagún (1977), esta región tropical y fértil se llamaba también, en el período prehispánico (precolonial) “Tonocaltlapan” que significa el lugar de abastecimiento, de abundancia, o “Xochitlapan” lugar de las flores.

Según Meade (1942) el término hispanizado Huasteca significa “lugar de los cúes” que eran montículos artificiales en los que se establecían los

santuarios huastecas. Por otro lado, si se deja de lado la etimología popular, antigua y contemporánea, sería más probable, lingüísticamente hablando, que este nombre sea un apócope de Huastecapan, lugar de abundancia de huax (*Leucaena esculenta* Benth.), un tipo de calabaza y símbolo de la fertilidad (Ariel De Vidas, 2013; Klipper et al., 1993; Alcorn, 1984; Martínez, 1979).

## 2.2 Metodología

Para analizar los cambios de cobertura y uso de suelo, la deforestación y en sí la transformación del paisaje en la Región Huasteca se utilizó la noción paisajística de Philippe Pinchemal el cual establece lo siguiente:

“Todas las fuerzas combinadas contribuyen a la creación de un paisaje, el cual puede analizarse considerando tres tramos diferentes: la apropiación, la organización o conjunto de los elementos de la infraestructura y la utilización del suelo”.

A partir de estos tres tramos de relaciones complejas, el análisis del paisaje puede realizarse bajo tres aspectos: 1) morfológico o análisis de las formas de los diversos elementos; 2) estratigráfico, es decir, cuando se determina los elementos que corresponden a fases cronológicas diversas y; 3) dinámico (Contreras, 2011).

En lo que se refiere al tema de investigación se utilizó el análisis estratigráfico, ya que este método se ajusta al que se suele utilizar en los estudios de geografía del pasado o de historia ambiental y que coincide además al planteamiento que hacen otros autores, como Ramdle (1966), quien considera lo siguiente:

“La geografía histórica o historia ambiental, no puede limitarse a reconstruir el pasado, tomando este, en fases parciales o estáticas, ya que esa no es la misión central de la historia, sino, por sobre todo integrar una continuidad coherente y dinámica que por motivos de sistema es más práctico fijar etapas, cortes en el tiempo”.

Por lo expuesto, se realizó una revisión bibliográfica y hemerográfica así como fuentes de primera mano cómo los expedientes del Archivo General de la Nación (Instituciones Coloniales, Instituciones Gubernamentales: época moderna y contemporánea) e información cartográfica a partir de la cuales se hicieron inferencias en historia

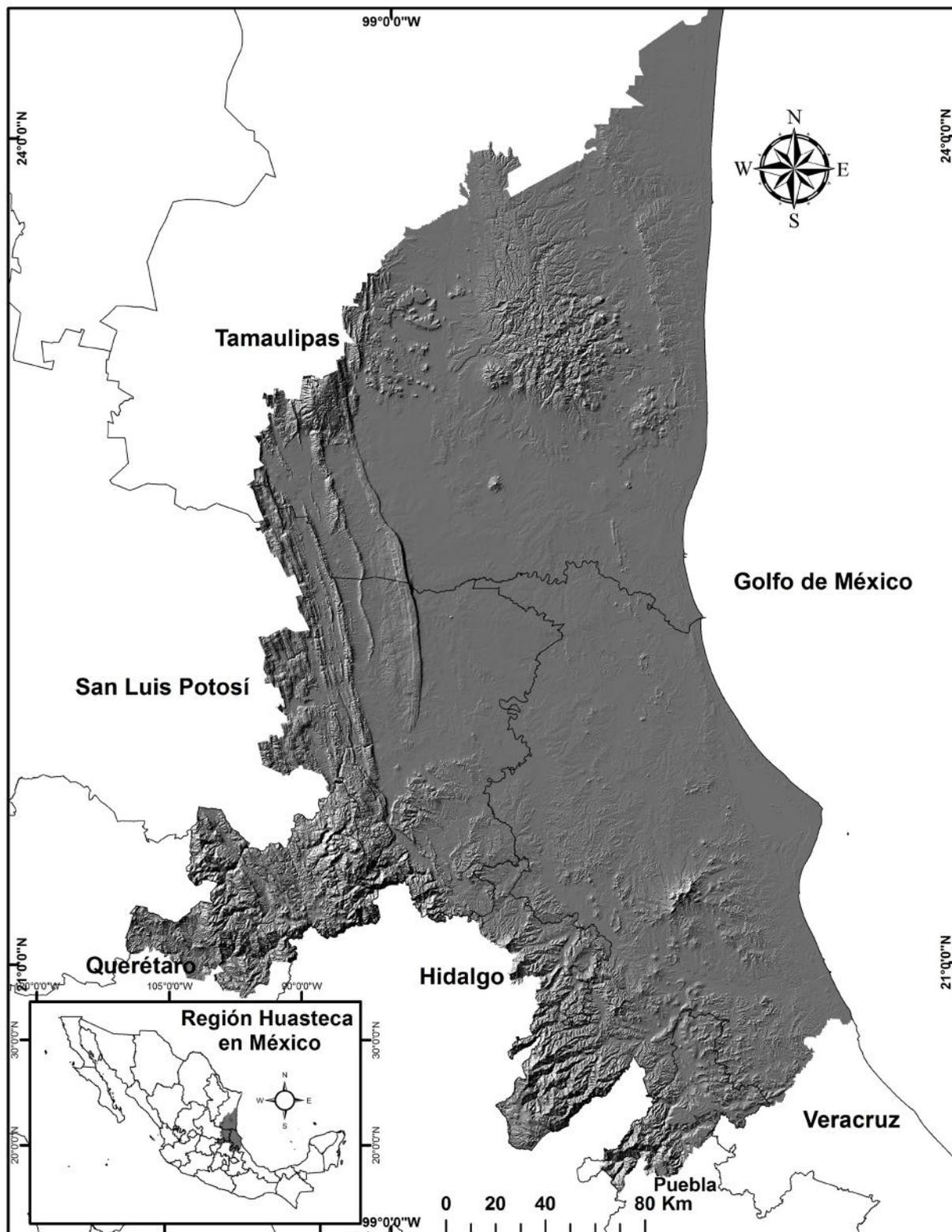


Figura 1. Localización de la Región Huasteca de México y sus entidades administrativas.

ambiental sobre los cambios de uso de suelo y procesos de deforestación en la Región Huasteca considerando cuatro etapas cronológicas: a) etapa precolonial; b) etapa colonial y post colonial; c) etapa del porfiriato; d) etapa actual.

Adicionalmente se tomó en cuenta el concepto de los modos de producción el cual es muy útil cuando se analizan cambios en el paisaje en etapas o cortes sincrónicos de análisis. Según esta fundamentación, el presente trabajo se apoya en este concepto para explicar los cambios ambientales como los ocurridos en materia de cobertura y uso de suelo desarrollados en la Región Huasteca, mediante ejemplos que consideran lapsos variables de tiempo (etapas mencionadas) donde el impacto de un proceso productivo ha afectado al paisaje y los ecosistemas, que para el presente análisis se trata de la Huasteca.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Etapa precolonial (antes de 1521)

Para el presente análisis, la etapa precolonial se la considera hasta antes del año 1521 tomando en cuenta en análisis del cambio de paisaje en México presentado por D Luna et al. (1992a). para esta etapa (Figura 2).

La Región Huasteca pudo haberse definido como tal entre los años 200 y 900 d.C. (Ramírez, 2000; Ariel de Vidas, 2013), y existía una cultura con una organización política formada por señoríos, quienes eran constituidos por grupos étnicos como los Otomíes, Tepehuas, Totonacos, Pames, Náhuatl y Téneek (Reyes et al., 2006). Para ese entonces, es evidente que en la Huasteca existían diferentes grupos que aprovechaban los recursos naturales. Según Pérez-Zeballos (1983), desde sus inicios esta región caracterizó por su gran riqueza biológica y cultural aludiendo incluso la denominación por los pobladores mesoamericanos de “Tonocatlalpan” o “lugar de bastimentos”, es decir, un lugar dónde existían una infinidad de recursos útiles para provisiones.

La presencia de distintos grupos étnicos, Huasteco, Nahua Tepehua, Otomí y Totonaco le dieron a la Huasteca prehispánica una particular complejidad. La impresión general de los españoles tuvieron de la Huasteca era la de una provincia muy rica en alimentos y densamente poblada; así lo sugirieron las apreciaciones de Francisco de Garay (1519-1521) y posteriormente las de Diego Ramírez (1552), fray Nicolás de San Pablo (1554) y el arzobispo Pedro de Moya y Contreras (1574) (Briceno et al., 1993).

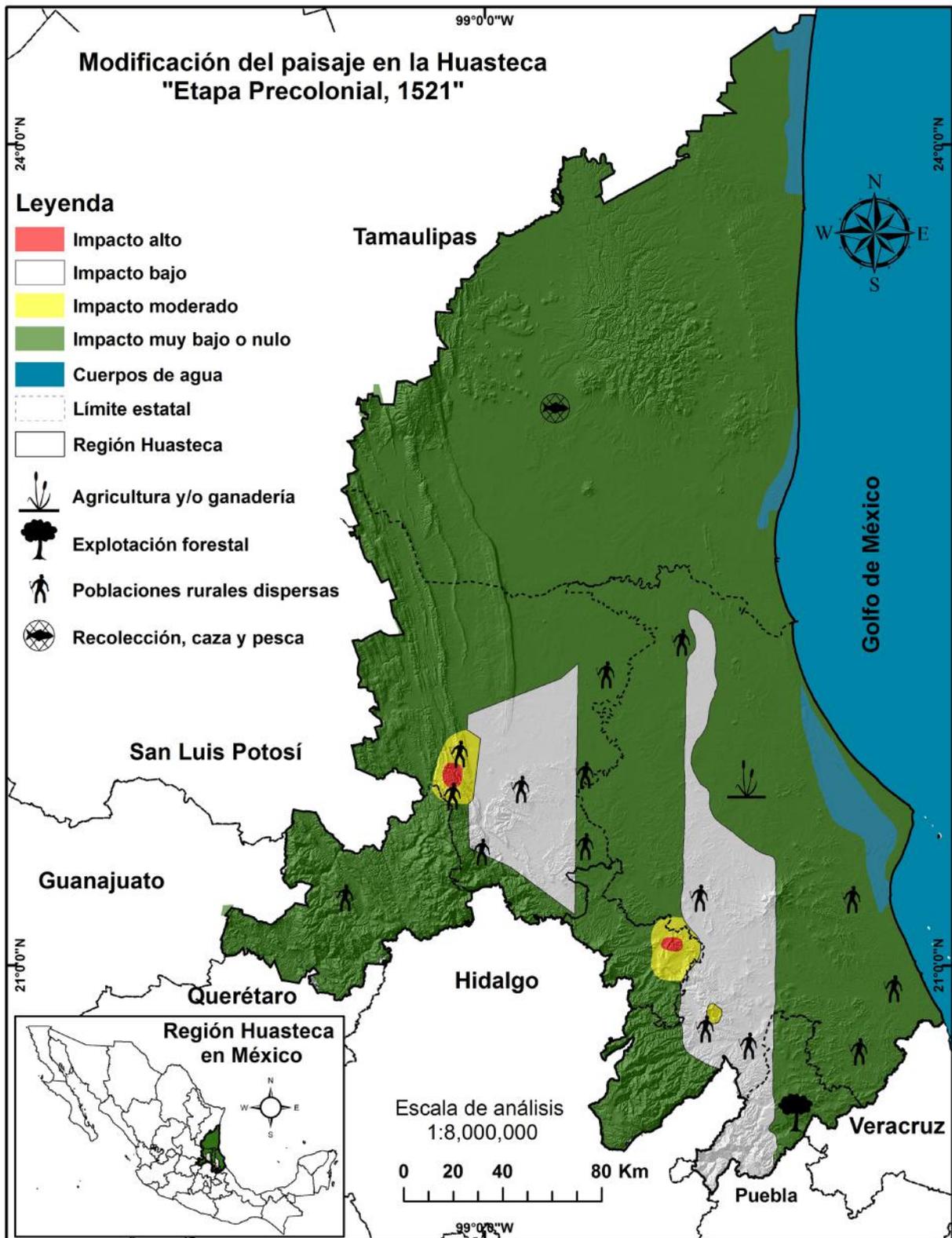
La población en esta región ascendía entre 1,094,100 y 1,309,812 habitantes tomando en cuenta sólo a los Pames, Náhuatl y Téneek (Pérez-Zeballos, 1983); mientras que Borah & Cook (1963) también indican que la población era de aproximadamente un millón de habitantes que comparado con la población del año 2010 (3,456,903 habitantes) (CONABIO, 2012), parece ser que había una gran densidad poblacional sobre el territorio para los años de la etapa precolonial.

Para ese entonces, la actividades relacionadas con el uso de suelo demuestran que existían una gran variedad de productos como tubérculos como el “quequexquic” o el “camotli”, así como todos los géneros del algodón y una gran variedad de flores por lo que también fue llamada como “Suchitlalpan” es decir “lugar de rosas o flores” (Pérez-Zeballos, 1983).

Los Huastecos sembraban y consumían maíz, calabaza, cacao, árbol del hule y magueyes entre algunos. Estas prácticas agrícolas, constituyeron el primer cambio de uso del suelo realizado en esta región, proceso que se modificaría en nuevas actividades posterior a la invasión de los españoles (Pérez-Zeballos, 1983).

No obstante, estudios como el de Pérez-Zeballos (1983) y D Luna et al. (1992a), demuestran que para ese entonces que el paisaje de esta región se mantenía con un impacto muy bajo (Figura 2). De acuerdo con la descripción de algunos indígenas, informantes de españoles durante la conquista, la Huasteca es referida como un lugar en su mayoría montañoso, lleno de árboles y de palmeras, donde proliferaban plantas medicinales, conocidas y utilizadas por los Huastecos. En cuanto a las especies animales que en ella se encontraban eran descritos venados, papagayos, guacamayas, faisanes, y pavos silvestres (Pérez-Zeballos, 1983).

En la figura dos se puede apreciar que en la época precolonial el impacto sobre la cobertura y usos de suelo se desarrollaba sobre todo en la parte sur de la Huasteca, lugar donde se encontraban los asentamiento o población rural dispersa de los grupos indígenas ya mencionados previamente. Asimismo, el impacto fue muy bajo o nulo en la parte norte de la Huasteca (color verde), en dónde las actividades eran más de recolección, caza y pesca, sobre todo en Tamaulipas. Sin embargo, ya se podía observar indicios de una modificación del paisaje de una forma moderada en algunos puntos de la región suroeste (color amarillo). De igual forma, ya existían prácticas agrícolas y/o ganadería itinerante en la región (observe el símbolo V) con un bajo impacto en el paisaje.



Elaboración propia sobre la base de:  
Carta sobre la influencia humana sobre el medio ambiente 1; época precolonial ca. 1521. D Luna et al., 1992a.

Figura 2. Representación de la modificación de los diferentes tipos de paisajes en la Región Huasteca, etapa Precolonial.

No cabe duda que esta región permaneció bajo el dominio de los diferentes grupos indígenas prehispánicos hasta la llegada de los españoles, responsables del cambio de destino de esta región, cuyos procesos productivos ocasionarían cambios de cobertura y uso de suelo, una nueva configuración del paisaje y otras transformaciones económicas, sociales y ambientales (inicio de la etapa colonial).

### 3.2 Etapa colonial (1522-1821)

La etapa colonial se la considera aproximadamente entre 1522 y 1821 tomando en cuenta en análisis del cambio de paisaje en México presentado por D Luna et al. (1992b). Para el presente análisis, la post colonia comprende entre los años 1822 y 1880.

Para el año 1521, Francisco de Garay intento poblar la región Huasteca, pero sus múltiples expediciones a lo largo de Pánuco terminaron igualmente en fracasos ante la resistencia indígena de ese entonces (en Ariel de Vidas, 2013). En octubre de 1522, Hernán Cortés vino al rescate de Garay y sus tropas, y trataba ante todo de no ceder a otro la gloria y el lucro de una nueva conquista (en Ariel de Vidas, 2013). A comienzos de 1523, Cortés fundó la Villa de Santisteban del Puerto "Pánuco", donde estableció a 120 españoles a fin de administrar a la población recientemente sometida (en Ariel de Vidas, 2013). Esos eventos fueron el inicio de la etapa colonial y el inicio de las transformaciones en la Región Huasteca.

A partir de esta irrupción española, la Huasteca experimentó muchos cambios. En 10 años su población disminuyó drásticamente debido, por un lado, a la venta de esclavos que desde 1524 se enviaban de esta zona al Caribe y la Antillas. Por otro, las epidemias, como el sarampión, que azotaron la región antes de 1532. Asimismo, algunos estudios demuestran que la presencia de nuevas enfermedades aparecieron entre los años de 1545 y 1548 en la que hubo un enorme descenso de la población (Ramos, 2007). De esta manera, las poblaciones de las costas de toda América sufrieron las tasas más elevadas de etnocidio. La reducción de la población ocasiono una disminución de la fuerza de trabajo (Briceño et al., 1993).

Diezmada la población, muchos antiguos asentamientos fueron abandonados paulatinamente. Hacia 1533, grandes extensiones de tierra escapaban al control de los indígenas y tomaba forma la reorganización territorial colonial (Briceño et al., 1993).

Las sucesivas bajas demográficas de 1545-1548 y de 1576-1581, impusieron nuevos patrones en el

sistema (antes encomiendas etc), que permitieron a la ya diezmada nobleza indígena volver a usufructuar por poco tiempo el poder. Para mediados del siglo XVI, en la Huasteca se realizaron las primeras congregaciones o reducciones, como sería el caso de Huejutla. Se hicieron con el fin de controlar de manera más efectiva la fuerza de trabajo indígena y facilitar la obra evangelizadora. Este hecho marco el comienzo de los cambios radicales en la tenencia de tierra, posiblemente por la baja demográfica (Briceño et al., 1993).

Ya en 1532 Gómez Nieto mencionaba que la población de pueblos huastecos en su integridad había abandonado sus localidades para establecerse más al norte, entre los pueblos nómadas no pacificados, a fin de evitar el contacto con los españoles (agn, Congregaciones, f. 80v, en Ariel de Vidas (2013). Esos movimientos migratorios se adivinan en el mapa de la Huasteca dibujado por Abraham Ortelius a fines del siglo xvi, en el que se observa un número importante de localidades con topónimos huastecos –con el prefijo inicial tan = lugar– al norte del Pánuco, frente a un relativo vacío al sur y a lo largo de la costa (Figura 3).

La figura tres nos muestra que la población se adentra a otras áreas de la Huasteca lo que quiere decir que la región empieza a ser más explorada en los primeros años de la colonia. Asimismo, dicho análisis del movimiento migratorio en conjunto con el mapa de Ortelius coinciden con la modificación del paisaje en la parte norte de la Huasteca y una recuperación del paisaje en la zona sur (Figura 4). Posteriormente, para el norte de la Huasteca se reportan actividades de ganadería extensiva y pastoreo, agricultura de riego, agricultura de temporal y el impacto sobre el paisaje ya es clasificado como alto en algunas áreas para finales de la colonia hacia el año 1821 (Figura 4) .

Volviendo al inicio de la colonia, una vez estando la presencia española en la Huasteca, esta trajo consigo la incorporación de la ganadería, el cultivo de nuevos productos y una posición muy particular para la Huasteca que la llevó a ubicarse como una importante zona comercial y de abastecimiento. El ganado vacuno se lo introdujo desde el siglo XVI como negocio exclusivo de la gente de razón, lo cual transforma el entorno natural por la necesidad de los cultivos ganaderos, indispensables para tal actividad (Cabrera, 2002).

La disminución de la fuerza de trabajo que se dio por la disminución de la población indígena hasta del 90% (Ariel de vidas, 2013), permitió la habilitación

de grandes extensiones de espacios despoblados, lo que generó el ingreso de los españoles sin mayor problema y con ellos la invasión del ganado. Esta colonización se desarrolló principalmente en las zonas de los valles, ya que los españoles preferían las tierras planas dejando en manos de los pocos indígenas que quedaban las zonas ubicadas en las sierras (Ramírez, 2000). El uso del suelo condicionó de alguna manera decisiva tanto el tipo de tenencia como los niveles de intervención en el paisaje, ocasionando cambios significativos en esta región (Quintero, 2012).

En relación de la introducción de ganado por los españoles, la hipótesis que menciona Aguilar-Robledo (2001), es que a pesar de que en algunas décadas del siglo XVI en la Huasteca (región de San Luis Potosí) el crecimiento del ganado fue explosivo, el débil desarrollo del sistema de tenencia de la tierra, la movilidad tanto de ganado estante como

de trashumante, los fenómenos meteorológicos, el ataque de fieras, y otros factores mantuvieron el hato regional a un nivel tal, por lo que se cree que su repercusión ambiental osciló de moderada a baja durante todo el virreinato. Por lo mencionado, Aguilar-Robledo, (2001) indica que el impacto de la ganadería en la parte de Huasteca (región de San Luis Potosí) fue bastante moderado, tal como lo refleja el mapa de modificación del paisaje presentado D Luna et al. (1992b) (Figura 4).

Aguilar-Robledo (2001) también menciona que aunque en los datos de la Huasteca Potosina son endeblés, existen evidencias de que esta región participó del auge ganadero. Por ejemplo, observaciones del historiador Juan Suárez de Peralta, quien llegó a afirmar que para finales del siglo XVI por el rumbo de Valles en las tierras calientes de la Huasteca Potosina, se reunían jinetes ganaderos lo cuales poseían millares de estos animales. El



Figura 3. Primer mapa de la Huasteca de Abraham Ortelius a fines del siglo XVI. Fuente: Mapa publicado en Ariel De Vidas (2013).

crecimiento del hato ganadero se dio entre 1530 y 1570 y para finales del siglo XVI y comienzos de siglo XVII la región cayó en una crisis, lo cual se refleja en las diversas ordenanzas (de la Mesta por ejemplo) que hacían énfasis de tal situación (Aguilar-Robledo, 2001). La trashumancia fue muy importante para que el ganado no impacte a los ecosistemas, lo cual se evidencia que se dio hasta el siglo XVIII.

Esta trashumancia estaba dirigida a prevenir el sobrepastoreo, de algún modo alentado por el modo de tenencia, y por lo mismo, a evitar la degradación ambiental. También la legislación colonial alentaba una política conservacionista, por ejemplo controlaban la quema de pasto, la deforestación circundante a la minería y ganadería entre algunas (Aguilar-Robledo, 2001).

Sin embargo, pese a la explosión ganadera en el siglo XVI, ésta decayó en los siguientes años. Por ejemplo, Monroy de Martí menciona que en 1819 sólo había un total de 13,175 cabezas de ganado mayor, 675 cabras trashumante y tan solo 303 ovejas, es decir 978 cabezas de ganado menor (Aguilar-Robledo, 2001), asimismo, se menciona que este censo se realizó luego de una gran mortandad que sufrió la región luego de dos huracanes en 1818.

Otro caso en la Huasteca fue el caso en Altamira de Tamaulipas entre 1820-1824, sobre todo para el último año, no solo la actividad comercial había cesado, sino que incluso la cría de ganado disminuyó significativamente. De 16,056 cabezas de ganado que había en 1820, quedaban sólo 7,373. Los que elaboraron las estadísticas indican algunas causas naturales como la escasez de agua que limitó a la ganadería (Galicía, 2002).

Está claro que el hato ganadero está por debajo a lo que existió en el siglo XVI, en donde se indica que un ganadero tenía como mínimo unas 20,000 cabezas de ganado y otros entre 150,000 vacas. Sin embargo, es muy difícil inferir con certeza sobre estos cambios y para ello se necesita una investigación más exhaustiva del caso.

Aguilar-Robledo (2001) indica que la tendencia de decrecimiento de la ganadería no volvió a cambiar hasta principios del siglo XX donde hubo un aumento considerable de ganado. Asimismo, menciona que fue hasta la puerta en marcha de la “revolución silenciosa” asociada a la introducción de pastos africanos, la introducción del alambre de púas y los bóvidos que sustituirían al Criollo, entre finales del siglo XIX hasta principios del siglo XX que la Huasteca Potosina, como otras regiones

tropicales, sufriría una transformación radical de sus ecosistemas (empiezo de la industrialización en México e inició de la etapa del porfiriato).

Por otro lado, entre los años 1810-1821 fueron un periodo decisivo para que los grupos de poder existentes en la Huasteca potosina consolidaran su presencia en la región, aprovechando el estado de guerra. Esta consolidación se dio a través de la actividad comercial desarrollada y la ocupación de cargos militares y burocráticos. La consolidación del poder se inició a mediados del siglo XVIII, con el poblamiento del Nuevo Santander. La colonización de las tierras y la fundación de pueblos y villas favorecieron la expansión del comercio, de la producción agrícola y ganadera y la explotación de recursos naturales, como la sal de las regiones costeras. Santiago de los Valles en San Luis Potosí; empezó a ser un punto de producción y venta de ganado, sino que hacia la segunda década del siglo XIX también se convirtió en sede del poder político al desplazar a Aquismón y Tancanhuitz, antiguas cabeceras del poder político durante el siglo XVIII (Loyola, 2002).

La apertura de un puerto en Tampico se convirtió en un factor importante para la región, pues no sólo favorecía el comercio para el noreste novohispano al permitirles la salida y entrada de mercancías de regiones mineras como San Luís, sino que también facilitaba que este comercio se extendiera a regiones norteñas. Aunque no hay un estudio sobre la población en la Huasteca, es seguro que a partir de la segunda mitad del siglo XVIII hubo un crecimiento del número de habitantes, de su composición étnica y de asentamientos en un nivel regional (Loyola, 2002).

En pocas palabras, para tener un panorama general de la época colonial, la Huasteca estuvo articulada de manera dinámica al sistema económico colonial novohispano y contribuyó al desarrollo europeo.

### **3.2.1 Fenómenos naturales y antrópicos que modificaron el paisaje**

Otros fenómenos con los que se puede hacer inferencias respecto al cambio del paisaje en la Huasteca, por las actividades humanas, son aquellas relacionadas por ejemplo a la sequía que perjudicaba a la agricultura y la cantidad de ganado que se producía en ese entonces que muy bien pudieron influir en el del cambio regional de la cobertura forestal y usos de suelo en la etapa colonial. Asimismo, los conflictos sociales por la tierra durante esta etapa, son indicadores de

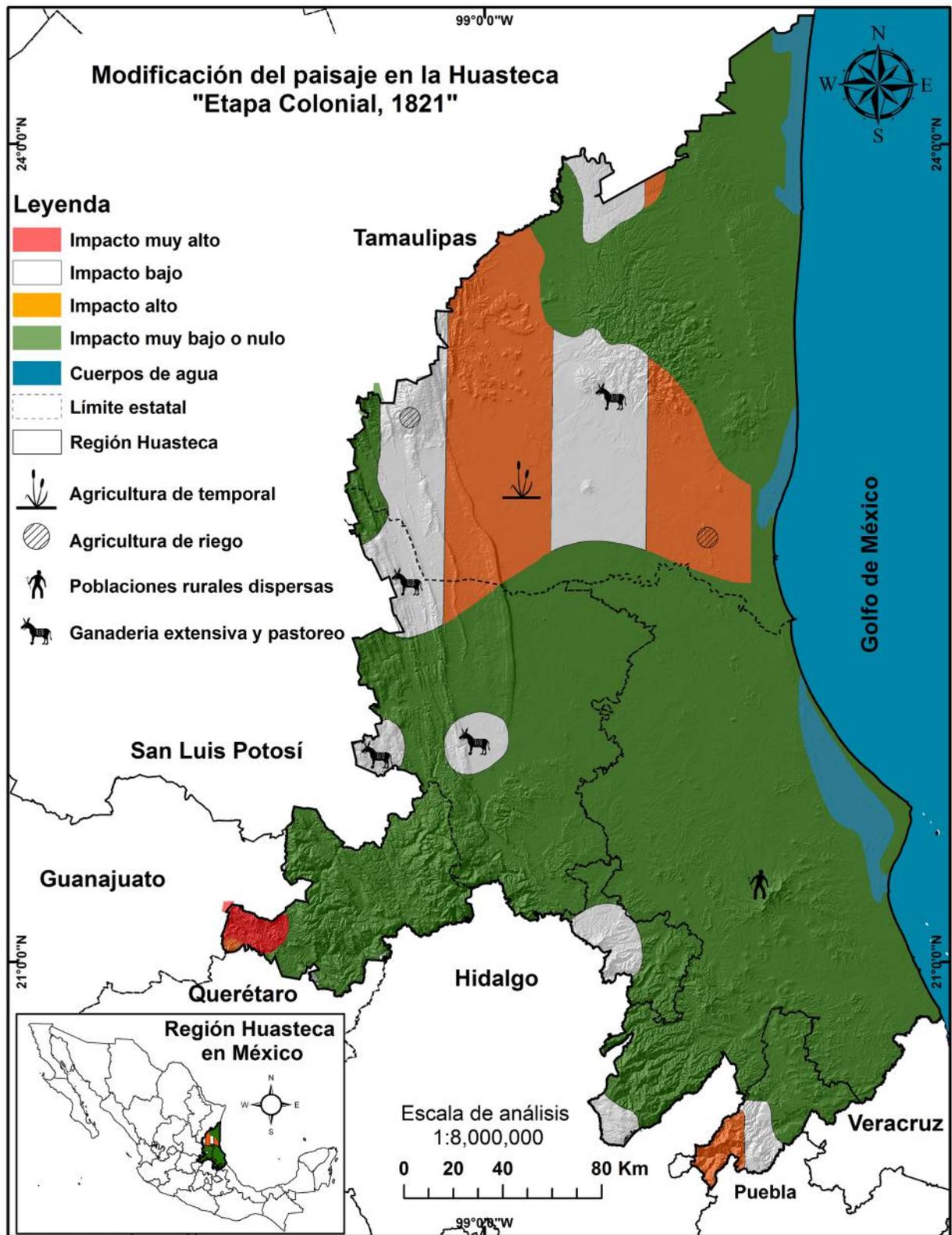


Figura 4. Representación de la modificación de los diferentes tipos de paisajes en la Región Huasteca, etapa Colonial.

**1522 Inicio de la Etapa Colonial**

Francisco de Garay (gobernador de Jamaica) recibió una cédula real por parte de España que le autorizó a poblar la región Huasteca	1521	1522	Hernán Cortez fue al rescate de Garay y sus tropas a la Huasteca
Cortés fundó la Villa de Santiesteban del Puerto, alias Pánuco	1523	1532	Gómez Nieto: los pueblos huastecos abandonaron sus localidades para establecerse más al norte, a fin de evitar el contacto con los españoles
Hubó un enorme descenso de la población, principalmente por enfermedades (Ramos, 2007)	1545-1548	1530-1570	Crecimiento acelerado del hato ganadero en la Huasteca (Aguilar-Robledo, 2001)
Venta de tierras en la Huasteca, expansión ganadera (AGN, IC/T vol. 3696, f. 58)	1574	1579	El fenómeno de la sequía afectó a la agricultura y ganadería en la Huasteca (AGN, IC/T, vol. 2723, exp. 28, f. 6)
Presión sobre las tierras. Efectos en los cambios de cobertura y uso de suelo (AGN, IC/C, vol. 4721, f. 1)	1594	1598	Asentamientos humanos congregados (AGN, IC/I, vol. 6, exp.916, f. 235)
Expansión ganadera en la Huasteca (AGN, IC/GP, vol. 6, f. 55)	1603	1604	Expansión ganadera en la Huasteca (AGN, IC/C, vol., f. 1)
Abundancia ganadera y conflictos por las tierras (AGN, IC/RCOD, vol. D5, exp. 272, f. 69 Vta.)	1606	1612	Expansión ganadera en la Huasteca (AGN, IC/C, vol., f. 16)
Expansión ganadera en la Huasteca (AGN, IC/MPI, f. Mapa en papel. Sin escala)	1614	1632	Actividad y expansión agrícola constante (AGN, IC/Inq., vol. 1428, f. 9)
Venta de tierras en la Huasteca, expansión ganadera (AGN, IC/C, vol., f.7)	1634	1694	El fenómeno de la sequía afectó a la agricultura y ganadería en la Huasteca (AGN, IC/C, vol., f. 2)
Aumento de geografía en la Huasteca (AGN, IC/Cal., vol. 60, f. 51-85)	1722	1733	El fenómeno de la sequía afectó a la agricultura en la Huasteca (AGN, IC/C, vol., f. 1)
Poseción de tierras e incremento de diferentes tipos de usos de suelo (AGN, IC/AHH, vol., f. 25)	1736	1743	Abundancia ganadera y conflictos por la tierra (AGN, IC/GP, vol. 70, exp. 295, f. 282v-283)
Conflictos por la tierra (AGN, IC/C, vol., f. 20)	1750	1750	Conflictos entre la población (AGN, IC/C, vol., f. 56)
Conflictos entre la población (AGN, IC/C, vol., f. 121)	1750	1750	Conflictos entre la población (AGN, IC/C, vol., f. 5)
Poseción de tierras e incremento de diferentes tipos de usos de suelo (AGN, IC/C, vol. 318, exp. 15, f. 53)	1751	1757	Presión sobre las tierras para agricultura y generar tributos (AGN, IC/I, vol. 59, exp. 42, f.40-40v)
El fenómeno de la sequía afectó a la agricultura y ganadería en la Huasteca (AGN, IC/AHH, vol., f. 2)	1766	1773	Nueva jurisdicción para la Huasteca (Nuevo Santander), presión sobre las tierras para generar diezmo (AGN, IC/PI, vol. 194, exp. 1, f. 1-129)
Plagas afectaron a las tierras agrícolas en la Huasteca (AGN, IC/I, vol., f4)	1774	1774	Conflictos sociales entre la población de la Huasteca (AGN, IC/C, vol., f8)
Sequía y enfermedades afectaron a la agricultura y ganadería (AGN, IC/T, vol. 2731, exp.16, f.1)	1974	1975	Se realiza un inventario ganadero en la Huasteca (AGN, IC/PI, vol. 138, exp. 1, f. 1-8)
Evidencia de posesión de tierras y aumento constante de los usos de suelo (AGN, IC/C, vol., f. 2)	1779	1787	Sequías y enfermedades afectaron a la producción agrícola (AGN, IC/I, vol. 69, exp.361, f.274v)
Sequías y enfermedades afectaron a la producción agrícola (AGN, IC/I, vol. 69, exp.363, f.275v-275v)	1787	1788	Sequías y enfermedades afectaron a la producción agrícola (AGN, IC/I, vol. 69, exp.126, f.41v-42)
Se da servicio de salud en la Huasteca (AGN, IC/H, vol. 54, exp. 3, f. 24-63)	1791	1793	Sequía afectaron a la producción agrícola (AGN, IC/C, vol. f.3)
Sequía y enfermedades afectaron a la producción agrícola (AGN, IC/I, vol. 69, exp.303, f.208-209)	1794	1794	Sequías y enfermedades afectaron a la producción agrícola (AGN, IC/I, vol. 69, exp.318, f.228v-229v)
Sequías y enfermedades afectaron a la producción agrícola (AGN, IC/I, vol. 69, exp.314, f.223-224v)	1794	1799	Poseción de tierras e incremento de diferentes tipos de usos de suelo (AGN, IC/C, vol., f. 12)
Evidencias de que las tierras son controladas y se incrementa los usos de suelo (AGN, IC/OG, vol., f.6)	1801	1805	Sequías afectaron a la producción agrícola (AGN, IC/C, vol. f.3)
Asentamientos humanos descuidados en la Huasteca (AGN, IC/BN, vol. 117, exp. 36)	1809	1811	Conflictos armados en la Huasteca (AGN, IC/OG, vol. 20, exp. 2, f. 77-86)
Conflictos armados en la Huasteca (AGN, IC/OG, vol., f. 6)	1812	1813	Conflictos armados en la Huasteca (AGN, IC/OG, vol. 120, exp. 96, f. 356-362)
Conflictos armados en la Huasteca (AGN, IC/OG, vol. 68, exp. 17, f. 58-60)	1817	1818	Conflictos armados en la Huasteca (AGN, IC/OG, vol. 121, exp. 53, f. 180-189)
Conflictos armados en la Huasteca (AGN, IC/OG, vol. 121, exp. 61, f. 209-213)	1818	1818	Conflictos armados en la Huasteca (AGN, IC/C, vol., f. 1)
Conflictos armados en la Huasteca (AGN, IC/C, vol., f. 2)	1818	1818	Conflictos armados en la Huasteca (AGN, IC/OG, vol. 122, exp. 13, f. 58-61)
Hubo mortandad de ganado en la región por el paso de dos huracanes	1818	1819	Sólo había un total de 13,175 cabezas de ganado mayor, 675 cabras trashumantes, y tan sólo 303 ovejas, es decir, 978 cabezas de ganado menor (Monroy de Martí, 1991)

**1521 Fin del a Etapa Colonial**

Tabla 1. Principales causas naturales y antrópicas que cambiaron el paisaje en la región Huasteca en la etapa colonial. Fuente: elaboración propia.

posesión de tierras y expansión de las actividades antrópicas sobre las coberturas de suelo (Tabla 1).

### 3.2.2 La post colonial (1822-1880)

Durante esta etapa post colonial, en la región se desarrollaron una serie de conflictos por la tierra y los recursos forestales, lo cual nos indica la existencia presión sobre los recursos forestales y por ende la transformación o el cambio de las coberturas y usos de suelo, y el paisaje en general.

Por ejemplo, la sociedad del fomento de Tuxpan de 1841. En el plano político y económico, fue la sociedad de Tierras de Tuxpan. Los principales mecanismos para el control de los recursos y formación de fortunas fueron la adquisición de tierras y la práctica mercantil, en el caso de Tuxpan, lo primero se realizó a través del condueñazgo. Estas tierras fueron ricas en maderas preciosas y productos de la selva, con demanda en el mercado exterior (Gómez, 2002) y por ende una de las causas de conflictos por las tierras.

Otro caso que se puede observar fue en la capital de la Sierra Gorda de Querétaro que pertenecía a San Luis de la Paz (perteneciente al actual estado de Guanajuato). Por su parte, existió una demanda de los moradores de las zonas boscosas sobre el derecho a explotar libremente los bosques. Del mismo modo, hubo cierta inconformidad cerca del Río Tula sobre los límites del territorio de la Sierra Gorda entre 1854-1857 (Vázquez-Mantecón, 1992). En este periodo post colonia, gran parte de la tenencia de la tierra ya tenía dueño. La presencia de espacios vacíos o terrenos sin dueños era inexistente (Escobar, 2002). Los Estados de la nueva república elaboraron leyes que pretendían privatizar los terrenos comunales; aspecto que se centró a partir de la ley Lerdo del 25 de junio de 1856 en donde directamente a nivel nacional se ordenó la división y repartición de las tierras de toda corporación civil y eclesiástica (Escobar, 2002).

La constitución de 1857 obligó a que el derecho fuera individual y no colectivo, siguiendo en mucho las ideas liberales de darle importancia al individuo. Según investigaciones de Guy Stresser-Peán, a finales de la década de los 1960s, a través de una introducción histórica desde el siglo XV hasta la actualidad. Consideró que en la segunda mitad del siglo XVIII y la primera mitad del siglo XIX, las haciendas absorbieron a muchos de los pueblos indios hasta que estos últimos recuperaron sus tierras por medio de los ejidos en las primeras décadas del siglo XX (Escobar, 2002). Este monopolio de tierras

través de la privatización llevo a la consolidación de grandes haciendas durante el siglo XIX, y de esta manera, los pueblos de ese entonces iban perdiendo sus tierras por la expansión de los alambre de púas y del ganado. Asimismo, la pérdida de tierras más fuerte de pueblos indígenas se dio en el llamado despojo agrario que comenzó con la ley Lerdo del 25 de junio de 1856, y no así durante el periodo colonial tardío y la primera mitad del siglo XIX (Escobar, 2002).

De igual forma, en el periodo 1821-1870, hubo una expansión territorial para las poblaciones campesinas de las Huastecas, particularmente las indígenas, por medio de tres mecanismos que provenían del periodo colonial: compra de tierras, triunfos en pleito legales e invasiones (Escobar, 2002).

Entre algunas repuestas a conflictos, por ejemplo los gobiernos potosinos consideraron como prioritaria la construcción de caminos que enlazaran a la Huasteca Potosina con la capital del estado y que permitiera la rápida movilización de fuerzas armadas cuando fuera necesario (Carregha, 2002). Además, se sumaba el interés económico de comunicar a la ciudad de San Luis Potosí con el Golfo de México (Gamboa, 1997), a través de una ruta que necesariamente atravesaría tierras Huastecas, hecho que más tarde se consolidaría con la construcción de las vías férreas (ver en etapa del Porfiriato).

Otros antecedentes de las condiciones en que se encontraba el paisaje en la Huasteca (potosina en este caso) fue por el año 1872, en donde Ignacio Cabrera recorre tres partidos de la Huasteca y en su libro el visitador este resalta la abundancia de bosques impenetrables donde sus árboles, arbustos y plantas entrelazan sus tupidas ramas, y no dejan penetrar la vista, lo cual dificulta que haya pasto y la cría de ganado (Cabrera, 2002). Se menciona que Cabrera se encantó con lo "árboles gigantescos, sus oscuros bosques y la multitud de vegetales que los pueblan (Betancourt, 2002).

La crónica del ingeniero se salva del pintoresquismo y se traduce en un relato donde la desmesurada vitalidad del paisaje interacciona en armonía con las necesidades de sus habitantes. Irónicamente, lo que Cabrera desprecia resulta valorado en una lectura de este fin de siglo, y lo que el propugna queda descalificado, dada la actual devastación ecológica impulsada por la globalización y el lucro (Betancourt, 2002).

Algunas de la impresiones de Cabrera expuesta en Cabrera (2002) fueron de que la industria se encuentra casi muerta, y la agricultura, así como

el comercio, está muy poco desarrollada. Pues en todo país virgen se encuentran fácilmente negocios lucrativos. Era un país rico ignorado y no explotado y que en medio de su riqueza carece de capitales. Aunque hay antiguas vetas, la minería está completamente muerta; ni es fácil encontrarlas, porque la espesura de los montes las cubre y oculta del afanoso minero que tratara de buscarlas.

Cabrera menciona que si alguna vez se llega a conocer la flora Huasteca, si la ciencia penetra algún día en aquel venturoso país, examinando y clasificando la multitud de plantas que allí existen, es muy creíble que la botánica, la farmacia y el arte culinario, encuentren allí recursos desconocidos (Cabrera, 2002).

Asimismo, en la región realizaban agricultura de milpa, rosa-tumba y quema de parte de los indios para los condueños de tierras. Estas se recuperaban con el tiempo. Lo tupido de los bosques de la Huasteca potosina impide que puedan penetrar en ellos las bestias, las reses o el ganado menor, por lo que la cría de estos animales es en lo general escasa, y en donde está más propagada es en la parte plana (municipio de valles, Tamuín, Tanlajás y San Vicente), en los ranchos, y haciendas de los partidos de Valles y Tancahuitz, y aun allí es poca la proporción de ganado. Asimismo, Cabrera se queja de que en la Huasteca se produce muy poca azúcar, pese a que su ganancia era de cuatro o cinco veces mayor que el piloncillo. También menciona que no son conocidos los caminos de ruedas, ni los carruajes. Esta región Huasteca se encuentra aislada del resto del estado, con el que solo se comunica con pésimos caminos de herraduras, lo que origina que los frutos no tengan para su capital fácil salida (Cabrera, 2002).

En esos tiempos (años 70s del siglo XIX) en la Huasteca ya se exportaban materiales para teñir, primero hacia Tampico y luego para Europa. Para el año 1873 la producción de caña de azúcar era muy baja y preferían producir piloncillo, Ignacio Cabrera veía que no había emprendimientos empresariales hacia el mercado y eso refleja que el paisaje se mantenía aun en condiciones aceptables. El piloncillo se mantuvo desde el siglo XVI hasta mediados del siglo XX como uno de los principales productos de la Huasteca. Se sabe que junto a la caña en la Huasteca se introdujeron cerdos, caballos, ganado bovino, plátanos, morera, vid y cítricos, el maíz es como una religión (Cabrera, 2002).

Esta expedición por parte de Ignacio Cabrera ayudo a los intereses del Gobernador Escobedo del Estado de San Luis Potosí en el mejoramiento y creación

de obras públicas, política que se vio reflejada en acciones como la apertura y mejoramiento de las vías de comunicación, dado que se dio orden de abrir la mayoría de los caminos nacionales y vecinales de toda la región, dando como resultado desmontes amplios por ambos lados de las vías, realizado con mano de obra puesta por los miembros de los pueblos de la misma zona (Gutiérrez, 2002).

Para ese entonces, la política del gobierno potosino reflejaba claramente “la visión de ese momento en la segunda mitad del siglo XIX, que era privatizar los bienes comunales y desamortizar la propiedad colectiva para, supuestamente hacerla más eficiente y productiva (Aguilar-Robledo, 2000 en Betancourt, 2002). Aumentaron los latifundios en todo el país, así como la producción nacional, pero casi todos en manos de empresarios principalmente norteamericanos, británicos, alemanes, como lo señala Leopoldo Zea: “la burguesía la formaron los terrateniente, los latifundistas, los especuladores que en vez de fomentar la industria mexicana la entregaban a los capitalistas europeos (Zea, 1985 en Betancourt, 2002).

Las consecuencias del trabajo de Cabrera fue que caudillos revolucionarios, latifundistas, las compañías petroleras en manos de extranjeros, y a partir de los años cuarenta los líderes petroleros, reforzaron el proceso de concentración de tierras y capital, tanto por las posibles riquezas contenidas en el subsuelo como para dedicarlas a la ganadería extensiva, actividad bastante lucrativa. La contraparte de este proceso es la pulverización de la tenencia de tierra en las comunidades indígenas, que mantienen un crecimiento demográfico por arriba del promedio nacional (Cabrera, 1876 en Betancourt, 2002). Además la ley de colonización (1975-1983 ampliada) dio lugar a las compañías deslindadoras, cuyo objetivo fue “deslindar las tierras baldías para destinarlas a la colonización extranjera (USA, Francia, Alemania, Inglaterra) para que invirtieran y hubieran negocios lucrativos (Cabrera, 2002). De esta manera se consolidó el latifundio que en algunos casos las propiedades alcanzaron los 13 millones de hectáreas (Cabrera, 2002).

Marcelino Sánchez indica en su poema lo conservado de los paisajes en la región Huasteca y lo malo que podría ser el progreso o modernidad para su conservación, contrario a lo que desea Cabrera (Betancourt, 2002), sucesos que se ven actualmente en los cambios profundos que han ocurrido en esta región.

Sin embargo, no en toda la región Huasteca ocurrieron grandes cambios durante esta etapa. Por ejemplo el sistema de producción en toda

la Huasteca hidalguense se caracterizó por un equilibrio ecológico en el cual coexistían de manera estable la agricultura de autoconsumo con la agricultura comercial y la ganadería. Tal equilibrio ecológico no quiere decir que no hubo explotación económica o revueltas políticas (Schryper, 1993).

Varios viajeros, quienes pasaron por la región de Huejutla en el siglo XIX, notaron la relativa baja densidad de población de esta región montañosa, con una flora y fauna muy abundantes (Soto, 1856 en Schryper, 1993). Estas condiciones geográficas pueden explicar por qué la competencia por la tierra no era tan aguda como en otras partes de México. Había muchos animales del monte y el pescado de los ríos era una fuente adicional de proteínas de fácil adquisición (Schryper, 1993).

En el sistema de producción en esta región, existía una relación paternalista y cuasi simbiótica entre patronos y peones, entre terratenientes y arrendatarios, y entre agricultores o rancheros y milperos aún en tiempos de rápida expansión comercial. Todo tiene que ver con la economía moral. En esta región nadie podía enriquecerse o acumular bienes debido a que estas tierras no eran planas y la mano de obra era escasa, por tales razones, para acumular bienes tendrían que salir de esta región. Esto explica por qué no hubo un levantamiento de la población campesina indígenas en contra de los terratenientes o rancheros, ya que ambos dependían de esa relación (Schryper, 1993).

### **3.3 Etapa del Porfiriato (1880-1910)**

La etapa del Porfiriato tomando en cuenta en análisis del cambio de paisaje en México presentado por D Luna et al. (1992c) se lo considera aproximadamente entre 1880 y 1910. Para ser más exacto Escobar & Carregha (2002) indica que fue entre 1877 y 1911.

En este periodo México se incorpora a la corriente económica predominante del continente europeo. Se suma con sus telégrafos, sus ferrocarriles, su arquitectura, sus fonógrafos, sus automóviles, y sus intelectuales orgánicos encargados de elaborar el discurso ideológico dominante (Cabrera, 2002).

En la Huasteca así como el país, se inicia un nuevo periodo de transformaciones, políticas, técnicas, y económicas. El liberalismo se desenvuelve de manera multifacética, según la administración estatal, encargada de dar a la realidad nacional una configuración acorde con la necesidad de libertad y la liberación de los recursos para la ampliación del intercambio mercantil (Briceño et al., 1993).

Haciendo una retrospectiva, desde 1821 a 1870 hubo una gran expansión territorial de las poblaciones campesinas particularmente las indígenas por los condueñazgos, situación que cambió en la década de los 1880s justo poco después de iniciar el gobierno del General Porfirio Díaz (Escobar & Carregha, 2002).

Durante el período porfirista los pueblos indígenas volvieron a verse inmersos en una esclavitud no declarada a base de latifundios. Las haciendas acapararon grandes extensiones de terrenos oprimiendo a la población indígena y campesina (Escobar & Carregha, 2002).

Para esos años ya se alcanzaban ver cambios en el desarrollo de esta región lo cual llevaría a cambios en el paisaje. Por ejemplo, en 1888 la familia Rascón había establecido ya el primer ingenio azucarero en la zona (Cabrera, 2002). Por ejemplo, en García-Cubas (1984) se puede observar que para el año 1984, ya existían grandes plantaciones de caña y otros tipos de cultivo para ese entonces (Figura 5).

Durante el mandato del General Porfirio Díaz, bien puede decirse inició la revolución industrial en México, desarrollándose grandes obras. En 1878 el general Carlos Díez Gutiérrez inauguró el camino que enlazó la capital potosina con Tampico y dio también inicio a las obras para el tendido de la vía férrea a través del territorio potosino comunicaría a la ciudad de Aguascalientes con el puerto tamaulipeco a partir de 1890. Para ese entonces la línea férrea únicamente atravesó al partido de Ciudad Valles (Carregha, 2002) y posteriormente el "Ferrocarril Central Mexicano" incorporó la ruta de Aguascalientes-San Luis Potosí-Tampico, atravesando a la Huasteca de Este a Oeste; de esta forma el estado de San Luis Potosí se constituyó como una de las principales zonas de comercio e intercambio en el país (Carregha et al., 2003).

La creación ferroviaria de la ruta Aguascalientes-Tampico generó que se realizaran desmontes en la Huasteca (Carregha et al., 2003). Estos impactos se dieron por tres rubros: 1) la instalación de las vías férreas e inmuebles generando un cambio de uso de suelo en montes y praderas para la instalación de dicha infraestructura; 2) el incremento de las actividades productivas, lo que se reflejó en la extensión de la frontera agropecuaria; y 3) el crecimiento de poblados con lo que se generó una demanda de bienes y servicios (Quinteros, 2012).

La instalación de vías férreas así como de inmuebles por sí solo representó deforestación en donde fueron

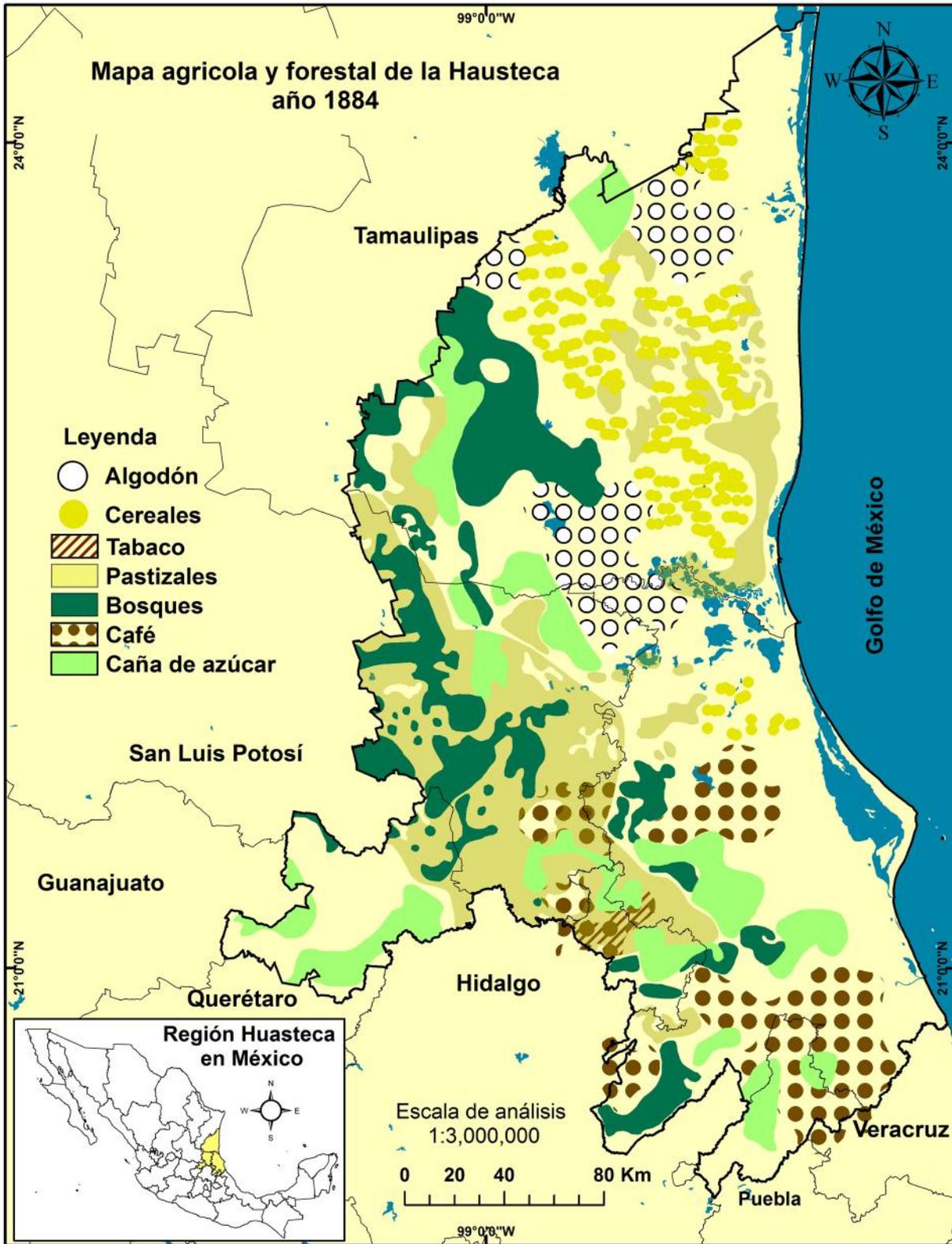


Figura 5. Mapa agrícola y forestal de la Huasteca, año 1884.

instalados, sin embargo los efectos secundarios generados serían quienes más aportarían en los procesos de cambio de uso de suelo, ya que la presencia del ferrocarril dinamizó las actividades a tal grado que la ganadería, los ingenios cañeros e incluso los cultivos ampliaron sus extensiones territoriales (Quinteros, 2012).

Hechos contundentes de estos cambios fue por ejemplo cuando las empresas ferrocarrileras adquirían tierras de haciendas, estas quedaban obligadas a pagar al propietario original una indemnización por los destrozos que ocasionara en el terreno. Esta disposición se refería principalmente a la destrucción de árboles y cualquier otro tipo de vegetación que resultara dañada o tuviera que ser talada para la instalación de vías o algún inmueble. Sin embargo, los contratos revisados no contenían alguna cláusula que obligara a las empresas a reforestar las tierras alledañas y tampoco señalan si los propietarios de las terrenos realizarían esa labor con la compensación recibida, aparentemente se trataba solo de una transacción económica, que se explica sobre todo cuando se refería a árboles maderables (Carregha, 2010).

Durante la instalación de las vías férreas en el municipio de Ébano en el año de 1900 algunos trabajadores encontraron petróleo sobre la superficie del suelo. En mayo de ese mismo año el norteamericano Edward Doheny, a solicitud del presidente de la empresa "Ferrocarril Central Mexicano", viajó hasta el lugar para inspeccionar la zona, lo que resultó en la compra de 162 mil hectáreas de terrenos que pertenecían a las haciendas de Tulillo y Chapacao de los municipios de Ébano, y el municipio del Pánuco respectivamente fundando la "Mexican Petroleum Company of California" (Álvarez de la Borda, 2006). De esta manera, los impactos sobre el paisaje iban tomando forma.

Otro de los casos de cambios en los usos de suelo y el paisaje se dio en el norte de Veracruz en 1900 con el inicio de la explotación petrolera. Antes de esta intervención, el paisaje era extraordinariamente verde y exuberante, ocupada de vida silvestre. Para ese entonces, los exploradores elogiaban al paisaje como un paraíso, por la abundante vegetación y la fauna presente en esta región. Existían ecosistemas bien conservados. Cuando el millonario industrial petrolero Edward L. Doheny arribó al norte de Veracruz en 1900, describe que la ecología de la zona estaba compuesta de distintos especies, bien vinculados, y ecosistemas en constante cambio de la costa del golfo a la Sierra Madre Oriental (Santiago, 2002).

Asimismo, se ha comprobado de que la clasificación de flora de México que realizó José Ramírez en 1899, guarda poca semejanza con la que realizó por Murphy & Lugo (1986) estudio registrado en "Ecology of a Tropical Dry Forest". La diferencia giraba en torno de la cantidad de precipitación pluvial anual. En la selva no existe prácticamente una estación de secas (Ramírez, 1899; Romero, 1898). Gómez-Pompa (1977), observó incluso que los remanentes de selva que aún quedaban en la Huasteca en 1985 eran en su mayor parte de segundo orden (selva mediana subperennifolia), como resultado de la regeneración ocurrida tras la reducción de la humedad o de la propia selva tropical. Así, las evidencias de precipitación pluvial y composición botánica indican que la Huasteca era una selva tropical a principios de siglo XX. El petróleo, sin embargo, transformó el paisaje y ecosistemas de manera permanente (Santiago, 2002).

Por otro lado, Dos Bocas fue el desastre más espectacular relacionado con el petróleo en México durante el boom de la explotación extranjera entre 1900 a 1921. La explosión en 1908 de este pozo fue el clarín que convocó a los industriales extranjeros a la Huasteca veracruzana para explotar los bastos ríos subterráneos de petróleo mexicano. Dos Bocas no solo ocasionó la aparición de enormes agujeros en el suelo. También introdujo cambios sin precedente en la ecología de la Huasteca veracruzana. Así, a los trece años transcurridos entre Dos Bocas en 1908 y el colapso del boom petrolero en la segunda mitad de 1921, la industria generó no sólo millones barriles y de dólares, sino una degradación ambiental de significativas proporciones. La selva tropical más septentrional de México se vio afectada, por la construcción de caminos, el tendido de oleoducto, vías férreas, construcción de muelles y de dársenas, estímulo de construcción de ciudades (Santiago, 2002).

Hacia 1916, industriales petroleros británicos y estadounidenses controlaban más de 2,500,000 hectáreas de selva tropical a lo largo de todo Veracruz. Los textos no especifican, sin embargo, estos indican la proporción de tierra controlaban en la Huasteca. Un área que sufrió grandes cambios fue la región petrolera conocida según cartografía geológica como la "Faja de oro" comprendida en un área que superaba los 300 km de norte a sur y los 70 km de este a oeste, lo que es 2,500,000 hectáreas. No obstante, no todas las áreas de selva sufrieron cambios importantes en el periodo 1908-1921 (Santiago, 2002).

Algunas aproximaciones respecto al área de selva afectada por la actividad petrolera reportada por Santiago (2002) fueron las siguientes: a) según el boletín más importante del gobierno mexicano en

su momento “Boletín del petróleo”, las áreas de explotación en el norte de Veracruz a finales de 1920 alcanzaban a 23,480 hectáreas; b) según el renombrado geólogo mexicano Ezequiel Ordóñez, en 1930 el área de producción había alcanzado las 37,500 hectáreas; c) todo parece indicar que cuando menos 40,000 ha de los dos millones mencionados sufrieron algún tipo de transformación. Sin embargo, tal cifra engañosa es pequeña. Las áreas corresponden solo a aquellas donde se estaban llevando a cabo trabajos de perforación en el momento del registro. No se tomaron en cuenta las áreas abandonadas ni las áreas adicionales afectadas por las actividades relacionadas con el proceso en su totalidad (Santiago, 2002).

Un campo pequeño como el Furbero de la faja de oro, con cerca de veinticuatro pozos, ocupaba, por ejemplo, 1,457 has de selva, 61 has por pozo en promedio. Para 1938 el número de pozos perforados sólo en el norte de Veracruz alcanzaba, por lo menos, la cifra de 5,462 has (Natividad Gutiérrez, 1982). Si se toma el promedio por pozo de Furbero, significa que 331,571 has de selva tropical pudieron haber sido arrasadas por los campos petroleros en el Norte de Veracruz. Así, los árboles que asombraban a tatos viajeros se convirtieron en torres, barracas, talleres, paredes, techos y durmientes de ferrocarril (Santiago, 2002).

La necesidad de transportar el petróleo desplegó los cambios en el paisaje más allá de los meros campos. El ferrocarril de entrevía reducida que transportaba materiales entre Tampico y la Huasteca trazaba claros lineales, horizontales y verticales, en el mapa de la Faja de Oro. Había también oleoductos de 39,036 km para ser exactos. Así, aunque no todos los dos millones de hectáreas de selva tropical en el norte de Veracruz fueron arrasados por el desarrollo petrolero, los ecosistemas fueron severamente fragmentados por la intrincada red de las rutas de transporte (Santiago, 2002).

A pesar de esto, a finales del siglo XX los estudiosos estaban convencidos que la fragmentación de la selva tropical, por proyectos como el carretero, es perjudicial para el ecosistema concebido como un todo. La flora, la fauna, y los seres humanos que viven en la zona experimentan efectos negativos, como el incremento en el índice de enfermedades, el desequilibrio en las áreas destinadas a la caza, la desaparición de los depredadores y la pérdida de biodiversidad en general por la introducción de las rutas de transporte y los campos petroleros, (Hamilton, 1966; Kane, 1995 en Santiago, 2002).

Una de las zonas más afectadas con el inicio de la explotación petrolera fue Tampico. De 17,569 habitantes para 1900, esta aumento a 150,000 habitantes para 1923. La industria petrolera promovió ese crecimiento y de esa manera aceleró el proceso de transformación ambiental que los intereses económicos y locales y las autoridades gubernamentales habían iniciado a finales del siglo XIX (Santiago, 2002).

De esta manera, pantanos, marismas, ciénagas y manglares fueron afectados y arrasados. En el siglo XX empezó el auge, y el desarrollo de Tampico entro en una intensa fase. La que fuera en 1900 una selva caliente y húmeda con miríadas de insectos y peligrosos animales, se había convertido en un bullicioso puerto petrolero atestado de gente dos décadas después (Santiago, 2002).

Para 1921 se habían registrado en las fuentes cuando menos otros 19 pozos (aparte de Dos Boca) reventados, los cuales derramaban millones de barriles de petróleo en la selva tropical de la Huasteca. Para 1927, el número de pozos había llegado 30. La combinación de contaminación crónica, pozos reventados e incendios sin duda contaminó decenas de miles de hectáreas de selva tropical y disminuyó su fertilidad en el largo plazo. Asimismo, la probable producción de lluvia ácida pudo haber significado la muerte lenta de la vegetación tropical sin que ésta tuviera contacto con proyectos de infraestructura (Santiago, 2002).

Los indígenas del norte de Veracruz quienes se oponían a la destrucción de la selva tropical, particularmente los Huastecos y/o Teenek. Era una protesta silenciosa, si bien muy activa, no registrada como tal en los documentos oficiales. Sus acciones revelaron la intención de salvar a la selva. A lo largo de las dos primeras décadas del siglo XX los Teenek se opusieron a la venta o arrendamiento de la tierra a las compañías petroleras. Muchos se resistieron activamente a la apertura de campos petroleros en la región, incluso a riesgo de sus propias vidas. Estas comunidades trabajaron incansablemente para recuperar sus tierras. Aunque los Teenek también habían transformado a la selva por la agricultura, esta actividad no era tan desastrosa como las de la industria (Santiago, 2002).

Los Teenek argumentaron en 1921 ante las autoridades mexicanas que las compañías destruyeron la Huasteca en 20 años. Por ese entonces, Elías Calles futuro presidente en esos tiempos, hizo declaraciones a la prensa donde condenaba a las compañías extranjeras. Basado en información que

les proporcionaron los Teenek, explicó que cuando las compañías abandonaban un campo, los terrenos quedaban inútiles para la agricultura, las comarcas se convertían en pueblos fantasmas, ni viva yerba ni ser viviente quedaba (de paraíso a tierras baldías) (Santiago, 2002).

La producción agrícola se reanuda en el norte de Veracruz tras la desaparición de la selva tropical. Hacia 1960, los antiguos campos petroleros se convirtieron en pastizales para la cría de ganado, sin embargo el ciclo del pasto no duraba más de 20 años. Por ello, en los años 1980s el norte de Veracruz sufrió otros cambios. Esta vez, la tierra se tupió de cítricos. De hecho, el cambio fue posible porque la industria petroquímica produjo la enorme cantidad de fertilizantes necesaria para hacer que los suelos de la Huasteca volvieran a ser productivos (Santiago, 2002).

Podemos darnos cuenta que el impacto régimen porfirista fue más allá de los años que gobernó. Pues sus políticas tuvieron gran repercusión para la región Huasteca inclusive después de ser sustituido. De esta manera, una vez derrotado el régimen porfirista la situación de las Huastecas era una efervescencia subterránea. Un ejemplo fue el de Texcatepec en 1912, cuando los indígenas reclamaban tierras que les habían sido usurpadas durante el porfiriato (Escobar, 2002). La forma de recuperar las tierras perdidas se las dio el decreto del 6 de enero de 1915 difundida durante la presidencia de Venustiano Carranza. A partir de esta ley la mayoría de los pueblos indígenas hidalgenses y veracruzanos comenzaron a solicitar restituciones de manera casi inmediata (Escobar, 2002).

En síntesis, para esta etapa, el paisaje en la Huasteca empezó su modificación del paisaje lo cual llevo a un nivel de impacto de bajo a moderado (Figura 6) el cual posteriormente se intensificaría. Los remanentes o áreas con bajo impacto se localizaban al norte y al oeste (sierra madre oriental) de la Huasteca.

### **3.4 Etapa actual (1911-2011)**

En la etapa actual se hace un análisis de todos los sucesos ocurridos en las últimas décadas en la Región Huasteca después de la etapa del Porfiriato. Aguilar-Robledo (1992) menciona que en las últimas décadas en México, con diferentes modalidades de intervención (cuencas hidrográficas, polos de desarrollo, parques y ciudades industriales) el estado ha contribuido con la ordenación territorial de acorde con los diferentes modelos de acumulación, funcional al capital y que el modelo económico

capitalista se ha consolidado. Por su parte Briceño (1993) indica que la extrema pobreza en la Huasteca es el producto directo del desarrollo del modelo ganadero y éste ha mostrado una comprobada eficiencia en cuanto a la acumulación de capital.

Un claro ejemplo de intereses que genero conflictos por la tierra en la región fue aquella entre las familias de "Los Santos y Los Martel" lo cual poseían grandes extensiones de tierras y se disputaban intereses en la región Huasteca, lo cual se podría traducir en cambios en los usos de suelo. En la (Figura 7) se ilustra los principales fenómenos sociales, económicos y ambientales que repercutieron en esta etapa.

Según Briceño (1993) considera que la causa fundamental de violencia y conflictos en la Huasteca ocurrían por la tierra ya sea para la agricultura y la ganadería. La ganadería como modelo de acumulación de capital ha establecido su hegemonía sobre la agricultura macehual. Cada modificación en esta última ha significado un alto costo para la comunidad macehual en esta región. También indica que el modelo hegemónico ganadero ha construido a lo largo de la historia mecanismos de control social e ideológico, logrando en distintos momentos arraigarlos dentro de la misma comunidad para asegurar el acceso a los recursos comunales como tierra y trabajo.

Esta práctica ha sido uno de los soportes políticos y económicos de los sistemas y mecanismos de control social en la Huasteca, tendencia que duro hasta el gobierno de Gonzalo Nicanor Santos (1943-1949) específicamente en las Huastecas hidalgenses y potosinas (la alianza de entre cacicazgos de ambos estados es tradición de familia) (Briceño, 1993).

Posterior a la caída de Gonzalo Nicanor Santos, el sistema permaneció pero el mecanismo fue desapareciendo paulatinamente de los servicios de los indios a las cabeceras municipales y casas particulares. El último servicio se prestó en 1980. Es decir, los hacendados otorgaban una serie de concesiones a sus peones y comunidades para proteger de las haciendas vecinas. Fue una forma en que el modelo ganadero creció hasta casi hacer desaparecer la agricultura macehual. Esta etapa de crecimiento coincidió con el aumento de la demanda de carne, tanto del Distrito Federal como de Estados Unidos (Briceño, 1993).

Solamente en dos ocasiones programas nacionales respaldaron a la agricultura. 1) en el sexenio de Lázaro Cardenas (1934-1940), como parte de la estrategia en contra de la rebelión Cedillista y para

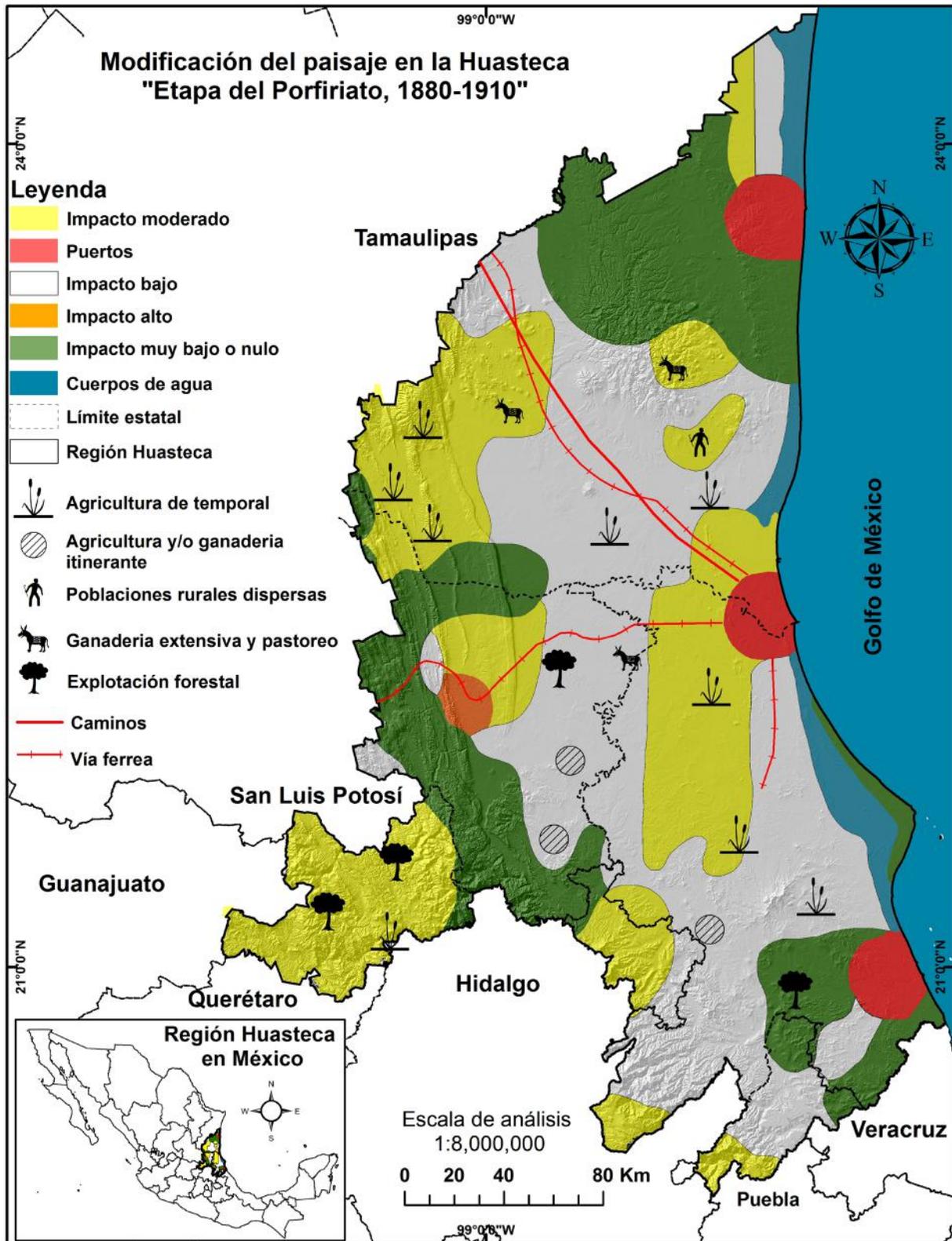


Figura 6. Representación de la modificación de los diferentes tipos de paisajes en la Región Huasteca, etapa del Porfiriato.

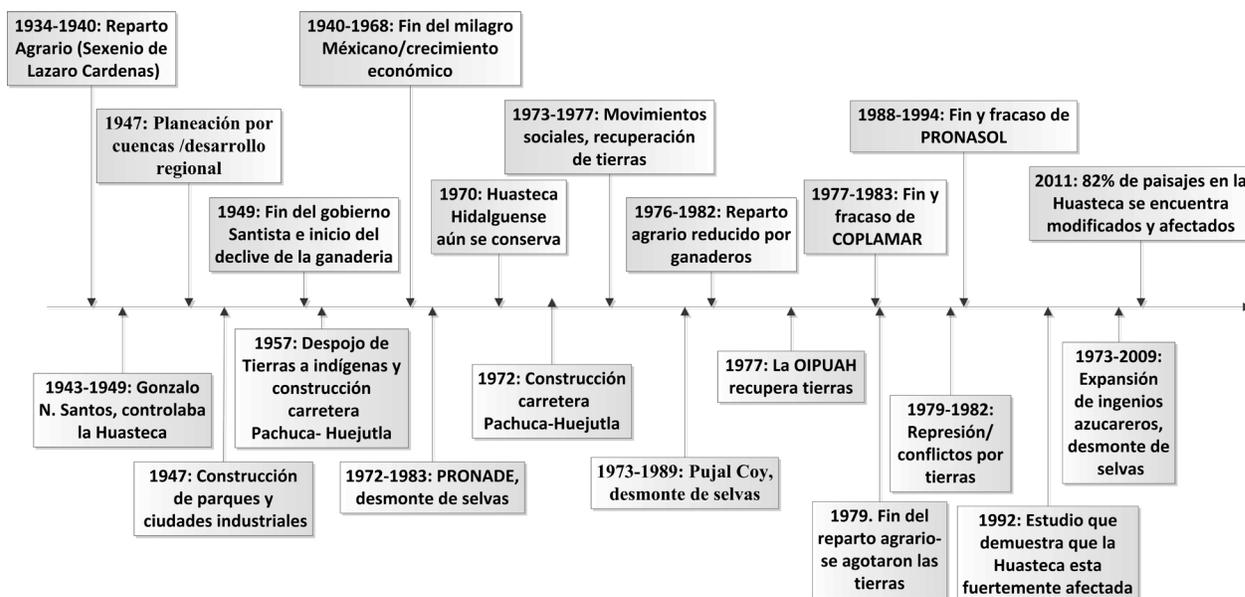


Figura 7. Principales sucesos ocurridos en las últimas décadas en la Huasteca que demuestran cómo se ha influido en el cambio del paisaje natural. Fuente: elaboración propia.

obtener apoyo regional para la expropiación del petróleo, apresuro el reparto agrario en casi toda la Huasteca afectando directamente a los viejos cacicazgos, los cuales se habían acercado a las compañías petroleras y de hecho trataron de formar de nueva cuenta el Estado huasteco. 2) la creación del distrito de riego Pujal Coy (1973), proyecto de construcción de un sistema de irrigación con una extensión cercana a las 80 mil hectáreas, en su mayoría en las llanura costeras destinadas a la engorda de ganado. Esto favoreció al reparto de la tierra (Briceño, 1993).

Los demás programas y proyectos gubernamentales fueron dirigidos a respaldar el proyecto de acumulación vía ganadera extensiva; el fin del cacicazgo de Gonzalo Nicanor no se cristalizó con la renuncia del ultimo gobernador Santista. Todavía en el sexenio de José López Portillo (1976-1982) los ganaderos lograron reducir la magnitud de reparto a casi 200 mil hectáreas, en lugar de las 800 mil ha del decreto inicial (Briceño, 1993).

Posteriormente, con el retiro de Gonzalo Nicanor del escenario político regional y nacional, los mecanismos de control social sobre los macehuales volvieron a su habitual actividad represiva, en tanto la actividad ganadera ahora combinada con el cultivo de cítricos y el comercio se mantiene como proyecto hegemónico.

Briceño (1993) indica que el Programa Nacional de Solidaridad Económica (Pronasol) reconoce

de manera indirecta el fracaso social del modelo ganadero, como lo hizo el extinto Plan Nacional de Zonas Deprimidas y Grupos Marginales (Coplamar).

Por otro lado, Neri (1993) menciona que la lucha en la Huasteca se remonta a décadas anteriores, con la demandas de restitución de tierras de las comunidades, que las habían perdido en manos de los caciques regionales. El motivo de los caciques para efectuar este despojo fue la construcción de la carretera México-Tampico vía Huejutla, a partir de 1957, pues les abría la perspectiva de un atractivo mercado de ganado, para ello querían implantar la ganadería de explotación extensiva, que emplea escasa fuerza de trabajo y rinde amplias ganancias.

Para el año 1970, estos solicitaron la restitución de sus tierras, se organizaron en torno a sus autoridades tradicionales y emprendieron lo que ellos llamaron la recuperación de sus tierras. Entre 1973 y 1977 en la Huasteca ocurrió un movimiento campesino espontáneo, debido a sus pérdidas de tierras a manos de latifundistas y caciques, donde se generó un ambiente de violencia. Con el gobierno de José López Portillo (1976-1982) ya no se habló de reparto agrario, por haberse agotado las tierras (1979) (Neri, 1993).

En el caso de la Huasteca hidalguense se inicia un periodo de represión y violencia gubernamental y caciquil en contra de las comunidades campesinas. Fruto de la inconformidad campesina, en 1977 se formó la organización Independiente de Pueblos

Unidos de las Huastecas (OIPUH), que aglutinó a gran número de comunidades que luchaban por la recuperación de sus tierras y concentró las demandas principales: restitución de las tierras y sus legítimos dueños y respeto a las formas de organización de las comunidades. Entre 1979 y 1982 la magnitud de la escalada represiva alcanzó niveles alarmantes (Neri, 1993).

Hasta 1979 los campesinos recuperaron 14,749 ha en 360 acciones, cifra reducida a la alcanzada entre 1981 y 1982. Luego en 1985 formaron la UNORCA y exigían como demandas la ayuda gubernamental. Las perspectivas del campesino es: no es novedosa la tenencia gubernamental de cancelar el reparto agrario, buscar los mecanismos para reprivatizar la propiedad social de la tierra, pues ese esquema forma parte del modelo de desarrollo adoptado por los grupos en el poder desde décadas atrás (Neri, 1993).

Gutiérrez (1993) indica que una de las Huastecas más conservadas hasta los años 1970s por su incomunicación con el resto del país era la hidalguense. La serranía que la limita y los múltiples ríos que la recorren, hacían difícil la construcción de caminos y, en temporada de lluvias, permanecía aislada por semanas o meses. En 1972, la construcción de la carretera Pachuca-Huejutla, vino a ser el fundamental lazo de unión con el resto del estado y con la capital del país lo cual permitió que una de las últimas áreas conservadas de esta región empiece a degradarse.

De esta manera el carácter extensivo de la tierra, que requiere para su desarrollo mayores pastizales, aunado al incremento de la población de las últimas décadas, debida a las disminuciones de la mortalidad y una alta natalidad, generó un incremento de la población joven y mayor explotación de la tierra (Gutiérrez, 1993).

Otros factores que llevaron consigo la transformación del paisaje en la Huasteca fueron los casos del Programa Nacional de Desmontes (PRONADE) en 1972 y el Sistema de Riego Pujal Coy (1973).

El PRONADE operó en dos etapas, en la primera que oficialmente inició en el año de 1972, y se pretendía talar 320,325 hectáreas en nueve estados del país. En esta etapa para el caso de la región Huasteca, sólo en la región de Veracruz se deforestaron 150,000 has, aunque las proyecciones a largo plazo se ampliaban hasta 149,000 has (Tiempo, 25 de Septiembre, 1972; Tiempo, 23 de Octubre 1972). En la segunda etapa que inició en 1974 se puso de meta el desmonte 85,000 hectáreas en cinco estados, que

para el caso de los estados que están dentro de la región Huasteca se desmontaron 10,000 has en San Luis Potosí, 10,000 has en Veracruz, 20,000 has en Tamaulipas y 10,000 has en Hidalgo (Tiempo, 22 April, 1974; Moreno, 2011).

Por otro lado, el proyecto Pujal Coy tenía la finalidad de substituir la ganadería extensiva por una producción agrícola intensiva basada en el riego, a la par de construir grandes obras civiles e hidráulicas, elevar la productividad de la tierra así como captar campesinos carentes de tierras provenientes de diversas partes del país (Reyes et al., 2006).

Este proyecto abarcaría 720,000 ha en el oriente potosino, el norte de Veracruz, el Sur de Tamaulipas, y una pequeña porción de a Huasteca hidalguense, es decir, cuenca baja del río Pánuco. Pujal Coy en su primera y segunda fase representarían el 40% de la superficie total de ese gran proyecto. Se pretendían irrigar 72,000 ha en la primera fase y 230,000 en la segunda, es decir, casi 300,000 hectáreas (Aguilar-Robledo, 1995).

En 1973, de las 72,000 ha desmontadas, 42,900 (59%) eran selvas bajas caducifolias según clasificación de INEGI o bosque espinos según Rzedowsky (Ávila y Cervantes, 1986). Para 1989, se hablaba de que faltaban por desmontar 52,000 ha con todo y sus consecuencias ecológicas para terminar el proyecto (Ávila, 1989; Aguilar-Robledo, 1995).

A doce años de haber iniciado el proyecto, en el área del proyecto las selvas presentaban una drástica disminución, ya que de las 98,272 has existentes sólo restaban 25,164 has. En los años subsecuentes a 1985 el programa es desvirtuado por completo de sus objetivos, y para 1990 hubo un drástico deceso de los cultivos de riego, en tan solo cinco años se perdieron 18,569 has a la par que se sumaron 51,217 has de praderas. Este proceso continuaría de tal forma que para el año 2000 las praderas ya sumaban 196,823 has, es decir desde la puesta en marcha del proyecto en 1973 se habían sumado 130,113 has. Mientras que el objetivo principal, el sumar tierras para el cultivo de riego logró llegar tan solo a las 51,033 has, lo que representó la adición de 6,071 has desde el año de 1973 (Reyes et al., 2006; Quintero, 2012).

En resumen, el sistema de riego Pujal-Coy terminó por incrementar la presencia ganadera de la región, generando una gran deforestación en los municipios en los que fue desarrollado, marginando por completo el objetivo de instaurar una agricultura de riego (Quintero, 2012).

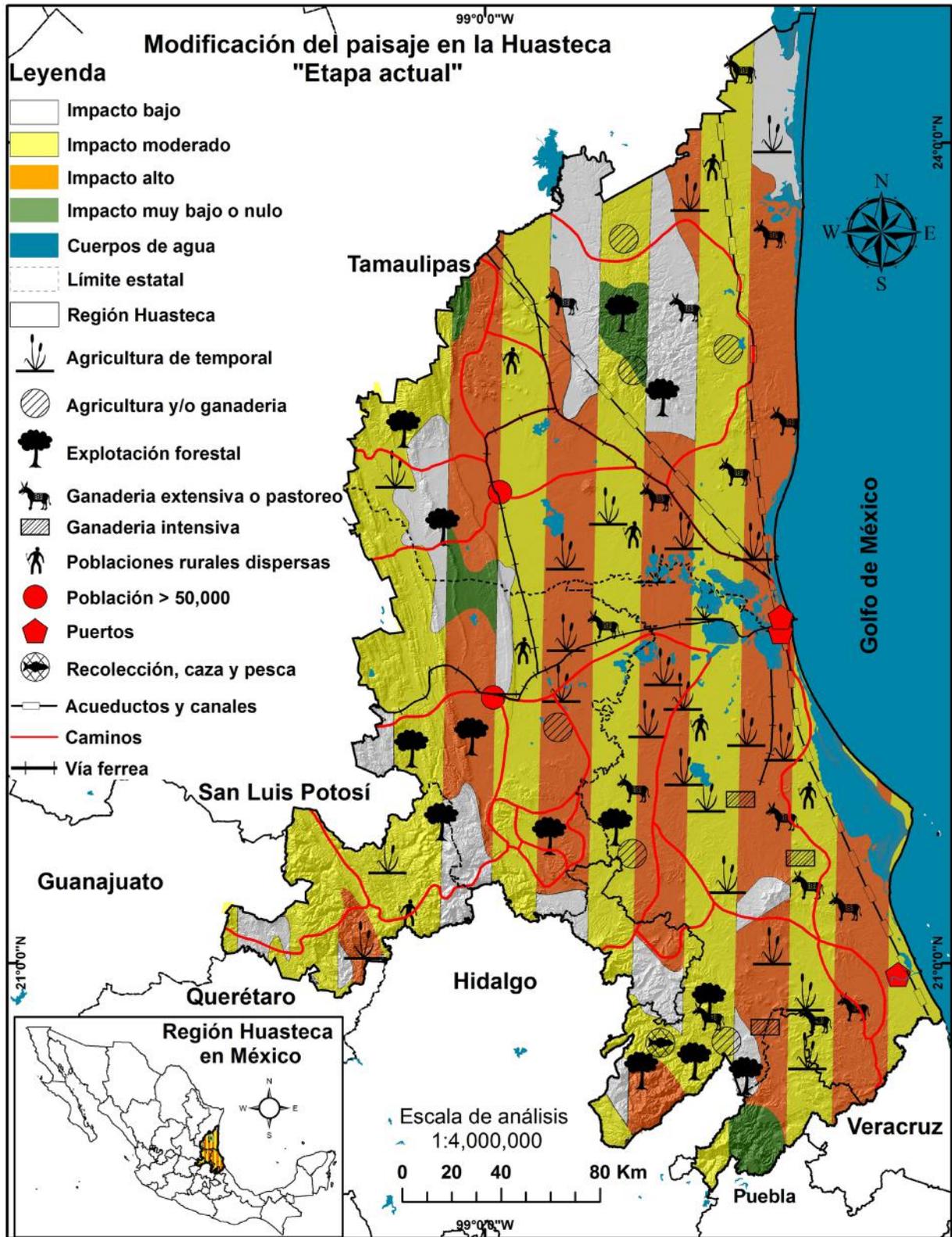


Figura 8. Representación de la modificación de los diferentes tipos de paisajes en la Región Huasteca, hasta los años 1990s, etapa Actual.

Por último, entre otros procesos productivos que han llevado a la transformación de los ecosistemas en esta región ha sido el cultivo de caña de azúcar a escala industrial. Actualmente existen cuatro ingenios en la Huasteca Potosina. Con el crecimiento productivo de los ingenios, se muestra que para el año de 1973 la superficie destinada al cultivo de caña era de 19,678 has, mientras que al año de 1990 esta superficie logró llegar a las 78,656 has, finalmente para el año 2009 la superficie ocupada era de 89,158 has (Aguilar-Rivera, 2011).

Cabrera (2002) menciona que la Huasteca Potosina es predominantemente ganadera, y de un importante

potencial agrícola como productora de caña de azúcar, café, mangos y cítricos; la SDE (2012) indica que la zona es fundamentalmente agropecuaria y frutícola. Aquí se genera el 5.6% del valor bruto de la producción manufacturera. El principal subsector manufacturero es la industria alimentaria.

De esta manera, la modificación de los ecosistemas en la región Huasteca se han incrementado en las últimas décadas con un nivel de impacto que va de moderado a alto y con escasas áreas que han sufrido un bajo impacto (Figura 8). Asimismo, se puede notar que la agricultura y la ganadería son los principales factores que ha contribuido a este cambio (Figura 9).



Figura 9. Actividades agrícolas y pecuarias en la región Huasteca como factores de cambio en el paisaje. a) Cultivos de caña y maíz visto desde un remanente de selva; b) Pastizales en las zonas altas de la Huasteca; c) Ganadería. Fotos: Carmelo Peralta.

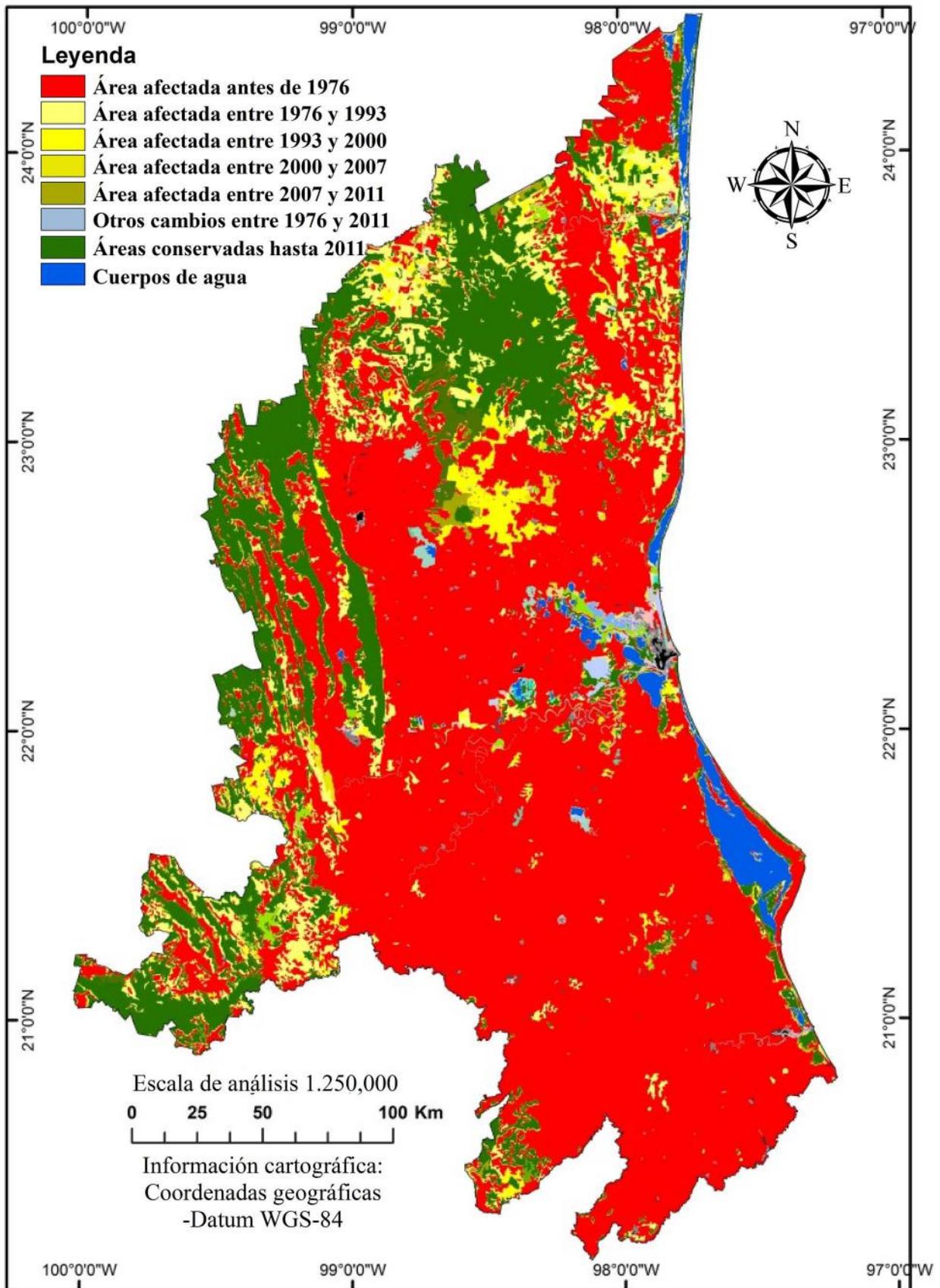


Figura 10. Áreas afectadas de los diferentes tipos de paisajes en la Región Huasteca, hasta el año 2011.

Del mismo modo, Peralta-Rivero et al. (2014c) demuestra que la superficie agrícola para la región Huasteca se ha incrementado en los últimos años. Para el año 1976 está contaba con 1,020,600 hectáreas de superficie agrícola, la cual para el 2011 aumento hasta 1,882,300 hectáreas, lo cual es un indicador de la dinámica de los cambios de usos de suelo.

De igual manera, hasta el año 2011, basado en Peralta-Rivero et al. (2014c), se estima que el área total afectada en la Huasteca asciende a 5,259,003 hectáreas, es decir, el 82.08% de la superficie total de la Huasteca (Figura 10). No obstante, en el periodo 2000-2011 se ha notado una disminución de los procesos de deforestación en la región Peralta-Rivero et al. (2014c).

#### 4. CONCLUSIONES

En la etapa Precolonial, la región Huasteca de México se encontraba densamente poblada por grupos indígenas, sin embargo, los cambios en la cobertura y uso de suelo obedecían a un tipo de agricultura nómada de subsistencia y los impactos del paisaje son catalogados como nulo en la mayor parte de la región, con un impacto bajo en la zona central y con un impacto de forma moderada en puntos agregados de la zona. Asimismo, se demuestra que para ese entonces la fauna y la flora era abundante y muy variada. En otras palabras, hay indicios de que las actividades sobre la región no eran destructivas en su totalidad y los ecosistemas podían mantenerse o recuperarse de las intervenciones humanas.

La etapa Colonial fue el inicio de las grandes transformaciones en la región. En este periodo se experimentaron cambios en la cobertura y uso de suelo por las evidencias encontradas de la introducción del ganado (ganadería extensiva y pastoreo) y actividades agrícolas (agricultura de riego y de temporal) y por la nueva configuración en la tenencia de la tierra. El impacto de estas actividades la clasificamos como alto en el área centro norte de la Huasteca, así como de repercusión moderada a baja en la mayor parte de la Huasteca, sobre todo en las parte altas, y con puntos de impacto alto en áreas agregadas. Finalizando la colonia y durante la Postcolonia, los conflictos sociales por la tierra jugaron un papel importante en cuanto a la presión y modificación del paisaje para esta región. La diversificación de productos fue aumentando y gran parte de la superficie ya tenía dueño. Asimismo, la exploración de las zonas poco accesibles dio como resultado que se impulsaran obras como caminos y otras actividades que impulsaron la deforestación y el cambio de cobertura y uso de suelo.

En la etapa del Porfiriato, la región Huasteca estuvo inmersa en un desarrollo de acumulación del capital entre lo que se destaca la construcción y funcionamiento del ferrocarril mexicano y se inician las grandes transformaciones afectando a los paisajes a través de los cambios de cobertura y uso de suelo. En la región, la implementación del ferrocarril dinamizó el establecimiento de actividades de producción a escala industrial en el rubro agropecuario y posteriormente petrolero. La actividad petrolera tuvo como resultado un cambio en el paisaje en la zona centro y la costa pegado al Golfo de México, en donde la vegetación se vio fuertemente afectada a tal grado que la flora y la fauna fue impactada por la fragmentación y pérdida de las selvas logrando así un desequilibrio en la zona. De esta manera, es evidente que el interés económico sobrepaso a aquellos sociales y ambientales dejando consigo ecosistemas afectados y su impacto fue más allá del Porfiriato. Asimismo se categorizó al impacto con un grado alto en algunas áreas desde el norte al sur de la Huasteca, mostrando evidencia que la región ya estaba en su totalidad explorada y sólo se ve un impacto bajo en las tierras altas las cuales son de muy poca accesibilidad o en donde las condiciones para desarrollar actividades productivas no sostenibles es muy difícil.

Por último, en la etapa Actual las actividades productivas se consolidaron y una serie de eventos que van desde el reparto agrario en la década de los 1930s hasta la expansión de los ingenios azucareros a finales de la década de los 2000s. La última región de la Huasteca que estuvo mejor conservada fue la hidalguense hasta la década de los 1970s debido a su mínima accesibilidad y características geomorfológicas que impedían desarrollar actividades productivas destructivas del paisaje. Por otro lado, el PRONADE y el proyecto Pujal Coy contribuyeron fuertemente en la pérdida de los recursos forestales causando un cambio de cobertura y uso de suelo severos en la región. Se estima que en 1979 se agotaron las tierras sin dueño en la Huasteca, siendo este un indicador de que todas los ecosistemas fueron explorados e intervenidos trayendo consigo impactos que van desde moderado hasta altos en toda la región. Asimismo, se estima que más del 80% de la zona ha sufrido transformaciones y los únicos remanentes conservados se encuentran sobre todo en la sierra madre oriental.

#### REFERENCIAS

Aguilar-Robledo, M. (2001). "Ganadería, tenencia de la tierra, e impacto ambiental en la Huasteca

- Potosina: los años de la Colonia". En: Historia ambiental de la ganadería en México. L. Hernández, ed. Instituto de Ecología-Institut de Recherche pour le Développement, Xalapa, 9-24 pp.
- Aguilar-Robledo, M. (2000). "Los condueñazgos del oriente de san luis potosí, mexico, de finales del siglo XIX a principios del siglo XX: algunas reflexiones teóricas, en vetas. Revista del Colegio de San Luis, año II, Vol. IV. 151-189 pp.
- Aguilar-Robledo, M. (1995). Autopsia de un fracaso: el caso del proyecto Pujal-Coy de la Huasteca Potosina. Instituto de investigaciones humanísticas. UASLP. 125 pp.
- Aguilar-Robledo, M. (1992). "Pujal-Coy primera y segunda fase: las causas y los términos del fracaso". El proyecto de riego 'Pujal-Coy' de la Huasteca Potosina: problemática y alternativas. M. Aguilar-Robledo y M. Muñoz, eds. San Luis Potosí-Texcoco: Universidad Autónoma de San Luis Potosí-Universidad Autónoma de Chapingo, 52-81 pp.
- Aguilar-Rivera, N. (2011). Competitividad de la agroindustria azucarera de la Huasteca México. Tesis que para obtener el grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Programa Multidisciplinario en Ciencias Ambientales. 518 pp.
- Ariel De Vidas, A. (2013). Huastecos a pesar de todo. Breve historia del origen de las comunidades Teenek (hustecos) de Tantoyuca, norte de Veracruz. Centro de estudios mexicanos y centroamericanos, Consejo nacional para la cultura y las artes, Dirección General de Publicaciones, 168 pp.
- Álvarez de la Borda, J. (2006). Crónica del petróleo en México de 1963 a nuestros días, AHPM, México.
- Alarcon, J. (1984). Huastec mayan ethnobotany, Austin, Tex., University of Texas Press.
- Ávila, A. (1989). "Riesgo y campesinos de fantasía en la Huasteca: Pujal-Coy 2ª fase", XI Coloquio. Las realidades regionales de la crisis nacional, Zamora, Mich., El colegio de Michoacán, mimeo, 16 pp.
- Betancourt, I. (2002). El poeta y el visitador, historia y lenguaje. En: El siglo XIX en la Huastecas. Escobar, A. & Carregha, L. ed. (2002). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: EL colegio de San Luis, 2002. Colección Huasteca. 379 pp.
- Borah, W. & Cook, S. F. (1963). The Aboriginal Population of Central Mexico on the Eve of the Spanish Conquest, Berkeley, University of California Press.
- Briceño, J. (1993). Paz, orden, progreso y solidaridad. Notas sobre la represión en la Huasteca (Hidalgo y San Luis Potosí). En: Huasteca: III. Movilizaciones campesinas. Ruvalcaba, J. & Alcalá G. ed. (1993). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Hidalgo y Matamoros, Tlalpan. 153 pp.
- Briceño, J., L. Gortari, F. Lartigue, M. Matías, J. M. Pérez & Ruvalcaba, J. (1993). Tendencias históricas y procesos sociales en la Huasteca. En: Huasteca: III. Movilizaciones campesinas. Ruvalcaba, J. & Alcalá G. ed. (1993). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Hidalgo y Matamoros, Tlalpan. 153 pp.
- Cabrera, A. (2002). La Huasteca Potosina. Ligeros apuntes sobre este país. Centro de investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, El colegio de San Luis. 136 pp.
- Cabrera, A. J. (1876). La Huasteca potosina. Ligeros apuntes sobre este país. Tipografía del Comercio, San Luis Potosí.
- Carregha, L. (2010). Estaciones. Tierra y agua para ferrocarriles en los partidos del Oriente potosino, 1878-1902. Mirada ferroviaria, 3-17 pp.
- Carregha, L., B. Garay & Narváez, J. (2003). Camino de Hierro al puerto. Estaciones del ferrocarril central mexicano en el estado de San Luis Potosí. El Colegio de San Luis. San Luis Potosí. Pp. 215.
- Carregha L. (2002). En torno a los levantamientos armados en la Huasteca potosina al inicio del Porfiriato. En: El siglo XIX en la Huastecas. Escobar, A. & Carregha, L. ed. (2002). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: EL colegio de San Luis, 2002. Colección Huasteca. 379 pp.
- Contreras, C. (2011). Geografía histórica de la ciudad de México y el distrito federal. La transformación del paisaje durante el siglo XIX. Editorial académica española. 197 pp.
- CONABIO, (2012). Distribución de la población en México por municipio, año 2010, escala 1:1,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

- D Luna, A., Meza-Aguilar, M.C., Moncada-Maya, J., Orepeza, O. & Palacio-Aponte, A. (1992a). Influencia Humana sobre el medio ambiente uno. Época Precolonial. Ciudad de México. Mapas a escala 1: 8,000,000. Instituto Nacional de Geografía, UNAM. En línea en: [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra\\_mapa.php?cual\\_mapa=TII-V-1-1.jpg](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TII-V-1-1.jpg)
- D Luna, A., Meza-Aguilar, M.C., Moncada-Maya, J., Orepeza, O. & Palacio-Aponte, A. (1992b). Influencia Humana sobre el medio ambiente uno. Época Colonial. Ciudad de México. Mapas a escala 1:8,000,000. Instituto Nacional de Geografía, UNAM. En línea en: [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra\\_mapa.php?cual\\_mapa=TII-V-1-1.jpg](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TII-V-1-1.jpg)
- D Luna, A., Meza-Aguilar, M.C., Moncada-Maya, J., Orepeza, O. & Palacio-Aponte, A. (1992c). Influencia Humana sobre el medio ambiente uno. Época del Porfiriato. Ciudad de México. Mapas a escala 1:8,000,000. Instituto Nacional de Geografía, UNAM. En línea en: [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra\\_mapa.php?cual\\_mapa=TII-V-1-1.jpg](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TII-V-1-1.jpg)
- Escobar, A. & Carregha, L. (2002). Introducción. El siglo XIX en la Huastecas. Breve balance sobre la "región" y temas en la historiografía. En: El siglo XIX en la Huastecas. Escobar, A. & Carregha, L. ed. (2002). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: EL colegio de San Luis, 2002. Colección Huasteca. 379 pp.
- Escobar, A. (2002). ¿Qué sucedió con la tierra en las Huastecas decimonónicas?. En: El siglo XIX en la Huastecas. Escobar, A. & Carregha, L. ed. (2002). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: EL colegio de San Luis, 2002. Colección Huasteca. 379 pp.
- Galicia, M. (2002). Santa Anna de Tamaulipas o Tampico: Comercio y comerciantes en la configuración de un espacio. En: El siglo XIX en la Huastecas. Escobar, A. & Carregha, L. ed. (2002). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: EL colegio de San Luis, 2002. Colección Huasteca. 379 pp.
- García-Cubas, A. (1984). Carta agrícola y forestal de la República mexicana, 1984. Relación del mapa 1:3,000,000. Formada de orden de Porfirio Díaz. Antonio García Cubas comisionado para su exposición en Nueva Orleans.
- Gómez-Pompa, A. (1977). Ecología de la vegetación del Estado de Veracruz. Editorial continental, México.
- Gutiérrez, N. (1982). Los Totonacas y la explotación petrolera. Unpublished paper.
- Gutiérrez A. M. (2002). Visitadores potosinos en el siglo XIX. El caso de la Huasteca. Notas introductorias. En: El siglo XIX en la Huastecas. Escobar, A. & Carregha, L. ed. (2002). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: EL colegio de San Luis, 2002. Colección Huasteca. 379 pp.
- Guzmán, M. L. (1987). La organización territorial de veracruz en el siglo XIX, Universidad veracruzana, Xalapa.
- Gutiérrez, I. (1993). Desigualdad regional y migración en la Huasteca hidalguense. En: Huasteca: III. Movilizaciones campesinas. Ruvalcaba, J. & Alcalá G. ed. (1993). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Hidalgo y Matamoros, Tlalpan. 153 pp.
- Hamilton, C. (1966). Early day oil tales of Mexico. Gulf Publishing Company, Houston.
- Harvey, D. 1996. The geography of capitalist accumulation, in Human Geography: An Essential Anthology (eds J. A. Agnew, D. Livigstone & A. Rogers, (Blackwell, Oxford, 600-602 pp.
- Hernández, G. (2012). Las transformaciones agrarias y el impacto del PROCEDE entre los tének de la Huasteca potosina. Tesis de doctorado em Geografía. Universidad Autónoma de México, p. 464.
- Kane, J. (1995). Savages. Vintage books. New York.
- Klipper, L., R. Walley & Billiet, E. (1993). Le Mexique - des plantes pour les hommes, Bruselas, Jardin botanique national de Belgique / Hayez.
- Loyola, I. (2002). Comercio y estado de guerra en la Huasteca Potosina, 1810-1821. En: El siglo XIX en la Huastecas. Escobar, A. & Carregha, L. ed. (2002). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: EL colegio de San Luis, 2002. Colección Huasteca. 379 pp.
- Martínez, M. (1979). Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas, México, fce.
- Martínez-Mulia, M. C., Castillo-Navarrete, J. & Oropeza-Orozco, O. (1992). Influencia Humana sobre el medio ambiente dos. Época actual. Ciudad

- de México. Mapas a escala 1:4,000,000. Instituto Nacional de Geografía, UNAM. En línea en: [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra\\_mapa.php?cual\\_mapa=TII-V-1-2.jpg](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TII-V-1-2.jpg)
- Meade, J. (1942). La Huasteca. Época antigua, México, Cossio. 23-24 pp.
- Molina, A. (1977). Vocabulario en lengua castellana y mexicana y mexicana y castellana [1551-1571]. 2da ed., México, Porrúa.
- Moreno, A. (2011). Efectos ambientales del Programa Nacional de Desmonte, México, 1972-1982. Tesis de maestría en ciencias ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí. 119 pp.
- Murphy P. G. & Lugo, A. E. (1986). "Ecology of a Tropical Dry Forest", Annual Review of Ecology and Systematics, 16, 67-88.
- Neri, A. (1993). Movimiento y resistencia campesina en la Huasteca. En: Huasteca: III. Movilizaciones campesinas. Ruvalcaba, J. & Alcalá G. ed. (1993). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Hidalgo y Matamoros, Talpan. 153 pp.
- Peralta-Rivero, C., Contreras-Servín, C., Galindo-Mendoza, M.G., Pachicano, M. (2014a). Patrones y tasas de cambio de cobertura y uso de suelo en la Región Huasteca (1976-2007). Percepción Remota y las Ciencias Espaciales, SELPER 2013. Capítulo México-UASLP. Investigación, Desarrollo, Aplicaciones y Divulgación. UASLP-CIACYT, Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria. ISBN: 978-607-9343-25-5. San Luis Potosí, México. 8 pp.
- Peralta-Rivero, C., Contreras-Servín, C., Galindo-Mendoza, M., Caussel, J. & Algara-Siller, M. (2014b). Analysis of Land Use and Land Cover Changes and Evaluation of Natural Generation and Potential Restoration Areas in the Mexican Huasteca Region. Open Journal of Forestry, 4, 124-135. doi: 10.4236/ojf.2014.42018. <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=43113>
- Peralta-Rivero, C., Contreras-Servín, C., Galindo-Mendoza, M., Caussel, J. & Algara-Siller, M. (2014c). Deforestation rates in the Mexican Huasteca Region (1976-2011). *CienciAgro* 3(1): 1-20. [http://ibepa.org/docs/docscienciagro/Cienciagro\\_V3N1\\_2014\\_1-20\\_peralta\\_et\\_al.pdf](http://ibepa.org/docs/docscienciagro/Cienciagro_V3N1_2014_1-20_peralta_et_al.pdf)
- Pérez-Zevallos, J. M. (1983). La Huasteca en el siglo XVI: Fragmentación de los señoríos prehispánicos, organización social y tributo. Tesis que para optar al grado en licenciatura en etnohistoria. Escuela Nacional de Antropología e Historia, especialidad etnohistoria. En La Huasteca ayer y Hoy, Colección Huasteca, Disco 1.
- Quinteros, J. (2012). Estudio ambiental y social comparativo del bosque húmedo en base al cambio de uso de suelo entre la Huasteca Potosina, México y la Mata Atlántica, río de janeiro, Brasil. Tesis de maestría en ciencias ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 168 pp.
- Ramírez, F. (2000). La organización territorial del señorío de Oxitipa siglo XVI. Tesis que para obtener el grado de licenciado en etnohistoria. Escuela Nacional de Antropología e Historia. En La Huasteca ayer y Hoy, Colección Huasteca, Disco 1.
- Ramírez, J. (1899). La vegetación de México, Oficina Tipografica de la Secretaría de Fomento, México.
- Randle, P.H. (1966). Geografía Histórica y Planeamiento. Buenos Aires, EUDEBA, 49 pp.
- Rangel J. A. & Salazar F. M. (2002). Élite, territorialidad y fragmentación política: La provincia Huasteca de 1823. En: El siglo XIX en la Huastecas. Escobar, A. & Carregha, L. ed. (2002). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: EL colegio de San Luis, 2002. Colección Huasteca. 379 pp.
- Reyes, H., R. M. Aguilar, R. J. Aguirre & Trejo I. (2006), "Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México. 1973-2000", *Investigaciones Geográficas*, 59, 26-42.
- Romero, M. (1898). Coffee and India-Rubber culture in México, G.P. Putnam's Sons, Nueva York.
- Sahagún, B. (1977). Historia General de las Cosas de Nueva España, [1547-1582], 3a ed., México, Porrúa, 202 pp.
- Santiago, M. (2002). De "paraíso" a "Tierra baldía": ambiente y extracción petrolera en la Huasteca veracruzana, 1880-1921. En: El siglo XIX en la Huastecas. Escobar, A. & Carregha, L. ed. (2002). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: EL colegio de San Luis, 2002. Colección Huasteca. 379 pp.
- Soto, M. (1856). El nuevo estado. Imprenta Ignacio Cumplido. México.

- Schryper, F. (1993). El comportamiento político de los campesinos indígenas en la Huasteca entre 1860 y 1960. En: Huasteca: III. Movilizaciones campesinas. Ruvalcaba, J. & Alcalá G. ed. (1993). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Hidalgo y Matamoros, Tlalpan. 153 pp.
- Téllez, F. (1992). "La segregación de Tuxpan y Chicontepec en 1953, en La Palabra y el Hombre, 83, 27-46.
- Tiempo, (1972). Programa de Desmontes. 25 de Septiembre.
- Tiempo, (1972). Desmontes en Sinaloa y Nayarit. 23 de Octubre.
- Tiempo, (1974). Programa Nacional de Desmontes. 22 de Abril.
- Van Zantwijk, R. (1989). "El concepto del cuextecatli en la cultura azteca" in *Enquêtes sur l'Amérique moyenne. Mélanges offerts à Guy Stresser-Péan*, México, cemca / inah / cnca, pp. 159.
- Van Zantwijk, R. (1987). Descripción de los guerreros huastecas en A. Tezozómoc, *Crónica mexicana*, (± 1550), 4a ed., México, Porrúa, 314 pp.
- Vázquez-Mantecón, C. (1992). Demanda tradicional de los moradores de las zonas boscosas en que se reconozcan el derecho a explotar libremente los bosques. Mapa a escala 1:4,000,000. Instituto Nacional de Geografía, UNAM. En línea en: [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra\\_mapa.php?cual\\_mapa=TI-II-3-2.jpg](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TI-II-3-2.jpg).
- Zea, L. (1985). El positivismo y la circunstancia mexicana. Fondo de cultura Económica-Secretaría de educación pública. México.

## **CAPÍTULO 8**

### **PROBLEMÁTICA SOCIAL Y AMBIENTAL EN LA HUASTECA POTOSINA EN EL MARCO DEL DESARROLLO ECONÓMICO REGIONAL**

**SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN THE HUASTECA POTOSINA IN  
THE FRAMEWORK OF REGIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT**

# PROBLEMÁTICA SOCIAL Y AMBIENTAL EN LA HUASTECA POTOSINA EN EL MARCO DEL DESARROLLO ECONÓMICO REGIONAL

## SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN THE HUASTECA POTOSINA IN THE FRAMEWORK OF REGIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT

Joab R. Quintero-Ruiz<sup>1</sup>, Carlos Contreras Servín<sup>2</sup>, Laura Yáñez-Espinosa<sup>3</sup>, Marcos Algara Siller<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup>Laboratorio Nacional de Geoprocusamiento de Información Fitosanitaria/ Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, México.

<sup>3</sup>Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

<sup>4</sup>Faculta de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

Autor de correspondencia: joab\_raziel@hotmail.com

### RESUMEN

La Huasteca Potosina es una región tropical en la cual desde mediados del siglo XX se han generado políticas y estrategias cuya finalidad ha sido el dinamizar la economía de la región, sin embargo, distintos factores han permitido el desarrollo de algunos municipios mientras que otros han quedado rezagados. En el presente trabajo se realizó un análisis sobre el potencial económico de cada una de las tres microrregiones que la conforman, buscando comprender el porqué de su actual situación así como los problemas ambientales presentes. Se identifica un cambio de uso de suelo derivado de la ganadería en la Huasteca norte, donde los grupos indígenas son menores, así como una extensa agricultura en la Huasteca centro y sur donde hay alta presencia indígena. Por otro lado se reconoce el potencial turístico de la región así como el rol que han tenido las vías de comunicación, en especial para el desarrollo de la región norte.

**Palabras clave:** Comercio, Turismo, Recursos Naturales, Medioambiente, Región Huasteca.

### ABSTRACT

The Huasteca Potosina is a tropical region which since the mid-twentieth century has generated policies and strategies aiming the boost of the economy of the region, however, various factors have allowed the development of some municipalities while others have remained behind. In this paper

is shown an analysis of the economic potential of each of its three microregions, seeking to identify the reason for their current situation as well as the current environmental problems. It was identified a change in land use derived from livestock in the northern Huasteca where indigenous groups are minor, as well as extensive agriculture in the Huasteca center and south where there is a strong indigenous presence. On the other hand, was recognized there's a tourism potential in the region and the role of the communication ways, especially for the development of the northern region

**Keywords:** Trade, Tourism, Natural Resources, Environment, Huasteca Region.

### 1. INTRODUCCIÓN

Cada comunidad presenta una forma de organización, una cultura y vínculos con los recursos lo cual genera rasgos distintivos en su manejo, sin embargo muchas veces se presentan factores externos como las políticas públicas las cuales llegan a determinar la finalidad y/o el manejo de dichos recursos.

En México, desde mediados del siglo XX se aprecia una política orientada al uso y explotación de los recursos naturales como una vía para el desarrollo económico, dejando en un segundo plano la conservación de estos mismos. Un claro ejemplo fue el "Programa Nacional de Desmontes" (PRONADE) de 1972 cuyo propósito fue darle utilidad a las tierras "ociosas" (tierras encontradas en bosques tropicales), convirtiéndolas

en áreas productivas mediante la incorporación de la ganadería y la agricultura (Moreno, 2011). A nivel regional podemos encontrar otros casos como los presentados en la Huasteca, una macro-región la cual abarca parte de los estados de Veracruz, Hidalgo, Tamaulipas, Puebla, Querétaro y San Luis Potosí, esta última, en la que recae la presente investigación, denominada como Huasteca Potosina.

Esta región se caracteriza por presentar una amplia riqueza biológica en la cual predominan los bosques y selvas tropicales; además se encuentran asentados un gran número de grupos indígenas, siendo los principales los Pames, Nahuas y Huastecos también llamados Teenek (Gallardo, 2004).

A lo largo de su historia, la Huasteca Potosina ha sido un punto referente en la economía del estado, en ella se realizó parte del Programa Nacional de Desmontes, así como otros proyectos importantes en los que destaca el "Pujal-Coy" del año 1973, el cual tuvo como finalidad substituir la ganadería extensiva por una agricultura de riego intensiva, construir obras hidráulicas y civiles, así como captar un gran número de campesinos demandantes de tierras (Reyes et al., 2006). Por otro lado, con la incorporación del modelo de industrialización por substitución de importaciones, generado durante el sexenio del presidente Miguel Alemán (1946-1952), en esta región, fueron establecidos ingenios azucareros los cuales han incentivado el crecimiento de la frontera agrícola produciendo, en conjunto con otros factores, una economía dinámica para algunos municipios, mientras que otros han permanecido al margen conllevando no solo una crisis económica sino también a un alto rezago social.

El presente trabajo tuvo como objetivo, analizar a la Huasteca Potosina desde un enfoque social y económico, para buscar una vinculación con el estado actual de sus recursos naturales. En este sentido se planteó la siguiente hipótesis, en la Huasteca Potosina se han generado diversas políticas y estrategias, que sumadas a las diferencias geográficas y sociales han favorecido algunas regiones, dejando otras en un rezago social y económico, todo ello reflejado en el estado de conservación de sus recursos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

La Huasteca Potosina se ubica entre la latitud 21° 10' y 22° 44' norte, y entre la longitud 98° 20' y 99° 32' oeste, comprendiendo una extensión de 11,409

km<sup>2</sup>. En ella predominan dos tipos de clima, el tropical cálido húmedo con una precipitación anual acumulada de 1,800 mm a 2,000 mm y temperatura promedio anual de 21°C; y el tropical cálido sub húmedo en terrenos de transición entre regiones tropicales húmedas y áridas, con precipitaciones entre 600 mm y 1,500 mm y temperaturas promedio superiores a los 20 °C. En cuanto a su vegetación se refiere, los tipos predominantes son: remanentes de selva mediana sub perennifolia, selva baja caducifolia, encinar tropical y palmar, bosque espinoso, bosque tropical sub caducifolio, bosque tropical caducifolio y bosque de quercus, entre otros ecosistemas (Algara, 2009).

Esta región es atravesada de sur a norte por la Sierra Madre Oriental, presentando algunas altitudes por encima de los 2000 msnm en la parte sur, mientras que al norte, la altitud oscila en los 1000 msnm. En la región de los valles la altitud varía entre los 50 msnm y 300 msnm aproximadamente. Estas características geográficas influyen en la constitución de los suelos, dentro de los cuales predominan los de tipo vertisol ubicados en el noreste, norte y sureste de la Sierra Madre Oriental; rendzinas que se encuentran cruzando de norte a sur y en pequeñas aéreas diseminadas en los municipios de Tamasopo y El Naranjo; litosoles los cuales también se presentan de norte a sur, en el extremo poniente de la región; regosoles ubicados entre las depresiones de la Sierra Madre Oriental con la Sierra del Abra-Tanchipa y finalmente otro tipo de suelos, aunque no tan representativos, son feozem, cambisol, fluvisol, castañozem, gleysol y chernozem (Algara, 2009).

En cuanto a su constitución política, la Huasteca Potosina se encuentra dividida en tres microrregiones (Figura 1): la norte conformada por los municipios de Ciudad Valles, Ébano, Tamuín, San Vicente Tancuayalab, El Naranjo, Tamasopo y Tanquián de Escobedo; la centro conformada por los municipios de Tancanhuitz, Tanlajás, Tampamolón Corona, San Antonio, Aquismón y Huehuetlán; y finalmente la sur conformada por los municipios de Tamazunchale, Matlapa, San Martín Chalchicuatla, Tampacán, Xilitla, Axtla de Terrazas y Coxcatlán (SEDESORE, 2014).

Respecto a la población, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015), señala que al año 2010 había en la región 718,692 habitantes, lo que representa el 27.79 % de la población total del estado. Cabe señalar que de las cuatro regiones en que se encuentra constituido el estado de San Luis Potosí, Centro, Altiplano, Media y Huasteca, es en esta región donde se encuentra el mayor número

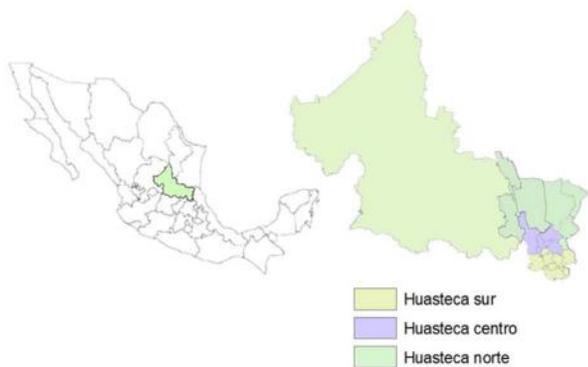


Figura 1. La Huasteca Potosina y sus tres microrregiones.

de grupos indígenas, el cual equivale al 33.67 % del total de la población en la Huasteca.

De acuerdo con el Índice de Desarrollo Humano (IDH) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, al año 2010, el rango de los municipios iba desde 0.57 a 0.77, lo que representa un grado de desarrollo catalogado entre medio y alto. Por último, dentro de las principales actividades económicas, se encuentra el cultivo de la caña de azúcar, la ganadería bovina, así como la agroindustria.

## 2.2 Metodología

Esta consistió en la revisión de artículos científicos y libros especializados cuya temática involucre a la Huastecas Potosina, la búsqueda y análisis de información económica a través de fuentes confiables como lo son el INEGI y la Secretaría de Desarrollo Social y Regional del estado de San Luis Potosí (SEDESORE), así como de indicadores sociales para lo cual se recurrió al Índice de Desarrollo Humano del 2005 y 2010 y los informes de la SEDESORE; por otro lado se recurrió al uso de mapas de cambio de uso de suelo proporcionados por el Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria (LaNGIF) correspondiendo a los años 1973 y 2000.

La información recopilada se integró de forma específica para cada uno de los municipios, generando un análisis sobre cada uno de ellos así como uno para cada microrregión. La misma información permitió identificar algunos puntos clave para la investigación, por lo que se realizaron algunos apartados con la finalidad de brindar una explicación más detalladas y mejor organizada.

Por otro lado, desde el 2011 al 2015 se han realizado constantes visitas a la región lo que ha permitido

observar de forma directa algunos aspectos tratados en la investigación como infraestructura, turismo, entre otros, todo ello con la finalidad de enriquecer el análisis.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Vías de comunicación

El estado de San Luis Potosí se ubica en la parte centro del país por lo que presenta una de las principales rutas comerciales que conecta a los estados del sur con los del norte, y es de proporciones aún mayores si consideramos que es a su vez una de las principales rutas terrestres con destino a los puntos fronterizos con los Estados Unidos en Coahuila y Nuevo León. Este trayecto es reconocido como el “corredor México-Nuevo Laredo, con ramal a Piedras Negras”, un tramo carretero con una de las mayores afluencias en el país (Mendoza y Salazar, 2014). Por otro lado, el estado presenta una vía carretera que va de oriente a occidente conocida como “corredor Manzanillo-Tampico con ramal a L. Cárdenas y Ecuandureo” (Mendoza y Salazar, 2014) la cual atraviesa el extremo norte de la Huasteca Potosina. Dicha carretera es la principal vía de comunicación entre la zona Huasteca con la capital del estado y es también una de las principales vías en la región.

En general las cabeceras municipales se encuentran comunicadas por medio de carreteras pavimentadas, sin embargo muchos poblados que se encuentran apartados de las cabeceras y/o ubicados en las sierra presentan caminos de terracerías, los cuales llegan a estar en pésimas condiciones lo que genera dificultades para acceder a ellos.

Además de las carreteras, el estado cuenta también con vías férreas concesionadas a la empresa Kansas City Southern de México (KCSM), la cual conecta al Distrito Federal, Toluca y Querétaro con las ciudades fronterizas de Laredo y Matamoros, así como al puerto de Lázaro Cárdenas por el lado del Pacífico con el puerto de Tampico en el Golfo de México (AMF, 2015); esta última ruta comenzó a establecerse desde finales del siglo XIX con el tramo de Aguascalientes a Tampico, el cual atraviesa los municipios de Ciudad Valles, Tamasopo, Tamuín y Ébano, este último quedando a solo 71 km del puerto de Tampico. Estos municipios se vieron favorecidos por el crecimiento del intercambio comercial, a lo que incluso se considera que Ciudad Valles logró tener el estatus político y económico de la actualidad, debido en gran parte a la llegada del ferrocarril (Carregha, et al., 2003).

### 3.2 Actividades económicas en la Huasteca norte

Hoy en día Ciudad Valles es el segundo municipio con mayor economía en todo el estado, solo por debajo de San Luis Potosí capital. Este municipio forma parte de la microrregión norte cuyas principales actividades corresponden al cultivo de la caña de azúcar, así como a la ganadería. Sobre esta última actividad es importante señalar que para el año 2007, de acuerdo con cifras del censo agropecuario, existían en todo el estado 800,711 cabezas de ganado bovino, de las cuales 312,136 se encontraban en la microrregión norte de la Huasteca, lo que representaba el 38.98 % del total; 53,514 cabezas en la microrregión centro correspondiendo al 6.68 % y 45,758 cabezas en la microrregión sur equivaliendo al 5.71%. De todos los municipios, Tamuín (Figura 2), fue quien presentó la mayor cantidad de cabezas (117,686) las cuales equivalieron al 14.7 % de la ganadería del estado, seguido por Ciudad Valles con el 9 % y Ébano con el 8.8 %. Tan solo estos tres municipios aportan el 32.5 % de toda la ganadería de San Luis Potosí (INEGI, 2007). Cabe señalar que en Tamuín, Ébano y San Vicente Tancuayalab fue donde se realizó el proyecto de Pujal-Coy, buscando substituir a la ganadería por la agricultura, algo que como se ha señalado no se logró (Aguilar-Robledo, 1992; Reyes et al., 2006).



Figura 2. Ganadería en el municipio de Tamuín, San Luis Potosí.

El cultivo de la caña de azúcar es otra actividad importante en esta microrregión en la cual se ubican los cuatro ingenios de todo el estado, el Plan de Ayala y Plan de San Luis (Figura 3) en el municipio de Ciudad Valles, el ingenio Alianza Popular en

Tamasopo y el ingenio San Miguel del Naranjo en el municipio de El Naranjo. La principal zona de abasto de estos ingenios se encuentra al norte y centro de la Huasteca Potosina, ya que la poca producción generada en la parte sur es utilizada para el autoconsumo y la generación de piloncillo (Aguilar, 2011).



Figura 3. Ingenio Plan de San Luis, Ciudad Valles, San Luis Potosí.

### 3.3 Actividades económicas en la Huasteca centro

Esta región participa en el abastecimiento de los ingenios cañeros, además de contar con actividades ganaderas, aunque muy pobres en comparación con la Huasteca norte, ya que el número de cabezas de sus seis municipios representa tan solo el 6.6 % de todo el estado (INEGI, 2007). Esta región, junto con los municipios de la Huasteca sur, presenta una producción citrícola, por lo que incluso se encuentra instalada una planta de procesamiento de cítricos (Figura 4) en la localidad de Huichihuayán, perteneciente al municipio de Huehuetlán, que de acuerdo con información de la empresa (Citrofrut, 2012), cuenta con un huerto en Tampamolón (Huasteca centro) y dos más en Axtla de Terrazas y Tampacán (Huasteca sur).

Un estudio realizado por Barthas (1997) señala que en la mayoría de los casos la producción de cítricos en esta región es de baja remuneración económica, por su parte un reporte del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí (2010) señala que cada tonelada de naranja es vendida en \$800.00 pesos y cada hectárea produce en promedio 8 toneladas, lo que genera una ganancia neta por

hectárea de \$3,520.00. En una nota periodística (Pulso, 2015) se menciona que hubo años en los que la ganancia por tonelada era solo de entre \$200.00 y \$300.00 pesos lo que generó en abandono de varias huertas; tomando en cuenta esto, así como el hecho de que el cultivo de naranja es en varios casos de temporada, se comprende porque no es un producto tan redituable, principalmente para las familias cuya producción se encuentra limitada a unas cuantas hectáreas.



Figura 4. Planta de procesamiento de cítricos en la localidad de Huichihuayán, Huehuetlán, San Luis Potosí.

### 3.4 Actividades económicas en la Huasteca sur

Esta microrregión presenta como actividades productivas, el cultivo de la caña de azúcar para la generación de piloncillo (Aguilar, 2011), una pequeña producción de cítricos, así como ganadería bovina la cual representa el 5.7 % del total estatal, sin embargo algo que la distingue de las otras microrregiones es la producción de café, siendo los municipios de Coxcatlán, Tamazunchale y Xilitla los mayores productores del estado, la cual a nivel nacional representa el 0.97% del total (SIAP, 2012).

La producción de café en esta región enfrenta varios problemas, uno de ellos es la comercialización del producto sin procesar, lo cual implica el uso de intermediarios, locales y de la región, quienes venden el café a los “tostadores” y/o a la agroindustria, esta forma de comercializar impide a los productores darle un valor agregado al café. Adicional a ello, la base de la economía de los productores suele ser muy vulnerable al depender en la mayoría de los casos solo de cultivos, entre los que también se encuentran el maíz y la vainilla, entre otros; incluso se ha identificado que las comunidades en las montañas que suelen tener problemas de marginación, dependen casi en

su totalidad solo del maíz y del café, por lo que, cuando llegan a presentarse pérdidas en los cultivos o caen los precios, muchos productores optan por abandonar sus tierras y en varios casos migran a otros lugares (Bara, 2012).

En años recientes se han generado esfuerzos para comercializar el producto de forma directa, para lo cual se han conformado cooperativas, así como buscado alternativas que le den un valor agregado al café como lo es la producción de café orgánico (Bara, 2012).

### 3.5 Turismo

Hoy en día el turismo es una importante actividad económica para toda la Huasteca Potosina, así a lo largo de su territorio es posible apreciar una gran variedad de sitios y lugares turísticos que van desde zonas arqueológicas, cañones, ríos, cascadas, sótanos, así como vestigios coloniales, destacando sin duda alguna el castillo de Edwar James (Figura 5) en Xilitla, el Sótano de las Golondrinas en Aquismón, Puente de Dios en Tamasopo y las cascadas de Tamul también en Aquismón, aunque el potencial que ofrece la HP comprende mucho más que solo estos sitios.



Figura 5. Tomas del Castillo de Edwar James, Xilitla, San Luis Potosí.

Un estudio realizado por Reyes-Pérez et al. (2012) propone 15 categorías para los atractivos turísticos naturales que ofrece la Huasteca Potosina en los que se incluyen oquedades, monolitos, volcanes, montañas, reservas de la biósfera, entre otros; y 23 categorías para los atractivos turísticos culturales en lo que se encuentran museos, fiestas, festividades, templos, sitios arqueológicos, entre varios más.

Con todo lo anterior se hace evidente el potencial turístico de la región, la cual de acuerdo con la Secretaría de Turismo del Gobierno del Estado de San Luis Potosí (2010) es, de las cuatro en que se divide el estado, quien presenta la mayor ocupación hotelera cubriendo un 53.3% anual, lo que representó un derrame económico de más de 372

millones de pesos en el 2009, sin embargo, la falta de servicios relacionados con el turismo disminuye el efecto multiplicador del consumo, lo cual ha generado que los ingresos económicos estén muy por debajo que los generados en la región centro del estado, en donde con un 48.8 % de ocupación anual se generó 1,268.5 millones de pesos en el 2009, más de tres veces a lo generado en la Huasteca Potosina. Lo anterior puede ser atribuido a la falta de caminos para las regiones serranas, así como por la falta de servicios complementarios para el turismo como bancos, comercios, farmacias, taxis, entre otros.

### 3.6 Indicadores sociales y económicos

Las población en general se encuentra en condiciones de pobreza, lo cual se puede apreciar al recorrer sus comunidades, lo que además se muestra reiteradamente en indicadores como

lo son el Índice de Desarrollo Humano o en otras mediciones económicas y sociales (Tabla 1).

Como se puede apreciar, la Huasteca centro presenta el menor ingreso bruto de toda la región, el cual representa el 9.28 % de todo el estado. Así mismo tiene el porcentaje de pobreza más elevado, como también los índices de desarrollo humano más bajos y la mayor concentración de población indígena, seguida por la Huasteca sur. Sobre esto, es importante tomar en cuenta que a nivel nacional existe un fuerte rezago económico y social hacia los pueblos indígenas, lo cual puede deberse a diversas circunstancias; por ejemplo, en lo económico, a la falta de mercados para los pequeños productores, así como fallas en las políticas públicas las cuales se basan en el asistencialismo, teniendo una perspectiva de análisis centrada en la determinación de las incapacidades y debilidades

	Municipio	Ingreso bruto (miles de pesos) en el 2012 / 2013	Población total en el 2010	Población indígena en el 2010 (%)	Personas e pobreza en el 2010 (%)	IDH 2010	Densidad poblacional (Personas por km2)
N o r t e	Ciudad Valles	472,375	167,713	7.6	38.8	0.770	69
	Ébano	112,310	41,529	8.1	64.6	0.680	59
	Tamuín	145,556	37,956	12.3	57.4	0.690	21
	San Vicente Tancuayalab	54,726	14,958	23.9	77.1	0.660	29
	El Naranjo	81,187	20,495	0.7	60.6	0.680	25
	Tamasopo	107,454*	28,848	12.1	72.6	0.630	22
	Tanquián de Escobedo	55,619	14,382	16.0	80.4	0.670	101
		<b>Total 1,029,227</b>	<b>Total 325,881</b>	<b>% HN 11.52</b>	<b>Media 64.5</b>	<b>Media 0.683</b>	<b>Media 47</b>
C e n t r o	Tancanhuitz	72,042*	21,039	64.8	72.1	0.680	153
	Tanlajás	115,523	19,312	79.1	86.5	0.614	51
	Tampamolón Corona	94,727*	14,274	61.0	84.6	0.637	54
	San Antonio	64,923	9,390	82.7	88	0.598	99
	Aquismón	288,054*	47,423	67.2	89.5	0.577	60
	Huehuetlán	46,575*	15,311	63.2	80.6	0.650	214
		<b>Total 681,844</b>	<b>Total 126,749</b>	<b>% HC 68.6</b>	<b>Media 83.5</b>	<b>Media 0.626</b>	<b>Media 105</b>
	S u r	Tamazunchale	390,493	96,820	40.4	76.9	0.670
Matlapa		153,337	30,299	60.5	84	0.631	261
San Martín Chalchicuautila		80,561	21,347	44.9	82.7	0.622	52
Tampacán		60,110*	15,838	44.9	76.7	0.660	86
Xilitla		262,394	51,498	40.4	85	0.619	129
Axtla de Terrazas		139,270	33,245	50.4	74.8	0.680	173
Coxcatlán		101,216	17,015	76.0	84.2	0.636	189
		<b>Total 1,187,381</b>	<b>Total 266,062</b>	<b>% HS 46.9</b>	<b>Media 80.6</b>	<b>Media 0.645</b>	<b>Media 166</b>

Tabla 1. Indicadores sociales de los municipios de la Huasteca Potosina. Fuente: INEGI (2015), SEDESORE 2014. El ingreso bruto municipal, la población total, la población indígena, la población en pobreza y la densidad de población se obtuvieron mediante datos del INEGI, mientras que los IDH 2005 y 2010 se obtuvieron de la SEDESORE. En el ingreso bruto municipal, los municipios con marcados (\*) corresponden al año 2012, los restantes al 2013.

de las comunidades, por lo que no son tomadas en cuenta sus capacidades, conocimientos y fortalezas (Vázquez, 2010).

En lo social se ha observado que prevalece una cultura de racismo, en la cual muchas veces por el simple hecho de ser indígenas les son negadas oportunidades e incluso son vinculados con calificativos como flojos, alcohólicos, analfabetas, entre otros; a esto hay que sumar las dificultades que suelen presentar para acceder a estudios.

La Huasteca sur presenta dos municipios con un ingreso bruto relativamente superior a los otros, Tamazunchale y Xilitla, el primero de ellos es el principal centro comercial y de prestación de servicios dentro de esta microrregión, mientras que en Xilitla, el turismo juega un papel importante; así mismo en ambos municipios se desarrolla la producción de café.

Es importante señalar que varios municipios de esta microrregión y de la centro, tienen una extensión territorial sumamente pequeña en comparación con los municipios de la Huasteca norte, sin embargo aunque presentan una población relativamente baja, esta es elevada en proporción a la extensión territorial del municipio, como un claro ejemplo se encuentra Matlapa, el cual tiene una población de poco más de 30 mil habitantes, sin embargo la extensión territorial del municipio es de solo 116.09 km<sup>2</sup>, por lo que la densidad poblacional es de 261 habitantes/km<sup>2</sup>. Llama la atención que municipios del norte como Ebanó, Tamuín, San Vicente Tancuayalab y Ciudad Valles presentan una densidad poblacional de entre 21 y 69 habitantes/km<sup>2</sup>, siendo estos los municipios con la mayor ganadería en la región; mientras que en la Huasteca sur, donde la mayor parte de la población se dedica a la agricultura, casi todos los municipios, a excepción de Tampacán y San Martín Chalchicuátla, tienen una densidad por encima de los 100 habitantes/km<sup>2</sup>, incluso superando los 200 habitantes/km<sup>2</sup> en el caso de Tamazunchale y Matlapa (Tabla 1).

Por último, la Huasteca norte presenta los mejores valores en el IDH en comparación con la microrregión centro y sur, sin embargo no significa que sus niveles sean óptimos, ya que más del 60 % de la población de esta microrregión se encuentra en situación de pobreza. Destaca la posición de Ciudad Valles quien, como se ha señalado, es el municipio más pujante en economía, producto en gran parte por la agroindustria desarrollada así como por su ubicación, un punto importante para el intercambio comercial.

### 3.2 Estado del ambiente

Como se ha podido apreciar la mayoría de las actividades económicas en la Huasteca Potosina son del sector primario, las cuales en consecuencia de su demanda se han incrementado generado procesos de cambio de uso de suelo, deforestación, contaminación de cuerpos de agua y pérdida del acervo biológico.

Un estudio sobre el la cobertura vegetal (Figuras 6 y 7) y el cambio de uso de suelo en la Huasteca Potosina, realizado por el Laboratorio Nacional de Geoprocuremento de Información Fitosanitaria (LaNGIF), mostró un incremento de pastizales en las tres microrregiones para el año 2000, en referencia al año de 1973, principalmente en la norte, en los municipios de Tamuín, Tanquián de Escobedo y San Vicente Tancuayalab, donde los pastizales representaban más del 50 % del total de su superficie (Tabla 2). En el caso de la sur, los principales cambios se dieron en consecuencia de la agricultura de temporada, habiendo municipios en donde estas prácticas representaban más del 60 % del total de su superficie, siendo estos Tamazunchale, Tampacán, Axtla de Terrazas y Coxcatlán. Finalmente en la microrregión centro, los mayores cambios se dieron en consecuencia de la agricultura de temporada, principalmente en Tancanhuitz, Tanlajás, San Antonio y Huehuetlán, donde dichas actividades representan más del 50 % de su superficie.

Los cambios en la cobertura vegetal muestran que es en la Huasteca centro y sur donde se generó la mayor pérdida de selvas en los últimos años, mientras que en la parte norte de la región la reducción no fue tan drástica. Esto no necesariamente significa que haya una mayor conservación en los municipios del norte, más bien lo que refleja es una deforestación temprana, es decir, en esta región tanto la ganadería como la agricultura, entre otras actividades, generaron grandes impactos antes de que pudieran ser visualizados por las imágenes de satélite en la década de los 70s. Cabe señalar, que desde la llegada de los españoles en el siglo XVI hubo una rápida introducción de la ganadería en esta región, principalmente en los valles (Ramírez, 2000).

Otros problemas ambientales en la Huasteca han sido ocasionados por la falta de control en las actividades productivas, por ejemplo el caso de la caña de azúcar, la cual suele ser quemada durante la zafra generando contaminación atmosférica, además de requerir una fuerte demanda de agua (Giraldo, 2013).



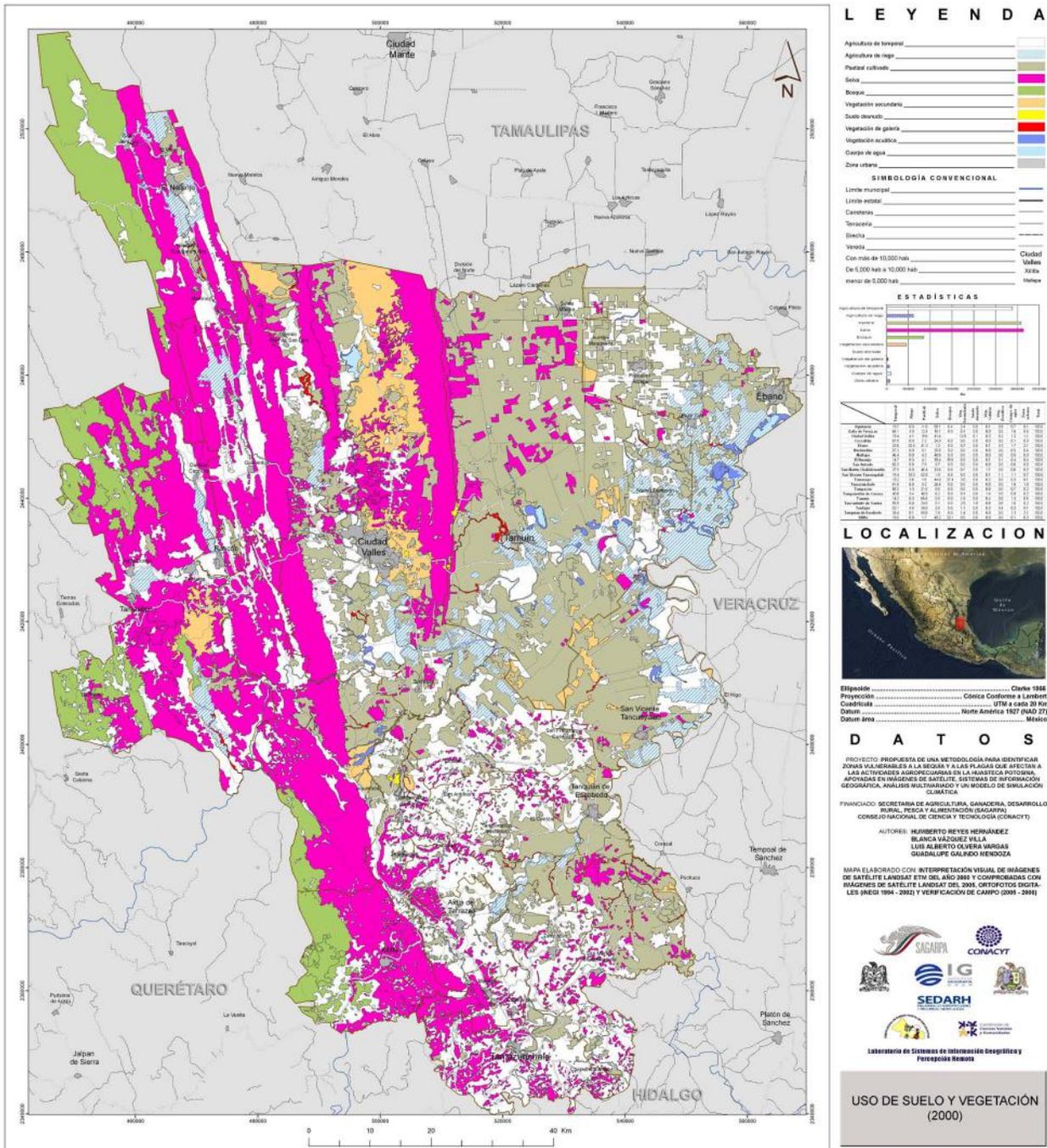


Figura 7. Uso de suelo y vegetación en la Huasteca Potosina en el año 2000. Fuente: LaNGIF

Por otro lado, si el turismo no es regulado y desarrollado con base a planes estratégicos en el que contemplen la fragilidad del ambiente y sus recursos, así como la capacidad de carga de los sitios y a sus comunidades, este puede llegar a generar graves problemas ambientales. Cabe señalar el caso del sótano de las golondrinas, en donde la afluencia de personas al interior ha provocado la disminución de la población de aves (Álvarez, 2008 citado en Suarez et al., 2010), por lo que actualmente los descensos a su interior son más controlados, permitiéndolo en determinadas horas cuando no se encuentran las aves (Suarez et al., 2010). No obstante el impacto del sitio seguirá incrementándose a medida que no se tomen otras consideraciones como la fragilidad geológica del lugar o las relaciones bióticas y abióticas de las especies, ya que como se ha podido apreciar existe un proceso de deforestación en zonas aledañas, lo cual podría estar causando repercusiones en las poblaciones de aves.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Huasteca Potosina se ha visto favorecida por los intercambios comerciales que han sido facilitados por las vías de comunicación, además se encuentra cercana al puerto de Tampico; no obstante existen poblaciones en las que el acceso es muy complicado

lo que limita la dotación de recursos, el intercambio comercial o el turismo, en este sentido es necesaria la infraestructura para establecer los medios y mecanismos que permitan incentivar la economía en las comunidades menos favorecidas.

El turismo en la región es una actividad importante la cual puede seguir desarrollándose, pero es necesario que haya una mayor dotación de servicios como bancos, tiendas, transportes locales, etc, lo cual no solo puede brindar una mejor atención al turismo, también son oportunidades para generar más empleos, sin embargo, si no se desarrollan planes estratégicos y de manejo y sobre todo se actúa conforme a estos, se pueden ocasionar fuertes daños ambientales y en el patrimonio cultural de la región.

El desarrollo económico de la Huasteca Potosina se basa en las actividades primarias, aunque hay claras diferencias en sus tres regiones tanto en sus condiciones sociales, económicas, como ambientales; mientras que en la Huasteca norte hay poca presencia de grupos indígenas y una alta ganadería, en la Huasteca centro se presenta la mayor concentración indígena, lo cual es acompañado por una alta agricultura, caso similar a la Huasteca sur la cual presenta una significativa presencia indígena así como la menor cantidad de pastizales. Estas diferencias están impuestas por diversos factores, como las características del

Municipio \ % Uso de suelo 1973 y 2000	Cultivo de temporal			Cultivo de riego			Pastizal			Selva			Bosque			Veg. Secundaria		
	1973	2000	Δ	1973	2000	Δ	1973	2000	Δ	1973	2000	Δ	1973	2000	Δ	1973	2000	Δ
Ciudad valles	13.1	19.4	6.30	0.7	4.1	3.40	16.8	19.6	2.80	64.2	41.4	-22.80				3.9	12.5	8.60
Ébano	14.8	23.8	9.00	15.1	25.8	10.70	49.1	41.3	-7.80	18	1.2	-16.80	0.1	0	-0.10	1.1	0.7	-0.40
Tamuín	5.8	14.2	8.40	2.1	6.3	4.20	59.6	65.6	6.00	22.8	9	-13.80	4.1	0	-4.10	2.9	1.8	-1.10
San Vicente Tacuayalab	18.1	19.4	1.30	10	18	8.00	56.3	52.8	-3.50	12.6	1.9	-10.70	0	0	0	2.2	5	2.80
El Naranjo	13.6	14.7	1.10	4.5	5.3	0.80	1.2	4.1	2.90	42.2	39.4	-2.80	37.6	35.5	-2.10	0.3	0	-0.30
Tamasopo	19.8	19.2	-0.60	0	3.6	3.60		1.6	1.60	51.7	44	-7.70	27.5	27.4	-0.10	0	3.5	3.50
Tanquián de Escobedo	43.1	28.4	-14.70	0	0.1	0.10	17.3	58.8	41.50	32.2	7.8	-24.40	0	0	0	5.7	1.4	-4.30
Promedio de la HN	18.3	19.9	1.54	4.6	9.0	4.40	33.4	34.8	1.45	34.8	20.7	-14.14	9.9	10.5	0.58	2.3	3.6	1.26
Tancanchuitz	5.2	58.9	53.70	0	0	0	9.4	24.5	15.10	75.4	9.1	-66.30	0	0	0	10	2.8	-7.20
Tanlajás	28.6	53.1	24.50	0	4.5	4.50	14.5	34.8	20.30	56.4	5.5	-50.90	0	0	0	0	1.1	1.10
Tampamolón	45.5	40.8	-4.70	0.8	3.4	2.60	21.6	46.9	25.30	30.8	6.2	-24.60	0	0	0	0.2	0.1	-0.10
San Antonio	22.1	82.3	60.20	0	0	0	16.8	7.9	-8.90	61.1	9.7	-51.40	0	0	0	0	0	0
Aquismón	16.4	19.7	3.30	0	0	0	2.2	11.8	9.60	73.1	58.1	-15.00	6.7	6.4	-0.30	1.1	2.4	1.30
Huehuetlán	12.9	57.2	44.30	0	0	0	0	6.1	6.10	72.9	35.9	-37.00	0	0	0	14.2	0	-14.20
Promedio de la HC	21.8	52.0	30.22	0.1	1.3	1.18	10.8	22.0	11.25	61.6	20.8	-40.87	1.1	1.1	-0.05	4.3	1.1	-3.18
Tamazunchale	46.2	61.8	15.60	0	0	0		9.2	9.20	51.2	26.4	-24.80	0	0	0	0	0	0
Matlapa	45.4	46.4	1.00	0	0	0	0	4.3	4.30	54.2	48.8	-5.40	0	0	0	0	0	0
San Martín	25.7	37.5	11.80	0	0	0	38.5	46.4	7.90	35.6	13.6	-22.00	0	0	0	0.2	0.7	0.50
Tampacán	44.8	68.2	23.40	5.4	1.3	-4.10	7.1	21	13.90	36.5	8.6	-27.90	0	0	0	4.4	0	-4.40
Xilitla	17.6	18.5	0.90	0	0	0	0	1.7	1.70	49.9	49.2	-0.70	32.4	30.1	-2.30	0	0	0
Axtla de Terrazas	25.9	65.1	39.20	0.2	4	3.80	0	12.4	12.40	70.8	16.1	-54.70	0	0	0	0	0.1	0.10
Coxcatlán	18.4	67.9	49.50	0	0	0	0	7.2	7.20	74.5	24.9	-49.60	0	0	0	7	0	-7.00
Promedio de la HS	32	52.2	20.20	0.8	0.8	-0.04	7.6	14.6	7.00	53.2	26.8	-26.44	4.6	4.3	-0.33	1.7	0.1	-1.54

Tabla 2. Porcentaje de los usos de suelo en la Huasteca Potosina en los años 1973 y 2000. Fuente: LaNGIF, sin año.

terreno y la misma historia de los grupos sociales, en este sentido cabe mencionar, que a la llegada de los españoles, la mayor parte de los grupos indígenas se vieron obligados a refugiarse en las montañas, sitios que habitan actualmente, mientras que los españoles aprovecharon los espacios libres en los valles para establecer la ganadería, algo que hoy en día sigue apreciándose (Ramírez, 2000).

Por otro lado, el análisis muestra que la ganadería en la Huasteca Potosina ha generado una gran extensión de pastizales en consecuencia de la demanda ganadera, no obstante, esto no implica que haya una mejora en las condiciones económicas de la población, ya que si bien la ganadería puede conllevar la generación de riqueza, esta puede estar concentrada en un número reducido de personas, por lo que no se ve reflejado en los diversos índices. Por último es necesario reconocer que cada municipio así como cada sitio presenta sus propios problemas, tanto de naturaleza económica, como social y ambiental, muchas veces ligados o derivados unos de otros; por lo que es necesario un análisis integral, ya que a medida que se identifiquen y comprendan cada una de estas situaciones en todas sus vertientes, podrán realizarse análisis y propuestas que permitan resolverlos.

## AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales "PMPCA" y al Center for Natural Resources and Development "CNRD" por apoyar esta investigación, así como al Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria por la facilitación de información.

## REFERENCIAS

Algara, M. (2009). Propuesta metodológica para medir el impacto del fenómeno de la sequía en la Huasteca Potosina y propuesta general de manejo. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

Aguilar, N. (2011). Competitividad de la agroindustria azucarera de la Huasteca México. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

Aguilar-Robledo, M. (1992). Los avatares de un proyecto regional: el caso de Pujal-Coy. Problemas del Desarrollo, 23, 66-95.

Asociación Mexicana del Ferrocarril, AMF (2015,

octubre). Disponible en: <http://www.amf.org.mx>  
Bara, C. (2012). Coffee trade between Mexico and Germany. Status quo, challenges and opportunities in alternative coffee production, consumption and trade. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, Cologne University of applied sciences, Cologne, Alemania.

Barthas, B. (1997). Recomposición de la producción regional en la Huasteca potosina: zona citrícola y piloncillera. Revista de Geografía Agrícola, estudios de la agricultura mexicana, 24(25), 99-105.

Carregha, L., Garay, B., Narváez, J. (2003). Camino de hierro al puerto. Estaciones del Ferrocarril Central Mexicano en el estado de San Luis Potosí. (1ra ed.) México: El Colegio de San Luis

Citrofrut (2012, diciembre). Disponible en: <http://www.citrofrut.com.mx/>

Comité Estatal de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí, (2010). Programa de trabajo de la campaña contra Huanglongbing de los cítricos a operar con recursos del subcomponente de Sanidad Vegetal del Programa de Prevención y Manejo de riesgos 2011, en el estado de San Luis Potosí.

Gallardo, P. (2004). Huastecos de San Luis Potosí, Pueblos indígenas del México contemporáneo. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Disponible en: <http://www.cdi.gob.mx>

Giraldo, A. (2013). Problemática y propuestas para el manejo sostenible del río Tamasopo, San Luis Potosí, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, Cologne University of applied sciences, Cologne, Alemania.

INEGI, Censo Agropecuario 2007 (2007, noviembre). Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/>

INEGI, México en cifras. Información nacional por entidad federativa y municipios (2015, diciembre). Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/>

Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria, LaNGIF (Sin año).

Mendoza, J. F. & Salazar, A. (2014). Inventario de emisiones en los principales corredores de transporte carretero en México. SCT-IMT, Publicación técnica (400).

Moreno, A. (2011). Efectos ambientales del

- programa nacional de desmontes, México, 1972-1982. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, Cologne University of applied sciences, Cologne, Alemania.
- Pulso, Diario de San Luis (2015, mayo). La actividad ha dejado de ser rentable; en menos de 10 años las cosechas se han reducido en más de un 40%. Disponible en: <http://pulsoslp.com.mx/2015/05/01/abandonan-los-huertos-de-citricos/>
- Ramírez-Díaz, F. (2000). La organización territorial del señorío de Oxitipa siglo XVI. Tesis de licenciatura en etnohistoria, Escuela Nacional de Antropología e Historia. La Huasteca ayer y Hoy, Colección Huasteca, Disco 1.
- Reyes, Humberto; Aguilar, Miguel; Aguirre, Juan; Trejo, Irma (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. Investigaciones Geográficas, 59, 26-42.
- Reyes-Pérez, O., Vázquez-Solís, V., Reyes-Hernández, H., Nicolás-Caretta, M., Rivera-González, J. G. (2012). Tourist potential of the Huasteca region of San Luis Potosí, Mexico. Economía Sociedad y Territorio, 12(38), 249-275.
- Secretaría de Desarrollo Social y Regional, SEDESORE, (2014). Indicadores Básicos del Desarrollo Social de San Luis Potosí.
- Secretaría de Turismo del Gobierno del Estado de San Luis Potosí, (2010). Economía Competitiva y Generadora de Empleos: Turismo. Disponible en: <http://www.slp.gob.mx>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP, (2012). Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>
- Suarez, I. B., Gutiérrez, A., Bojorquez, A. R. (2010). Sótano de las golondrinas...Maravilla natural de México, acciones para su conservación como destino de turismo de naturaleza. Topofilia Revista de Arquitectura, Urbanismo y Ciencias Sociales Centro de Estudios de América del Norte, 2 (1).
- Vázquez, A. P. (2010). El reto de la conservación y el desarrollo comunitario. Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad veracruzana, 23 (1). Disponible en: <https://www.uv.mx>

## **CAPÍTULO 9**

### **MODELOS BAYESIANOS PARA EL ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE ENFERMEDADES: ENFERMEDAD DE CHAGAS EN LA HUASTECA POTOSINA**

**BAYESIAN MODELS FOR GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF DISEASES: CHAGAS  
DISEASE IN THE HUASTECA POTOSINA**

# MODELOS BAYESIANOS PARA EL ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE ENFERMEDADES: ENFERMEDAD DE CHAGAS EN LA HUASTECA POTOSINA

## BAYESIAN MODELS FOR GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF DISEASES: CHAGAS DISEASE IN THE HUASTECA POTOSINA

Hugo Medina Garza<sup>1</sup>, Carlos Contreras Servín<sup>2</sup>, María Guadalupe Galindo Mendoza<sup>2</sup>, José de Jesús Mejía Saavedra<sup>3</sup>, Beatriz Estrella Arreola Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, CIACYT, UASLP.

<sup>2</sup>Laboratorio Nacional de Geoprocusamiento de Información Fitosanitaria. Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

<sup>3</sup>Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud. Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Autor de correspondencia: h\_mega@hotmail.com

### RESUMEN

La combinación de los modelos jerárquicos Bayesianos con los sistemas de información geográficos constituyen una herramienta tecnológica importante que puede ser utilizada para caracterizar y estimar patrones de enfermedades, considerando simultáneamente: estructuras complejas de modelaje jerárquico, factores de riesgo sociodemográfico y factores ambientales. La enfermedad de Chagas es transmitida por el protozoo Trypanosoma cruzi. Está documentado como la influencia de factores ambientales favorecen la presencia de la infección. El objetivo del estudio fue comprender los patrones de distribución espacial de riesgo y los factores ambientales y socioeconómicos que favorecen la propagación de la enfermedad de Chagas. Se incorporó un marco bayesiano, con inclusión de efectos aleatorios correlacionados y no correlacionados espacialmente para estimar rigurosamente la variación espacial en el riesgo de la enfermedad, mientras se cuantificaron los efectos de las covariables. Este tipo de enfoque se utiliza comúnmente para estimar la variación espacial en el riesgo de enfermedad en áreas pequeñas (por ejemplo, áreas administrativas) y garantiza la plena representación de la incertidumbre en los parámetros estimados. Se observó un patrón claro de distribución espacial en la incidencia de la enfermedad en la Huasteca Potosina, y la incidencia se vio significativamente correlacionada en el modelo de regresión multivariante final con las variables: temperatura mínima, viviendas con piso de tierra,

viviendas sin agua entubada, población de tres años y más que habla lengua indígena y no habla español, población mayor a 15 años analfabeta, derechohabiente a servicios de salud, viviendas con algún nivel de hacinamiento y viviendas habitadas que cuentan con servicios. Estos resultados ponen de manifiesto que es la población indígena es la más afectada, ya que carece de acceso a servicios tales como educación, salud y vivienda, por lo tanto, esto favorece la presencia del vector causante de la enfermedad. Asimismo, esta población habita en zonas de difícil acceso, lo que dificulta la implementación de programas adecuados de control del vector y la infección.

Palabras clave: Modelo Espacial Bayesiano, Análisis Geográfico, Enfermedad de Chagas, Huasteca Potosina.

### ABSTRACT

The combination of Bayesian hierarchical models with geographic information systems is an important technological tool that can be used to characterize and assess patterns of disease, considering simultaneously: complex structures of hierarchical modeling, socio-demographic risk factors and environmental factors. Chagas disease is transmitted by the protozoan Trypanosoma cruzi. It is documented how the influence of environmental factors favor the presence of infection. The aim of the study was to understand the spatial distribution patterns of risk and environmental and socioeconomic factors favoring

the spread of Chagas disease. He joined a Bayesian framework, including correlated random effects and spatially uncorrelated to rigorously estimate the spatial variation in risk of disease, as the effects of covariates were quantified. This approach is commonly used to estimate the spatial variation in disease risk in small areas (eg administrative areas) and ensuring full representation of the uncertainty in the parameter estimates a clear pattern of spatial distribution in incidence was observed of the disease in the Huasteca, and the incidence was seen significantly correlated in the model final multivariate regression with the variables: minimum temperature, homes with floors, homes without running water, population of three years and over that speaks indigenous language and do not speak Spanish, more than 15 years illiterates, entitled to health services, housing some level of overcrowding and inhabited dwellings with services. These results show that the most affected is the indigenous population, as this group is the one that lack the most access to services such as education, health and housing, therefore, it favors the presence of the vector that causes the disease. Also, this population lives in areas of difficult access, hampering the implementation of appropriate vector control programs and infection.

Keywords: Bayesian Modelling, Geographic Analysis, Chagas Disease, Huasteca Potosina.

## 1. INTRODUCCIÓN

El análisis y modelaje de datos provenientes de los campos de epidemiología y salud pública, es un área de investigación activa con enorme proyección en estadística. La combinación de los modelos jerárquicos Bayesianos con los sistemas de información geográficos constituyen una herramienta tecnológica importante que puede ser utilizada para caracterizar y estimar patrones de enfermedades, considerando simultáneamente: estructuras complejas de modelaje jerárquico, factores de riesgo sociodemográfico y factores ambientales. También la metodología permite la interpretación de la distribución a posteriori de los riesgos relativos, detectar áreas donde los riesgos disminuyen, se incrementan o se mantienen constantes en el tiempo (González et al., 2012).

Los métodos Bayesianos usados para estimar riesgo, permiten incorporar evidencia de experiencias a través de la información a priori y considera a los parámetros como variables aleatorias. La metodología Bayesiana acepta la inclusión de múltiples sub- análisis o subconjuntos que colocados juntos podrían afirmar creencias acerca

de resultados similares entre ellos (Wakefield et al., 2000). Lo atractivo del teorema de Bayes para los investigadores médicos es que su fórmula demuestra creencias, experiencias o conocimientos previos o pre-existentes expresados formalmente mediante probabilidades, y que pueden ser modificadas por evidencias, es decir el conocimiento previo puede ser modificado por la nueva información; y la inferencia no será afectada.

Cuando se calculan los riesgos relativos por métodos tradicionales no se puede apreciar en el mapa con claridad los patrones de la distribución de la enfermedad, sobre todo cuando se trata de una enfermedad rara y su muestreo es en áreas pequeñas, en consecuencia se obtienen mapas con mucho ruido sobre todo por la influencia de valores atípicos. Por el contrario, los métodos Bayesianos permiten obtener estimadores consistentes que toman en cuenta la correlación espacial con áreas vecinas permitiendo obtener mapas suavizados (Ugarte et. al., 2006).

Por otro lado, a diferencia de los métodos estadísticos tradicionales, este enfoque no se reduce a operar con la información empíricamente conseguida sino que la combina con los criterios a priori que posee el investigador, nacidos tanto de estudios previos como de reflexiones racionales y juicios razonablemente conformados. Como resultado de tal integración, que se realiza por conducto del teorema de Bayes, se obtiene una llamada visión a posteriori que constituye la base de las inferencias subsiguientes (Silva y Benavides, 2001).

Cuando se trabaja con áreas pequeñas, es muy posible que se obtengan estimaciones extremas de las tasas en algunas de ellas. De modo que resulta razonable admitir que las estimaciones obtenidas dependen de nuestro conocimiento, o de nuestra creencia sobre qué otras áreas pudieran tener tasas similares a las de aquellas en que hay pocos datos. Para proceder en esa dirección, se suelen definir unas “adyacencias” a partir de criterios tales como proximidad geográfica, similitud en materia económica, demográfica, etc. Esto es lo que configura la información a priori. En el caso más simple, operando como si hubiera una total ignorancia, se atribuye a las áreas “conflictivas” la media de todas las áreas presentes en el estudio. Es obvio que si los casos observados son pocos y el monto de personas-tiempo reducido, entonces la información a priori será dominante; pero si el monto informativo es alto, entonces el peso de la información local será tanto o más importante que el del a contextual. La creencia a priori sobre las

distintas áreas geográficas puede ser representada por una distribución de probabilidad que estará centrada en el valor que en principio sea más creíble, y tendrá una variabilidad inversamente proporcional al grado de certidumbre que quepa atribuir a esa creencia. Desde un punto de vista formal, tal enfoque se ajusta adecuadamente a la teoría de los modelos jerárquicos bayesianos. En el presente contexto, el teorema de Bayes permite obtener la distribución a posteriori para las tasas desconocidas como una magnitud proporcional al producto de la distribución a priori y la verosimilitud de los datos. La estimación de la tasa es entonces una medida central de la distribución a posteriori.

Supongamos que el área total que es objeto de estudio está dividida en  $n$  áreas contiguas representadas mediante los índices  $i=1, \dots, n$ . Llamemos  $O = (O_1, \dots, O_n)$  al vector que tiene por coordenada genérica  $O_i$  el número de casos de cierta enfermedad que se produjeron durante el período de estudio para la  $i$ -ésima área geográfica. El vector de casos esperados  $E = (E_1, \dots, E_n)$  se calcula aplicando a la población las tasas específicas por edad y sexo, asumiendo que éstas son constantes durante todo el período. Llamemos  $\varepsilon_i$  al riesgo relativo, desconocido, correspondiente a la  $i$ -ésima área, y denotemos por  $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)$  al vector de los  $n$  riesgos relativos. Lo que se quiere es tener una visión probabilística que combine lo observado con nuestra apreciación probabilística a priori. Es decir, los métodos bayesianos combinan los dos tipos de información: la que provee cada área a través de las muertes acaecidas (lo que permite calcular la verosimilitud suponiendo válido el modelo de Poisson) y la información a priori sobre los riesgos relativos. Coherentemente con el teorema de Bayes, la distribución a posteriori de los riesgos relativos viene dada por:

$$[\varepsilon | O] \propto [O | \varepsilon] X[\varepsilon]$$

Donde  $[O | \varepsilon]$  es la verosimilitud y  $[\varepsilon]$  la distribución a priori que se atribuya a los riesgos relativos. La función de verosimilitud es el producto de  $n$  distribuciones independientes de Poisson puesto que los  $O_i (i=1, \dots, n)$  son mutuamente independientes y siguen una distribución de Poisson con media  $E_i \varepsilon_i$ . Para especificar la estructura a priori para  $\varepsilon_i$  existen diversas posibilidades, que van desde el modelo más simple, en el cual se considera un valor medio hacia el que tiende cada área, hasta los que postulan una compleja variante de interdependencia entre las áreas. Como se parte de la creencia de que existen correlaciones espaciales entre los riesgos relativos (por ejemplo, que áreas geográficamente próximas

tienden a tener riesgos relativos similares), se considera una estructura espacial de tal manera que aquellas áreas que rodean a una cierta área  $i$  tengan influencia sobre la estimación del riesgo relativo en ella. El proceso de establecimiento de los valores a posteriori para los  $\xi_i$  es considerablemente complejo desde el punto de vista computacional. Para conseguirlo hay que estimar los parámetros del modelo jerárquico, para lo cual se utilizan técnicas de simulación; en este caso se utiliza el Gibbs Sampler, que pertenece a la familia de métodos de Monte Carlo y Cadenas de Markov (MCMC), susceptible de ser aplicado usando el programa WinBugs.

Concerniente a la enfermedad de Chagas o Tripanosomiasis americana, esta es una enfermedad transmitida por vector. Es una infección endémica causada por el parásito protozoario *Trypanosoma cruzi*. Esta enfermedad representa el principal problema de salud pública en América Latina. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que aproximadamente 100 millones de personas están en riesgo de infección, y entre 16 y 18 millones están infectados (WHO, 1997).

Esta enfermedad se encuentra asociada a la pobreza y las malas condiciones de la vivienda; se localiza ampliamente distribuida, en las áreas rurales de Latinoamérica y en zonas marginadas de las grandes ciudades principalmente (Coura y Borjes-Pereira, 2010). La enfermedad de Chagas, más que ninguna otra, está íntimamente ligada con el desarrollo económico y social (SSA, 2012). A partir de 1993 la OMS la consideró como la enfermedad parasitaria más grave en América y es parte de la lista de las catorce enfermedades “descuidadas o negligidas”.

Además, los factores socioeconómicos pueden influir en la transmisión: una mayor incidencia tiende a ocurrir en zonas rurales, con población indígena y marginada (Medina-Garza et. al., 2014a). En San Luis Potosí, de acuerdo a los datos de la Secretaría de Salud del Estado, se han reportado un total de 257 infectados en el periodo de 2003 al 2012, siendo la Jurisdicción Sanitaria Número V y VI (correspondiente a la región huasteca) registran el mayor número de casos.

El aumento de la frontera humana también puede incrementar la incidencia de la enfermedad, al entrar en contacto directo con los insectos vectores (Cruz-Reyes y Pickering-López, 2006). Por lo tanto, podemos suponer que la distribución espacial de la Tripanosomiasis americana se determina por factores climáticos y ambientales, que influyen en la distribución de las chinches y factores

socioeconómicos, que pueden alterar el patrón de contacto entre los humanos y los vectores.

Pocos estudios han analizado la distribución espacial de la incidencia de tripanosomiasis americana en relación a las condiciones climáticas, factores ambientales y características socioeconómicas de la población, a pesar de la importancia de estos factores en la transmisión de enfermedades. Dumonteil y Gourbiere (2004) exploraron las relaciones entre la distribución geográfica de *Triatoma dimidiata* y factores bioclimáticos en la península de Yucatán, México para obtener el primer mapa de riesgo de transmisión natural de la enfermedad de Chagas en esa zona, pero no incluía variables socioeconómicas de la población en su análisis.

La transmisión de enfermedades infecciosas está estrechamente ligada con el concepto espacio-temporal. En este sentido, el riesgo de contraer una enfermedad es mucho más alto cuando existen personas o regiones vecinas infectadas. Por consiguiente y distinguiendo el rasgo espacial en la propagación de enfermedades, el objetivo principal de la presente investigación fue analizar y modelar la ocurrencia de la enfermedad de Chagas teniendo en cuenta el componente espacial; elaborar mapas de la enfermedad que sirvan para estratificar las zonas de acuerdo con el número de ocurrencia y el riesgo que presentan y analizar las posibles relaciones entre variables que permitan decidir sobre las necesidades y las prioridades en la lucha contra estas enfermedades de forma que orienten a las autoridades competentes en la definición de políticas de salud pública.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

La investigación se centró en la Huasteca Potosina, localizado en la parte oriental del Estado de San Luis Potosí, México (Figura 1). En esta región predominan climas cálidos húmedos y subhúmedos y semicálidos húmedos. Se caracteriza por tener población indígena de 242,020 habitantes (CONABIO, 2012a) y presentar un grado de marginación medio y alto (el 61% de la población presenta grado de marginación alto y muy alto) (CONABIO, 2012b), además de que las condiciones de las viviendas de estas zonas presentan las características idóneas para albergar a los vectores de la enfermedad de Chagas: comúnmente carecen de servicios básicos, están construidas de materiales como la palma y madera, factores que favorecen la presencia del vector (Medina-Garza et. al., 2014b) (Figura 2).



Figura 1. Ubicación de la Huasteca Potosina.

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Datos de la enfermedad de Chagas

Los datos sobre el número de enfermos de Chagas y municipios donde se presentaron los casos entre 2003 y 2012 se obtuvieron mediante una solicitud de información a la Secretaría de Salud a través de INFOMEX (<https://www.infomex.org.mx>). La base de datos proporcionada contenía información por año y por municipio del total de casos registrados de cada una de las localidades de la Huasteca Potosina que presentaron casos de enfermos de Chagas en el periodo 2003-2012.

No se registraron casos individuales ni la información de identificación personal fue usada como parte de este estudio: los registros de enfermedades fueron agregados a las áreas administrativas.

### 2.2.2 Covariables

Se utilizó además una base de datos de variables ambientales (temperatura mínima, máxima, media, precipitación) y sociales (porcentaje de población indígena, índice de marginación, acceso a servicios, etc.). El conjunto de datos climáticos fue obtenido de la red de estaciones meteorológicas de la CNA, se usaron las normales climatológicas de 1981-2010 para obtener la temperatura mínima, media y máxima (en grados centígrados) y la precipitación media anual (mm). Se extrajeron los valores medios de temperatura y precipitaciones de toda la zona usando ArcMap 9.3 (ESRI).

La información socioeconómica (porcentaje de población de tres años y más que habla lengua



Figura 2. Casas típicas de la Huasteca Potosina. Fotografías: Hugo Medina G.

indígena, porcentaje de población con hogares indígenas, porcentaje de población mayor a 15 años analfabetas, porcentaje de población ocupada, porcentaje de población sin cobertura de salud) fue obtenida del censo de población y vivienda 2010 del INEGI y el grado de marginación y las variables usadas para su cálculo se obtuvieron del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

### 2.2.3 Análisis exploratorio

La correlación entre la enfermedad de Chagas y cada una de las covariables enumeradas anteriormente se examinó usando diagramas de dispersión y la regresión Poisson univariada en el paquete estadístico R. Las variables que fueron significativamente correlacionadas con el resultado fueron evaluadas para la co-linealidad con otras variables significativas. Cuando dos o más variables que fueron medidas de fenómenos relacionados (por ejemplo temperatura mínima y temperatura promedio) producían una correlación alta ( $>0.75$ ), la variable con el más pequeño valor del criterio de Akaike (AIC) en el modelo de regresión univariada

fue seleccionada para usarse y las otras fueron omitidas.

Cuando dos o más variables estaban fuertemente correlacionadas, pero eran consideradas mediciones de fenómenos no relacionados, esas covariables fueron usadas en la comparación de modelos en el análisis de regresión de Poisson no espacial.

### 2.2.4 Análisis de regresión no espacial de Poisson

Una regresión de Poisson multivariada se llevó a cabo utilizando las covariables que se encontraron asociados significativamente durante el análisis exploratorio ( $p \leq 0.2$  de la regresión de Poisson univariada). Los modelos candidatos contenían una de las covariables marcadas como colineales entre sí, junto con todas las otras covariables, no colineales (Tabla 1).

Cualquier variable que no fue estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) se eliminó posteriormente del modelo; si múltiples variables no fueron significativas, la

variable con el mayor valor de  $p$  fue eliminada primero, se evaluó la significancia del resto de las variables y después se eliminaron las variables adicionales si era necesario. Para comprobar la autocorrelación espacial de los residuos del modelo de Poisson multivariado (lo que indicaría que las covariables en el modelo no capturaron completamente el patrón espacial de la enfermedad de Chagas) se calculó el estadístico  $I$  de Moran usando los residuales de Poisson.

### 2.2.5 Análisis de regresión espacial de Poisson

La influencia de autocorrelación espacial (donde las observaciones muy juntas en el espacio son más propensas a tener valores similares de observaciones que están muy separados) se abordaron, y la sobredispersión en los datos fue contabilizada, utilizando un modelo de regresión de Poisson log-normal con un efecto aleatorio no espacial y un efecto aleatorio estructurado espacialmente dependiente utilizando un *conditionally autoregressive (CAR)* previo (Lawson, 2009; Kéry, 2010). El componente CAR utilizó una matriz de pesos adyacencia espacial sencilla para representar relaciones espaciales entre áreas administrativas.

Efectos aleatorios no espaciales también se incluyeron en la comparación de modelos. Las covariables seleccionadas en el análisis de regresión de Poisson multivariante no espacial descrito anteriormente se incluyeron como efectos fijos en esta etapa del análisis. El modelo, realizado en WinBugs, asumió que la cuenta observada de casos de enfermos de Chagas  $y_i$  por municipio  $i$  ( $i = 1$  a  $20$ ) seguido de la distribución Poisson con una media de  $\mu_i$ :

$$y_i \sim \text{Poisson}(\mu_i)$$

y

$$\log \mu_i = \log E_i + \theta_i$$

Donde  $E_i$  (el número de casos esperados de la enfermedad de Chagas en el área administrativa  $i$ ) es un término de desplazamiento utilizado para el control del tamaño de la población dentro de las áreas administrativas y  $\theta_i$  es el log relativo de riesgo.

El logaritmo relativo del riesgo fue modelado así:

$$\theta_i = \alpha + \beta_1 \dots \beta_k C_{1\dots k,i} + S_i + U_i$$

Donde  $\alpha$  es el término de intersección;  $\beta_1 \dots \beta_k$  es un vector de coeficientes de las covariables,  $C_{1\dots k,i}$ ;  $S_i$  un efecto aleatorio espacialmente correlacionados estructurado utilizando CAR previo de que se le asignó una sencilla

matriz de adyacencias espacial (para identificar qué polígonos son directamente adyacentes entre sí) y precisión  $\tau$ ; y  $U_i$  un efecto aleatorio no correlacionada espacialmente con media cero y precisión  $\tau$ .

Después de un periodo de ablande inicial de 10.000 iteraciones, se realizaron otras 200.000 iteraciones, y cada décima iteración se almacenó durante la estimación de parámetros para reducir la autocorrelación en las muestras. Las cadenas de Markov Monte Caro (MCMC) fueron inspeccionadas para comprobar la convergencia y múltiples valores iniciales para cada parámetro se utiliza para asegurar que los algoritmos MCMC convergían en el mismo espacio de parámetros desde diferentes puntos de partida. Medidas de resumen para la distribución posterior de cada parámetro (media posterior, desviación estándar y el 95% intervalo de credibilidad [CrI]) se almacenaron para proporcionar estimaciones de los parámetros.

Se compararon cuatro modelos candidatos: (i) solo los efectos fijos; (ii) los efectos fijos y efectos aleatorios no espaciales; (iii) los efectos fijos y efectos aleatorios espacialmente correlacionados; y (iv) los efectos fijos, efectos aleatorios espacialmente correlacionados y efectos aleatorios no espaciales. Los modelos se compararon mediante el criterio de desviación de la información (DIC): el modelo con el modelo más bajo DIC fue seleccionado como el de mejor ajuste. Todas las covariables, incluyendo aquellos que no mantienen la significación estadística ( $p > 0,05$ ), fueron retenidos para proporcionar un resumen de todos los efectos de la covarianza.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Análisis exploratorio

De 2003 a 2012 se reportaron un total de 257 casos de enfermos de Chagas en la Huasteca Potosina con una tasa media de incidencia de 116.97 casos por año por cada 10,000 habitantes. Dentro de los 20 municipios de la huasteca Potosina, los recuentos acumulativos de casos oscilaron entre 1 y 50 con un promedio de 12.85 y una mediana de 9.5. Una comparación las figuras 3A y 3B muestra una alta incidencia de la enfermedad en áreas donde el porcentaje de hogares donde el jefe del hogar o su cónyuge hablan alguna lengua indígena.

A excepción del porcentaje de viviendas sin drenaje, porcentaje de viviendas sin energía eléctrica, población con dos salarios mínimos y viviendas sin bienes ( $p > 0,05$ ), el resto de las

variables se correlacionaron significativamente con la enfermedad de Chagas usando una regresión no espacial de Poisson ( $p < 0.05$ ) (Tabla 1).

La variable temperatura media fue excluida por presentar colinealidad con otras variables relacionadas con el fenómeno, lo mismo para la población sin derechohabencia a servicios de salud. La variable viviendas con luz, agua y drenaje correlacionó de manera negativa con el total de casos, lo que era de esperarse, ya que estas viviendas tienen menos espacios para ser ocupados por las chinches. Lo mismo pasó con la variable Población derechohabiente a servicios de salud, también correlacionó de manera negativa con el total de casos. El resto de las variables que correlacionaron de manera negativa no fueron significativas.

### 3.2 Análisis de regresión no espacial de Poisson

El modelo final de regresión no espacial (el

modelo con el más bajo valor de AIC) incluía las siguientes covariables: población total, temperatura mínima, porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra, porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada, población de tres años y más que habla alguna lengua indígena y no habla español, población de 15 años y más analfabeta, población derechohabiente a servicios de salud, porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento y viviendas que disponen de luz eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje.

La tabla 2 muestra los coeficientes y probabilidades de cada una de las covariables del modelo final. Ajustando para los efectos de las otras covariables, pero no representando la autocorrelación espacial en los datos, porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra, población de tres años y más que habla alguna lengua indígena y no habla español, produce una correlación negativa con

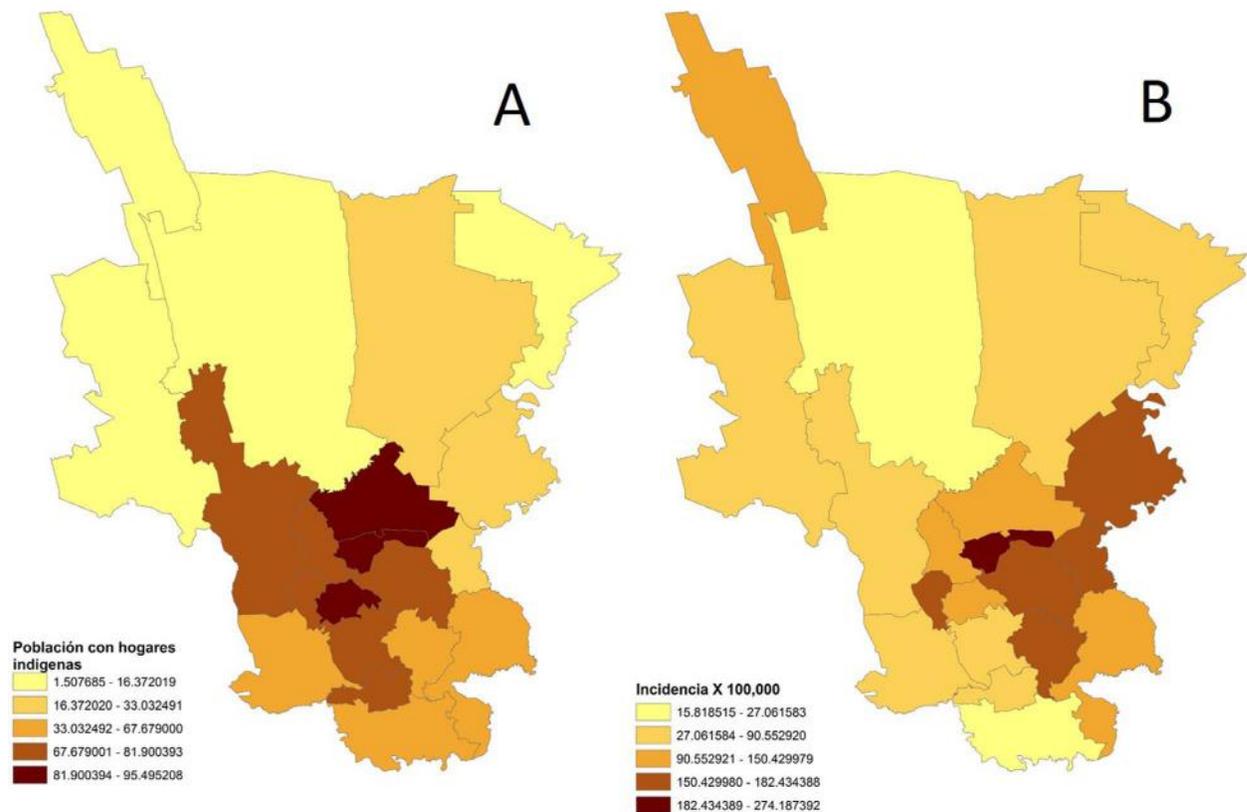


Figura 3A. Total de personas que forman hogares censales donde el jefe del hogar o su cónyuge hablan alguna lengua indígena. Los municipios del centro y sur de la Huasteca son en los que en la mayoría de los hogares habitan personas que hablan alguna lengua indígena. Figura 3B. Incidencia por 100 000 personas de enfermos de Chagas por municipio en la Huasteca Potosina. 2006 – 2012. La mayor prevalencia de la enfermedad se da en los municipios del centro y sur de la Huasteca, a excepción de El Naranjo, ubicado en la Huasteca norte.

Variación	Estimado	Intervalo de confianza	Valor z	p	AIC
Índice de marginación	0.23047	0.0418 – 0.4204	2.386	*	278.33
Población total	7.43E-06	4.8e-06 – 9.7e-06	5.951	***	255.07
Precipitación	0.0004628	0.00015 – 0.00076	2.956	**	275.36
Temperatura Máxima	0.17023	0.0451 – 0.3062	2.56	*	276.74
Temperatura Media	0.15344	0.0831 – 0.2326	4.039	***	262.87
Temperatura Mínima	0.24215	0.1406 – 0.3631	4.276	***	254.26
% viviendas con piso tierra	0.019308	0.0064 – 0.0317	2.996	**	275.49
% viviendas sin agua entubada	0.016529	0.0098 – 0.0233	4.783	***	260.4
% viviendas sin drenaje	-0.06813	-0.1659 – 0.0257	-1.39		282.08
% viviendas sin energía eléctrica	0.005844	-0.0182 – 0.0290	0.485		283.84
Población de 3 años y más que habla lengua indígena y no español	0.06545	0.0329 – 0.0971	4.003	***	268.91
Población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena	0.014367	0.0093 – 0.0195	5.557	***	251.25
Población de 15 años y más analfabeta	0.04635	0.0209 – 0.0719	3.557	***	271.25
Población derechohabiente a servicios de salud	-0.04781	-0.0252	-7.45	***	230.74
Población con hogares censales indígenas	0.013501	0.0089 – 0.0182	5.706	***	247.42
Población ocupada con ingresos de hasta 2 salarios mínimos	-0.005306	-0.0165 – 0.0062	-0.91		283.25
Población ocupada	0.13462	0.0558 – 0.2158	3.302	***	272.63
Población sin derechohabiente a servicios de salud	0.046424	0.0336 – 0.0590	7.179	***	234.73
% de viviendas con algún nivel de hacinamiento	0.036331	0.0173 – 0.0551	3.775	***	270.08
Viviendas particulares habitadas que disponen de luz, agua y drenaje	-0.010554	-0.0069	-2.932	**	274.99
Viviendas particulares habitadas sin ningún bien	0.01658	-0.0049 – 0.0377	1.521		281.79

Tabla 1. Parámetros del análisis de regresión Poisson univariado.  
Significado códigos: \*\*\*\*' 0.001 \*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

el total de casos de enfermos de Chagas, lo que era contrario a la asociación observada durante el análisis univariado. El porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada también se correlacionó negativamente con el resultado, mientras que el resto de las variables demostraron ser un factor de riesgo.

La prueba I de Moran no fue muy clara en la detección de autocorrelación espacial en el modelo de correlación no espacial de Poisson, aunque

un tanto dispersa, el patrón puede deberse a la casualidad, lo que indica que las covariables incluidas en el modelo no espacial no explicaban plenamente la variación espacial de la enfermedad de Chagas. Por lo tanto, un análisis de regresión espacial de Poisson fue ajustado utilizando las covariables del modelo de regresión no espacial, para hacer frente a la autocorrelación espacial de los residuales.

Variable	Estimado	Intervalo de confianza	p
(Intercepto)	-		
	1.922e+03		
Población total	7.653e-04	6.1587e-04 - 1.6557e-01	***
Temperatura mínima	-9.810e-01	-1.511e+00 - 5.204e-01	***
% viviendas con piso tierra	-	-1.898e+00 - 9.543e-01	***
% viviendas sin agua entubada	-7.141e-01	-9.7523e-01 - 4.6591e-01	***
% Población de 3 años y más que habla lengua indígena y no español	-	-2.896e+00 - 6.845e-01	***
% Población de 15 años y más analfabeta	3.083e+00	2.3270e+00 - 3.7993e+00	***
% Población derechohabiente a servicios de salud	1.902e+01	1.3356e+01 - 2.4217e+01	***
% de viviendas con algún nivel de hacinamiento	8.758e-01	4.5355e-01 - 1.3162e+00	***
% Viviendas particulares habitadas que disponen de luz, agua y drenaje	-9.541e-01	-1.224e+00 - 6.827e-01	***

Tabla 2. Modelo de regresión de Poisson multivariada final con algunos parámetros del análisis de regresión. Significado códigos: \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 \* 0.1 ' ' 1

### 3.3 Análisis de la regresión espacial de Poisson

El modelo multivariado que contiene efectos fijos y efectos aleatorios tanto espacialmente correlacionados y no correlacionados tuvo el más bajo DIC. Ver tabla 3 para los coeficientes de modelo del modelo completo con efectos fijos y efectos aleatorios espacialmente correlacionados y no correlacionados. La temperatura mínima y el porcentaje de viviendas sin agua entubada perdieron significación estadística en el modelo final.

Los mapas de Riesgo relativo de la enfermedad de Chagas tanto para solo efectos fijos como con efectos aleatorios se muestran en las Figuras 4A y 4B, respectivamente. De acuerdo con la figura 4 el mayor riesgo de la enfermedad de Chagas considerando solo los efectos fijos se localiza en los municipios del centro y sur de la Huasteca Potosina, lo mismo para el riesgo relativo con efectos fijos y aleatorios, lo que coincide con la ubicación del número de casos del periodo analizado.

## 4. DISCUSIÓN

Cuantificar el efecto de las variables climáticas, ambientales y socioeconómicas sobre la incidencia de la enfermedad de Chagas permitió comprender la epidemiología de la enfermedad y la distribución espacial permitiendo la mejora de las iniciativas de control de enfermedades. El análisis espacial presentado aquí mostró que la incidencia de la enfermedad de Chagas incrementa con las variables

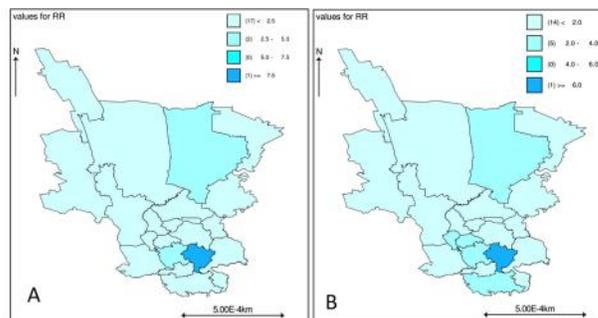


Figura 4A. Riesgo relativo de la enfermedad de Chagas en municipios de la Huasteca Potosina, de acuerdo solo a efectos fijos. Figura 4B. Riesgo relativo de la enfermedad de Chagas en municipios de la Huasteca Potosina, de acuerdo a efectos fijos y efectos aleatorios

Variable	Posterior mean(SD <sub>a</sub> )	Rate Ratio (95% CrI <sub>b</sub> )
Intercept	-195.3 (12.31)	
Población total	-0.05229(0.1132)	0.005333(-0.2409 - 0.1522)
Viviendas con piso de tierra	0.3035(1.087)	0.05141(-1.413 - 2.02)
Población de 3 años habla lengua indígena y no español	0.6079(1.755)	0.0828(-2.029 - 4.404)
Población de 15 años y más analfabeta	-0.8239(2.552)	0.1207(-5.446 - 3.284)
Población con derechohabencia a los servicios de salud	2.069(0.1664)	0.007857(1.737 - 2.357)
Viviendas con hacinamiento	0.9796(0.2735)	0.01292(0.5446 - 1.552)
Viviendas con servicios	0.1129(0.2464)	0.01163(-0.3756 - 0.5685)
Efectos aleatorios no correlacionados	326.6(893.7)	
Efectos aleatorios correlacionados	0.000295(0.000106)	

Tabla 3. Parámetros finales estimados del modelo multivariado que incluye efectos fijos y efectos aleatorios correlacionados y no correlacionados aDesviación estándar; bIntervalo de confianza

material del piso de las viviendas (piso de tierra), el acceso a servicios (viviendas sin agua, luz y drenaje), analfabetismo; un alto riesgo de incidencia de la enfermedad se presenta en áreas con mayor porcentaje de población indígena y sin acceso a servicios de salud (parte centro y sur de la huasteca) y un bajo riesgo se presenta en la zona norte (Figura 4 A y B).

Esta enfermedad se encuentra asociada a la pobreza y las malas condiciones de la vivienda; se localiza ampliamente distribuida, en las áreas rurales de Latinoamérica y en zonas marginadas de las grandes ciudades principalmente (Coura y Borges-Pereira, 2010). La enfermedad de Chagas, más que ninguna otra, está íntimamente ligada con el desarrollo económico y social (SSA, 2012). En este estudio, basados en el análisis de regresión de Poisson univariado, encontramos que la incidencia de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina se incrementa con

el analfabetismo, la carencia de servicios básicos en las viviendas, el material de las mismas y la falta de servicios de salud, variables que permiten un hábitat idóneo para la chinche transmisora, lo que favorece un contacto de ésta con la población; como puede observarse en las Figuras 4 A y B, a diferencia de la zona norte, donde las condiciones socioeconómicas de los habitantes contrastan con los de la zona centro y sur, lo que se ve reflejado en una disminución de casos de enfermos de Chagas.

La importancia del tipo y servicios con que cuentan las viviendas en la presencia de la enfermedad indica que los programas de atención y/o control de esta enfermedad deberían ir dirigidos a un cambio en la infraestructura y tipo de construcciones en esta zona, ya que mientras en esas localidades las casas sigan teniendo las condiciones idóneas para la presencia de la chinche de nada servirán los programas dirigidos al control vectorial.

La importancia del porcentaje de población que habla lengua indígena y no español puede ser debido a una combinación de factores: en México este grupo es de los más vulnerables (Esquivel, 2004), presenta un alto y muy alto grado de marginación, viven en zonas de difícil acceso, lo que dificulta la cobertura de servicios de salud e infraestructura de servicios básicos (agua, luz, drenaje, educación) y en caso de la Huasteca Potosina presenta características ambientales que propician el desarrollo del vector. Por lo tanto el porcentaje de población indígena puede estar actuando como sustituto de una combinación de estos factores más que como una correlación significativa que se relacione en términos de su propio impacto en la presencia de la enfermedad. Los municipios con un mayor ingreso (reflejado en el porcentaje de viviendas que cuentan con servicios básicos) presentan menor riesgo de presentar la enfermedad de Chagas, lo que refuerza nuestra comprensión de la enfermedad de Chagas en relación con la situación socioeconómica, así como variables climáticas y ambientales.

La población con hogares censales indígenas fue una variable que correlacionó con la incidencia de la enfermedad de Chagas en el análisis univariado (Tabla 1), pero esta variable perdió significancia en el análisis final. Esto pudo deberse a la incorporación de otras variables socioeconómicas. Por otro lado, la inclusión del porcentaje de población de tres años y más que habla lengua indígena y no español en el análisis multivariado sugiere que la incidencia más alta no se presenta en lugares donde existen hogares indígenas, sino en sitios donde la población no habla español, sitios que no necesariamente tienen que coincidir.

El análisis de regresión Poisson univariado indica que todas las variables evaluadas (a excepción del porcentaje de viviendas sin drenaje y sin energía eléctrica, población ocupada sin ingresos de hasta dos salarios mínimos y las viviendas particulares habitadas sin ningún bien) fueron significativamente correlacionadas con la incidencia de la enfermedad de Chagas durante el periodo de estudio. La mayor incidencia de la enfermedad se presentó en zonas donde la mayor parte de la población es indígena. La forma en que se distribuyen los indígenas a lo largo de la Huasteca no es homogénea, habiendo una menor presencia de ellos al norte de la región, mientras que al centro y sur hay una mayor concentración (Esquivel, 2004). Los poblados y comunidades en los que se asientan comúnmente carecen de servicios básicos derivado del pequeño tamaño en que se constituyen y de sus ubicaciones, zonas en el interior de las sierras por lo regular segregadas, con casas construidas de materiales como la palma y madera, lo que resulta contrastante con las zonas urbanas en las que suelen ubicarse principalmente población no indígena, zonas bajas con casas construidas de materiales como el concreto, tabique, etc.

El análisis presentado se realizó usando una inferencia bayesiana. Si bien los métodos bayesianos pueden ser computacionalmente intensivos y requieren altos costos iniciales en términos de formación y comprensión, estos ofrecen un marco sólido para el modelado de bases de datos jerárquicos y auto-correlacionados y permiten la incorporación de la incertidumbre en los parámetros del modelo desconocidos (Best, et al., 2005). Nuestros resultados deben tomarse con la consideración de las limitaciones de la investigación. Debido a los diferentes tamaños de las áreas administrativas utilizadas en el análisis, los valores utilizados para varias de las covariables (por ejemplo, temperatura mínima, media y máxima, precipitación) tiene diferentes niveles de precisión (es decir, la precipitación dentro de un área administrativa pequeña tendrá una menor varianza que dentro de un área administrativa grande, dependiendo del número de estaciones meteorológicas): estas diferencias pueden tener un impacto en la estimación de los parámetros y niveles de significancia. Además, la referencia espacial de los datos de enfermos de Chagas donde se llevó a cabo la infección se basa sobre la presunta localización donde se produjo, aunque puede ser difícil determinar la ubicación precisa donde fue adquirida. No es posible evaluar la fiabilidad de estos lugares, pero la agregación de casos en áreas administrativas ayudará a negar cualquier imprecisión en la georreferenciación.

La aplicación de la regresión de Poisson, incluyendo la regresión espacial y no espacial, ha puesto de relieve la importancia de una serie de factores en la distribución espacial de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina. Esta investigación ha aportado evidencias de un mayor riesgo de la enfermedad de Chagas en áreas donde la población es indígena. En la Huasteca Potosina, esta población habita en áreas de difícil acceso, que carecen de servicios básicos, de tamaño pequeño y con casas construidas de materiales como palma y madera. Los programas dirigidos al control vectorial deben tomar en cuenta estas consideraciones, ya que las características de la zona favorecen una infestación estacional de los vectores, es decir, se lleva a cabo un control vectorial, pero al no modificar la infraestructura de las localidades, estas siguen permitiendo una reinfestación posterior.

## 5. CONCLUSIÓN

Generalmente, los pacientes que reciben tratamiento para la enfermedad de Chagas regresan a las zonas rurales endémicas donde habitan y nuevamente pasan a ser parte de los ciclos de transmisión, lo que probablemente lleva a que sean afectados nuevamente por vectores, y de esta forma deban regresar a los centros de salud en búsqueda de atención. Esta situación conduce a un enfascamiento donde los habitantes de las zonas rurales permanentemente están sometidos a un círculo de vectores-enfermedades-centros de salud. Estas características hacen necesario abordar el problema desde una perspectiva ecológica, que permitirá dilucidar los patrones y variables socioeconómicas y ambientales de cada hábitat que favorecen la proliferación de los vectores y los reservorios de la enfermedad y de esta manera proponer medidas racionales y costo-efectivas para el control de poblaciones de vectores.

Este tipo de abordaje puede apoyarse con el uso de metodologías geoestadísticas, las que actualmente se han visto revolucionadas por la información y la velocidad y la complejidad con la que se puede manipular en los software actualmente disponibles, como puede observarse con el desarrollo de la presente investigación.

## 6. RECOMENDACIÓN

A pesar de los avances alcanzados y el trabajo realizado por los servicios de salud en el país (desde el ámbito local al nacional), en cuanto al manejo y control de esta enfermedad, dista mucho de culminar con éxito. Se tiene un fuerte énfasis hacia la

clínica y diagnóstico, ejemplo de ello son las técnicas diagnósticas inmunoenzimáticas (ELISA, IFI, etc.), moleculares (PCR), y una batería de tratamientos que permiten al profesional de la salud diagnosticar pacientes afectados y tratarlos adecuadamente. Este manejo de la enfermedad solo aborda una parte del problema, que se presenta luego de que el parásito ha ingresado al huésped humano y se genera la sintomatología propia de la enfermedad, dejando de lado la perspectiva ecológica y socioeconómica de la población afectada.

La importancia del tipo y servicios con que cuentan las viviendas en la presencia de la enfermedad indica que los programas de atención y/o control de esta enfermedad deberían ir dirigidos a un cambio en la infraestructura y tipo de construcciones en esta zona, ya que mientras en esas localidades las casas sigan teniendo las condiciones idóneas para la presencia de la chinche de nada servirán los programas dirigidos al control vectorial.

## REFERENCIAS

- Best, N., Richardson, S., Thomson, A. (2005). A comparison of Bayesian spatial models for disease mapping. *Statistical methods in medical research*. 14(1), 35-59.
- Coura, J. R., Borges-Pereira, J. (2010). Chagas disease: 100 years after its discovery. A systemic review. *Acta tropica*. 115(1), 5-13.
- Cruz-Reyes, A., Pickering-López, J. M. (2006). Chagas disease in Mexico: an analysis of geographical distribution during the past 76 years-A review. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 101(4), 345-354.
- CONABIO, (2012a). Distribución de la población en México por municipio, año 2010, escala 1:1,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONABIO, (2012b). Grado de marginación de México por municipio, año 2010, escala 1:1,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Dumonteil, E., Gourbiere, S. (2004). Predicting triatoma dimidiata abundance and infection rate: a risk map for natural transmission of Chagas disease in the Yucatan peninsula of Mexico. *The American Journal of tropical medicine and hygiene*. 70(5), 514-519.
- Esquivel, J. V., Arias, P. G., Alvarado, J. B. H. (2004). Huastecos de San Luis Potosí: pueblos indígenas del

- México contemporáneo. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- González, R., Infante, S., Hernández, A. (2012). Modelos jerárquicos espacio temporales para mapear riesgos relativos de dengue, en el Municipio Girardot, Estado de Aragua, Venezuela. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*. 52(1), 33-43.
- Medina-Garza, H., Contreras-Servín, C., Arreola-Martínez, B.E. (2014a junio). Tripanosomiasis Americana en la Huasteca. ¿Necesitamos una plataforma de vigilancia? *Universitarios Potosinos*. 175, 4-8.
- Medina-Garza, H., Contreras-Servín, C., Galindo-Mendoza, M.G. (2014b). Análisis especial de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina. En *Geografía de la Salud sin fronteras desde Iberoamérica*. (pp. 207-228) San Luis Potosí, México.
- Secretaría de Salud (SSA), (2012). Programa de acción específico 2007-2012. Otras enfermedades transmitidas por vector. Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud. Impreso y hecho en México.
- Silva, L. C., Benavides, A. (2001). El enfoque bayesiano: otra forma de inferir. *Gaceta Sanitaria*. 15(4), 341:346.
- Tisnés, A. (2012). Análisis de la mortalidad en la ciudad de Tandil utilizando Sistemas de Información Geográfica. *Revista universitaria de Geografía*. 21, 89-111.
- Ugarte, M., Ibáñez, B. Militino, A. (2006). Modelling risks in disease mapping. *Stat. Meth. Med. Reser*. 15, 21-35
- Wakefield, J., Best, N., Waller L. (2000). Bayesian approaches to disease mapping. In: *Spatial Epidemiology*. Elliot P., Wakefield J. C., Best, N. G., Bridges D. J. eds. Oxford University Press, Oxford, U.K.
- Wallner, A.M., Hamilton, G.C., Nielsen, A.L., Hahn, N., Green. E.J., Rodriguez-Saona, C.R. (2014). Landscape factors facilitating the invasive dynamics and distribution of the brown marmorated stink bug, *Halymorpha halys*, (Hemiptera: Pentatomidae), after arrival in the United States. *Plos One*. 9, 1-12.
- World Health Organization. (1997). Chagas' disease. Progress 1995-1996: Thirteenth Program Report of the UNDP/World Bank/WHO Special Program for Research and Training in Tropical diseases.

## **CAPÍTULO 10**

### **CONOCIMIENTO LOCAL Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL EN LA (RE)CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS FORESTALES EN COMUNIDADES DE LA HUASTECA POTOSINA**

LOCAL KNOWLEDGE AND ANALYSIS MULTITEMPORAL IN THE (RE)  
CONSTRUCTION OF FOREST SCENARIOS IN COMMUNITIES OF THE  
POTOSINA HUASTECA REGION

# CONOCIMIENTO LOCAL Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL EN LA (RE)CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS FORESTALES EN COMUNIDADES DE LA HUASTECA POTOSINA

## LOCAL KNOWLEDGE AND ANALYSIS MULTITEMPORAL IN THE (RE) CONSTRUCTION OF FOREST SCENARIOS IN COMMUNITIES OF THE POTOSINA HUASTECA REGION

Carmelo Peralta-Rivero<sup>1</sup>, Guadalupe Galindo Mendoza<sup>2</sup>, Carlos Contreras Servín<sup>2</sup>, Jean François Mas<sup>3</sup>  
Dr. Luis Armando Bernal Jacomé<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup>Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria. Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, San Luis Potosí, México.

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia-Michoacán, México.

Autor de correspondencia: peralta.carmelo@gmail.com

### RESUMEN

En las últimas décadas, la región Huasteca de San Luis Potosí ha sido el escenario de la pérdida de sus recursos forestales de una manera desmesurada el cual es un problema complejo y se requiere un enfoque multidisciplinario y un proceso participativo de actores locales para detectar problemas y elaborar estrategias para mitigarlos. El objetivo del presente estudio fue reconstruir escenarios forestales en el “Ejido Laguna del Mante” y la “Comunidad Tocooy” de la Huasteca Potosina. Se realizaron talleres para la elaboración de mapas participativos de percepción de cobertura y uso de suelo del pasado, presente y futuro, apoyado por imágenes de satélite, ortofotos y el conocimiento local de la población. Asimismo, mediante Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica se clasificaron las coberturas y usos de suelo con imágenes Landsat para los años 1973, 2000 y 2014 y se calcularon los cambios de cobertura y uso de suelo. Se demuestra una reducción de las selvas con tasas de cambio de -0.88% y -5.04% para Laguna del Mante y Tocooy, y un aumento de la agricultura en 6.29% y 0.90% respectivamente en ambas comunidades, igualmente, los mapas participativos de percepción del pasado y presente siguen un patrón de las clasificaciones mediante imágenes de satélite. Los escenarios construidos para las áreas de estudio deben servir como una herramienta para el desarrollo de estrategias y generación de políticas

locales y en otros contextos en la región Huasteca en pro de la conservación y manejo de los recursos forestales, para ello, reconocer el conocimiento local y la idiosincrasia de población local podrían indispensable para que los proyectos forestales tengan un impacto positivo.

**Palabras clave:** Mapeo Participativo, Conocimiento Local, Escenarios Forestales, PR, SIG, Análisis Multitemporal, Valoración Forestal, Huasteca.

### ABSTRACT

In recent decades, the Huasteca region of San Luis Potosi has been the loss scenario of their forest resources in a disproportionate manner, which is a complex problem and a multidisciplinary approach and a participatory process of local stakeholders is required to detect problems and develop strategies to mitigate. The objective of this study was reconstructed forest sceneries in the “Ejido Laguna del Mante” and “Tocooy Community” of the Huasteca Potosina. Workshops were developed in order to elaborate participatory perception maps of land cover and land use for the past, present and future, which were supported by satellite images, orthophotos and the local knowledge of the population. Also, through Remote Sensing and Geographical Information Systems land cover and land use were classified and changes were calculated using Landsat images for the years 1973, 2000 and 2011. A reduction of forest with rates of change of

-0.88% and -5.04% for Laguna del Mante and Toco, and an increased in agriculture in 6.29% and 0.90% respectively is demonstrated in both communities, likewise, the participatory perception maps of the past and present follow a pattern of classifications made by satellite images. The scenarios constructed for the study areas should serve as a tool for developing strategies and generation of local policies and elsewhere in the Huasteca region in pro of the conservation and management of forest resources, for that, recognizing local knowledge and idiosyncrasies of local people is essential for forest projects to have a positive impact.

**Keywords:** Participatory Mapping, Local Knowledge, Forest Scenarios, PR, GIS, Multi-temporal Analysis, Forestry Valuation, Huasteca.

## 1. INTRODUCCIÓN

En México, la mayor parte de los bosques y selvas (80%) son propiedad colectiva de ejidos o de comunidades agrarias (Barton et al., 2007). En el caso de San Luis Potosí, el 63.79% de selvas corresponden a este tipo de tenencia de la tierra (Chapela, 2012). En otras palabras, estos actores sociales tienen una gran responsabilidad en el uso, manejo y conservación de estas áreas muy importantes en las diferentes esferas de la sostenibilidad.

Para el caso de la región Huasteca, la cual alberga los últimos remanentes forestales del Noroeste de México, la pérdida de los recursos forestales por procesos de cambios de uso de suelo han aumentado hasta aproximadamente el 80% del total del área para el año 2011 (Peralta-Rivero et al., 2014a, 2014b). Estos procesos de deforestación se han incrementado debido a la diversificación de actividades productivas y económicas que trae como consecuencia el aprovechamiento desmesurado de los recursos naturales.

En este estudio consideramos que el conocimiento local de esta población de comunidades de la Huasteca es relevante para desarrollar actividades que vayan en favor de un uso racional de los recursos forestales. Además, las políticas, programas, proyectos y demás instrumentos de gestión relacionados a desarrollar actividades productivas en estas áreas, deberían tomar en cuenta e incentivar la conservación de los recursos forestales en esta región, ya que existe interés de ciertos programas forestales a nivel de gubernamental (PRONAFOR, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2014e, 2014f) pero las acciones a nivel local es escasa.

Por otro lado, pese a que las selvas y bosques manejados por ejidos y comunidades representan

un área importante para la conservación, aún no se ha documentado con precisión y existe una escasez de información que permitan el desarrollo de estrategias para el manejo sustentable de los recursos forestales a nivel local (Barton et al., 2007). Por lo mencionado, aquí se presenta un caso de estudio de una comunidad agraria y un ejido en donde se reconstruyen escenarios forestales mediante mapeo participativo de percepción y mediante clasificación de imágenes de satélite aplicando Percepción Remota (PR) y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos tipos de mapeo participativos expresan la percepción que tiene la población de una comunidad sobre su territorio y los usos que se les da a la tierra, reflejados en actividades productivas o en áreas de protección u conservación (Tipula, 2008).

Conocer el tipo de uso, el manejo, la historia y el posible futuro de los recursos forestales en dichas comunidades debe servir como experiencia para incentivar a las poblaciones locales al manejo de sus recursos y hacer notar la falta de apoyo que estas carecen en el sector forestal.

Por lo mencionado el objetivo principal fue reconstruir escenarios forestales mediante mapeo participativo de percepción e imágenes de satélite para evaluar el cambio de cobertura y uso de suelo en el “Ejido Laguna del Mante” y la “Comunidad Toco” para proponer estrategias de conservación y manejo de los recursos forestales y por ende de la biodiversidad, a nivel local.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en el Ejido Laguna del Mante y en la Comunidad Agraria Toco en la Huasteca Potosina (Figura 1).

#### 2.1.1 Ejido Laguna del Mante, Municipio Ciudad Valles

El ejido Laguna de Mante está localizado en la parte norte de la Huasteca Potosina dentro del municipio de Ciudad Valles. El clima que predomina es el tropical con una temperatura media anual de 24.5 °C (SEGOB, 2010). Fue establecido como tal en 1974 y tiene una extensión aproximada de 46,000 hectáreas. Cuenta con 2,030 habitantes de los cuales 446 son ejidatarios. Sólo el 6% habla lengua indígena (INEGI, 2010). Sus principales actividades económicas es la agricultura como la plantación de caña de azúcar, limón y mango. Asimismo, la cría de

ganado vacuno, ganado ovino e inclusive la pesca son otras de sus actividades.

Una particularidad de este ejido es que aproximadamente 14,000 hectáreas son parte de la Reserva de la Biosfera “Sierra del Abra Tanchipa” la cual fue declarada como tal en el año 1994 con un total de 21,000 hectáreas. Dentro de este territorio, y como parte de la reserva, el ejido tiene un área de 1,947.73 hectáreas bajo el sistema de pagos por servicios ambientales para la conservación de la biodiversidad comprendido para el periodo 2010-2015 (González, 2013).

### 2.1.2 Comunidad Agraria Toco y, Municipio San Antonio

La comunidad Toco y está situada en el municipio de San Antonio (Huasteca Potosina). Tiene aproximadamente 1,061 habitantes (CONABIO, 2012) y está a 259 metros de altitud (INEGI, 2010) (Figura 1). Esta comunidad tiene una extensión aproximada de 1,058 hectáreas. Predomina en la mayor parte del municipio el clima semicálido húmedo, con abundantes lluvias en verano (Acm), en el extremo noreste, su clima es cálido subhúmedo (Aw2). Según la clasificación internacional de Köppen, el clima se determina como tropical. El promedio anual de la temperatura es de 24.7 °C los meses más fríos ocurren en diciembre y enero; su precipitación pluvial es de 2,488 mm anual, la temporada de lluvias ha sido muy cambiante en estos últimos años (CEDEM, 2009). En Toco y el 87.66% de los adultos habla alguna lengua indígena (sobre todo Tenek). Asimismo, la comunidad está catalogada como una comunidad con un grado de marginación alto (CONABIO, 2012). Algunas de las características económicas de la comunidad es la agricultura y el aprovechamiento de algunos recursos forestales para realizar artesanías como tallados de madera (CEDEM, 2009).

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Mapeo de Participativo de percepción

El mapeo participativo de percepción y la evaluación del cambio de cobertura y uso de suelo en las comunidades se realizaron en diferentes etapas en conjunto con los pobladores de cada comunidad para garantizar su fiabilidad.

### 2.2.2 Reconstrucción de escenarios forestales

Para el caso de los talleres participativos, se realizó el mapeo participativo de percepción con salidas gráficas a escalas variables de las áreas evaluadas con el subsidio de mapas temáticos, imágenes de

satélite spot 5 (2013) y ortofotos (2010) por su mejor resolución espacial, las mismas que se utilizaron con el objetivo de identificar diferentes coberturas de vegetación, áreas de uso de suelo, elementos relevantes vinculados a los mismos, y componentes socioeconómicos (Figura 2).

De esta manera, se realizaron tres mapas participativos: el mapa del pasado en el cual se realizó un ejercicio de memoria colectiva con las personas de las comunidad y se reconoció el territorio que las comunidades estudiadas haciendo un repaso histórico de cómo era la comunidad entre los años 1970 y 1980. El mapa del presente donde se trató de reflejar la situación actual del espacio de la comunidad, pudiéndose hacer una comparación con el mapa del pasado para poder visualizar los cambios ocurridos hasta el año 2014. Por último, el mapa del futuro tuvo como objetivo representar lo que la comunidad quería cambiar, e inclusive como creen las personas que estará su comunidad hasta el año 2030.

En los talleres, el trabajo de cartografía se trabajó con un grupo de persona en general por comunidad, los mismos que pudieron distinguir: a) áreas de uso forestal (selvas y vegetación secundaria), áreas de uso ganadero (pastizales) y áreas de uso agrícola (tipos de agricultura). b) componentes socioeconómicos, asentamientos (actuales y en desuso), caminos, trillas o senderos y cuerpos de agua. Todas las características reconocidas en las imágenes y mapas elaborados fueron graficados a través de puntos, líneas y polígonos por los asistentes a cada taller, indicando referencias y datos anexos sobre las salidas gráficas.



Figura 2. Elaboración del mapeo participativo de percepción en la comunidad Toco y y en el Ejido Laguna del Mante

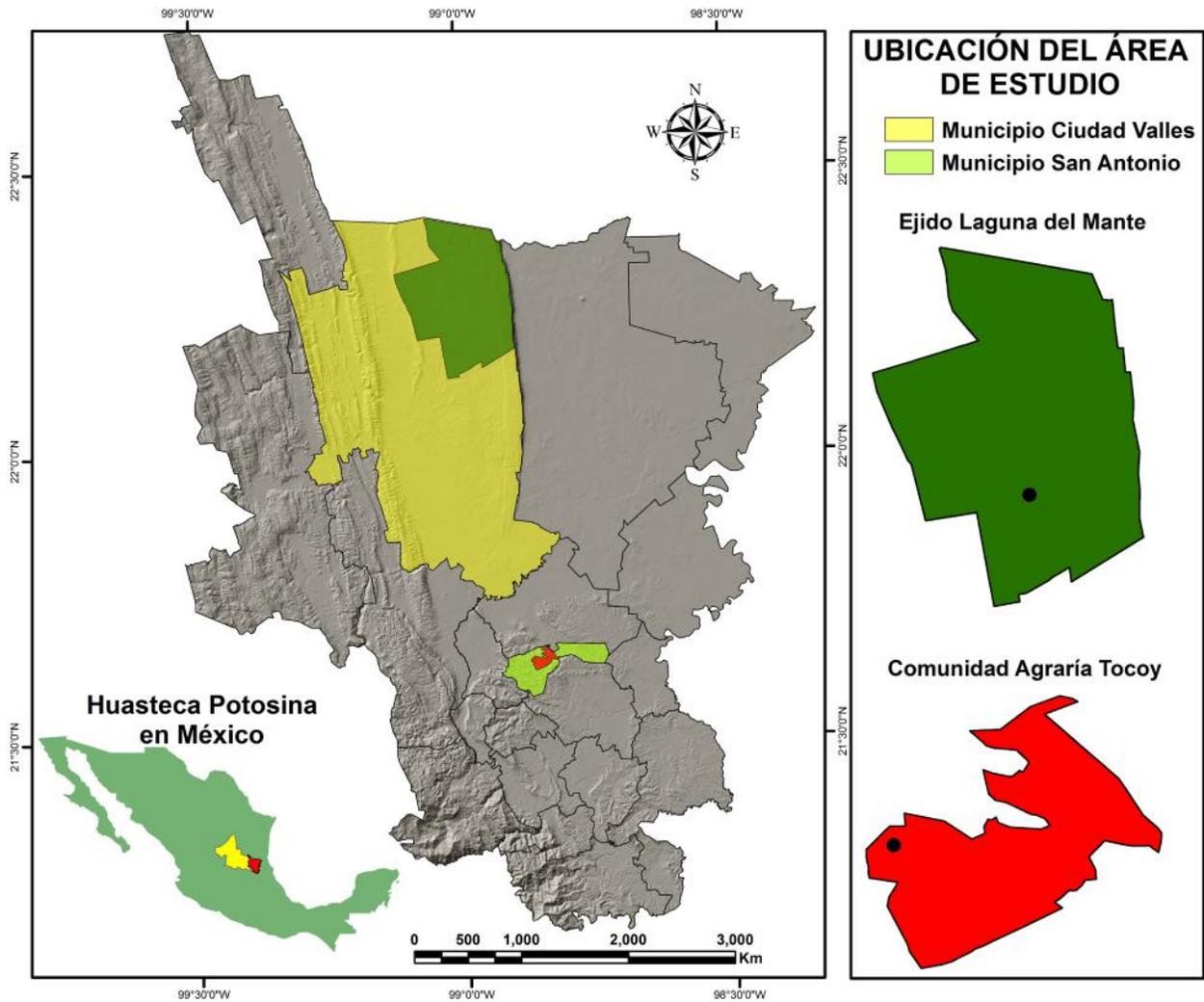


Figura 1. Ubicación del Ejido Laguna del Mante y la Comunidad Agraria Tocoay en la Huasteca Potosina.

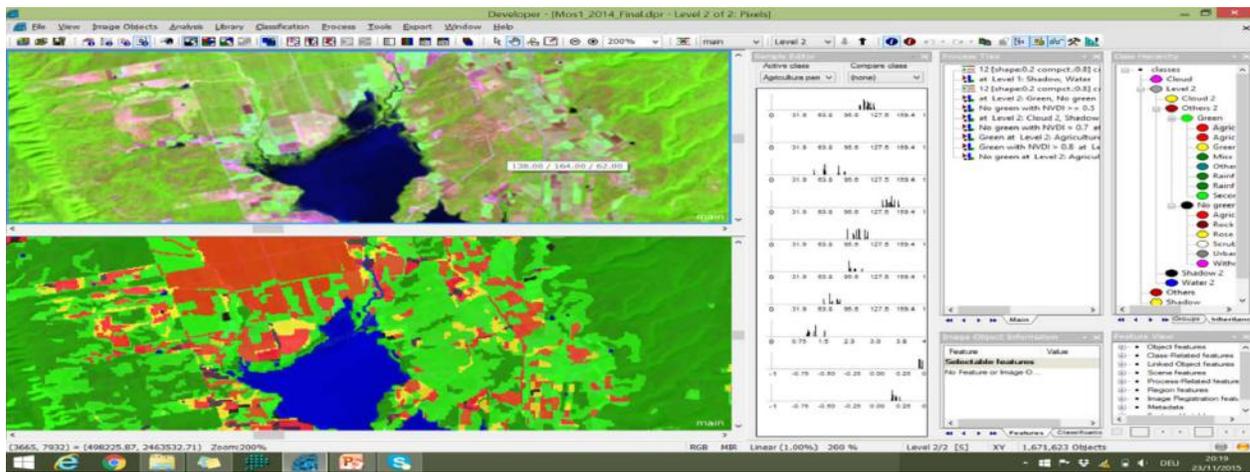


Figura 3. Clasificación orientada a objetos desarrollada en el software eCognition Developer 8.7.

### 2.2.3 Cobertura y uso de suelo y trayectoria evolutiva de cambios

Se realizó el mapeo de la cobertura y uso de suelo mediante una clasificación orientada a objetos desarrollada en el software eCognition Developer 8.7 (Figura 3), con base en una segmentación de imágenes de satélite landsat MSS (1973), TM (2000) y OLI (2014) según criterios de heterogeneidad (scale) y descriptores (features).

Para la jerarquización de clasificación, que tiene como resultado diferentes niveles de clases relacionadas entre sí, en función de una topología definida, se utilizó el algoritmo multiresolution segmentation, con parámetros de escala de 8 y los criterios de 0.2 de forma y 0.8 de compacidad para imágenes Landsat MSS y parámetros de escala de 10 y criterios de 0.2 de forma y 0.8 de compacidad para imágenes Landsat TM y OLI. Para la definición de las clases temáticas y selección de muestras que representaron cada una de las clases, se basó en el conocimiento previo del área de estudio (puntos de reconocimiento en campo).

En la clasificación se dio énfasis exclusivamente al modelaje fuzzy sobre descriptores espectrales apoyados en la selección de áreas de entrenamiento (muestras). De esta manera fue realizada una clasificación supervisada orientada a objetos con verificaciones de campo en el área de estudio. Las clases o categorías clasificadas fueron agricultura (de riego, temporal), cuerpos de agua, área urbana, selva baja (caducifolia), pastizal y vegetación secundaria.

Después de la clasificación se obtuvieron mapas parciales de cobertura y usos del suelo, lo cuales fueron llevados al software ArgGis 10.0 donde se eliminaron áreas menores a cuatro hectáreas para atender una escala de análisis cartográfica de 1:50,000, de acuerdo con el concepto de área mínima mapeable (Salitchev, 1979). Asimismo se realizaron algunas ediciones manuales con verificación de las propias imágenes con el objetivo de corregir algunas inconsistencias.

Posterior a la generación de los mapas finales de cobertura y uso de suelo, se realizó cruzaron datos para analizar las trayectorias de cambios de cobertura y uso de suelo para ambas comunidades evaluadas. Todas las combinaciones de clases detectadas fueron calculadas y mapeadas.

Para describir la dinámica de los cambios de las coberturas se calcularon las tasas de cambios de acuerdo a la ecuación utilizada por la FAO (1996)

(ecuación 1). Esta tasa expresa el cambio en porcentaje de la superficie al inicio de cada año. Los resultados describen las transiciones de todas las coberturas y usos de suelo.

$$\delta_n = (S_2/S_1)^{1/n} - 1 \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde  $\delta$  es la tasa de cambio (para expresar en porcentaje hay que multiplicar por 100);  $S_1$  es la superficie en la fecha 1;  $S_2$  es la superficie en la fecha 2;  $n$  es el número de años entre las dos fechas. Por otro lado, mediante una matriz de tabulación cruzada, se distinguieron aquellas coberturas que sufrieron transiciones sistemáticas y los cambios totales de cobertura y uso de suelo. Para ello, se construyó una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambios que resulta de cruzar los mapas de las fechas en cuestión (tiempo uno y tiempo 2). En dicha matriz las filas representan las categorías del mapa en el tiempo 1 (T1) y las columnas las categorías del mapa en el tiempo 2 (T2) (Pontius et al., 2004).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Mapeo participativo de percepción

Los mapas elaborados en base al mapeo de percepciones participativo en cada una de las localidades se plasma el conocimiento local de la población en tres momentos: pasado, presente y futuro.

#### 3.1.1 Escenarios forestales en Laguna del Mante

En el ejido Laguna del Mante (Figura 4, Apéndice 1), en el mapa del pasado la población percibe que en los años 1970s que en su ejido existía mayor superficie de selvas tanto en el extremo Este como en el Oeste (Sierra). Asimismo, expresaron que existía una cantidad considerable de superficie de pastos y de agricultura junto a la presa de agua.

En el mapa del presente (año 2014) la población mapeo y percibió que su cobertura forestal ha disminuido gradualmente en dirección hacia la sierra al Este y Oeste y que la vegetación secundaria y sobre todo la agricultura ha aumentado considerablemente su superficie. En el mapa del futuro (aproximadamente hasta el año 2030), los pobladores expresan que habrá un aumento considerable de la agricultura en la parte centro del ejido, atribuyendo a que es esa área existen las condiciones adecuadas para desarrollar actividades agrícolas y porque está

**Percepción de la Cobertura y Uso de Suelo  
Según Mapeo Participativo  
en el Ejido Laguna del Mante  
años 1970, 2014 y 2030**

**Leyenda**

- Agricultura
- Agua
- Área urbana
- Selva baja
- Pastizal
- Vegetación secundaria

Información Cartográfica:  
-Coordenada Geográfica  
- Datum WGS-84

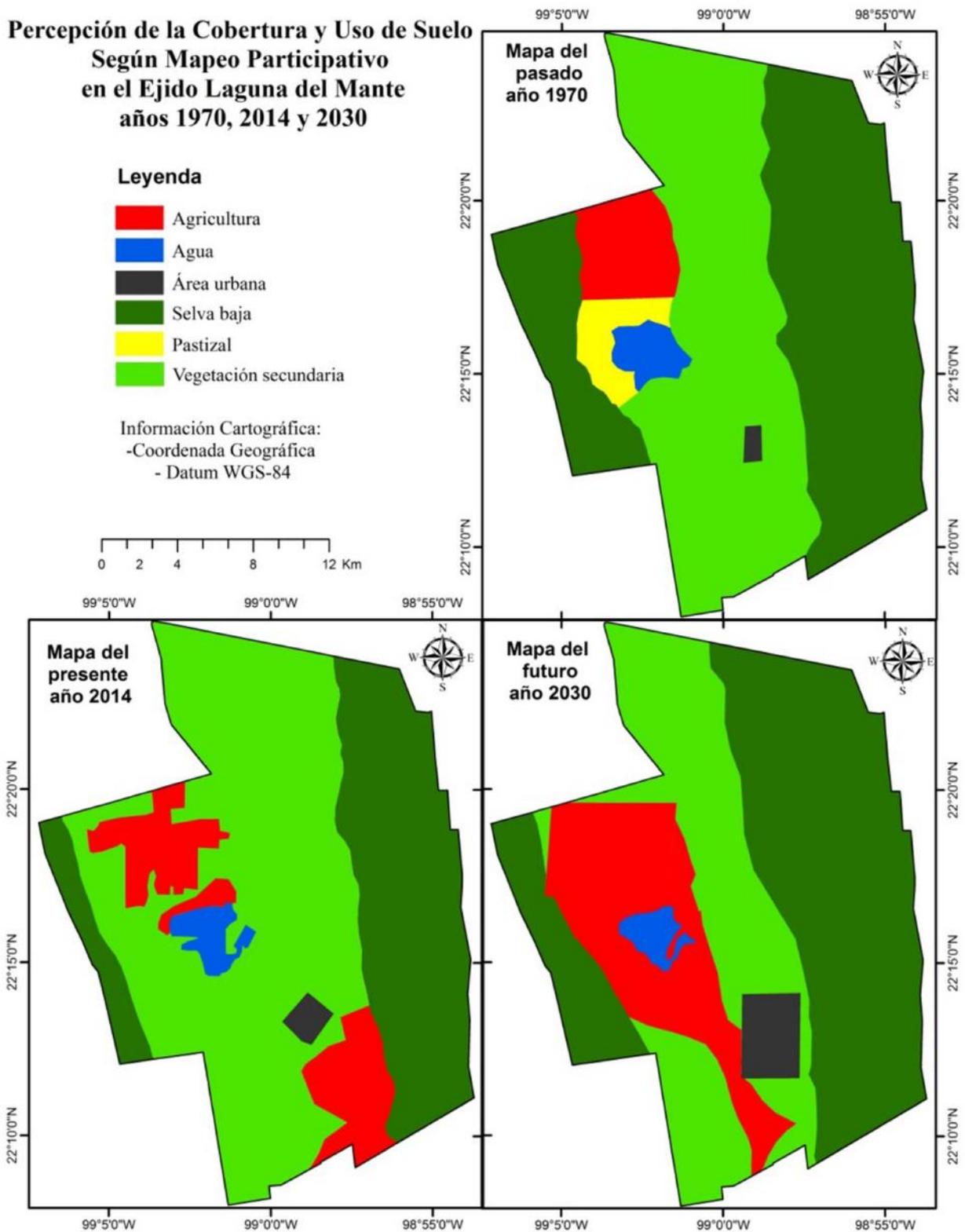
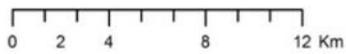


Figura 4. Representación de la percepción local sobre la cobertura y uso de suelo según mapeo participativo en el Ejido Laguna del Mante.

será la actividad principal. Asimismo, indicaron un aumento de la cobertura forestal junto a la sierra en los siguientes años debido a que los proyectos de conservación y posiblemente de reforestación que se están desarrollando en la comunidad, ayudaran al incremento de estas áreas (Figura 4).

Otros conocimientos identificados en el mapeo participativo de percepción fue el aumento paulatino del área urbana del ejido. Para el futuro se espera que esta localidad aumente considerablemente su superficie debido al aumento de la población (Figura 4).

### 3.1.2 Escenarios forestales en Toco y

Para el caso de la comunidad Toco y, en el mapa del pasado (década 1970) los pobladores expresaron de que en la comunidad no existía un área urbana como tal. Las familias estaban distribuidas en toda la comunidad y por ende la superficie agrícola estaba ubicada alrededor de las pequeñas viviendas (Figura 5, Apéndice 1). Los mapas de percepción también indican que en el pasado existía bastante cobertura forestal tal como se puede confirmar en el análisis de cambios de cobertura y uso de suelo para el año 1973 (Figura 5).

El mapa de percepción del presente (año 2014) indica que la cobertura forestal fragmentada con pequeños remanentes sobre las partes más altas de la comunidad, asimismo, es notorio el aumento área urbana en la parte Oeste de la comunidad (Figura 5). Mencionado patrón se puede reflejar en el mapa de cambios de cobertura y uso de suelo para el año 2014 (ver más adelante Figura 5 año 2014).

Por último, el mapa de percepción del futuro (año 2030), los pobladores expresan que en la comunidad ocurrirán cambios como por ejemplo el aumento del área urbana, aumento de la agricultura y pasto, mayor comunicación por carreteras entre las localidades de la comunidad y la conservación de pequeños remanentes forestales sólo en los límites o bordes de la comunidad (Figura 5). En ningún momento en esta comunidad se habla que proyectos de conservación de la cobertura forestal y tiene mucho que ver con las actividades actuales que desarrollan y la falta de incentivos en la comunidad por otras instituciones.

## 3.2 Cambios de cobertura y uso de suelo

### 3.2.1 Análisis multitemporal y cambios de cobertura y uso de suelo en Laguna del Mante

A partir del análisis de la información obtenida, podemos entender la trayectoria evolutiva de la

cobertura y uso de suelo en un lapso de tiempo de 41 años, en el Ejido Laguna de Mante (Tabla 1) (Figura 6).

La tabla uno nos indica que en el Ejido Laguna del Mante ha habido un aumento considerable del área agrícola de 532 ha en 1973 hasta 6,493 ha hasta el 2014, y se puede ver una disminución paulatina de áreas de pastizales. Asimismo, la vegetación secundaria y el área urbana han aumentado de superficie en la trayectoria de los años evaluados. La cobertura “selva baja” ha disminuido considerablemente hasta el año 2000 y entre el periodo 2000-2014, la disminución sólo ha sido de 584.56 hectáreas, lo cual se puede atribuir a que el área de la sierra del Abra de Tanchipa, de alguna manera ha contribuido a disminuir la pérdida forestal (Figura 6). De esta manera podemos inferir de que al igual como ha ocurrido en gran parte de la Región Huasteca de México, la modernización e industrialización de la agricultura, incremento de la ganadería, demanda de madera y sus derivados para el mercado, es una de las principales razones para el aumento considerable de estas coberturas antrópicas y pérdida de coberturas forestales (Aguilar-Robledo, 2001; Quinteros, 2012; Peralta-Rivero et al., 2014a). Por otro lado, el mapa del pasado (1973) y del presente (2014) obedecen a los patrones del de los mapas participativo de percepción de los años 1970s y actual (2014).

### 3.2.2 Análisis multitemporal y cambios de cobertura y uso de suelo en Toco y

La tabla dos nos indica que en Toco y las coberturas antrópicas como la agricultura, vegetación secundaria han aumentado considerablemente desde 1973 con tasas de cambios de 0.90% y 1.06%. Como consecuencia la superficie de selva baja se ha disminuido hasta sólo un 5.22% del total superficie de la comunidad con una tasa de cambio anual de -5.04% (Figura 5). De esta manera, al igual que en el Ejido Laguna del Mante y que de la Región Huasteca, el aumento de las actividades productivas han disminuido considerablemente la cobertura forestal (Aguilar-Robledo, 2001; Quinteros, 2012; Peralta-Rivero et al., 2014a).

En la figura cinco se puede notar claramente que la clase selva baja es aquella que disminuyó drásticamente su superficie entre 1973 y 2014 y la vegetación secundaria se mantuvo en condiciones parecidas en el periodo 2000-2014. Por otro lado la clase agricultura mantuvo su superficie de manera parecida sobre todo en los últimos años, lo cual es característico de comunidades que practican agricultura rotativa de rosa, tumba y quema (Peralta-Rivero et al., 2013).

**Percepción de la Cobertura y Uso de Suelo  
Según Mapeo Participativo en la Comunidad Tocooy  
años 1970, 2014 y 2030**

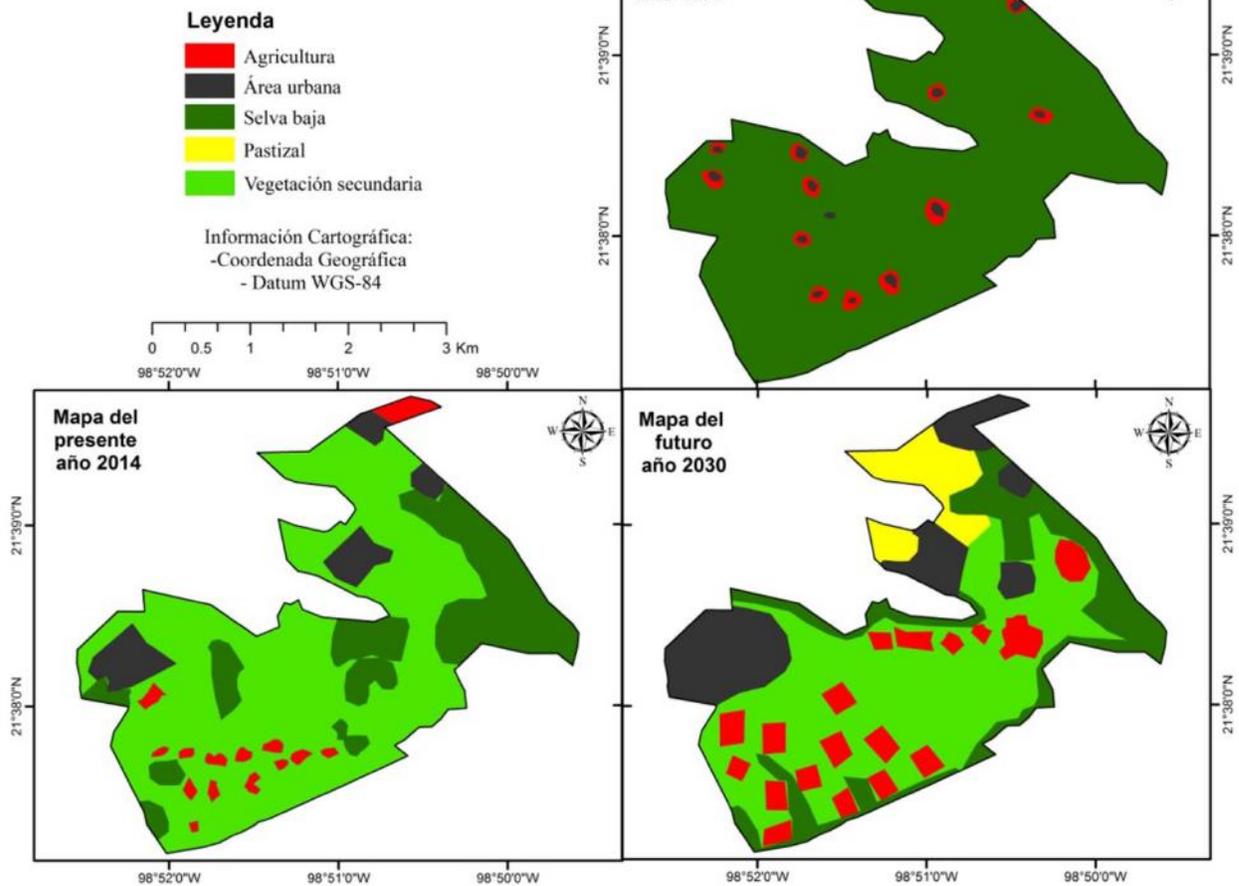


Figura 5. Representación de la percepción local sobre la cobertura y uso de suelo según mapeo participativo en la Comunidad Tocooy.

2014									
1973	Agricultura	Agua	Área urbana	Pastizal	Selva baja	Vegetación secundaria	Total 2014	Pérdidas	Tasa de cambio anual (%)
Agricultura	431.92	14.22	0.00	17.46	0.00	68.44	532.04	100.12	6.29
Agua	9.06	866.52	0.63	1.98	0.99	19.14	898.32	31.80	0.44
Área urbana	9.72	0.45	32.76	0.00	0.00	0.27	43.20	10.44	5.67
Pastizal	2,779.05	71.82	145.80	490.44	34.47	1,837.11	5,358.70	4,868.26	-3.43
Selva baja	824.73	51.12	23.22	149.67	15,777.56	7,214.10	24,040.40	8,262.84	-0.88
Vegetación secundaria	2,439.29	73.28	211.30	624.08	920.28	11,077.24	15,345.47	4,268.23	0.67
Total 2014	6,493.77	1,077.41	413.71	1,283.62	16,733.31	20,216.30			
Ganancias	6,061.86	210.89	380.95	793.19	955.74	9,139.06			

Tabla 1. Matriz de cambios de cobertura y el uso de suelo en el Ejido Laguna del Mante.

# Cobertura y Uso de Suelo del Ejido Laguna del Mante Años 1973, 2000 y 2014

## Leyenda

- Agricultura
- Agua
- Área Urbana
- Selva Baja
- Pastizal
- Vegetación Secundaria

Información Cartográfica:  
- Coordenada Geográfica  
- Datum WGS-84

Escala de análisis:  
1:50,000

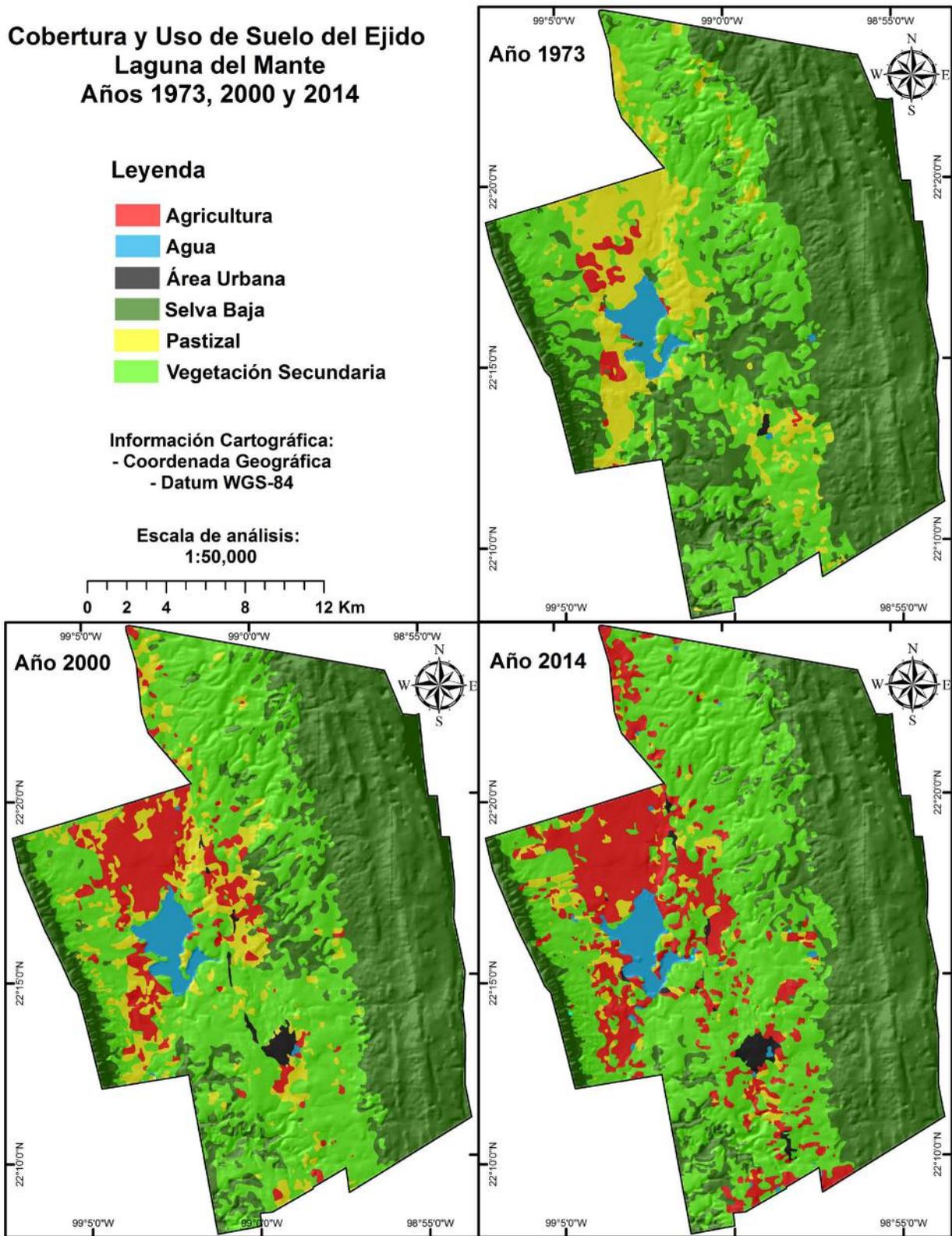
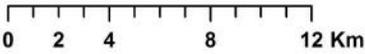


Figura 6. Mapas de la cobertura y uso de suelo de Ejido Laguna del Mante de los años 1973, 2000 y 2014.

1973	2014					Total 1973	Pérdidas	Taza de cambio anual (%)
	Agricultura	Área urbana	Pastizal	Selva baja	Vegetación secundaria			
Agricultura	2.30	9.43	0.00	5.28	60.06	77.07	74.77	0.90
Área urbana	-	-	-	-	-	-	-	-
Pastizal	-	-	-	-	-	-	-	-
Selva baja	35.86	28.89	1.48	36.22	357.04	459.49	423.27	-5.04
Vegetación secundaria	73.13	45.13	2.80	13.72	387.29	522.07	134.78	1.6
Total 2014	111.29	83.46	4.28	55.22	804.39			
Ganancias	108.99	83.46	4.28	19.00	417.10			

Tabla 2. Matriz de cambios de cobertura y el uso de suelo en Toco y.

Asimismo, esta cuantificación de la superficie de clases en la comunidad Toco y está muy relacionada con la evaluación de los mapas de percepción de cobertura y uso de suelo del pasado y presente desarrollados por los pobladores de la comunidad (ver antes Figura 5). Sobre todo se puede interpretar que las percepciones de las personas se sustentan en la pérdida de recursos forestales por las actividades productivas en la comunidad tal como se puede observar en la (Figura 7).

La figura siete ilustra lo mencionado sobre la agricultura rotativa en la comunidad (áreas de color rojo) desarrollada en diferentes ubicaciones de la comunidad según su análisis evolutivo. Según la tabla dos, tan sólo 2.3 hectáreas se ha mantenido como tal entre 1973 y 2014, la superficie restante se ha venido desarrollando en otras áreas de la comunidad. Asimismo, se puede ver la disminución de la clase selva baja con una tasa de deforestación de (-5.04% anual) lo cual es mayor a la tasa de deforestación de la región Huasteca en aproximadamente -2% anual de su superficie forestal (Peralta-Rivero et al., 2013). Cabe resaltar, que la comunidad es de superficie relativamente pequeña (1,058.53 hectáreas) la población ejerce más presión sobre las coberturas forestales todos los años para desarrollar sus actividades productivas de agricultura principalmente.

Por otro lado, la superficie del área urbana y pastizal se han venido incrementado sobre todo para el año 2000 y 2014, lo cual se relaciona con lo mencionado por los pobladores de la comunidad, al indicar de que se decidió agruparse en un área como tal para poder acceder a beneficios como la construcción de la escuela y salas de enfermería (Com. Pers. Abundio Anaya, Presidente del comisariado de Toco y).

## 4. CONCLUSIONES

El análisis del mapeo participativo de percepción se mostró bastante adecuado para la interpretación de la pérdida de recursos forestales y fue un complemento importante para desarrollar el análisis multitemporal de cambios de uso de suelo en ambas comunidades debido a que estos están correlacionados.

El análisis de cambios de cobertura y uso de suelo entre 1973 y 2014 demuestra que Laguna del Mante ha perdido aproximadamente 8,262.84 hectáreas de selva y ha aumentado 6,061.86 hectáreas de agricultura, ratificando lo expuesto en los mapas participativos de percepción del pasado y presente.

En la comunidad Toco y se perdieron alrededor de 423.27 hectáreas de selva con una tasa de pérdida de selvas de 5.04% anualmente, y un aumento de la vegetación secundaria de 417.10 hectáreas para el periodo 1973-2014, revalidando de esta forma las percepciones de la población la pérdida y degradación de los recursos forestales en la comunidad.

La (re)construcción de los escenarios forestales mediante mapeo participativo indica que en la comunidad Toco y no se tiene claro para el futuro la conservación de los remanentes forestales mientras que en Laguna del Mante existe la percepción de que las coberturas aumentarían sobre todo en donde se encuentre la Sierra del Abra Tanchipa.

El presente análisis de los escenarios de pasado presente y futuro sobre estado de los recursos forestales y la dinámica productiva desarrollada en el área de estudio y debe servir como una herramienta para el desarrollo de estrategias y generación de políticas locales en otros contextos en la región Huasteca en post de la conservación y manejo de los recursos forestales debido a la importancia de los actores sociales en cuanto a la posesión de tierras forestales. Para ello es indispensable conocer la idiosincrasia de las personas para que los proyectos forestales a implementar sobre todo en el ámbito rural no estén destinados al fracaso.

## AGRADECIMIENTOS

A la población de la comunidad Toco y y del Ejido Laguna del Mante. Al Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria (LaNGIF). A Hugo Medina, Ann-Kathrin Volmer, Beatriz Arreola, Javier Galicia y José Luis Rodríguez por su apoyo en el trabajo de campo.

## REFERENCIAS

- Aguilar-Robledo, M. (2001). Ganadería, tenencia de la tierra, e impacto ambiental en la Huasteca Potosina: los años de la Colonia. En L. Hernández (Ed.) (2001). Historia ambiental de la ganadería en México. Instituto de Ecología-Institut de Recherche pour le Développement. Xalapa. 276 pp.
- Barton, D., L. Merino-Pérez & D. Barry. (2012). El manejo comunitario en sentido estricto: las empresas forestales comunitarias de México. En: Bray, D., L. Merino & D. Barry (Eds.) (2007). Los bosques Comunitarios de México. Instituto Nacional de Ecología, México. 444 pp.
- Chapela, F. (2012). Estados de los bosques de México. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. México. 217 pp.
- CONABIO, (2012). Grados de marginación a nivel localidad 2010. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CEDEM, (2009). Perfil Municipal de San Antonio. Coordinación Estatal para el Desarrollo Municipal. 12 pp.
- FAO, (1996). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130, 152 pp. Roma.
- González, A. (2013). Payments for environmental services in the huasteca potosina region, Mexico: forest cover impacts at regional level. Thesis of master degree. Cologne University of Applied Science. Pp. 96.
- INEGI, (2010). Localidades de la República Mexicana 2010. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Peralta-Rivero, C., Contreras-Servín, C., Galindo-Mendoza., M.G., Algara M. & Mas, J. F. (2014a). Deforestation rate in the Mexican Huasteca Region (1976-2011). *CienciAgro* 3(1), 1-20.
- Peralta-Rivero, C., Contreras-Servín, C., Galindo-Mendoza, G., Mas-Caussel, J.F. & Algara-Siller, M. (2014b.) Analysis of land use and land cover changes and evaluation of natural generation and potential restoration areas in the Mexican Huasteca region. *Open Journal of Forestry* 4(2):124-135. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2014.42018>
- Peralta-Rivero, C., Contreras, C., Galindo, M. G., Torrico, J. C. & Vos, V.A. (2013). Percepción sobre la valoración del bosque y proyectos MDL y REDD en Riberalta, Amazonía Boliviana. *CienciAgro*, 2(4), 441-455.
- Pontius, R. G., Shusas, E. & McEachern, M. (2004). "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101, 251-268.
- PRONAFOR, (2014a). Áreas prioritarias para servicios ambientales en México, año 2014. Escala de mapa 1:250,000. Programa Nacional Forestal, México.
- PRONAFOR, (2014b). Áreas prioritarias para la restauración forestal y reconversión productiva en México, año 2014. Escala de mapa 1:250,000. Programa Nacional Forestal, México.
- PRONAFOR, (2014c). Áreas prioritarias para la restauración focalizada en México, año 2014. Escala de mapa 1:250,000. Programa Nacional Forestal, México.
- PRONAFOR, (2014d). Áreas prioritarias para el manejo forestal maderable en México, año 2014. Escala de mapa 1:250,000. Programa Nacional Forestal, México.
- PRONAFOR, (2014e). Áreas prioritarias para el manejo forestal maderabe en México, año 2014. Escala de mapa 1:250,000. Programa Nacional Forestal, México.
- PRONAFOR, (2014f). Áreas prioritarias para el aprovechamiento de recursos forestales no maderable en México, año 2014. Escala de mapa 1:250,000. Programa Nacional Forestal, México.
- Quinteros, J. (2012). Estudio ambiental y social comparativo del bosque húmedo en base al cambio de uso de suelo entre la Huasteca Potosina, México y la Mata Atlántica, rio de janeiro, Brasil. Tesis de maestría en ciencias ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 168 pp.
- Salitchev, K. A. (1979). Cartografía. Editorial Pueblo y Educación, MES, Ciudad de La Habana, Cuba.
- SEGOB, (2010). Municipio de Ciudad Valles [WWW Document]. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. URL <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM24sanluispotosi/municipios/24013a.html> (accessed 7.11.13).
- Tipula, P. (2008). Metodología de mapeo territorial. Comunidades nativas cacataibo. Instituto del bien común. Perú. 16 pp.



## **CAPÍTULO 11**

### **VARIABILIDAD ESPACIAL DEL BARRENADOR DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SU DETECCIÓN A TRAVÉS DE SENSORES REMOTOS EN LA REGIÓN HUASTECA**

**SPATIAL VARIABILITY OF SUGARCANE BORER AND DETECTION BY REMOTE SENSING IN THE HUASTECA REGION**

# VARIABILIDAD ESPACIAL DEL BARRENADOR DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SU DETECCIÓN A TRAVÉS DE SENSORES REMOTOS EN LA REGIÓN HUASTECA

## SPATIAL VARIABILITY OF SUGARCANE BORER AND DETECTION BY REMOTE SENSING IN THE HUASTECA REGION

Luis Alberto Olvera-Vargas<sup>1 2</sup> Guadalupe Galindo-Mendoza<sup>2</sup>; Raul Aguirre-Gómez<sup>3</sup>; Laura Yañez-Espinosa<sup>4</sup> Noé Aguilar-Rivero<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup>Laboratorio Nacional de Geoprocusamiento de Información Fitosanitaria. Universidad Autónoma San Luis Potosí, México.

<sup>3</sup>Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>4</sup>Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma San Luis Potosí, México.

<sup>5</sup>Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

Autor de correspondencia: olvera@uaslp.mx

### RESUMEN

Las aplicaciones de la teledetección en la agricultura han aumentado en los últimos años, especialmente por el desarrollo de sensores con mejores resoluciones espaciales y espectrales. En este sentido, el objetivo de este estudio fue reconocer y evaluar la variabilidad espacial y espectral de la infección por el barrenador *Diatraea saccharalis* de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la Huasteca Potosina, México, a partir del uso de sensores ópticos. La metodología consistió en hacer mediciones in situ con un espectroradiómetro hiperspectral en áreas con y sin daños aparentes por la plaga. Para la representatividad y el escalamiento espacial se usaron imágenes Landsat 8. Los datos obtenidos en campo, mostraron el comportamiento espectral de la plaga; y la variación espacio-espectral de la reflectancia, se hizo con las bandas visible e infrarroja para la vegetación. Este proceso, constituye un importante enfoque para dar una mirada desde lo geográfico a los problemas relacionados con la evaluación de riesgos de plagas y enfermedades, su incidencia, propagación y severidad, así como apoyo a las actividades de muestreo y seguimiento. El uso de estas tecnologías ofrece ventajas tanto en la investigación como en la implementación de técnicas de agricultura de precisión.

**Palabras Clave:** Sensores Remotos, Espectroradiometría, *Diatraea saccharalis*, *Saccharum officinarum*, Huasteca.

### ABSTRACT

Applications of remote sensing in agriculture have increased in recent years, especially for the development of sensors with better spatial and spectral resolutions. The objective of this study was to assess and evaluate the spatial and spectral variability of infection *Diatraea saccharalis* of sugarcane (*Saccharum officinarum*) through optical sensors in the Huasteca, Mexico. The methodology consisted in to make in situ measurements with a hyperspectral spectroradiometer in areas with and without apparent damage by the plague. For spatial and scaling representation Landsat 8 images were used. The data obtained in the field showed the spectral behavior of the plague; and the space-spectral reflectance variation was made by visibles and infrared bands for the vegetation. This process is an important approach to take a look from the geographical point of view to the problems related to the risk assessment of plague and diseases, their incidence, spread and severity, as well as support for sampling and monitoring activities. The used of these technologies provides advantages in research and in the implementation of precision farming techniques.

**Keywords:** Remote Sensing, Spectroradiometry, *Diatraea saccharalis*, *Saccharum officinarum*, Huasteca.

## 1. INTRODUCCIÓN

La incorporación de los Sensores Remotos (SR) en los estudios de agronomía ha aumentado en los últimos 10 años, debido al desarrollo de sensores con mejores resoluciones espectrales y espaciales, usando la información espectral para describir la variación en el espacio de la vegetación o del paisaje (Pettorelli et al., 2005; Cabello & Paruelo, 2008).

El uso de SR es eficaz, rápido, no destructivo, y accesible en forma operativa y exacta; permite obtener información de superficies extensas durante una temporada agrícola en numerosas ocasiones para detectar cambios en los procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas, aún con estrés hídrico, nutricional o derivado de plagas, malezas o enfermedades. También permite identificar especies, determinar el estado de salud y vigor vegetal, realizar inventarios de cultivos, analizar la estructura del dosel, todo en un intervalo amplio de escalas. Es decir, el uso de SR permite optimizar las prácticas agrícolas como una función de la variabilidad espacial y temporal dentro de los campos de cultivo, a través de métodos capaces de recuperar con precisión variables biofísicas a nivel dosel registradas por la reflectancia (Elwadie, 2005; Xie et al., 2008).

La utilización de sensores (remotos) portátiles en la agricultura también se han especializado, particularmente los de tipo hiperespectral, ya que a través de éste se puede ver la longitud de onda electromagnética detalladamente en términos de la posición específica de las bandas de absorción, forma del espectro, variabilidad espectral y similitud o diferenciación con otros tipos de vegetación (Rama et al., 2007). Estos sensores, conocidos como espectroradiómetros de campo, se usan para obtener firmas espectrales in situ, que robustecen la calidad del análisis espacial y temporal; en estos sistemas óptico-electrónicos, la radiancia recibida por los componentes ópticos se descompone en un continuo de cientos de bandas, lo cual ofrece una mejora potencial en la evaluación de los cultivos (Shippert, 2004; Reisig y Godfrey, 2007).

La importancia de estos sensores portátiles de campo radica en la obtención pura de la firma espectral del objeto medido, el cual puede correlacionarse con los datos de sensores satelitales, y si son iguales y simultáneas, se puede generar un etiquetado espectral dentro de la imagen que ayude a la sistematización automática a partir de píxeles de entrenamiento que diferencien características en cultivos de una misma área (Aspinal et al., 2001).

Por lo tanto, la organización e integración de estas firmas pueden hacerse partir de la construcción de librerías espectrales (también conocidas como bibliotecas) que pueden dar cuenta de la variabilidad entre especies vegetales y la discriminación entre vegetación sana (o sin daño aparente) y con deficiencias nutrimentales. Al respecto, Rama et al., (2007) informaron que no existen muchos estudios relevantes sobre la elaboración de bibliotecas espectrales para la diferenciación de los cultivos y de sus posibles deficiencias y enfermedades.

El uso de SR en estudios del cultivo de caña de azúcar se ha aplicado en numerosos aspectos, debido principalmente a la importancia económica del cultivo y a su distribución espacial que generalmente es simétrica y uniforme. Parte de las aplicaciones son: (1) clasificación y mapeo de caña de azúcar, (2) identificación de etapas fenológicas y grados-día de crecimiento, (3) discriminación de variedades, (4) seguimiento del riego y estrés nutricional, (5) detección de daños por insectos y enfermedades, (6) predicción de rendimientos y (7) manejo de residuos de cosecha. En todos los casos, las aplicaciones que se han ejecutado son con el objetivo de incrementar la productividad (rendimientos y calidad de la cosecha) con la reducción de los costos de producción para mercados cada vez más competitivos (Galvão et al. 2006; Abdel et al., 2010).

Según Moore (2009) existen tres tipos de factores limitantes en la productividad de la caña de azúcar: fisiológicos (fenología, dosel, características celulares), ambientales (agua, CO<sub>2</sub>, radiancia, climas, suelos, fertilidad) y agronómicos (malezas, plagas, enfermedades, toxicidad). De estos, las limitantes que más inciden en la productividad son las referentes a las características edafocológicas (32.2%) y la gestión en el manejo de plagas y enfermedades (20.3%) (Aguilar et al., 2010a). Este último proceso, ha afectado en los cultivos de caña de azúcar al nivel de estrés vegetativo, donde la respuesta espectral es ocasionada por cambios bioquímicos a nivel celular y de hoja, que a su vez tienen influencia sobre los sistemas de pigmento y el contenido de humedad. Por otro lado, el estrés puede causar cambios en la estructura de la cobertura, el índice de área foliar (IAF) o la biomasa (Chuvienco, 1996).

La detección de la sanidad de la vegetación depende de la intensa relación entre transformaciones de reflectancia del rojo e infrarrojo y la absorción de la radiación fotosintéticamente activa (APAR) de la superficie de la vegetación (Kumar et al., 2001).

Abdullah et al. (2004) proponen que los daños causados por las enfermedades y las plagas se pueden medir por variaciones en el contenido de clorofila de las plantas, las cuales se pueden analizar por cambios en los patrones de las imágenes espectrales tomadas por los satélites. Estas técnicas usan imágenes multiespectrales para detectar las áreas bajo estrés. Los autores citan diferentes fuentes para las que este sistema fue útil en la evaluación de enfermedades (Yang et al., 2009; Aguilar et al., 2010b), y el índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI, por su sigla en inglés) fue el parámetro que mejor correlación presentó en la evaluación del estado sanitario de los cultivos.

Se conoce que muchas enfermedades y plagas causan cambios en los pigmentos de las hojas, en los componentes bioquímicos y generan alteraciones metabólicas en hojas infectadas (Lehrer et al., 2007). Estas condiciones patológicas de la planta pueden influir en sus características espectrales del tejido de la hoja y pueden ser detectados en el visible y/o infrarrojo cercano (NIR) del espectro electromagnético. De hecho, las regiones del visible e infrarrojo son conocidos por proporcionar el máximo de información sobre el nivel de estrés fisiológico en las plantas (Xu et al., 2007). Por lo tanto, la diferencia en la reflectancia espectral entre un cultivo sano (o sin daño aparente) y uno afectado por alguna enfermedad o plaga, sirve para diagnosticar el estado de salud de la planta (Palaniswami et al., 2014).

El uso de estas tecnologías ofrece ventajas tanto en la investigación como en la implementación de técnicas de agricultura de precisión, y aun cuando se siguen estudiando sus aplicaciones en los países más desarrollados, en México no se ha logrado establecer una sinergia con los trabajos convencionales de campo. Existe desinterés en el modelado de caña de azúcar utilizando sensores ópticos activos, y para la zona cañera de la Huasteca Potosina, no se dispone de una herramienta que permita caracterizar la problemática asociada a la producción de caña de azúcar y no se ha generado una metodología de percepción remota que permita establecer espacial y cuantitativamente aspectos relevantes como el área ocupada por el cultivo de caña de azúcar, la productividad a nivel zonas de abasto de los ingenios y predios, la estimación del rendimiento de caña de azúcar y el reconocimiento de plagas o enfermedades (Aguilar et al., 2010b).

En este sentido, en el estudio sobre la variación espacio-temporal de la reflectancia, la radiación solar en las bandas del visible, infrarrojo y los índices

de vegetación constituyen enfoques importantes para analizar a nivel geográfico los problemas relacionados con la evaluación de riesgos de plagas y enfermedades, su incidencia, propagación y severidad, así como dar apoyo a las actividades de muestreo y seguimiento que se llevan a cabo en la protección del cultivo de la caña de azúcar.

Por ello, el objetivo de este estudio fue detectar y caracterizar espacialmente el daño ocasionado por *Diatraea saccharalis* (barrenador de la caña de azúcar) a través del análisis de firmas espectrales, usando espectroradiometría de campo e imágenes de satélite, como un insumo en la detección temprana del problema fitosanitario en la región cañera de la Huasteca Potosina.

La hipótesis planteada se refiere al daño ocasionado por *Diatraea saccharalis* (barrenador de la caña de azúcar) en hojas de la caña de azúcar, puede ser caracterizado y calculado a través de firmas espectrales usando espectroradiometría de campo e imágenes de satélite, y puede ser un insumo espacial que ayude a generar planes de acción regional para un manejo más económico y ambientalmente sostenible, y que favorezcan la toma de decisiones de los técnicos de campo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

El cultivo de caña de azúcar es de gran importancia económica en México, tanto por la superficie sembrada, como por el monto de los recursos monetarios operados, y por la derrama económica que involucra. El estado de San Luis Potosí ocupa el tercer lugar en superficie sembrada con 8.7% (71,725 ha) del total nacional. El rendimiento promedio de campo en la zafra 2013-2014 fue 69.5 Mg ha<sup>-1</sup> con un valor de la producción de 2.5 mil millones de pesos equivalentes a casi 5 millones de toneladas cosechadas (SIAP, 2014).

La zona cañera de San Luis Potosí se ubica al oriente del estado, entre las coordenadas extremas 21°41' - 23°4'N y 97°59' - 99°29'W. Uno de los principales problemas entomológicos es el barrenador de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis* y su presencia ocurre casi todo el año, aunque su mayor incidencia se reporta de noviembre a mayo (COSICA, 2013; Rosas et al., 2005). El periodo de estudio fue entre el 2 y 28 de febrero de 2012 en dos sitios: Rancho Rioverdito en el Ingenio Plan de San Luis y el Ejido La Marina en el ingenio Plan de Ayala (Figura 1).

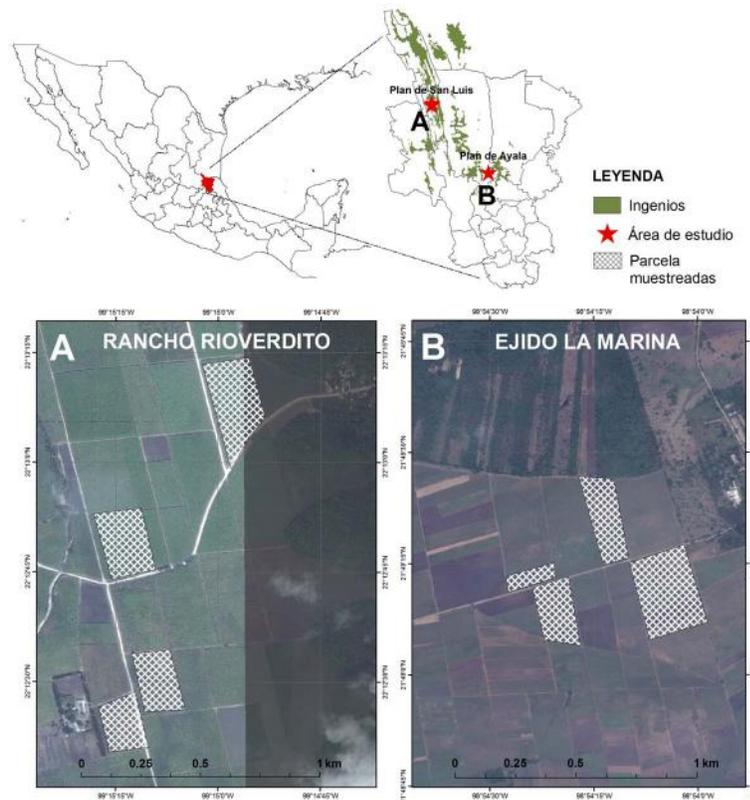


Figura 1. Áreas de estudio y su localización en el estado de San Luis Potosí, México.

## 2.2 Metodología

Para identificar espectralmente los daños producidos por el barrenador en la caña de azúcar se hicieron mediciones in-situ en hojas con daño aparente por *D. saccharalis*, con un espectroradiómetro de campo portátil modelo GER-1500 (Spectral Vista Corporation) que cubre un rango espectral de 350 a 1050 nm, (UV, visible e infrarrojo cercano) separadas en 512 bandas, con una precisión espectral de  $\pm 2$  nm. Las hojas con daño aparente presentaban un nivel de marchitamiento y/o amarillamiento (corazón muerto) del tallo con presencia de túneles y galerías evidentes. También se hicieron mediciones en hoja de caña de azúcar sin daño aparente por el barrenador dentro de la misma parcela. Se tomaron cinco lecturas por punto muestreado, donde el espectroradiómetro se colocó en posición nadir a una distancia de 0.3 m de la hoja, cubriendo un campo de visión de  $4^\circ$  (0.02 m<sup>2</sup>). El instrumento se calibró y optimizó antes de cada lectura, mediante un panel portátil con matriz de diodos de silicio como blanco de referencia cuya reflectancia espectral está caracterizada con precisión (Aguirre, 2001). Las mediciones se hicieron en días claros (libres de nubosidad) entre las 10:00 y 15:00 horas, con el fin

de minimizar el efecto de la variación de la posición solar en la radiación incidente (Aguirre, 2001).

Los datos obtenidos se bajaron e importaron a una hoja de cálculo, se ordenaron por longitud de onda en forma ascendente y se hizo el cálculo entre los datos de reflectancia del objeto (hojas de caña) y los datos del panel portátil, para así obtener el coeficiente espectral.

Para la validación, se tomaron puntos GPS de control con presencia de la plaga. Se trató de evitar la heterogeneidad en el muestreo, por lo que todas las lecturas se hicieron sobre la variedad de caña de azúcar RD 75-11 y ambos sitios presentaban características edafocológicas similares.

Para escalar la información obtenida en campo, se usó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que detecta el estrés de la planta y los cambios durante el crecimiento del cultivo por el efecto de plagas o enfermedades (Motohka et al., 2010; Yang et al., 2009). Este índice, según Ranjitha y Srinivasan (2014) está diseñado para resaltar las propiedades de la vegetación a través de la diferencia normalizada de la reflectancia

del infrarrojo cercano (730 – 805 nm) y la banda roja visible (580-680 nm).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestreo un área de 37.6 ha (19.97 ha en Rancho Rioverdito y 17.63 ha en ejido La Marina), en donde se obtuvieron 800 mediciones in situ, 400 registros para ambos sitios (200 sobre caña de azúcar afectados por barrenador y 200 en caña sin daño aparente).

En el Rancho Rioverdito, la firma espectral de las hojas dañadas por el barrenador mostraron mayor porcentaje de reflectancia que las hojas sin daño aparente en las regiones del visible; en la banda roja (600 – 700 nm), hay una separación casi del 15%, siendo la hoja afectada por el barrenador la que mayor reflectancia presenta y en la banda verde (500 – 600 nm) hay una separación del 12% de reflectancia, lo que evidencia el amarillamiento en las plantas medidas (Figura 2 y 3).

En los valores infrarrojos (> 700 nm) la firma espectral con daño se encuentra por debajo de la firma sin daño aparente (Figura 4). Estos datos coinciden con los presentados por Ranjitha y Srinivasan (2014), Riedell y Blackmer (1999), y Shibayama y Akiyama (1991) que indican que la vegetación estresada tiene un porcentaje de reflectancia más bajo en la región del Infrarrojo cercano (NIR) y una reflectancia superior en el visible, particularmente en el rojo y verde, lo que indican que la energía absorbida por la planta no es suficiente para completar adecuadamente la fotosíntesis.



Figura 2. Daño en tallo de caña de azúcar por *D. saccharalis* y síntomas de amarillamiento (corazón muerto).

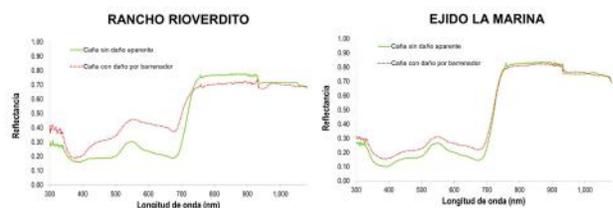


Figura 3. Firmas espectrales de hojas sin y con daño aparente por barrenador de la caña de azúcar.

En el caso del Ejido La Marina, la firma espectral de la hoja de caña sin daño aparente es similar a la reportada por Auynirundronkool et al. (2008), región visible por debajo del 10%, de reflectancia, ligeramente superior en la banda verde, mientras que en el infrarrojo cercano es superior al 80% de reflectancia. A diferencia de la planta afectada por la plaga, que tiene un comportamiento espectral muy similar al del Rancho Rioverdito, donde la cantidad de energía reflejada es superior en el visible, pero similar en el NIR con respecto al comportamiento de hojas sin daño aparente (Figura 3).

A partir de las firmas espectrales, se usaron los datos en el visible y NIR para hacer la clasificación espectral sobre una imagen Landsat 8 OLI\_TIRS fechada el 13 de febrero de 2013 con resolución espacial de 30 m. Como indican Javed et al. (2008) el escalamiento de datos radiométricos a través de imágenes Landsat no es preciso por la resolución espacial, pero sí lo es en cuanto a la resolución espectral. En este sentido, el uso del NDVI se hizo a partir de los datos calculados por las mediciones de campo y su escalamiento fue con base a esos cálculos. En la figura 4 se pueden observar los resultados de esa operación, donde en el rancho Rioverdito se hicieron clasificaciones más generalizadas, tanto de la caña como del barrenador, esto debido a la poca diferencia entre las firmas espectrales (plaga-planta). La superficie afectada por barrenador calculada en base a la clasificación fue del 68.5% de las 19.97 hectáreas medidas, siendo las dos parcelas más grandes las que casi en su totalidad estaban afectadas por la plaga. En el ejido La Marina, la clasificación está más definida y se diferencia los límites entre la caña sana y las plantas afectadas por la plaga. En total el 43.7% de la superficie monitoreada (17.63 ha.) tuvo una clasificación de daño por el barrenador. En ambos casos, existen parcelas de caña de azúcar que se pudieron clasificar, esto por la diferencia espectral dada por la variedad, la edad y el manejo del cultivo.

Para conocer la confiabilidad de la clasificación hecha con las imágenes de satélite Landsat, se realizó una matriz de confusión, en base a 40 puntos tomados al azar, cercanos a las parcelas monitoreadas, en donde 13 de estos puntos eran áreas sin daño aparente por barrenador y 17 con daño por la plaga. De la matriz se desprende que la metodología usada permite diferenciar áreas afectadas y sin daño aparente en un 82.5% de efectividad. El total de confiabilidad es en base a ambos sitios, donde en el Rancho Rioverdito, se tuvo una efectividad de 79.8% en la clasificación realizada, mientras que en el Ejido La Marina se tuvo una efectividad del 85.5% (Tabla 1).

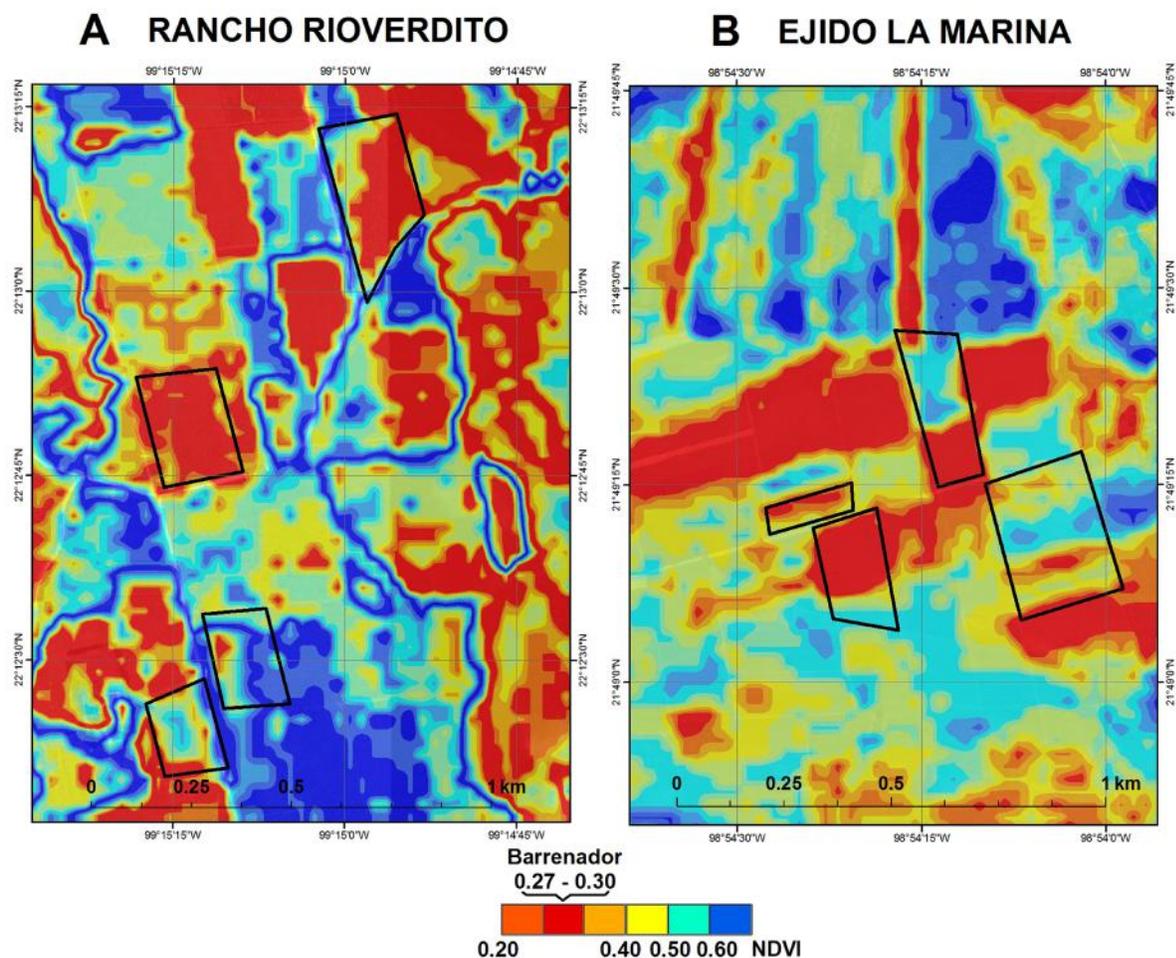


Figura 4. Clasificación de imagen de satélite con base en los índices espectrales.

Para conocer la confiabilidad de la clasificación hecha con las imágenes de satélite Landsat, se realizó una matriz de confusión, en base a 40 puntos tomados al azar, cercanos a las parcelas monitoreadas, en donde 13 de estos puntos eran áreas sin daño aparente por barrenador y 17 con daño por la plaga. De la matriz se desprende que la metodología usada permite diferenciar áreas afectadas y sin daño aparente en un 82.5% de efectividad. El total de confiabilidad es en base a ambos sitios, donde en el Rancho Rioverdito, se tuvo una efectividad de 79.8% en la clasificación realizada, mientras que en el Ejido La Marina se tuvo una efectividad del 85.5% (Tabla 1).

		Predicho	
		Verdadero	Falso
Observado	Verdadero	14	3
	Falso	4	9

Tabla 1. Matriz de confusión para las clasificaciones en imágenes de satélite de los datos hiperespectrales adquiridos en campo.

#### 4. CONCLUSIONES

El uso de imágenes de satélite y de espectroradiómetros de campo puede ayudar a la detección de áreas afectadas por las plagas, principalmente a las que dañan directa o indirectamente a las hojas de la planta de la caña de azúcar. En ese sentido, con el análisis espacial se respalda la aplicabilidad de las geotecnologías en el sector agrícola y se demuestra el alcance que se pueden realizar en breves periodos de tiempo cubriendo una gran extensión de cultivo. Para enfermedades de la caña de azúcar como el barrenador, el mejoramiento de las técnicas de espectroradiometría de campo y el escalamiento a imágenes de satélite, dan origen al punto de partida para convertir el modelo fitosanitario tradicional en un modelo de precisión.

#### REFERENCIAS

Abdel-Rahman, E., Ahmed F., Van den Berg, M. (2010). Estimation of sugarcane leaf nitrogen concentration using in situ spectroscopy. *International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, 52–57.

- Abdullah, A., Brobst, S., Umer, M., & Khan, M. F. (2004). The Case for an Agri Data Warehouse: Enabling Analytical Exploration of Integrated Agricultural Data. *Databases and Applications*. 139-144 pp.
- Aguilar, N., Galindo, M., Contreras, C., Fortanelli, J. (2010a). Zonificación productiva cañera en Huasteca potosina, México. *Agronomía Trop.* 60(2), 139-154.
- Aguilar, N., Mendoza, G., Contreras, C., Fortanelli, M. (2010b). Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. *Avances en investigación agropecuaria. AIA.* 14(2), 29-48
- Aguirre-Gómez, R., Boxall, S., Weeks, A. (2001). Detecting photosynthetic algal pigments in natural populations using a high-spectral-resolution spectroradiometer. *International Journal of Remote Sensing*, 22(15) 2867-2884.
- Aspinall, R., Marcus, A., Boardman, J. (2001). Considerations in collecting, processing and analyzing high spatial resolution hyperspectral data for environmental investigations. *J Geograph Syst.* 4, 15-29.
- Auynirundronkool, K., Deeudomchan, K., Prakobya, A., Jarnkoon, M., Tintarasara, N., Seechan, M. (2008). Analysis of Economic Crop Reflectance by Field Spectral Signature: Case Study Sugarcane En: <http://www.a-a-r-s.org/acrs/proceeding/ACRS2008/Papers/TS%2013.6.pdf>
- Cabello, J. Paruelo, J. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas* 17(3), 1-3.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Ediciones RIALP 568 pp.
- COSICA. (2013). Comité de Sanidad e Inocuidad de la Caña de Azúcar. Informe de actividades 2013. San Luis Potosí.
- Elwadie E. (2005). Remote Sensing of Canopy Dynamics and Biophysical Variables Estimation of Corn in Michigan. *Agron. J.*, 97, 99–105.
- Galvão, L., Formaggio, A., Tisot, D. (2006). The influence of spectral resolution on discriminating Brazilian sugarcane varieties. *International Journal of Remote Sensing*, 27(4), 769–777.
- Javed, M., Yogesh, K., Bharath, B. (2008). Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+. *J. Ind. Geophys. Union*, 12(3), 131-140.
- Kumar, L., Schmidt, K., Dury, S., Skidmore A. (2001). *Imaging spectrometry and vegetation science*. In *Imaging Spectrometry*. Eds F. van der Meer and S.M. de Jong. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 111–155 pp.
- Lehrer A., More, P., Komor E. (2007). Impact of sugarcane yellow leaf virus on the carbohydrate status of sugarcane: comparison of virus-free plants with symptomatic and asymptomatic virus infected plants. *Physiol Mo1 Plant Pathol*, 70(4-6), 180-188.
- Moore P. (2009). Sugarcane Biology, Yield, and Potential for Improvement. Workshop BIOEN on Sugarcane Improvement 18 e 19 de março, São Paulo. En: <http://www.fapesp.br/materia/5064/bioen/workshop-bioen-on-sugarcane-improvement-18-e-19-3-2009.htm>
- Motohka, T., Nasahara, K., Oguma, H., Tsuchida, S. (2010). Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing*, 2, 2369-2387.
- Palaniswami, C., Viswanathan, R., Bhaskaran, A., Rakkiyappan, P., Gopaldasundaram, P. (2014). Mapping sugarcane yellow leaf disease affected area using remote sensing technique. *Journal of sugarcane research*, 4(1), 55-61.
- Pettorelli, N., Vik, J., Mysterud, A., Gaillard, J., Tucker, C., Stenseth, N. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 503-510.
- Rama, R., Garg, P., Ghosh, S. (2007). Development of an agricultural crops spectral library and classification of crops at cultivar level using hyperspectral data. *Precision Agric.*, 8, 173-185.
- Ranjitha, G., Srinivasan, M. (2014). Hyperspectral radiometry for the detection and discrimination of damage caused by sucking pests of cotton. *Current Biotica*, 8 (1), 5-12.
- Reisig, D., Godfrey, L. (2007). Spectral response of cotton aphid–(Homoptera: Aphididae) and spider mite–(Acari: Tetranychidae) infested cotton: Controlled studies. *Environmental entomology*, 36(6), 1466-1474.
- Riedell, W. Blackmer, T. (1999). Leaf reflectance spectra of cereal aphid-damaged wheat. *Crop Sci.*, 39(6), 1835-1840.
- Rosas, M., De Luna, J., Arévalo, N., Galán, J., Morales, H. (2005). Cría de *Diatraea saccharalis* (F.) En dieta no específica. *Nota Científica*. *Southwestern Entomologist*. 30(3) 1-2.
- Shibayama, M., Akiyama, T. (1991). Estimating grain

yield of maturing rice canopies using high spectral resolution reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.*, 36, 45-53

Shippert, P. (2004). Why use hyperspectral imagery? *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 377-380 pp.

Sistema de Información Agropecuaria SIAP. (2014). Sistema producto. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En <http://www.siap.gob.mx/>

Xie Y., Zongyao S., Mei Y. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology* 1(1), 9–23.

Xu H., Ying Y., Fu X., Zhu S. (2007). Near-infrared spectroscopy in detecting leaf miner damage on tomato leaf. *Biosystems Engineering* 96(4), 447-454.

Yang, Z., Rao, M., Elliott, N., Kindler, S., Popham, T. (2009). Differentiating stress induced by greenbugs and Russian wheat aphids in wheat using remote sensing. *Comput. Electron. Agric.*, 67 (1-2), 64-70.

## **CAPÍTULO 12**

### **SITUACIÓN FITOSANITARIA DE SAN LUIS POTOSÍ, 2000-2015**

PHYTOSANITARY STATUS OF SAN LUIS POTOSI, 2000-2015

# SITUACIÓN FITOSANITARIA DE SAN LUIS POTOSÍ, 2000-2015

## PHYTOSANITARY STATUS OF SAN LUIS POTOSI, 2000-2015

Beatriz Estrella Arreola Martinez<sup>1</sup>, María Guadalupe Galindo Mendoza<sup>2 3</sup>, Raúl Gonzalez Montero<sup>2</sup>, Hugo Medina Garza<sup>1</sup>, Ángel Santiago González Canuto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup>Laboratorio Nacional de Geoprocusamiento de Información Fitosanitaria. Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

<sup>3</sup>Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud. Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

Autor de correspondencia: beatrizarreola@hotmail.com

### RESUMEN

Las especies invasoras afectan a la seguridad alimentaria en todo el mundo ocasionando la disminución de la producción de alimentos producidos en el sector agropecuario, reduciendo sus ingresos económicos u ocasionando la pérdida del patrimonio familiar. Estas especies que amenazan la producción de plantas en todo el mundo se propagan por el comercio, transporte y turismo principalmente. Este fenómeno de las invasiones biológicas ha aumentado en los últimos 150 años de forma drástica, pues los humanos somos actualmente capaces de trasladarnos de un país a otro en cuestión de horas y mover con nosotros especies a mayores distancias traspasando barreras geográficas. El objetivo del presente estudio fue realizar un análisis de los factores antrópicos que favorecen el ingreso de plagas exóticas al estado de San Luis Potosí, basado en el análisis de riesgo con la integración de variables antrópicas. En México el estado de San Luis Potosí tiene una posición estratégica que favorece el fácil y rápido acceso a proveedores, pues se encuentra equidistante de las tres mayores ciudades del país: México, Monterrey y Guadalajara, está comunicado a puertos por los que se realiza un alto porcentaje de comercio exterior. Esto contribuye a hacer de San Luis Potosí una de las economías más diversificadas de México y una región que incrementa los intercambios de inversión, comercio y cultura con los países de América del Norte, Europa y Latinoamérica, lo que da paso a un riesgo mayor de introducción de plagas, además de presentar gran cantidad de comunidades con carencia económica y rezago social, donde su

principal actividad es la producción de alimentos, limitándolos en la gestión de problemas fitosanitarios teniendo limitantes para poder monitorear o controlar las plagas o enfermedades nuevas o de reciente introducción en sus cultivos.

**Palabras clave:** Plagas, Alimentos, Análisis de Riesgos, Invasiones Biológicas.

### ABSTRACT

Invasive species affect food security throughout the world causing decreased production of food produced in the agricultural sector, reducing their income or causing the loss of family property. These species that threaten production plants worldwide spread by trade, transport and tourism mainly. This phenomenon of biological invasions has increased over the last 150 years drastically because humans are now able to move from one country to another in a matter of hours and move us to greater distances transgressing species geographical barriers. The objective of this study was to conduct an analysis of the human factors that favor the entry of exotic pests to the state of San Luis Potosi, based on risk analysis with the integration of anthropic variables. In Mexico, the state of San Luis Potosi has a strategic position that favors quick and easy access to suppliers, because it is equidistant from the three largest cities: Mexico, Monterrey, and Guadalajara, is connected to ports through which it makes a high percentage of foreign trade. This contributes to making San Luis Potosi one of the most diversified economies of Mexico and a region that increased trade investment, trade and culture with countries

in North America, Europe and Latin America, which leads to an increased risk of introduction of pests, besides presenting many communities with economic deprivation and social backwardness, where its main activity is the production of food, limiting them in the management of phytosanitary problems having limitations in order to monitor or control pests or new diseases or recent introduction into their crops.

**Keywords:** Pest, Food, Risk Analysis, Biological Invasions.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la definición de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) se puede hablar de seguridad alimentaria “Cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida sana, basada actualmente en 4 rubros: disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad”.

El tema de seguridad alimentaria surgió desde la Conferencia Mundial de Alimentos de la FAO en 1974, cuando se presentó una preocupación mundial muy grande por la escases de alimentos, y que hasta la fecha ha sido de enorme interés y complejidad; inicialmente solo tenía que ver con la disponibilidad de alimentos, pero se fue ajustando y complementando con el problema del acceso a los mismos, la utilización y la garantía de tenerlos aún cuando ocurriera algún evento catastrófico, a lo que llamaron estabilidad (PNUD, 2008).

Para abordar esta problemática a nivel mundial existen dos instituciones importantes, tanto la FAO como la Organización Mundial de Comercio (OMC) han hecho sus esfuerzos, sin embargo sus enfoques se contraponen, mientras que la visión de la FAO contempla como prioritarios a los sectores más vulnerables tanto en lo urbano como en lo rural, apoyando la producción de alimentos en cultivos de subsistencia (FAO, 2016), la visión de la OMC enfoca sus proyectos y apoyos a las estrategias para exportación, es decir, el cuidado de los productos agropecuarios para exportación dejando de lado a los de subsistencia, pues considera al comercio como parte fundamental para llegar a la seguridad alimentaria (OMC, 2014).

La propagación de plagas exóticas es un factor importante en que ambas visiones concuerdan que amenaza la seguridad alimentaria y que puede

darse dentro del ámbito de las exportaciones. La rápida y extensiva propagación de estas especies exóticas ha llegado a convertirse en un suceso de importancia internacional, además de ser reconocidas como una de las amenazas más serias para la biodiversidad, genera enormes gastos para la agricultura, silvicultura, pesca y otras actividades humanas, y pone en riesgo la propia salud humana (Nentwig, 2007).

Básicamente, las especies invasoras afectan a la seguridad alimentaria de varias formas: a) disminución de la producción, tanto en los sectores económicos y de subsistencia, ya que las personas en algunos países y territorios dependen exclusivamente de la agricultura, horticultura, silvicultura, pesca y el consumo (D’Antonio, 1993); b) reducción de los ingresos económicos, aunque la gravedad de las consecuencias económicas dependerá de las circunstancias específicas; c) pérdida de patrimonio familiar, existen casos en los que las plagas y enfermedades han devastado hectáreas enteras sin alternativa alguna, por lo que las familias deben optar por cambiar de actividad.

Estas especies, amenazan a la producción de plantas en todo el mundo y se propagan por el comercio, transporte y turismo principalmente. En este sentido para hacer frente a estos riesgos, se establecen sistemas de control en las importaciones y medidas contra los organismos introducidos, todo esto con base en la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF), (organismo fundado en 1951 que agrupa a 171 naciones bajo el propósito de “Prevenir la diseminación e introducción de plagas de plantas y productos vegetales y promover medidas apropiadas para combatirlos”) donde se determina que en los países adscritos a este convenio, se deben aplicar una serie de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (MSF), bajo el marco de referencia de carácter vinculante (acatamiento obligatorio para los miembros de la OMC).

El objetivo central del Acuerdo de MSF es garantizar el derecho de los países a proteger su patrimonio agropecuario de los posibles riesgos derivados del intercambio comercial de productos agrícolas, sin que el ejercicio de este derecho conlleve la instauración de barreras de comercio (Cibrián, 2001). Estas MSF sustituyeron las barreras arancelarias a partir de 1997 con la finalidad de permitir igualar la condición de los países para competir en el ámbito económico (ibid).

Tomar o instaurar estas Medidas fue de gran importancia debido a la facilidad y la multiplicidad

de formas en que las especies exóticas invasoras pueden desplazarse. Los países con importantes sectores agrícolas, silvícolas y con una amplia diversidad de ecosistemas deben evaluar cuidadosa y frecuentemente los riesgos para estos sectores. Además de reconocer los posibles impactos generados por estas especies (Ojasti et al. 2001; Mathews, 2007; Gutiérrez, 2010), se debe dirigir la atención al control y monitoreo de estas. Ya que especies no nativas que han sido introducidas de manera intencional o accidental por la intervención humana han puesto en riesgo no solo los cultivos, también los ecosistemas, hábitats y especies nativas (Castiglia, 2009).

En México el tema de especie invasoras se contempla hasta 2006 como tal, pero frente a la incertidumbre que genera cualquier introducción de especies que pueden poner en riesgo la seguridad alimentaria es en el ámbito fitosanitario con la FAO, a través de la CIPF cuando el país se compromete al igual que todos los países signatarios a implementar una serie de acciones como la emisión de certificados fitosanitarios y la vigilancia, inspección y desinfección o desinfestación de plantas y productos vegetales. Entre los compromisos que forman parte de este acuerdo, está el relacionado con el Análisis de Riesgo de Plagas (ARP) (NIMF n° 11), el cual es uno de los principios operativos de la CIPF para la protección de las plantas y la aplicación de medidas fitosanitarias en el comercio internacional (FAO, 2004).

En el país la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), se encarga de aplicar dichas normas para controlar y combatir plagas relacionadas con la agricultura. Además cuenta con Oficinas de inspección de Sanidad Agropecuaria (OISAs) en puertos, aeropuertos y aduanas, principales sitios donde entran personas y productos provenientes de otros países que pueden traer consigo plagas exóticas que pueden causar estragos a la economía del país y coordina personal colocado en puntos de Verificación e Inspección para poder detectar especies consideradas peligrosas potenciales para el sector agropecuario que pueden ser trasladadas de un estado a otro (SENASICA, 2016a, 2016b, 2016c).

También la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), lleva a cabo un programa de inspección en puertos, aeropuertos internacionales y puntos fronterizos, y la Comisión Nacional para el Conocimiento y

Uso de la Biodiversidad (CONABIO), ha elaborado la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México, esta describe la introducción, dispersión y establecimiento de las especies invasoras, así como los efectos nocivos que este fenómeno acarrea.

Aun cuando las cargas agroindustriales se considera que son las que tienen más potencial para transportar especies invasoras, considerando que miles de toneladas de frutas y vegetales frescos se transportan diariamente desde África, Europa, Estados Unidos u otros países de América Latina (Okolodkov, 2007), y que el número de especies invasoras potenciales que podría acompañar a estos productos es asombroso, las especies invasoras no solo llegan en estos productos agropecuarios, también pueden encontrarse dentro de productos no biológicos, como el material de empaque o embalaje, por ejemplo, las cajas y plataformas de madera, consideradas como las rutas probables de entrada de plagas que infestan árboles, como el escarabajo asiático de cuernos largos (*Anoplophora glabripennis*) (USDA, 2012), o en el caso del empaclado realizado con luz artificial durante la noche en instalaciones semiabiertas frecuentemente da como resultado que los insectos voladores se cuelen en estos (Liebhold, 2006).

Otro aspecto importante es que los organismos pueden encontrarse en las estructuras de los medios de transporte como trenes, automóviles, barcos y aviones, la mayoría de ellos son especies de tamaño pequeño como los insectos, considerados como uno de los grupos de organismos con más alta capacidad de trasladarse y colonizar otros sitios (Borrór et al., 1989).

Estos medios de transporte no solo trasladan cargas comerciales, también se encargan de llevar turistas que llegan provenientes de diversos países. Tan solo en 2006 se registraron 4.4 millones de personas transitando a través de los principales aeropuertos del mundo (ACI, 2007). Esto hace que la detección temprana de estas especies invasoras sea crucial para determinar si la erradicación de la especie es viable.

San Luis Potosí (SLP), estado perteneciente a la República Mexicana, en los últimos años ha promovido el desarrollo y surgimiento de nuevos espacios de producción en el ámbito regional en donde se pone en marcha una estrategia de producción multinacional, convirtiéndose en un nodo comercial, sin embargo sus heterogéneas regiones agroecológicas además de presentar una variada gama de cadenas agroalimentarias muestran vacíos en los diferentes niveles que cubre

la cadena, es decir tanto en la producción primaria como en la industrialización y la comercialización. Esto pone en desventaja su competitividad en los mercados mundiales, los hace susceptibles ante la llegada de nuevas plagas, y poco competitivos para hacer frente a algún evento o catástrofe natural que afecte la producción de alimentos.

El estado tiene 29 municipios registrados en el catálogo de municipios de la cruzada nacional contra el hambre, lo que significa que la cantidad de alimentos resulta insuficiente aún para cubrir la demanda estatal, son bastantes las familias que sufren de carencias alimentarias en el territorio y a todo esto se le suma el crecimiento poblacional que está teniendo el estado.

Frente a la incertidumbre que genera cualquier introducción de especies que pueden poner en riesgo la seguridad alimentaria, impedir la introducción de especies exóticas es la primera opción y la más rentable. Los métodos basados en vías de entrada en lugar de en especies individuales proporcionan el método más eficaz para concentrar esfuerzos en sitios en los que es fácil que las plagas atraviesen las fronteras nacionales, y de interceptar varios posibles invasores relacionados con una sola vía, esto hace que la detección temprana de posibles especies invasoras sea crucial para determinar si la erradicación de la especie es viable.

Es por eso que el presente trabajo tuvo como objetivo central, realizar un análisis de los factores antrópicos que favorecen el ingreso de plagas exóticas al estado de San Luis Potosí, basado en el análisis de riesgo (NIMF N° 11) con la integración de variables antrópicas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el análisis de riesgo de plagas (ARP) cuarentenarias, se evalúa la probabilidad de introducción, dispersión y establecimiento de las plagas y la magnitud de las posibles repercusiones económicas en un área definida, se utilizan datos biológicos, económicos, y algunos otros (NIMF °11; FAO, 2016). Se establece como probabilidad de entrada o introducción a la probabilidad de que un organismo ingrese a una región o país como resultado del comercio de un producto dado. Este organismo podrá dispersarse por sus propios medios o medios antrópicos como transporte y dependiendo sus características biológicas y del ambiente al que llegó se podrá establecer posiblemente en zona agrícola. El análisis está constituido por tres etapas: 1era etapa. Consiste en la identificación del riesgo, esto incluye

la o las plagas y las vías de ingreso; 2da etapa: Evaluación del riesgo. Se determina si las plagas son de importancia cuarentenaria y se continúa con la evaluación de la probabilidad de entrada, dispersión y establecimiento de éstas y posibles impactos; 3er etapa. Se determinan opciones para el manejo y reducción de los riesgos identificados.

Para comenzar con el análisis de riesgo de plagas en San Luis Potosí se comenzó con la recolección de la información, se revisó el Inventario Nacional de Plagas Reglamentadas (INPR) y el Catálogo de identificación y normativa nacional, que en México es el SMPR (CPC; LaNGIF, 2010), que sirvió para elaborar una base de datos de plagas que tienen probabilidad de ingresar a SLP a través del comercio o turismo, por las relaciones que guarda el estado con otros países. Información de SAGARPA, Fundación Produce SLP, SCOPEmx, INIFAP, SEMARNAT, INEGI, Secretaria de Economía, CANACINTRA, FIRA, Bancomext, SEDARH (Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos del Estado de SLP), CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), Facultad de Economía de la UASLP, CANACO y CNA que son instituciones que manejan información sobre los sistemas producto, plagas, producción de alimentos y movilización de estos, se utilizó para elaborar una base de datos con información de plagas detectadas en el estado en un periodo de 2000 a 2015 con información de fecha, lugar, dependencia o persona que la reporta, cultivo que afectó, porcentaje de daño y lugar de origen y destino en el caso de las que fueron trasladadas de un lugar a otro. Con esta información se realizó el análisis exploratorio y espacial que derivaron en mapas, gráficas y tablas.

### 2.1 Área de estudio

La investigación se centró en el estado de San Luis Potosí, localizado en la parte centro de la República Mexicana (Figura 1). De acuerdo con el Sistema Integral de Información Geográfica y Estadística del INEGI, al año 2015, Su extensión territorial es de 62,304.74 km<sup>2</sup>, que equivalen a 3.22% de la superficie del país. La distribución climática se caracteriza por: Cálido seco. La zona altiplano se encuentra en la sección norte y oeste del Estado, abarcando su capital. La temperatura promedio fluctúa entre 15 y 20°C y son comunes las heladas tempranas que se inician en octubre y las tardías que se registran en el mes de mayo. Estepario-templado. Este estrato climático se localiza en la zona media del Estado, con alturas de entre los 883 y los 2000 m. Su extensión territorial es de 13,509 km<sup>2</sup>. Su clima estepario y templado presenta lluvias con precipitaciones promedio entre 500 y

700 mm anuales; ocasionalmente ocurren heladas y granizadas al inicio de la temporada de lluvias. Tropical. Surcada por las estribaciones de la Sierra madre Oriental, la huasteca potosina cuenta con un territorio de 10,676.5 km<sup>2</sup> y su altitud varía entre los 50 y 800 m. Presenta extensas planicies muy fértiles. Las ciudades más importantes para esta región son: Ciudad Valles, Xilitla y Ébano.

De acuerdo a datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO) 40.2% son población con muy bajo grado de marginación, 29.1% con baja marginación, 14.9% con grado medio de marginación y 15.6 % con alto y muy alto grado de marginación, estos últimos generalmente en comunidades que tienen población indígena. De los 58 municipios del estado, 29 se encuentran registrados en el catálogo de municipios de la cruzada nacional contra el hambre, lo que significa que la cantidad de alimentos resulta insuficiente aún para cubrir la demanda estatal.



Figura 1. Ubicación del estado de San Luis Potosí en la República mexicana.

## 2.2 Análisis exploratorio

En el análisis exploratorio se examinaron los datos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística para conocer el comportamiento de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas, en este caso en número de plagas detectadas, género de las plagas, impactos, número y tipos de cultivos que afectan o afectaron. Este análisis proporcionó métodos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallas en la recogida de datos, tratamiento y evaluación de datos ausentes e identificación de casos atípicos.

## 3. RESULTADOS

### 3.2 Análisis exploratorio

En el estado de San Luis Potosí, existen registros de 109 plagas presentes desde el año 2000 a 2015, de las cuales el 36% son insectos, 28% hongos y 12 % bacterias. Los municipios con mayor número de plagas de diferentes grupos son Tamuín, Ébano, Rioverde y Ciudad Fernández (Figura 2). El promedio de plagas por municipio es de 4, de los cuales los que predominan son insectos. Los municipios que son más afectados por estas plagas se reportan en la zona media y huasteca del estado, pero esto puede deberse por que estos municipios son monitoreados con mayor frecuencia o los reportes del Comité Estatal de Sanidad Vegetal presenta mayor número de reportes en estas zonas como lo muestra la figura 3.

Un aspecto importante al hablar de plagas son los impactos y principalmente se pueden ver por los cultivos o ecosistemas a los que afectan. En el estado de San Luis Potosí se siembran diferentes productos, en la región del Altiplano Centro-Este se siembra una superficie de más de 34 mil hectáreas de maíz de grano con un rendimiento medio de 480 kg/ha, que está por debajo de la media nacional. Se siembra maíz de forraje en una superficie de más de 14 mil ha, con un rendimiento de forraje de 3.5 t/ha. En condiciones de riego, se siembra jitomate en más de 690 ha, con un rendimiento medio de 18 t/ha y alfalfa en una superficie de 1,270 ha, y un rendimiento de forraje de 70 t/ha. Destaca la producción de nopal en más de 4,500 ha con un rendimiento medio de 500 kg/ha. Los niveles de producción son el resultado del desarrollo tecnológico, ya que en la región se reporta que más de 58 mil ha están mecanizadas; solo se fertiliza un poco más de 7 mil ha; se utiliza semilla mejorada en más de 19 mil ha y se reporta que se da asistencia técnica a más 90 mil ha, considerando ya los servicios de sanidad vegetal en un poco más de 23 mil ha. En la región de Matehuala, Charcas y Villa de Ramos son las que menos uso de fertilizante tiene.

En la Huasteca el cultivo de mayor dinamismo en grandes porciones es el de los cítricos, en especial naranja, mandarina y toronja, que remplazaron la selva junto con la caña de azúcar (Barthas, 1993; Marchal, 1992, tomado de Muñoz, 2014). La mayor parte del cultivo es la variedad Valencia y sin duda su expansión se debe a que no se le dan los cuidados necesarios y se combina con las emigraciones para trabajar por salario en otras partes de la Huasteca, pues las grandes plantaciones están en manos de propietarios privados; la planicie (Valles, Tamuín, Ébano, Tancuayalab, y Tanquián) dedicada a la producción de ganado,

caña de azúcar y granos básicos es una zona de alta incidencia de siniestros agrícolas; con una superficie de 5,543.6 km<sup>2</sup>, donde habita el 4% de la población de la región; la sierra alta cafetalera (Tamasopo, Aquismón, Xilitla y Tamazunchale), con grandes problemas de comunicación y fuertes pendientes, con 2,071.6 km<sup>2</sup> agrupa 33.8% de la población regional; la sierra baja piloncillera (Tanlajás, San Antonio, Tancanhuitz y Tampamolón) tiene una superficie de 846.4 km<sup>2</sup> y concentra 9.2% de la población. La sierra baja cítrica (Axtla, Coxcatlán, Huehuetlán, Tampacán, y Chalchicuauhtla), mayor cantidad de terrenos aptos para la agricultura que la zona anterior, las laderas permiten el cultivo de los cítricos con un nivel tecnológico bajo; tiene 1,146.5 km<sup>2</sup> y 16% de la población (Baca del Moral, 1995).

San Luis Potosí cuenta con 3,467 localidades y 693,502 habitantes en niveles de alta y muy alta marginación, en la región huasteca se tienen condiciones de alta y muy alta marginación social. En estos municipios la población predominante es hablante de alguna lengua indígena (tenek, pame y náhuatl). La pobreza es evidente tanto en el medio rural como en el urbano, siendo los miembros de las etnias los más afectados por condiciones económicas que se caracterizan por ofrecer muy bajos salarios, empleos precarios sin seguridad social, y sin prestaciones de ley; por otra parte, son empleos que no permiten desarrollo social y humano (Muñoz, 2014). Esto hace que en ocasiones tengan que recurrir a préstamos para solventar los gastos para manejo y mantenimiento de los cultivos, o que no cuenten con el capital económico necesario para poder dar un buen manejo.

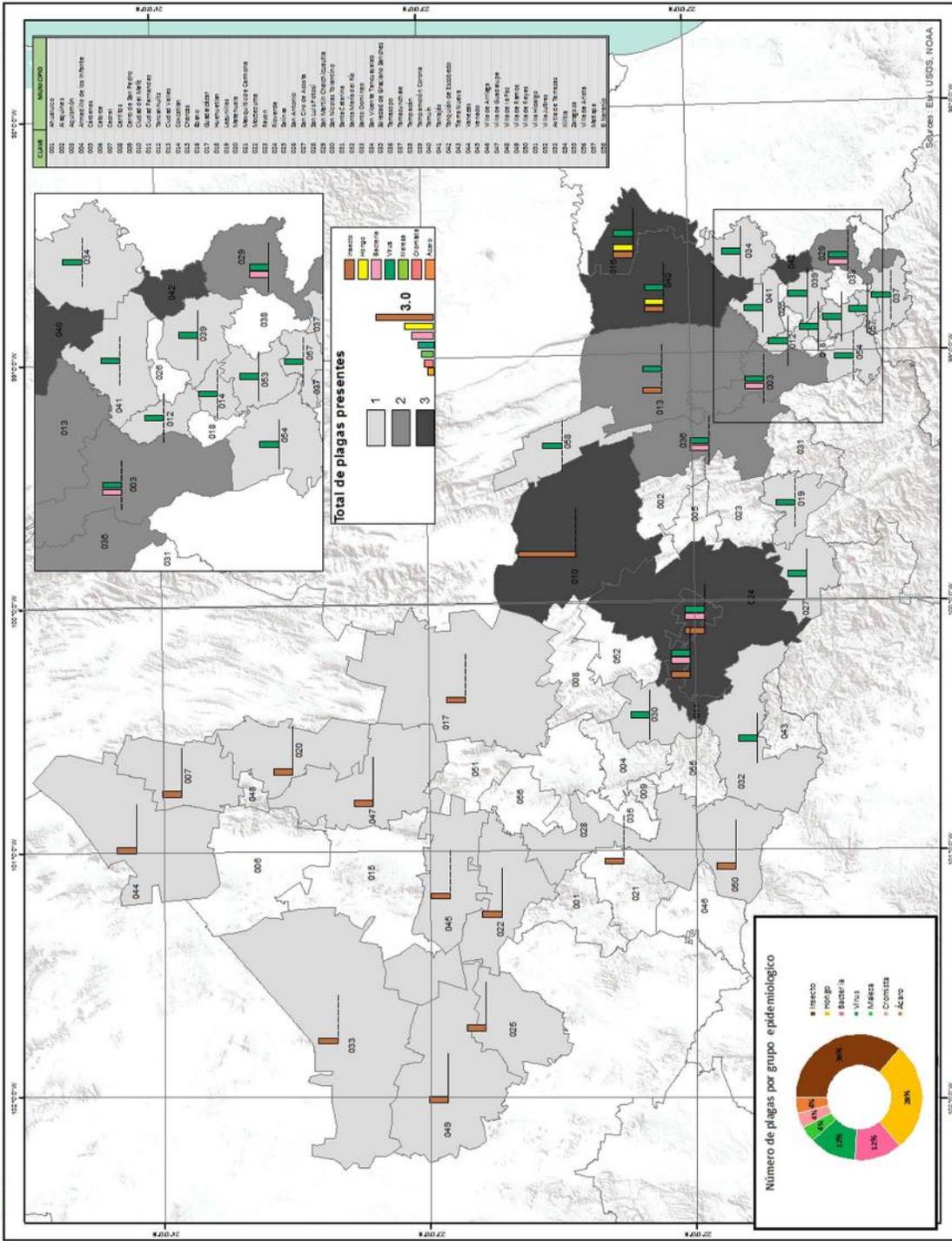
La desigualdad que existe entre mestizos y miembros de los grupos étnicos en la región huasteca, es un fenómeno que diferencia a las personas dentro de la sociedad de acuerdo a la configuración del acceso al ingreso económico, y trae como consecuencia la discriminación étnica, y se manifiestan en las condiciones de bienestar social, en la esperanza de vida, en la trayectoria laboral y educativa que acrecientan las distancias socioeconómicas entre un grupo y otro, incluso para poder acceder a algún apoyo o fondo gubernamental relacionado con producción de alimentos. Esta desigualdad genera que los productores de escasos recursos no puedan hacer frente a la llegada de una nueva plaga, ni con información del monitoreo de las plagas en otras comunidades o regiones, en ocasiones tienen una carencia de información sobre el manejo integrado de plagas, es decir no se les capacita para que tengan una cultura de prevención antes de reacción.

Como en muchas de las comunidades rurales de México, en la Huasteca Potosina existen carencias de recursos que imposibilitan el desarrollo económico y social de sus habitantes. Problemas como la escasez de agua, alimentos y la migración de muchas personas en edad productiva que se van en busca de trabajo hacia las grandes ciudades, son otros aspectos de estas carencias; a esto se le suman los altos grados de discriminación y la falta de escuelas a nivel medio y superior que provoca rezago educativo en la mayor parte de la población. La salud es otro problema, la falta de más personal médico y de participación social, además de que la mayor parte de la población no lleva a cabo planificación familiar, ocasiona que las familias tengan más hijos de los que pueden sostener económicamente (Muñoz, 2014).

Resulta importante que tanto pequeños, medianos y grandes productores tengan y fomenten la cultura de la prevención en la sanidad vegetal, para prevenir la introducción y dispersión de las plagas, ya que existen documentos que señalan que es mucho más económico invertir en el monitoreo y prevención que en el tratamiento y control. En el caso de SLP también porque es el segundo productor de elote de riego con el 21% de la producción nacional y el 18% de la superficie sembrada total; tercer productor de naranja con el 13% de la superficie sembrada y el 10% de la producción nacional; tercer productor de soya de temporal con el 16% de la superficie sembrada y el 12% de la producción nacional; cuarto productor de caña de azúcar con el 7% de la producción nacional y el 9% de la superficie sembrada total; cuarto productor de chile verde de riego con el 10% de superficie sembrada nacional y el 6% de la producción total y todos estos productos se destinan a diferentes mercados (Figura 4).



# PLAGAS PRESENTES EN SAN LUIS POTOSÍ



LABORATORIO NACIONAL DE GERENCIAMIENTO DE INFORMACIÓN FITOSANITARIA  
 COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la representación de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la institución.

Sources: EPA, USGS, NOAA

Figura 2. Plagas detectadas en municipios de San Luis Potosí de 2000 - 2015.



MERCADOS		
Prod. competitivos en el mercado externo	Prod. con potencial para sustituir importaciones	Prod. básico en la política agroalimentaria
Tomate rojo (jitomate)	Carne de ave	Maíz grano
Pepino	Carne de porcino	Sorgo grano
Espárrago	Carne de bovino	Frijol
Aguacate	Algodón	Trigo grano
Chile	Arroz	Azúcar
Mango	Uva	
Fresa	Manzana	
Cebolla	Aceite de oliva	
Papaya	Avena	
Lechuga	Aceite de palma	
Brócoli y Coliflor		
Berenjena		
<i>Producido competitivamente</i>	<b>Producido con competitividad marginal</b>	No producido en el estado

Figura 4. Productos generados en el estado de San Luis Potosí y el mercado al que se destinan. Figura tomada de SAGARPA, 2009

Si lo relacionamos con el número de plagas detectadas en campo, en los municipios donde se presentan mayor número de plagas corresponde de acuerdo a la CONAPO un grado de marginación medio. La información del Censo Agropecuario y Ejidal de 2007 muestra que en el Estado de San Luis Potosí, se registraron 1,263 ejidos y 136,343 ejidatarios, con una dotación promedio de 7 hectáreas por ejidatario. También existen pequeñas propiedades que cuentan con tamaños de propiedad mayores de 5 ha por productor y que varían de acuerdo con la actividad productiva que realizan. Entre las diferentes regiones se observan variaciones en la propiedad de la tierra. En Matehuala se concentra el 16% de los ejidatarios, los cuales poseen una superficie promedio de 7.7 ha. Las mayores superficies promedio por ejidatario están en Tamasopo (14 ha) y Villa de Ramos (13.63 ha). Los productores de la entidad se clasifican de acuerdo con sus tipos de unidad de producción; el 50% se agrupa como agricultores transicionales, el 28% como agricultores empresariales y el 22% restante como campesinos (Figura 5).

Esta información se relacionó con el número de positivos y sospechosos de plagas en el estado, esto para ver si existía alguna relación entre la tenencia y la presencia de plagas ya sea por el manejo o por el acceso a nuevas tecnologías para la actividad agrícola. Los niveles tecnológicos que destacan en la entidad indican que en el área agrícola la superficie que se siembra con semilla mejorada, que recibe asistencia técnica y está fertilizada es mayor de 130 mil hectáreas, lo cual representa el 19% del total. La superficie mecanizada es de más de 430 mil hectáreas que considera el 59% del total. El nivel tecnológico varía de región a región, existiendo áreas marginadas y con muy escasa tecnología. Lo anterior muestra la variación de los niveles tecnológicos en la entidad, lo que aunado a

los volúmenes de producción y a las variaciones de la producción, hacen de la agricultura una actividad de alto riesgo y con altos grados de marginación.

Además de la falta de capacitación, tecnología y marginación social, en el estado se tiene la probabilidad de ingreso de plagas exóticas provenientes de distintos países con los que se guarda alguna relación comercial o turística, incrementando aún más la vulnerabilidad del campo potosino y las familias que dependen de este. Las plagas que predominan a nivel mundial en los diferentes países pertenecen al grupo de los insectos teniendo más de 200 registros de acuerdo al Inventario Nacional de Plagas Reglamentadas (LaNGIF, 2014), seguido de hongos y virus (> 50 cada uno), bacterias, nematodo, maleza, ácaro, cromista, mollicutes, viroide, molusco, mamífero y sin grupo (< 50), respectivamente.

Por lo que se puede apreciar que la región con mayor número de plagas es la norteamericana que por su proximidad con la República Mexicana además de su estrecha relación comercial y de negocios aumenta la probabilidad de un riesgo mayor de ingreso de dichas plagas a partir del aeropuerto Internacional de la ciudad o de la aduana comercial.

En cuanto a la región de Asia el riesgo está presente de la misma forma en los aeropuertos, debido al arribo de personas vegetal cargamentos que llegan por el reciente establecimiento de empresas de dicho continente en el estado. Respecto a Sudamérica disminuye un poco el flujo en algunos países por el descenso en el número de plagas presentes (Figura 6).

La posición geográfica de San Luis Potosí ofrece fácil y rápido acceso a los inversionistas, consumidores y proveedores, se encuentra equidistante de las tres mayores ciudades del país: México, Monterrey y Guadalajara. Está bien comunicado por carretera y ferrocarril a los más importantes puntos del territorio nacional, entre otros, a los puertos de Tampico y Veracruz en el Golfo de México; Lázaro Cárdenas, Mazatlán y Manzanillo en el Océano Pacífico, así como a las ciudades fronterizas de Brownsville, Mc Allen y Laredo, por las que se realiza un alto porcentaje de comercio exterior. Esto contribuye a hacer de San Luis Potosí una de las economías más diversificadas de México y una región que incrementa los intercambios de inversión, comercio y cultura con los países de América del Norte, Europa y Latinoamérica, lo que da paso a un riesgo mayor de introducción de plagas; por lo que se percibe que entre menor sean las importaciones, como en el

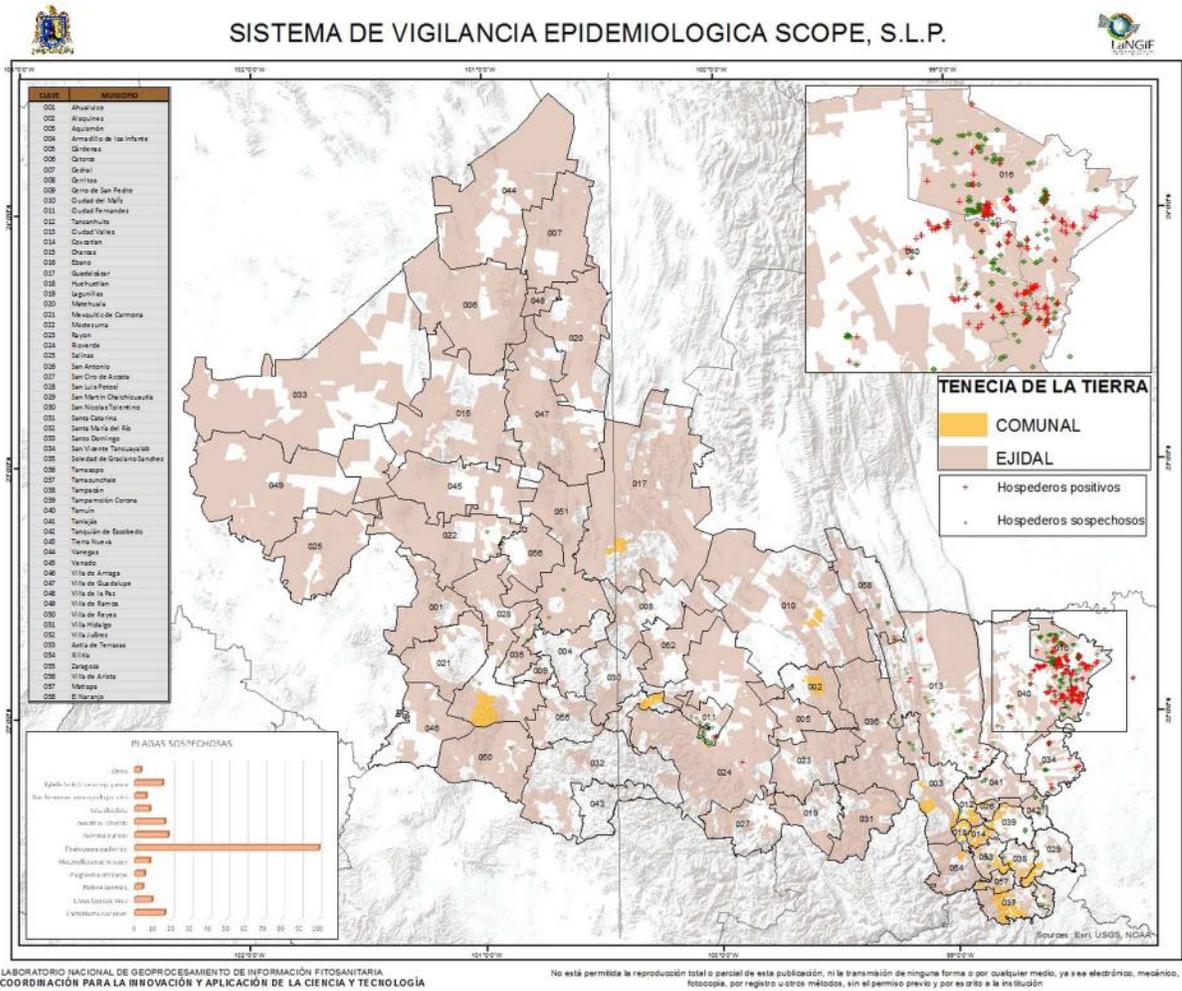


Figura 5. Tenencia de la tierra y número de plagas presentes y sospechosas.

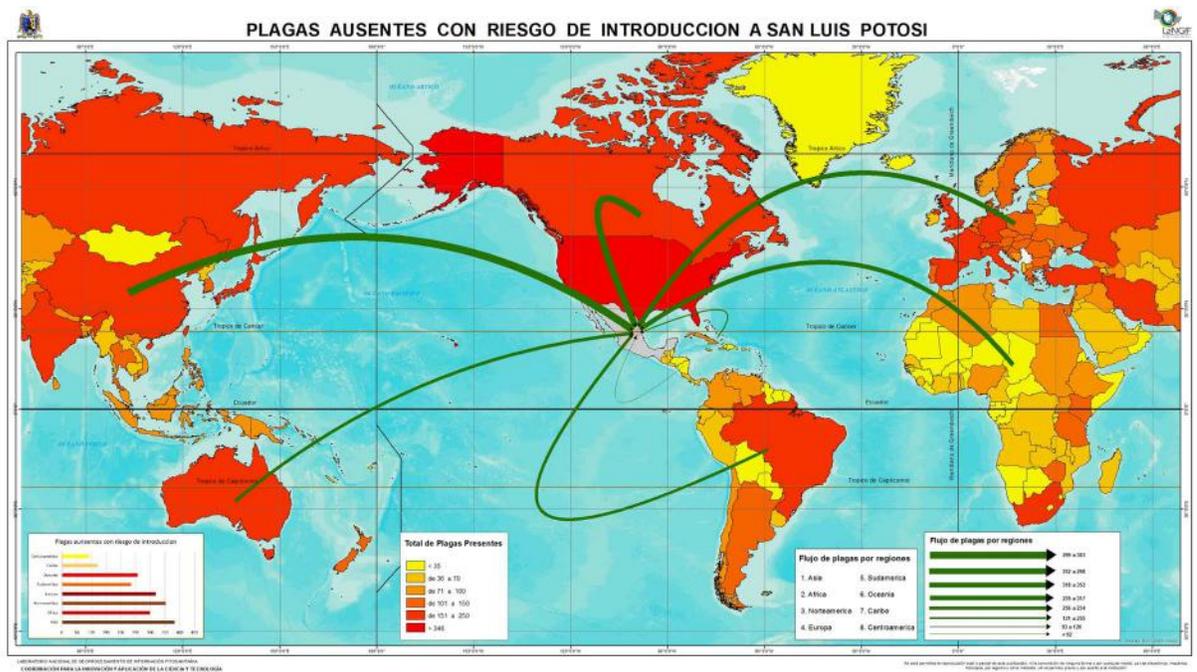


Figura 6. Plagas externas con probabilidad de llegada a SLP por actividades comerciales del estado con otros países.

caso de la región de Oceanía, menor será el riesgo de la introducción de plagas en el estado.

Una de las plagas con riesgo de reintroducción a México y específicamente a San Luis Potosí y Tamaulipas es la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*), actualmente existen registros de que dicho insecto fue introducido a Florida (USA) en un cactus ornamental (Zimmermann, 2006), por lo que no es remoto que en un futuro cercano pueda ingresar a nuestro país y dado el poder destructivo que representa, ocasionaría graves pérdidas a las zonas nopaleras poniendo en riesgo la producción de nopal en más de 4,500 ha, a las familias que dependen de este sistema producto y los consumidores tanto locales como de otros estados. Este riesgo está determinado por el intercambio comercial, los flujos de movilidad humana los cuales se han incrementado en los últimos años debido a la modernización en las vías y medios de transporte que permite que hoy día dicha movilidad se dé en cuestión de horas.

#### 4. DISCUSIÓN

Frente a la incertidumbre que genera cualquier introducción de especies que pueden poner en riesgo la seguridad alimentaria, impedir la introducción de especies exóticas es la primera opción y la más rentable. Los métodos basados en vías de entrada en lugar de en especies individuales proporcionan el método más eficaz para concentrar esfuerzos en sitios en los que es fácil que las plagas atraviesen las fronteras nacionales, y de interceptar varios posibles invasores relacionados con una sola vía, esto hace que la detección temprana de posibles especies invasoras sea crucial para determinar si la erradicación de la especie es viable.

Sin embargo no podemos estar exentos de que esto pase, es decir las plagas pueden ingresar por sus propios medios o incluso no percatarnos por la inmensa cantidad de mercancías o personas que se trasladan de un país a otro en cuestión de minutos y horas. Por lo que para una buena gestión en el control o medidas de control que se aplican ante la llegada de una plaga es necesario contar con por lo menos la siguiente información: identificación correcta de la plaga a controlar, dinámica poblacional del insecto, sistema de muestreo (tipo de muestra, tamaño de muestra, sistema de muestreo, periodicidad del muestreo, etc.), monitoreo climatológico, etapa fenológica, edad de la plantación, región productora, presencia de parásitos, depredadores y patógenos, tolerancia al daño de la variedad, época del año,

valor de la producción y una relación costo beneficio de la medida de control, entre otras. De tal forma que cualquier acción de control contemple la plaga, el ecosistema, el entorno social y económico y la tecnología disponible.

También se deben crear sinergias de trabajo entre diferentes instituciones encargadas de salvaguardar el patrimonio agrícola, comercial y humano para hacer más eficientes los recursos y efectivos los resultados, compartiendo información y dirigiendo esfuerzos hacia un mismo objetivo: el de evitar que nuestro patrimonio se vea afectado por el ingreso de plagas o enfermedades exóticas que en la mayoría de las ocasiones no tiene control alguno. Se deben identificar los recursos, estrategias y políticas necesarios para crear, mantener y hacer accesibles una o más bases de datos sobre especies invasoras y devastadoras, para tomar decisiones sobre política comercial en el momento oportuno, basándose en información científica. Se deben generar o aplicar diagnósticos rápidos que permitan revisar un mayor número de cargamentos o turistas en menos tiempo, canalizando a laboratorios solo aquellos que resulten positivos.

San Luis Potosí debe apostar por innovar en el campo, no solo para producciones que son dirigidas a exportación, también capacitar y dotar de herramientas a productores que alimentan el mercado nacional o local, fomentar que crezcan esos pequeños "oasis agrícolas" presentes en el altiplano, zona media o huasteca que han logrado producir de manera inocua, fomentar también la cultura de la prevención en el tema fitosanitario, que el gobierno trabaje en coordinación con instituciones educativas que se dedican a estudiar este tipo de problemáticas y que cuentan con soluciones innovadoras para poder hacer una buena gestión en el tema fitosanitario.

#### 5. CONCLUSIÓN

La posición geográfica de San Luis Potosí la comunicación que existe por carretera y ferrocarril hacia los más importantes puntos del territorio nacional, como los puertos de Tampico y Veracruz en el Golfo de México; Lázaro Cárdenas, Mazatlán y Manzanillo en el Océano Pacífico, además de favorecer el desarrollo económico del estado también pone en riesgo al campo potosino ante la llegada de plagas exóticas, si no se cuenta con un sistema efectivo de gestión en materia fitosanitaria. La población más vulnerable ante la llegada de nuevas plagas sería sin duda aquella que se

encuentra en zonas de alta marginación en la huasteca o altiplano potosino, sin embargo también habría impactos a los consumidores locales de productos agrícolas estatales.

## 6. RECOMENDACIONES

Trabajar de manera coordinada Universidad, Comité estatal de Sanidad Vegetal y productores (pequeños, medianos, grandes).

Hacer uso de diagnósticos rápidos en campo y en puntos estratégicos de entrada de productos agropecuarios.

## REFERENCIAS

- Borror, D. J., Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (1989). An introduction to the study of insects (No. Ed. 6). Saunders College Publishing.
- Castiglia, G., Gribaudo, F., Marcos, E., Burrioni, N., Freire, G., D'Onofrio, V. & Serrano, C. (2009). Información, conocimiento y percepción sobre el riesgo de contraer el dengue en Argentina: dos experiencias de intervención para generar estrategias locales de control Information, knowledge, and perception of dengue. *Cad. saúde pública*, 25(Sup 1), S137-S148.
- CIBRIÁN, T., IÑIGUEZ, G., & DAHLSTEN, D. (2001). Conchuela del eucalipto *Glycaspis brimblecombei* Moore (Homoptera: Psylloidea; Spondylaspididae) Una nueva plaga del eucalipto introducida a México. *Mem. XXXVI Congr. nac. Entomol.*
- D'Antonio, C. M. (1993). Mechanisms controlling invasion of coastal plant communities by the alien succulent *Carpobrotus edulis*. *Ecology*, 74(1), 83-95.
- FAO, (2004). Análisis de riesgo de plagas para plagas cuarentenarias, incluido el análisis de riesgo ambiental y organismos vivos modificados. NIMF No 11. Normas internacionales para medidas fitosanitarias. Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. Roma, 2005.
- FAO, (2016). ISPM 2: Framework for pest risk analysis. International Plant Protection Convention (IPPC). <https://www.ippc.int/es/core-activities/standards-setting/ispms/>
- LaNGIF-SINAVEF-UASLP, (2010). Informe Técnico 2010. [http://langif.uaslp.mx/lineas\\_fito.php](http://langif.uaslp.mx/lineas_fito.php)
- LaNGIF-INPR-UASLP, (2010). Inventario Nacional de Plagas Reglamentadas (INPR): Sistema Multimedia
- de Plagas Reglamentadas. [http://langif.uaslp.mx/lineas\\_fito.php](http://langif.uaslp.mx/lineas_fito.php)
- LaNGIF- SINAVEF -UASLP, (2014). Informe Técnico 2014. <http://langif.uaslp.mx/index.php>
- Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., ... & Aryee, M. (2013). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The lancet*, 380(9859), 2224-2260.
- Magarey, R., Borchert, D., Sutton, T., Colunga, M. & Simpson, J. (2007). NAPPFAST: An Internet System for the Weather-Based Mapping of Plant Pathogens. *Plant Disease*, 91(4) 336-345. The American Phytopathological Society.
- Mathews, C. R., Brown, M. W., & Bottrell, D. G. (2007). Leaf extrafloral nectaries enhance biological control of a key economic pest, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae), in peach (Rosales: Rosaceae). *Environmental entomology*, 36(2), 383-389.
- McCullough, D. G., Work, T. T., Cavey, J. F., Liebhold, A. M., & Marshall, D. (2006). Interceptions of nonindigenous plant pests at US ports of entry and border crossings over a 17-year period. *Biological invasions*, 8(4), 611-630.
- Nentwig, W. (Ed.). (2007). *Biological invasions* (Vol. 193). Springer Science & Business Media.
- Okolodkov, Y. B., Bastida-Zavala, R., Ibáñez, A. L., Chapman, J. W., Suárez-Morales, E., Pedroche, F., & Gutiérrez-Mendieta, F. J. (2007). Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar*, 11(32), 29-67.
- OMC, (2014). Introducción al Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias. Organización Mundial del Comercio. [https://www.wto.org/spanish/tratop\\_s/sps\\_s/sps\\_agreement\\_cbt\\_s/c1s3p1\\_s.htm](https://www.wto.org/spanish/tratop_s/sps_s/sps_agreement_cbt_s/c1s3p1_s.htm)
- Ojasti, J. (2001). Estudio sobre el estado actual de las especies exóticas. Quito, Ecuador: Biblioteca Digital Andina.
- Simberloff, D. (2004). A Rising Tide of Species and Literature: A Review of Some Recent Books on Biological Invasions March 2004 / Vol. 54 No. 3 *BioScience* 247. Source: *BioScience*, 54 (3), 247-254.
- Stanaway, M., M. Zalucki, Gillespie, P., Rodriguez, C. & Maynard, G. (2001). Pest risk assessment of

insects in sea cargo containers in Australian Journal of Entomology, 40, 180–192.

SAGARPA (2009). Balanza comercial agrícola en San Luis Potosí. <http://w6.sagarpa.gob.mx>

SENASICA (2016a). Micrositios: Inocuidad Agroalimentaria y Sanidad Vegetal. <http://senasica.gob.mx/>

SENASICA (2016b). Sistema Integral de Referencia para la vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria: Acciones operativas para las plagas bajo vigilancia.

<http://sinavef.senasica.gob.mx/SIIVEF/Default.aspx>  
SENASICA (2016c). Sistema Integral de Referencia para la vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria: Plagas bajo vigilancia epidemiológica fitosanitaria. <http://sinavef.senasica.gob.mx/SIIVEF/Default.aspx>. Última consulta: 18/02/2016

Zimmermann, H., Bloem, S. & Klein, H. (2007). *Cactoblastis cactorum*. Biología, historia, amenaza, monitoreo y control de la palomilla del nopal. México:FAO, Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Dirección General de Sanidad Vegetal.

Las investigaciones presentadas en el libro “Tópicos Ambientales y Conservación de Ecosistemas Naturales” reúne trabajos de especialistas de diferentes campos de la ciencias ambientales, y fueron realizadas en el marco de los Programas Multidisciplinarios de Posgrados en Ciencias Ambientales (PMPCA) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, y a través Laboratorio Nacional de Geoprocusamiento de Información Fitosanitaria (LANGIF) de la Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACYT). Asimismo, participaron investigadores de la red de universidades del Center For Natural Resources and Development (CNRD), tales como la Universidad de Gadjah Mada, de Indonesia, la Universidad Federal Fluminense de Brasil y el Centro de Investigación y Promoción del Campesinado Regional Norte Amazónico de Bolivia (CIPCA).

Por medio de los capítulos incluidos en el presente libro, se pretenden mejorar la comprensión de los problemas ambientales a través de diferentes casos de estudio a nivel regional y global. Resalta los principios de la sustentabilidad que promueve la protección del ambiente y amplía el conocimiento de los procesos ambientales en relación con los factores sociales, económicos y culturales. Asimismo, fomenta la extensión de prácticas y medios de vida sostenibles en diferentes paisajes, y acrecienta el conocimiento científico acerca de cuestiones ambientales en el contexto local, regional e internacional.

