



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



*"La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra"*

**ANÁLISIS Y TENDENCIAS DEL CAMBIO DE USO DEL  
SUELO DE LOS MUNICIPIOS DE GUADALUPE  
VICTORIA Y TEPEYAHUALCO, PUEBLA**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**JORGE RAMÍREZ DOMÍNGUEZ**

Asesor de tesis:

Dr. Jesús Armando Ruiz Careaga

Co Asesor externo de tesis

Dr. Daniel Jiménez García

Septiembre 2014



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



*"La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra"*

**ANÁLISIS Y TENDENCIAS DEL CAMBIO DE USO DEL  
SUELO DE LOS MUNICIPIOS DE GUADALUPE  
VICTORIA Y TEPEYAHUALCO, PUEBLA**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**JORGE RAMÍREZ DOMÍNGUEZ**

Comité tutorial:

Asesor y Tutor	Dr. Jesús Armando Ruiz Careaga
Integrante Comité Tutorial	Dr. Daniel Jiménez García
Integrante Comité Tutorial	Dr. Ricardo Darío Peña Moreno
Integrante Comité Tutorial	Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide
Integrante Comité Tutorial	Dr. Ángel Guadalupe Priego Santander

Septiembre 2014



**BUAP**

**BIÓL. JORGE RAMÍREZ DOMÍNGUEZ**

Presidente:

Por este conducto me permito comunicarle que los miembros del jurado integrado por:

Dr. Miguel Ángel Gómez Albores	Presidente
Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega	Secretario
M. C. José Silvestre Toxtle Tlamani	1er. Vocal
Dr. Ricardo Darío Peña Moreno	2do. Vocal
Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide	Suplente

designado para la defensa de su tesis “Análisis y tendencias del cambio de uso del suelo de los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco, Puebla”, han manifestado mediante su voto que ésta cumple con los méritos suficientes para ser defendida como tesis de grado de Maestría en Ciencias Ambientales, por lo que este Posgrado le autoriza la impresión de la misma.

Sin otro asunto en lo particular, quedo de usted.

**Atentamente**

**“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”**

H. Puebla de z., septiembre 10 de 2014

  
**Dr. J Santos Hernández Zepeda**  
Coordinador



JSHZ/anma  
c.c.p. Archivo  
c.c.p. Minutario

**ÍNDICE****PÁGINA**

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2.- ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
2.1.- CAMBIO DE USO DE SUELO	3
2.2.- PERCEPCIÓN REMOTA	7
2.3.- LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).	9
2.4.- IMÁGENES LANDSAT	13
2.5.- RESOLUCIÓN ESPACIAL	15
2.6.- ANÁLISIS DE IMÁGENES. RED, GREN, BLUE (RGB)	16
2.7.- MODELOS GEOMÁTICOS	17
2.8.- LAS CADENAS DE MARKOV	18
<b>3.- ESTUDIOS DE CASO</b>	<b>20</b>
<b>4.- JUSTIFICACIÓN</b>	<b>24</b>
<b>5.- OBJETIVO GENERAL</b>	<b>25</b>
<b>6.- OBJETIVOS PARTICULARES</b>	<b>25</b>
<b>7.- MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>26</b>
7.1.- ÁREA DE ESTUDIO	26
7.2.- RECURSOS HÍDRICOS PRINCIPALES	27
7.3.- EDAFOLOGÍA	30
7.3.1.- Andosoles	32
7.3.2.- Fluvisoles	32
7.3.3.- Leptosoles	33
7.3.4.- Regosoles	33
7.3.5.- Feozems	34
7.3.6.- Solonchaks	34
7.4.- CLIMA	36
7.4.1.- Semiseco Templado con Lluvias en Verano	36
7.4.1.- Templado Subhúmedo con Lluvias en Verano, de Humedad Media	36
7.4.2.- Templado Subhúmedo con Lluvias en Verano, de Menor Humedad	37
7.5.- TIPOS DE VEGETACIÓN	39
7.5.1.- Bosque de Pino-Encino	39
7.5.2.- Matorral xerófilo	40
7.6.- CLIMOGARAMA DE THORNTHWAITE	42
7.7.- FLORA Y FAUNA	46
7.8.- CARTOGRAFÍA	47
7.9.- ANALISIS CROSSTAB E INDICE KAPPA	62
7.9.1.- Tabulación cruzada (Análisis crosstab)	62

7.9.2.- El índice Kappa (KIA)	62
<b>8.- RESULTADOS</b>	<b>65</b>
8.1.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 1972-1984	67
8.1.1.- Análisis CROSSTAB 1972-1984	68
8.1.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 1972-1984	70
8.1.3.- Modelo de cambios de uso del suelo: Prospección a 1993.	72
8.2.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 1984-1993	72
8.2.1.- Análisis CROSSTAB 1984-1993	73
8.2.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 1984-1993	74
8.2.3.- Modelo de cambios de uso del suelo: Prospección a 2000.	76
8.3.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 1993-2000	77
8.3.1.- Análisis CROSSTAB	77
8.3.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 1993-2000	79
8.3.3.- Modelo de cambios de uso del suelo: Prospección a 2013	80
8.4.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 2000-2013	81
8.4.1.- Análisis CROSSTAB	82
8.4.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 2000-2013	83
8.4.3.- Prospección de ocupación de usos del suelo dirigida al año 2050	84
8.5.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 2013-2025	85
8.5.1.- Análisis CROSSTAB	86
8.5.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 2013-2025	86
8.5.3.- Prospección dirigida al año 2050	88
8.6.- ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO	89
8.6.1.-Tendencia de los usos agrícolas de la zona de estudio	89
8.6.2 .-Tendencia del uso urbano	90
8.6.3.-Tendencia del uso Agua	91
<b>9.- DISCUSIÓN</b>	<b>95</b>
<b>10.- CONCLUSIONES</b>	<b>98</b>
<b>11.- RECOMENDACIONES</b>	<b>101</b>
<b>12.- LITERATURA CITADA</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO CARTOGRAFICO</b>	

## ÍNDICE DE IMÁGENES

	<b>TÍTULO DE IMAGEN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>1</b> Representación de un vectorial.	<b>11</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>2</b> Representación de un ráster.	<b>12</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>3</b> Cobertura histórica del satélite Landsat.	<b>14</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>4</b> Zona de estudio.	<b>26</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>5</b> Municipios del área de estudio.	<b>29</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>6</b> Edafología de los municipios de la zona de estudio.	<b>31</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>7</b> Mapa de tipos de clima.	<b>38</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>8</b> Mapa de vegetación.	<b>41</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>9</b> Climograma del municipio de Tepeyahualco.	<b>44</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>10</b> Climograma del municipio de Guadalupe Victoria.	<b>45</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>11</b> Representación del uso de suelo Bosque denso	<b>47</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>12</b> Representación del uso de suelo Bosque fragmentado.	<b>47</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>13</b> Representación del uso denominado Agua.	<b>48</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>14</b> Representación del uso denominado Urbano.	<b>48</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>15</b> Representación del uso denominado Pastizal.	<b>49</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>16</b> Representación del uso denominado Suelo desnudo.	<b>49</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>17</b> Representación del uso denominado Vegetación halófito	<b>50</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>18</b> Representación del uso denominado Matorral.	<b>50</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>19</b> Representación del uso denominado Agricultura de riego.	<b>51</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>20</b> Representación del uso denominado Agricultura de temporal.	<b>51</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>21</b> Ejemplo de Mosaico.	<b>53</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>22</b> Ejemplo de un el resultado de Window	<b>54</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>23</b> Composites o compuestos de 3 bandas	<b>55</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>24</b> Mapas de uso de suelo.	<b>56</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>25</b> Probabilidades de cambio de usos.	<b>57</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>26</b> Esquema de metodología.	<b>61</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>27</b> Porcentaje de ocupación 1972.	<b>67</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>28</b> Gráfico de porcentaje de ocupación 1984.	<b>68</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>29</b> Ganancias netas y perdidas 1972-1984.	<b>70</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>30</b> Porcentaje de ocupación de 1993.	<b>73</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>31</b> Ganancias netas y perdidas 1984-1993.	<b>75</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>32</b> Porcentaje de ocupación 2000.	<b>77</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>33</b> Ganancias netas y perdidas 1993-2000.	<b>79</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>34</b> Porcentaje de ocupación para los usos de suelo del 2013.	<b>81</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>35</b> Ganancias netas y perdidas 2000-2013.	<b>83</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>36</b> Porcentaje de ocupación de 2025.	<b>85</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>37</b> Porcentaje de ocupación 2050	<b>88</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>38</b> Tendencia de los usos agrícolas	<b>90</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>39</b> Tendencia del uso urbano	<b>91</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>40</b> Tendencia del uso agua	<b>91</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>41</b> Tendencia de los usos naturales con arbolado	<b>93</b>
<b>IMAGEN</b>	<b>42</b> Tendencia de los usos naturales sin arbolado	<b>94</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>TITULO DE TABLA</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>TABLA</b>	<b>1</b> <i>Resolución espacial, tipo de sensor y resolución de las imágenes Landsat.</i>	<b>16</b>
<b>TABLA</b>	<b>2</b> <i>Compuesto de bandas.</i>	<b>17</b>
<b>TABLA</b>	<b>3</b> <i>Lagos cráter.</i>	<b>28</b>
<b>TABLA</b>	<b>4</b> <i>Relación de imágenes Landsat utilizadas en el estudio.</i>	<b>52</b>
<b>TABLA</b>	<b>5</b> <i>Variables bioclimáticas se obtuvieron de inegi y bioclim.</i>	<b>59</b>
<b>TABLA</b>	<b>6</b> <i>Relación de la nomenclatura de los valores del índice kappa.</i>	<b>64</b>
<b>TABLA</b>	<b>7</b> <i>Relación de ganancias, pérdidas y persistencias en las transiciones correspondientes a 1972-1984, 1984-1993, 1993-2000 y 2000-2013.</i>	<b>66</b>
<b>TABLA</b>	<b>8</b> <i>Análisis CROSSTAB, correspondiente a la transición de 1972 a 1984.</i>	<b>69</b>
<b>TABLA</b>	<b>9</b> <i>Índice Kappa por uso de suelo 1972-1984.</i>	<b>69</b>
<b>TABLA</b>	<b>10</b> <i>Probabilidad de transición por uso de los suelo 1972- 1984.</i>	<b>71</b>
<b>TABLA</b>	<b>11</b> <i>CROSTAB, correspondiente a 1984 a 1993.</i>	<b>74</b>
<b>TABLA</b>	<b>12</b> <i>Índice Kappa por uso de suelo 1984 a 1993.</i>	<b>74</b>
<b>TABLA</b>	<b>13</b> <i>Probabilidad de transición por uso de los suelo 1984-1993.</i>	<b>76</b>
<b>TABLA</b>	<b>14</b> <i>CROSSTAB correspondiente a 1993-2000.</i>	<b>78</b>
<b>TABLA</b>	<b>15</b> <i>Índice Kappa por uso de suelo 1993-2000.</i>	<b>78</b>
<b>TABLA</b>	<b>16</b> <i>Probabilidad de transición por uso de los suelo 1993-2000.</i>	<b>80</b>
<b>TABLA</b>	<b>17</b> <i>CROSSTAB correspondiente a 2000 a 2013.</i>	<b>82</b>
<b>TABLA</b>	<b>18</b> <i>Probabilidad de transición por uso de los suelo 2000-2013.</i>	<b>84</b>
<b>TABLA</b>	<b>19</b> <i>CROSSTAB correspondiente a 2013-2025.</i>	<b>86</b>
<b>TABLA</b>	<b>20</b> <i>Probabilidad de transición por uso de los suelo 2013-2025</i>	<b>87</b>
<b>TABLA</b>	<b>21</b> <i>Relación de las transiciones de los usos naturales</i>	<b>93</b>



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

## AGRADECIMIENTOS

*Por este medio me permito agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de esta tesis de maestrías la cual lleva por nombre “Análisis y tendencias del cambio de uso del suelo de los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco, Puebla”, que se desprende del proyecto que lleva por nombre “IMPORTANCIA DE ESTRUCTURA DEL MOSAICO DEL PAISAJE PARA GRUPOS BIOINDICADORES (VERTEBRADOS TERRESTRES Y ESCARABAJOS) EN EL ESTADO DE PUEBLA” con número de registro “CV-2008-01-100715”, en el cual el Dr. Daniel Jiménez García, una vez más gracias a CONACYT por impulsar a los estudiantes a realizar sus metas, y alcanzar objetivos académicos, que es un estímulo y motivación a seguirnos preparando para servir con nuestros conocimientos a la sociedad de nuestro país.*

*Un agradecimiento especial a mi familia que siempre ha estado conmigo, que en las buenas y en las malas siempre están para ayudarme de todas las formas posibles como solo la familia lo puede hacer gracias a mis padres Jorge y Margarita, así como a mis hermanos Elsie, Jhon, Nancy y Vero, y a mis dos sobrinitos Juan y Fernanda.*

*Al Dr. Jesús armando Ruiz Careaga, por su paciencia y consejos durante mi estadía en la maestría tanto como docente como asesor.*

*A la Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide, al Dr. Ángel Priego Santander, y al Dr. Ricardo Darío Peña Moreno, por formar parte del comité tutorial, gracias por sus consejos y observaciones.*

*A los sinodales que hicieron un espacio en su agenda para revisar la tesis, Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide, a la Dra. Rosalía Castelán Vega, al Dr. Miguel Ángel Gómez Albores, al Dr. Ricardo Darío Peña Moreno y al Mc. Silvestre Toxtle Tlamani, gracias por su tiempo y consejos para mejorar este trabajo.*

*A toda la planta académica del posgrado en Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla, gracias por sus enseñanzas, conocimientos y tiempo que me fueron brindados, durante mi estadía en la maestría.*

*Casi por último pero no por eso menos importante a mi buen amigo asesor y maestro, Dr. Daniel Jiménez García “El Dany”, quien me enseñó, que la investigación no tiene por qué ser aburrida que ser autodidacta es obligatorio y necesario en cualquier ámbito tanto laboral, académica y en la vida cotidiana, gracias Dany por tu tiempo, conocimientos y por tu amistad.*

*A mis compañeros y amigos del laboratorio de biodiversidad “Mr Pelos” Luis, Yuli, Mr. Tejón “Javy”, Elena “que no tiene?”, Miriam, Less, Dafne, y varios, a mis amigos de la uni bicha “Alma”, Iris, Tomate “Armando” Ovis, Tabasco “Carlos”, Y a mis compañeros del pos Kika, Yeka, Citla, Chivis, Lungo, Richardo y Doc Edgardo, todos ellos grandes amigos gracias por hacer tan amena la estadía en la universidad gracias.*

## 1.- INTRODUCCIÓN

El territorio de México posee una amplia diversidad ambiental gracias a la amplia variación de factores fisiográficos como son la ubicación geográfica, el relieve, el clima, el tipo de suelo y la vegetación. García (2011) publicó que los procesos de cambio de uso de suelo son el resultado de la conjunción de amplios factores geográficos, económicos, políticos, sociales, demográficos y culturales. Y su interacción da como resultado el cambio de uso de los suelos en todo nuestro territorio Nacional. Según Henríquez, (2006) los modelos de cambio de uso de suelo se han transformado en una herramienta de análisis espacial muy útil orientada a los siguientes pasos:

- a) Explorar los variados mecanismos que forzan los cambios de uso de suelo;
- b) Proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios de uso de suelo;
- c) Evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo y uso de los suelos.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son esenciales en el procesamiento, manejo y análisis espacial asociado al modelo, por lo que nos dan un aporte en:

- a) La construcción de variables de entrada para la modelación;
- b) La identificación de patrones espaciales de datos;
- c) La cuantificación de los cambios temporales observados o predichos;
- d) La evaluación de factores que operan cruzando una variedad de escalas;
- e) La visualización de resultados.

En el presente trabajo se realizó un modelo basado en transición espacial para esto se utilizó el software Idrisi Taiga con su módulo (Land Change Modeller) el cual es un procedimiento de predicción del cambio de uso de suelo que utiliza la combinación de Autómatas Celulares/ Cadenas de Markov, y añade un elemento de contigüidad espacial. Así como conocimiento de la probable distribución espacial de la transición al análisis del cambio de Markov. Los autómatas celulares permiten que las probabilidades de transición de un pixel sea una función de los pixeles vecinos (Eastman, 2012). Los municipios sujetos a este estudio son Guadalupe Victoria y Tepeyahualco, con una extensión de 68,354.82 ha, ambos municipios pertenecientes al Valle de Libres Puebla (INEGI, 2009). Para realizar este trabajo se utilizaron imágenes Landsat de los años 1972, 1984, 1993, 2000 y 2013 para ver la relación del cambio de uso de suelo en los municipios que comprenden nuestra área de estudio.

## **2.- ANTECEDENTES**

### **2.1.- CAMBIO DE USO DEL SUELO**

El cambio de uso del suelo se define como las modificaciones o recambio en los componentes que se encuentran en un área, ya sea de manera natural o artificial (Mendoza et al., 2001). Aunque también puede definirse como el proceso de producción de bienes materiales para la alimentación, instrumentos de trabajo y todos aquellos objetos que permitan asegurar al ser humano su supervivencia (INEGI, 1989). Entre los factores naturales se encuentra el proceso de sucesión secundaria, las variaciones climáticas, erupciones volcánicas, huracanes, etc.; mientras que entre los antropogénicos se encuentran los factores demográficos, sociales y económicos, entre otros (Burel-Baudry, 2002).

Los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo se encuentran en el centro de la atención de la investigación ambiental actual, ya que es un tema de interés para los gobiernos y los pueblos, puesto que la mayor parte de los cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres, las principales causas son:

- A. Conversión en la cobertura del terreno;
- B. Degradación del terreno;
- C. Intensificación en el uso del terreno.

Los estudios de cambio de uso del suelo dan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación y pérdida de la biodiversidad en regiones determinadas que pueden ser afectadas por siniestros naturales como huracanes, estos mismos provocan un cambio en la cobertura vegetal, no obstante en las últimas décadas el impacto antropogénico ha sido el factor predominante en la transformación de los ecosistemas (Lambin, 1997; Velázquez, 2002).

La medida mundial predice que México debería tener alrededor de 0.7 ha de cubierta arbolada *per capita* para la presente década. No obstante los datos actuales nos dicen que México alberga tan sólo un 0.5 ha de cubierta forestal *per capita* y la predicción para el 2025 será de un 0.3 ha *per capita*, es decir por debajo de la media mundial. Se estima que las selvas mexicanas cubrían alrededor de un 20% de la superficie Nacional y que entre 1976 y 1980 la deforestación anual fue de 160.000 ha/año (Maser-Velazquez, 2002).

En cuanto a la pérdida de la biodiversidad, se sabe que México es uno de los países con mayor diversidad, puesto que de los 170 países del mundo, sólo 17 son considerados como mega diversos y México se encuentra entre ellos, estos países mega diversos albergan en sus territorios el 75% del total de las especies del mundo, nuestra nación es la segunda de todo el globo con más tipos de ecosistemas, sólo superado por China. Es por ello que en México se pueden encontrar especies de pinos o cactáceas que en ningún otro país se pueden encontrar. Con el 1.5% del territorio del planeta, nuestro país cuenta con más de 10% de los cerca de 2 millones de especies conocidas en el mundo, esto hace de México el cuarto país del mundo en riqueza biológica (INE, 2012).

En cuanto a los suelos, México no es ajeno a la problemática ya que sufre las mismas amenazas que el resto del mundo. Se puede puntualizar que las principales causas de pérdida de suelo son:

- A. Erosión hídrica, 56%;
- B. Erosión eólica, 28%;
- C. Degradación química, 12%;
- D. Degradación física 4%.

Mientras que las causas antropogénicas que causan la degradación de los suelos son: deforestación, prácticas agrícolas inadecuadas, sobre pastoreo, extracción de leña, industria y urbanización. La problemática de deforestación es ocasionada por: desmontes agropecuario en un 82% del daño total; tala ilegal con 8%; incendios

forestales, con 3%; plagas y enfermedades, con 3%; cambios autorizados con 2% y otros con 2% (INE, 2012).

En cuanto al recurso agua en México, la oferta *per capita* en el sureste del país es siete veces mayor que en la parte norte. En el sureste donde vive el 22% de la población y se genera solo el 14% del PIB Nacional, se recibe el 68% de la precipitación pluvial del país. El uso del agua en México se distribuye de la siguiente manera: riego agrícola 78%; consumo urbano 11.5%; uso industrial 8.5% y otros usos tales como pecuario y acuacultura 2%(INE, 2012).

En el último siglo han ocurrido cambios sin precedentes en la cobertura y uso del suelo alrededor del mundo. Se estima que cientos de millones de hectáreas de bosques se han transformado para darles un uso agrícola y pecuario desde el año 1850 (Lambin *et al.*, 2001). El cambio en la cobertura y uso del suelo y el manejo de la diversidad agrícola son fenómenos complejos, resultado de la interacción de múltiples procesos sociales y biofísicos que concurren a muy diversas escalas en espacio y tiempo. El estudio de estos temas ha transitado de una etapa descriptiva a la formulación de conceptos y modelos teóricos que buscan explicar los procesos de cambio y al análisis de escenarios basados en ejercicios de simulación (Dyer, 2006; Dyer, 2010). A pesar de los avances, aún no se cuenta con un entendimiento claro de dichos procesos y sus causas. Inevitablemente, el sentido común tiene natural predilección por las explicaciones simples, por lo que frecuentemente han prevalecido generalizaciones que pretenden explicar esos procesos como consecuencia directa de la pobreza o del desarrollo económico, no obstante en muy pocos casos se ha comprobado que exista una relación causal directa entre ellos (Yúnez, 2003; Dyer, 2010).

México no ha sido ajeno al proceso de cambio de uso de suelo debido al uso pecuario y agrícola, por lo que es conveniente conocer un poco el contexto histórico de su degradación ambiental. Estudios arqueológicos revelan que los primeros indicios de un cambio antropogénico en la cobertura del suelo en México coinciden con la aparición del maíz. Aún se discute cuál fue el sitio preciso de la domesticación de esta gramínea, pero es claro que su cultivo se difundió rápidamente por todo el territorio de

lo que ahora es México y, posteriormente, hacia América del Sur y del Norte (Pohl *et al.*,2007;Dyer,2010).

La SEMARNAT (Secretaria del medio ambiente y recursos naturales) nos señala los procesos que determinan el cambio en el uso del suelo que han recibido especial atención. Tal es el caso de la deforestación, que es el cambio de una cubierta dominada por árboles hacia una que carece de ellos. El principal motivo de preocupación mundial en torno a la deforestación se refiere al calentamiento global y a la pérdida de los servicios ambientales que prestan los bosques y selvas. Los bosques proporcionan servicios de gran importancia: forman y retienen los suelos en terrenos con declive evitando la erosión; favorecen la infiltración de agua al subsuelo alimentando los mantos freáticos y también purifican el agua y la atmósfera.

La alteración (también llamada degradación) implica una modificación inducida por el hombre en la vegetación natural pero no un reemplazo total de la misma, como en el caso de la deforestación. Un proceso menos visible pero tal vez igualmente importante por sus efectos ambientales y económicos es la degradación o alteración de los bosques y selvas. Aunque este proceso no implica la remoción total de la cubierta arbolada (como sucede en la deforestación), si puede implicar cambios importantes tanto en la composición por específica como en la densidad de las especies que ahí habitan lo que, a su vez, afecta la estructura y funcionamiento de estas comunidades naturales. La alteración de los ecosistemas naturales tiene también efectos negativos directos sobre los servicios ambientales y con ello, sobre la posibilidad de un aprovechamiento sostenible por parte de las sociedades (SEMARNAT, 2012).

La fragmentación es la transformación del paisaje dejando pequeños parches de vegetación original rodeados de superficie alterada. Cuando se elimina la vegetación original de una zona, con frecuencia quedan pequeños manchones intactos inmersos en una matriz sumamente degradada. Las barrancas y las cúspides de cerros y montañas constituyen los únicos remanentes de vegetación que quedan en muchas regiones de México. Cada una de estas “islas” de vegetación generalmente alberga a un número menor de sus especies nativas que una superficie equivalente embebida dentro de una gran extensión de vegetación ininterrumpida. Esto se debe a que varias

de las especies nativas son incapaces de vivir en los fragmentos pequeños y a que numerosos procesos de degradación tienen lugar en los bordes (SEMARNAT, 2012).

Para entender las causas del cambio de uso de suelo se han empleado dos conceptos, las “causas próximas” y las “fuerzas conducentes”, donde las causas próximas se refieren a las actividades que tienen un efecto directo en el uso de suelo, mientras que las fuerzas conducentes son los procesos sociales subyacentes que dan lugar a las acciones próximas que afectan el cambio de uso de suelo. Durante décadas, las actividades antropogénica que impactan en el uso de suelo, son el factor clave en la forma que el paisaje se modifica, algunos de ellos provocados por prácticas específicas sobre el manejo y otros por las fuerzas sociales, políticas y económicas que controlan los usos (Bocco et al., 2009). El aprovechamiento de los recursos naturales ha provocado las transformaciones más importantes en el paisaje. Por ello, las transformaciones del paisaje presentan trayectorias variables en diferentes regiones según sea su contexto histórico, socioeconómico y ecológico del área (Vallecillo, 2009).

El análisis de los cambios de uso de suelo constituye una herramienta eficaz para las organizaciones, gobiernos, organismos responsables de un determinado territorio en cuanto al manejo de los recursos naturales ya que describe el escenario a la cual está sometida un área determinada con lo que se genera información básica para el desarrollo de planes, programas o proyectos económicos, sociales y políticos, como son la distribución del crecimiento poblacional, construcción de infraestructura, generación de carreteras, actividades económicas, entre otras (Nájera *et al.*, 2010).

## **2.2.- PERCEPCIÓN REMOTA**

En la actualidad, existen diversos métodos para la detección de cambios de usos de los suelos, siendo los más utilizados: comparación pos clasificación y cambios detectados mediante álgebra de imágenes. Una de las formas de evaluar la dinámica de uso del suelo es la fotointerpretación de imágenes aéreas y el análisis de imágenes de satélite, con los cuales se estima el crecimiento o la disminución de la superficie cultivada. Los cambios de uso del suelo pueden evaluarse a través de la comparación histórica, detectada por el uso de fotografías aéreas de diferentes años (Herrera, 1983;

Ramos-Reyes *et al.*, 2004). Las cuales se interpretan y se vacía la información en mapas que pueden manipularse utilizando sistemas de información geográfica (SIG), como IDRISI. Estos programas computacionales son importantes para realizar evaluaciones de dinámicas de uso del suelo a través de la variable tiempo en años (Ramos-Reyes *et al.*, 2004).

La percepción remota se refiere a técnicas utilizadas para coleccionar información acerca de un objeto y sus alrededores desde una distancia que no estén físicamente en contacto con ellos. Normalmente, esto se convierte en alguna forma de imágenes, que posteriormente son procesadas e interpretadas para producir datos útiles para su aplicación en agricultura, arqueología, ingeniería forestal, geografía, geología, planeación de riesgos y otros campos. La información acerca del objeto es obtenida por un sistema de sensores localizado en un satélite o una aeronave, que reciben radiación electromagnética, la cual puede ser emitida por el objeto o haber interactuado con el objeto. Aquí se considera el último caso, en donde la fuente de radiación no es el objeto. El proceso de percepción remota involucra los siguientes pasos:

- Una fuente de energía, la cual ilumina o proporciona energía electromagnética al blanco de interés. La percepción remota pasiva de la superficie de la Tierra utiliza la radiación del Sol. La Tierra es también un emisor de radiación, proveyendo información acerca de su superficie.
- Como la energía viaja desde el Sol hasta un blanco sobre la superficie de la Tierra, ésta interactúa con la atmósfera cuando la atraviesa. Esta interacción puede ocurrir nuevamente mientras la radiación viaja del blanco al sensor.
- Una vez que la radiación alcance al blanco, interactúa con éste, dependiendo de las características del blanco y de la radiación.
- Una vez que la energía haya sido dispersada (o emitida) por el blanco, un sensor remoto recogerá y registrará la radiación electromagnética.

- La energía registrada por el sensor será transmitida en forma electrónica a una estación de recepción y de proceso donde los datos se procesan en una imagen. La imagen procesada se interpreta para extraer la información sobre el blanco
- La información que hemos obtenido sobre el blanco se utiliza para entenderlo mejor, revelar nueva información, o ayudar a solucionar un problema determinado relacionado con éste (Ciceana, 2013).

Existen tres tipos de análisis de datos que se aplica a la información obtenida por los sensores remotos: medición, clasificación y estimación. El análisis por medición, usa los valores obtenidos por los sensores para calcular las condiciones ambientales, como la temperatura de la superficie, humedad del suelo, cantidad de materia vegetal, etc. El análisis por clasificación, define regiones que presentan las mismas características espectrales, la imagen pueda dar como resultado un mapa donde las regiones con las mismas características se muestran identificándolas con un mismo color. Finalmente, el análisis por estimación, comúnmente aplicado a la clasificación de resultados, es utilizado para dividir el área en regiones, que estadísticamente son similares (Pisanty y Caso, 2006).

Sin embargo, el actual avance tecnológico permite que la información satelital se convierta en una alternativa apropiada y accesible para dar solución a estos problemas. Las ventajas de esta fuente de información es que ofrecen una visión sinóptica de una amplia superficie del terreno, incrementan la capacidad de monitorear la superficie de manera periódica y relativamente rápida, en el tratamiento de los datos obtenidos es relativamente rápido y económico (Avery and Berlin, 1992; VON-THADEN. 2012).

### **2.3.- LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

Un SIG (Sistema de Información Geográfica) es un sistema asistido por computadora para la adquisición, almacenamiento, análisis, visualización y manipulación de datos geográficos. Es una herramienta multipropósito empleada con frecuencia para describir y estimar el estado en que se encuentra el medio, facilitando el estudio y conocimiento de los recursos, resultando útil para realizar estudios sobre el manejo integrado de los recursos hídricos, de conservación de áreas protegidas,

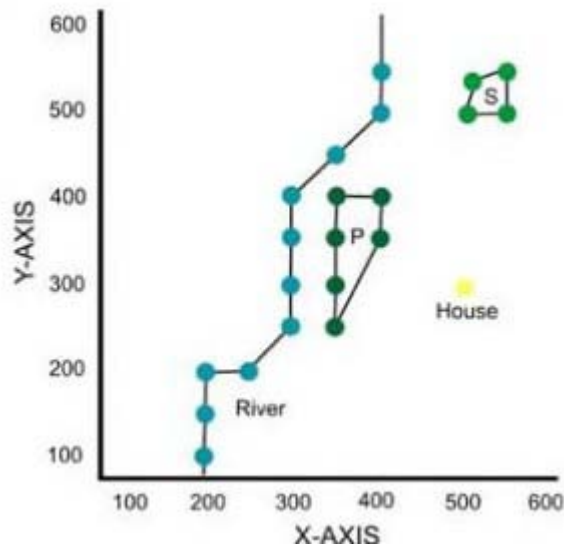
turísticas o delimitación de áreas de riesgo, así como el ordenamiento ecológico territorial para la protección y uso sustentable (Eastman, 2006; Alvarado 2009).

Los SIG están constituidos por cuatro elementos o módulos:

- A. Módulo de entrada de datos que es donde se selecciona y captura la información,
- B. Módulo de manejo de datos que es donde se almacenan se recuperan, y se hacen bases de datos geográficos,
- C. Módulo de análisis de datos,
- D. Módulo de salida de información, es donde se generan los productos intermedios o finales.

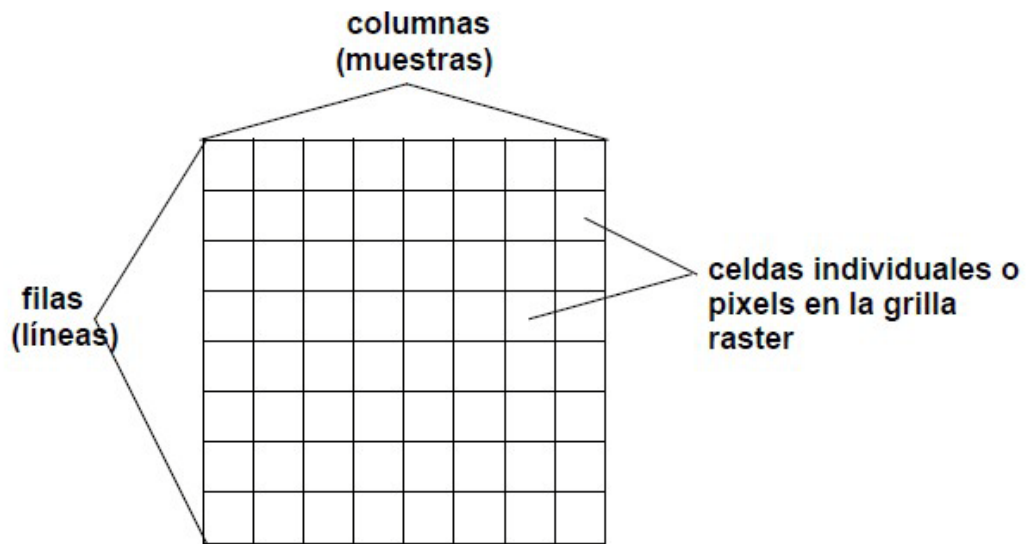
La importancia de los SIG es debida a que son una herramienta útil que permite manejar información de diversa fuentes, las cuales pueden llegar a ser muy extensas y difíciles de manejar es por ello que los SIG ayudan a su manipulación y reacomodo de tal manera que es más dinámico para el usuario trabajar con la información, en SIG el punto general es manejar grandes cantidades de bases de datos geográficos, e indagar en ellas sobre la existencia de ciertos fenómenos (donde y como suceden) y la creación de modelos altamente gráficos de fácil comprensión, lectura y comparación (Rosete, 2003).

En general, en un SIG existen dos importantes formatos para representar datos espaciales denominados ráster y vectorial. Mediante el formato vectorial se reproduce la realidad por medio de objetos espaciales discretos (puntos, líneas y polígonos) dentro de un espacio continuo cartesiano (**IMAGEN 1**).



**IMAGEN. 1.** Representación de un vectorial polilíneas, líneas, puntos y polígonos. En la imagen se aprecia la forma de representación en un plano cartesiano de la realidad mediante la simplificación de los objetos empleando los elementos tipológicos básicos cartográficos (puntos, líneas y polígonos).

Una imagen digital es almacenada como un arreglo bidimensional (o grilla) de pequeñas áreas llamadas pixels (picture x elements), y cada pixel corresponde espacialmente a un área de la superficie terrestre. Este arreglo o grilla es también llamado ráster, por lo tanto los datos de imágenes son a menudo llamados datos ráster. El dato ráster está ordenado en filas horizontales llamadas líneas, columnas verticales llamadas muestras. Cada pixel en la imagen ráster está representado por un número digital o ND, (**IMAGEN 2**) (Gómez, 2002).



**IMAGEN. 2.** Representación de un ráster, cada pixel, puede tomar  $n$  tonalidades. En la imagen se representa la gradilla en la cual se dividen la imagen cada cuadro equivale a un pixel que son la base de las imágenes ráster.

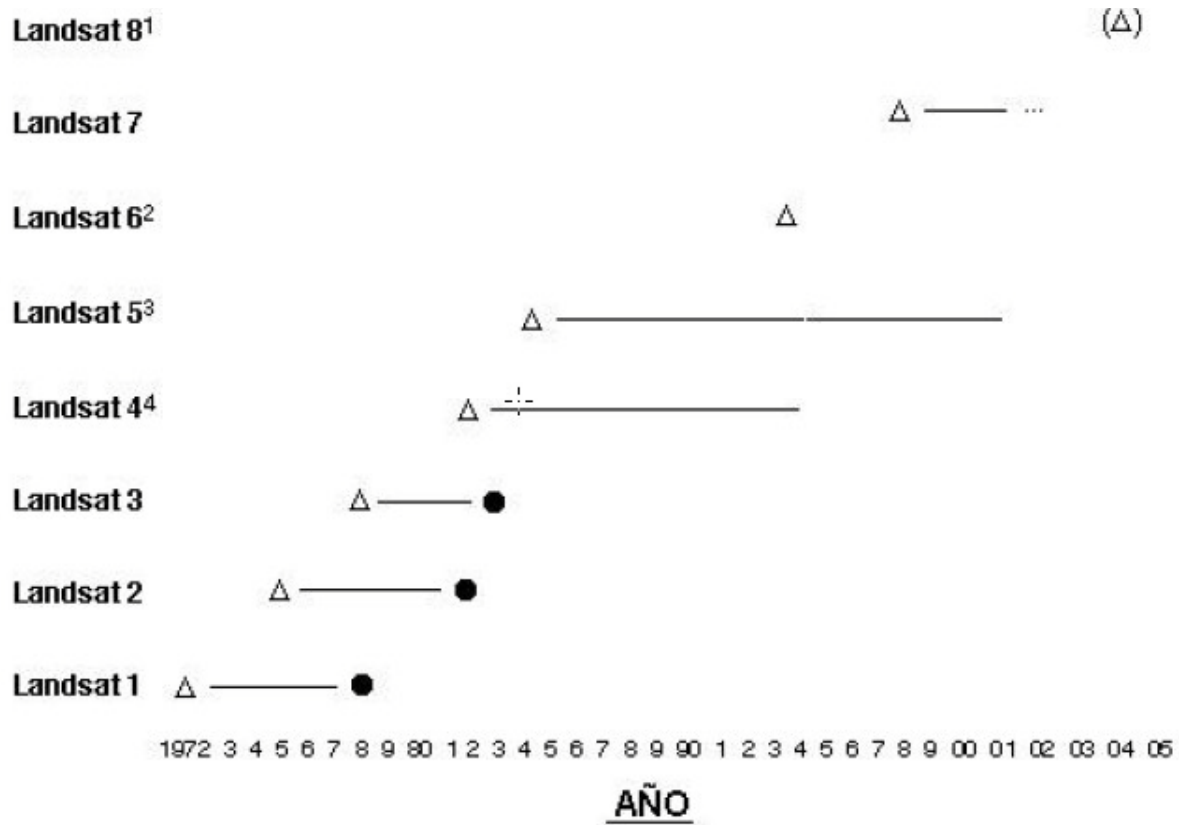
Esta imagen puede representar diferentes tipos de datos dependiendo de la fuente de datos. Para datos satelitales tales como Landsat y SPOT, los NDs representan la intensidad de energía reflejada en longitudes de onda visible, infrarrojo y otras. Para datos de imágenes de radar (Synthetic Aperture Radar -SAR), los NDs representan la potencia del pulso de radar que retorna a la antena.

Para modelos de terreno digitales, los NDs representan la elevación del terreno. Independientemente de cuál es la fuente, todos estos tipos de datos pueden ser almacenados en un formato ráster (Gómez, 2002).

## **2.4.- IMÁGENES LANDSAT**

En el campo concreto del uso de suelo, los satélites Landsat han proporcionado una fuente idónea para un gran número de inventarios a diferentes escalas. Estos satélites captan una gran superficie del terreno, registran diferentes regiones del espectro electromagnético, presentan una resolución temporal alta (Chuvienco, 1985). El sensor Multi Spectral Sensor (MSS) de Landsat, fue uno de los primeros sensores dirigidos a la investigación de recursos naturales (julio de 1972), las imágenes proporcionadas por este sensor cuentan con una resolución espacial de 60 m, radiométrica de 6 bits y espectral de 4 bandas. Estas características han sido notablemente mejoradas desde la aparición de este sensor, aún así hoy en día es una fuente inapreciable de información para realizar estudios multi-temporales. Sin embargo, al presentar poca resolución espacial compromete los resultados, especialmente en áreas de compleja ocupación (López *et al.*, 2001), lo cual llevo a mejorar este sensor, con el denominado Landsat Thematic Mapper (TM), diseñado para la cartografía temática, mejorando a su antecesor MSS, principalmente en la resolución espacial pasando de 60m a 30m, la resolución radiométrica de 6 a 8 bits e incrementando la resolución espectral de 4 a 7 bandas. Estas mejoras aseguran una mayor precisión para la cartografía temática, ampliando el rango de aplicaciones operativas tanto terrestres como marinas (Rodríguez *et al.*, 2002).

La serie de satélites Landsat, Landsat 1,2,3,4,5,6,7, desde 1972 proporcionan una de las mejores series de la evolución del planeta (**IMAGEN 3**).



<sup>1</sup> ETM+ follow-on instrument on EOS AM-2  
<sup>2</sup> Launched Oct. 5, 1993. Failed to obtain orbit.  
<sup>3</sup> Data transmission by direct downlink only  
<sup>4</sup> No longer transmitting TM data.

△ Lanzamiento ( ) Prevision  
 ● Fin de Servicio

**IMAGEN 3.** Cobertura histórica del satélite Landsat. Este sensor es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestales, usos del suelo, hidrología, recursos costeros y monitorización medioambiental, sobre todo está ligado a estudios territoriales en los que el parámetro más importante es el medio ambiente. (LANDSAT.USGS.GOV, 2013).

## **2.5.- RESOLUCIÓN ESPACIAL**

La resolución espacial cuantifica el tamaño de pixel, que es la mínima unidad de medida del territorio, que es capaz de definir la lectura de bandas del sensor, (**TABLA 1**).

La resolución temporal mide el tiempo que pasa desde la obtención de la imagen de un punto de la tierras hasta la siguiente imagen y se tiene que para Landsat 1-3 es de 18 días, para Landsat 4-6 es de 16 días y para landsat 7 corresponde también a 16 días. La serie Landsat empezó en 1972, se supone que existen 23 imágenes por año para cada punto de la corteza terrestre, lo que hace suponer un total de 667 imágenes solo de 1972-2001, lo que supone la mejor serie histórica de imágenes de nuestro planeta, pero no obstante aunque nuestra resolución es alta muchas veces las imágenes se tornan inservibles, esto debido a la presencia de nubosidad, es cuando el porcentaje cambia drásticamente (LANDSAT.USGS.GOV, 2013).

## **2.6.- ANÁLISIS DE IMÁGENES. RED, GREN, BLUE (RGB)**

El análisis de imágenes se realiza empleando tres banda del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores, empleados en la informática RGB. Los monitores poseen un total de tres cañones RGB (Rojo, Verde y Azul), con los que, por combinación de estos tres colores básicos, se construyen el resto de colores. Empleando estos tres cañones se tiene la posibilidad de enviar en cada uno de ellos una de las bandas del sensor, combinándose en el monitor dando distintos colores y tonos.

Estos colores y tonos se utilizan para analizar visualmente la imagen, las combinaciones de colores se emplean para discriminar la Geología de la imagen, usos de suelo de la imagen, morfología urbana, etc.

Se puede utilizar cualquier combinación de bandas pero no obstante se tiene registrado que algunas combinaciones son idóneas para determinado tipo de estudio (**TABLA 2**).

**TABLA 1.** Resolución espacial, tipo de sensor y resolución de las imágenes Landsat.

SATÉLITE	SENSOR	LONGITUD DE ONDA	RESOLUCIÓN	SATÉLITE	SENSOR	LONGITUD DE ONDA	RESOLUCIÓN
LANDSATs 1-2	RBV	(1) 0.48 A 0.57	80	LANDSAT 7	ETM	(1) 0.45 A 0.52	30
		(2) 0.58 A 0.68	80			(2) 0.52 A 0.60	30
		(3) 0.70 A 0.83	80			(3) 0.63 A 0.69	30
	MSS	(4) 0.76 A 0.90	30			(4) 0.76 A 0.90	30
		(4) 0.5 A 0.6	79			(5) 1.55 a 1.75	30
		(5) 0.6 A 0.7	79			(6) 10.4 a 12.5	30
		(6) 0.7 A 0.84	79			(7) 2.08 a 2.35	30
(7) 0.8 A 1.1	79	PAN 0.50 A 0.90	15				
LANDSAT 1-2	RBV	(1) 0.505 A 0.75	40	LANDSAT 8	OLI	(1) 0.433 A 0.453	30
	MSS	(4) 0.5 A 0.6	79			(2) 0.450 A 0.515	30
		(5) 0.6 A 0.7	79			(3) 0.525 A 0.600	30
		(6) 0.7 A 0.8	79			(4) 0.630 A 0.680	30
		(7) 0.8 A 1.1	79			(5) 0.845 a 0.885	30
		(8) 10.4 A 12.6	240			(6) 1.560 a 1.660	30
		(7) 2.100 a 2.300	30			(8) 0.500 A 0.680	15
		(9) 1.360 A 1.390	30			TIRS	(10) 10.30 A 11.30
(11) 11.50 A 12.50	100						
LANDSATs 4-5	MSS	(4) 0.5 A 0.6	82				
		(5) 0.6 A 0.7	82				
		(6) 0.7 A 0.8	82				
		(7) 0.8 A 1.1	82				
	TM	(1) 0.45 A 0.52	30				
		(2) 0.52 A 0.60	30				
		(3) 0.63 A 0.69	30				
		(4) 0.76 A 0.90	30				
		(5) 1.55 a 1.75	30				
		(6) 10.4 a 12.5	120				
		(7) 2.08 a 2.35	30				

**TABLA 2.** *Compuesto de bandas.* Se muestra una relación de las combinaciones más empleadas con el tipo de estudio para el cual son empleadas, tomado de LANDSAT.USGS.GOV (2013).

COMBINACIÓN	TIPO DE ESTUDIO	COMBINACIÓN	TIPO DE ESTUDIO
357	EROSION DE SUELOS	247	CLAS. CUBIERTAS
354	EROSION DE SUELOS	245	CLAS. CUBIERTAS
345	SECTORES AMBIENTALES	752	GEOLOGÍA
347	SECTORES AMBIENTALES	754	GEOLOGIA
234	SECTORES AMBIENTALES	753	GEOLOGIA
157	CLAS. CUBIERTAS	135	GEOLOGIA
257	CLAS. CUBIERTAS	345	CLAS. SUELOS
154	CLAS. CUBIERTAS		

## **2.7.- MODELOS GEOMÁTICOS**

El modelamiento de la ocupación y usos de los suelos contribuye a comprender y prever la evolución futura y la simulación prospectiva. CA\_Markov y Land Change Modeler (LCM) son los dos modelos espacio-temporales utilizados para la consecución de dichos objetivos en este trabajo. Ambos están disponibles en el software Idrisi Taiga v. 16 (Clarklabs, 2010), el primero de ellos desde la versión 32 bit (año 2000), mientras que LCM fue introducido en la versión Andes en 2006 y, posteriormente, ha sido incluido como una extensión del software ArcGIS de ESRI (Camacho Olmedo, 2010).

El módulo CA\_MARKOV se nutre de la función MARKOV para el cálculo de la matriz de probabilidades de transición y de la evaluación multicriterio (MCE) para la obtención de los mapas de aptitud, e incorpora un autómata celular básico para homogeneizar el resultado. Por otra parte, la inclusión del mapa de usos del suelo más reciente permite modificar en parte la matriz markoviana. Una explicación más detallada de CA\_MARKOV está descrita en Paegelow y Camacho Olmedo 2005 (Camacho Olmedo, 2010).

El módulo Land Change Modeler (LCM) integra tanto el análisis de los datos, especialmente la noción de cambios de ocupación / usos del suelo (LUCC budget,

Pontius et al., 2004; Camacho Olmedo, 2010), la modelización propiamente dicha y las aplicaciones anexas en materia de Ecología del paisaje y biodiversidad, así como implicaciones de la ordenación y gestión territorial. La modelización espacio-temporal prospectiva está dividida en dos fases: la de la elaboración de los modelos de potencial de transición y la de la puesta en práctica de la predicción y/o obtención de escenarios (Camacho Olmedo, 2010).

## **2.8.- LAS CADENAS DE MARKOV**

Las cadenas de Markov son una herramienta para analizar el comportamiento y gobierno de determinados tipos de procesos estocásticos, esto es, procesos que evolucionan de forma no determinada a lo largo del tiempo en torno a un conjunto de estados.

Una cadena de Markov, por tanto representa un sistema que varía de estado a lo largo del tiempo, siendo cada cambio una transición del sistema. Dichos cambios no están predeterminados, aunque sí lo está la probabilidad del próximo estado de función de los estados anteriores, probabilidad que es constante a lo largo del tiempo. Eventualmente, en una transición el nuevo estado puede ser el mismo que el anterior y es posible que exista la posibilidad de influir en las probabilidades de transición actuando sobre el sistema (Fonollosa *et al.*, 2002).

El módulo de las cadenas de Markov (MARKOV) simula la predicción del estado de un sistema en un tiempo determinado a partir de dos estados precedentes. Esto significa que la modelización no tiene en cuenta las variables explicativas y descriptivas, sino que se basa exclusivamente en el análisis de la dinámica interna del sistema, que, en nuestro caso, corresponde a la evolución de los usos del suelo. CA\_MARKOV se nutre de la función MARKOV para el cálculo de la matriz de probabilidades de transición Y de la evaluación multicriterio (MCE) para la obtención de los mapas de aptitud, e incorpora un autómata celular básico para homogeneizar el resultado. Por otra parte, la inclusión del mapa de usos del suelo más reciente permite modificar en parte la matriz markoviana. Una explicación más detallada de CA\_MARKOV está descrita en Paegelowy Camacho-Olmedo 2005 en Camacho-olmedo, 2010

Se trata de un procedimiento discreto en un tiempo discreto, en donde el valor en el tiempo  $t_1$  depende de los valores en los tiempos  $t_0$  y  $t_{-1}$  (cadena markoviana de segundo orden). El algoritmo compara dos mapas de ocupación del suelo que se suceden cronológicamente, y estima y configura una matriz de probabilidad de transición. La predicción se materializa en una serie de mapas de ocupación del suelo (uno para cada categoría) para un tiempo futuro, en donde el nivel digital de cada píxel expresa la probabilidad de pertenecer a la categoría analizada (Paegelow, 2002; Camacho-Olmedo, 2010),

Un proceso markoviano es uno en el que el estado de un sistema en tiempo 2 se puede predecir por el estado del sistema del tiempo 1 con una matriz de probabilidades de transición de cada base de cobertura. El módulo de Markov de IDRISI se puede emplear para crear dicha matriz de probabilidad de transición. Como entrada, necesita dos mapas de cobertura terrestre. Luego genera las siguientes producciones:

-Una matriz de probabilidad de transición, esta es desplegada y almacenada automáticamente, las probabilidades de transición expresan la probabilidad de que un píxel de cierta clase cambie a cualquier otra clase (o permanezca en la misma) en el próximo periodo de tiempo. Como resultado del análisis se obtiene:

- una matriz de áreas de transición. Esta expresa el área total (celdas) que se espera cambie en el próximo periodo de tiempo.
- un grupo de imágenes de probabilidad condicional- uno para cada cobertura terrestre. Estos mapas expresan la probabilidad de que cada píxel pertenezca a la clase designada en el próximo periodo de tiempo, a esto se le nombra mapas de probabilidad condicional por que esta probabilidad es condicional a su estado actual (Eastman, 2012).

### 3.- ESTUDIOS DE CASO

En las últimas décadas el cambio del uso del suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global, alterando procesos y ciclos. Lo anterior se vuelve trascendental si se considera que es a través de estos cambios donde se materializa la relación entre el hombre y el medio. Los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1999; Pineda *et al.*, 2009).

En 1992, al celebrarse la cumbre Río, los países participantes, incluyendo México, firmaron una serie de declaraciones relacionadas con la protección del suelo; poco tiempo después, en 1994, se formó la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés), que tiene entre sus objetivos evitar y reducir la degradación del suelo, rehabilitar terrenos parcialmente degradados y recuperar tierras desertificadas. Estas acciones son, sin duda, un reconocimiento a la estrecha relación entre la degradación del suelo con otros problemas ambientales relevantes como la pérdida de la biodiversidad y el cambio climático (SEMARNAT-COLPOS, 2003).

En el 2010, Gonzáles y colaboradores realizaron el cambio de uso de suelo de la cuenca del Río Mololoa en el estado de Nayarit, este estudio se realizó por medio de la interpretación de ortofotos digitales de los años 1995 y 2005, la interpretación se realizó en la pantalla en forma visual, y con apoyo de cartografía, fotografías y salidas de campo. La tasa de deforestación calculada para la vegetación natural y coberturas de bosques de encinos y bosques de pino, del segundo nivel jerárquico fue de 0.1% anual, lo cual es menor a la media Nacional y a la estatal reportada en el periodo 1993-2000, en bosques de encino y bosques de pino correspondientes a 0.1% anual, mientras que la selva mediana presenta una deforestación de 0.36% anual. Pese a que es evidente la presión se ve más marcada en las zonas de selva mediana presenta, no obstante es satisfactorio puesto que ambas tasas se encuentran por debajo de la media Nacional reportada por SEMARNAT (2006). En el estudio de cambio de uso de

suelo de 1995-2005, revelan un paisaje dominante de tierras de cultivo (43.9% del territorio), vegetación natural (selva mediana, bosques de pino y de encino) y asociaciones secundarias las cuales representan un 45.6% del total de la cuenca (González, 2010).

En el 2011 Figueroa y colaboradores, postulan el cambio de uso de suelo de la Cuenca de San Cristóbal de las Casas México. Para el cual se utilizaron imágenes de satélite: Landsat MSS de 1975, Landsat TM de 1993 y 2000 y Spot de 2009, se estandarizaron a una resolución de 30 m para la comparación entre ellas ya que originalmente poseían una resoluciones de 60 metros en imagen MMS, 30 en imágenes TM y de 10 en Spot. Para el tratamiento de imágenes se realizó una clasificación supervisada por medio de IDRISI ANDES. Se obtuvieron cuatro mapas temáticos para el cambio de uso de suelo, el uso predominante fue agricultura temporal, seguida del bosque de encino, en tercer lugar el bosque de pino, los últimos dos junto con el bosque mesófilo poseen el aptitud forestal de la cuenca sin embargo se ve muy marcado el impacto antropogénico por grandes extensiones de áreas de agricultura temporal cercanas a pequeñas poblaciones en la cuenca. En los periodos estudiados no se encontró una diferencia significativa en cuanto al cambio de uso de suelo a excepción de las zonas urbanas las cuales aumentaron de 4.13 a 9.7% de la superficie total de la cuenca (Figueroa, 2011).

En 1998 Cortina y colaboradores postulan el cambio de uso de suelos del sur de los Estados de Campeche y Quintana Roo, para la creación de los mapas de uso de suelo se utilizó el procedimiento de la clasificación supervisada basada en la clasificación de la máxima probabilidad y distancia mínima a la media, ya que se clasificaron imágenes de años pasados e información proporcionada por comisariados ejidales e información obtenida de mapas de uso de suelo de la secretaría de agricultura y recursos hídricos (SARH, 1976). Los mapas de uso de suelo de INEGI de 1985a en escalas 1:250 000 y una línea de fotografías aéreas de los años de 1984-85 en escala 1:35 000, mientras que los mapas de INEGI de 1995 realizados a partir de imágenes Landsat de 1993, fueron utilizadas para la interpretación de las imágenes MSS de 1990. Reportan que en 1975 ya se había desmontado un 11.9% de su área de

estudio esto es 98 806 ha, para utilizarse para agricultura y la ganadería, 78,864 ha en Quintana Roo y 19,942 ha Campeche, de los datos más importantes del trabajo fue señalar que después de 20 años de colonización, la transformación de selvas y sabanas en áreas agrícolas y ganaderas tuvo lugar en un 23% de la superficie total estudiada, esto significa 1,997,727 ha. De dicha superficie, 90,670 has es un poco menos de la mitad, dejaron de utilizarse y se convirtieron en terrenos de vegetación secundaria, aún se conservan 619,924 ha de selvas medianas, selvas bajas y sabanas que en conjunto representan un 75% del área total estudiada (Cortina et al., 1998).

En el 2008 Pineda y colaboradores realizaron el análisis de cambio de uso de suelo en el Estado de México mediante sistemas de información Geográfica, el estudio se centró en describir los cambios de usos de los suelos del periodo 1993-2002, trabajaron con mapas digitales de vegetación y uso de suelo escala 1:250 000 correspondientes a la serie II de 1993 y la serie III de 2002 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI). Para la modelación utilizo el módulo de IDRISI Andes *Land change Modeler for Ecological Sustainability*, que es un aplicación orientada al cambio de cobertura de suelo. Se reportó que en el tiempo evaluado existe un cambio de 6.7% que en términos absolutos se traduce a 149,725 ha, mientras que la persistencia del paisaje es de 93.3%. Se reporta que en el periodo estudiado el Estado de México perdió 3836 ha de bosque de coníferas, 7,295 ha de bosques de latifoliadas, 309 ha de bosque mixto, sumando un total de 13,691 ha de pérdida de cobertura (Pineda et al, 2009).

En el 2011 Pérez-Miranda y colaboradores postularon el trabajo titulado predicción espacial de cambio de uso de suelo en Texcoco Estado de México. El estudio se realizó en una superficie de 26,395 ha ubicadas en la parte oriente del municipio de Texcoco, en el cual se trabajó con los periodos de 1993 y 2004 para la evaluación de usos de suelo y evaluación multicriterio para obtener mapas de potencialidad de cambio de uso de suelo, para el periodo 1993 trabajaron ortofotos del INEGI: E14b21 fracciones D,E y F, y E14b31 fracciones A, B y C, con tamaño de píxel de 2 m las cuales se re muestrearon a 5 m, con Arc map 8.1, para el año 2004 fue un proceso similar pero utilizaron imágenes pancromáticas SPOT 5, con tamaño de pixel de 5 m se

utilizaron escenas con fecha de 15 de octubre de 2004 y 2 de febrero de 2004, de las 26 395 ha que componen el área total que fue sometida al estudio en 1993, la parte correspondiente a bosque, agricultura y pastizal inducido era de 24,206 ha, las 2 189 restantes correspondía a áreas de reforestación, uso urbano pastizal y cuerpos de agua, para el año 2004, 23,946 ha incluían al bosque , agricultura y pastizal inducido, en tanto que 2,449 ha integraban las antes ya mencionadas, para el 2004 el uso urbano creció 173 ha, los cuerpos de agua 3 ha y la minería 92 ha. Las disminuciones se presentaron el pastizal inducido con 64 ha, el agrícola 182 ha, reforestación 7 ha, el pastizal natural 1 ha y el bosque natural 14 ha. Mientras que la expectativa para el 2014 muestra un aumento en la dinámica. El bosque, la agricultura y el pastizal inducido cubren 23,703 ha de la superficie total uso forestal 47.46%, agrícola 33.04% y pastizal inducido 9.30% (Pérez-Miranda *et al*, 2011).

#### 4.- JUSTIFICACIÓN

- En la actualidad el cambio de uso de suelo a tomado importancia en ámbitos biológicos y ambientales, por la demanda de recursos naturales bióticos y abióticos, por la expansión de zonas urbanas, demanda de recursos forestales, agrícolas. Pecuarios etc., que conlleva a una pérdida de la biodiversidad, así como la desertificación y pérdida de nutrientes en el suelo, es por ello que es de suma importancia realizar cuantificaciones, listados, así como modelos predictivos, que nos permitan cuantificar la pérdida, ganancia y persistencia de los usos de suelo.
- La riqueza del paisaje, presentes en el área de estudio, donde converge parte del valle de Libres oriental, donde se alberga especies endémicas tanto vegetales como animales, así como distintos tipos de vegetación desde bosques de pino, izótales, vegetación halófitas, cuencas endorreicas etc. no obstante una mala planeación sobre el aprovechamiento de los recursos, provocan estragos irremediables en las zonas naturales, y zonas destinadas a uso pecuario y agrícola del área de estudio.
- Las predicciones nos ayudan a localizar las zonas susceptibles a cambios bruscos de origen antrópico, y así se pueden realizar programas de conservación de suelo que nos permitan disminuir la pérdida de aquellos usos de suelo que son de importancia antropogénica y natural.
- Los sistemas de información geográfica, son una herramienta muy útil, en la elaboración de cartografía, y generación de cartografía, también incluyen en sus software módulos de modelación basados en algoritmos matemáticos, los cuales nos permiten realizar por medio de la percepción remota, el cambio de uso de suelo (Eastman, 2012).

## **5.- OBJETIVO GENERAL**

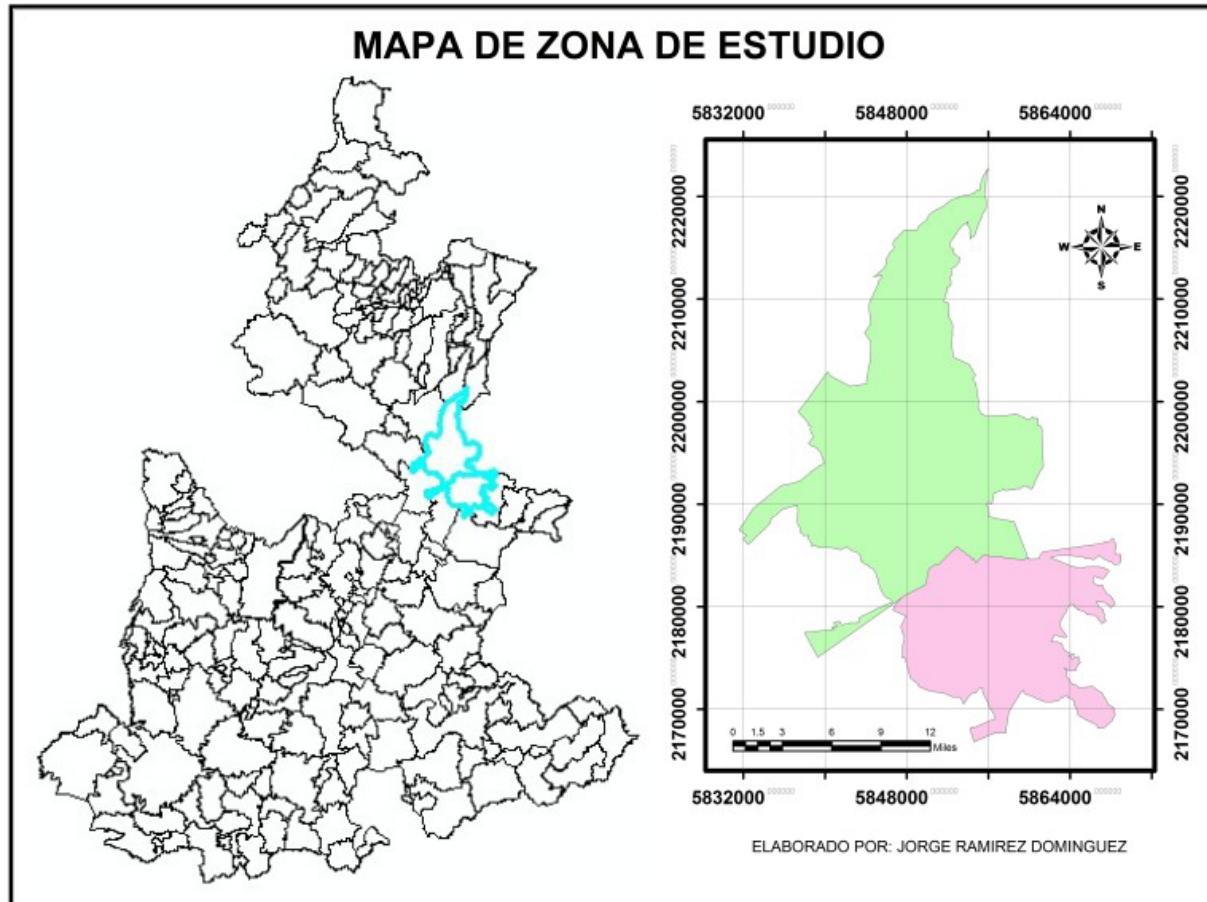
Conocer la evolución de los cambios de uso del suelo en los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco, Puebla, generando una predicción para los años 2025 y 2050.

## **6.- OBJETIVOS PARTICULARES**

- Realizar una clasificación de los diferentes usos de suelo para los años 1972, 1984, 1993, 2000 y 2013 de los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco.
- Realizar la estimación de pérdida, ganancia y persistencia de los usos de suelo respectivos al área de estudio de las transiciones de 1972-1984, 1984-1993, 1993-2000 y 2000-2013.
- Realizar una proyección de los cambios de usos de los suelos de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco para los años de 2025 y 2050.

## 7.- MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1.- ÁREA DE ESTUDIO



**IMAGEN 4.** *Zona de estudio.* Se muestra la localización en el Estado de Puebla del área de estudio constituida por el municipio de Tepyahualco representado de color rosa y municipio de Guadalupe Victoria representado de color verde, los dos municipios poseen un área de 68,483.97 hectáreas que representan el 1.95% del área total del Estado de Puebla.

Los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco se encuentran en la cuenca Oriental que a su vez pertenece Región Hidrológica (RH-18) Río Balsas, esta región, es una de las más importantes del país; ocupa las zonas central y suroccidental del estado, se extiende desde el Estado de Michoacán y en una pequeña porción del Estado de Veracruz; donde está limitada por las elevaciones que circundan la cuenca de Oriental-Perote, entre las que destacan, la caldera de los Humeros, el volcán Pico de Orizaba, el Cofre de Perote y el volcán Atlítzin o Sierra Negra. Hacia el sur de estas montañas, el parte aguas oriental de la región, se prolonga a lo largo de las serranías que constituyen el borde occidental de la cañada poblana-oaxaqueña. Al norte y al sur, la región se encuentra limitada por los parte aguas del Eje Neo volcánico y la Sierra Madre del Sur, respectivamente. (CONABIO. 2012).

## **7.2.- RECURSOS HÍDRICOS PRINCIPALES**

Lénticos (Lagos): Alchichica, San Luis Atexcac, La Preciosa, Quechulac(TABLA 3) , pantanos de Tepeyahualco y presas

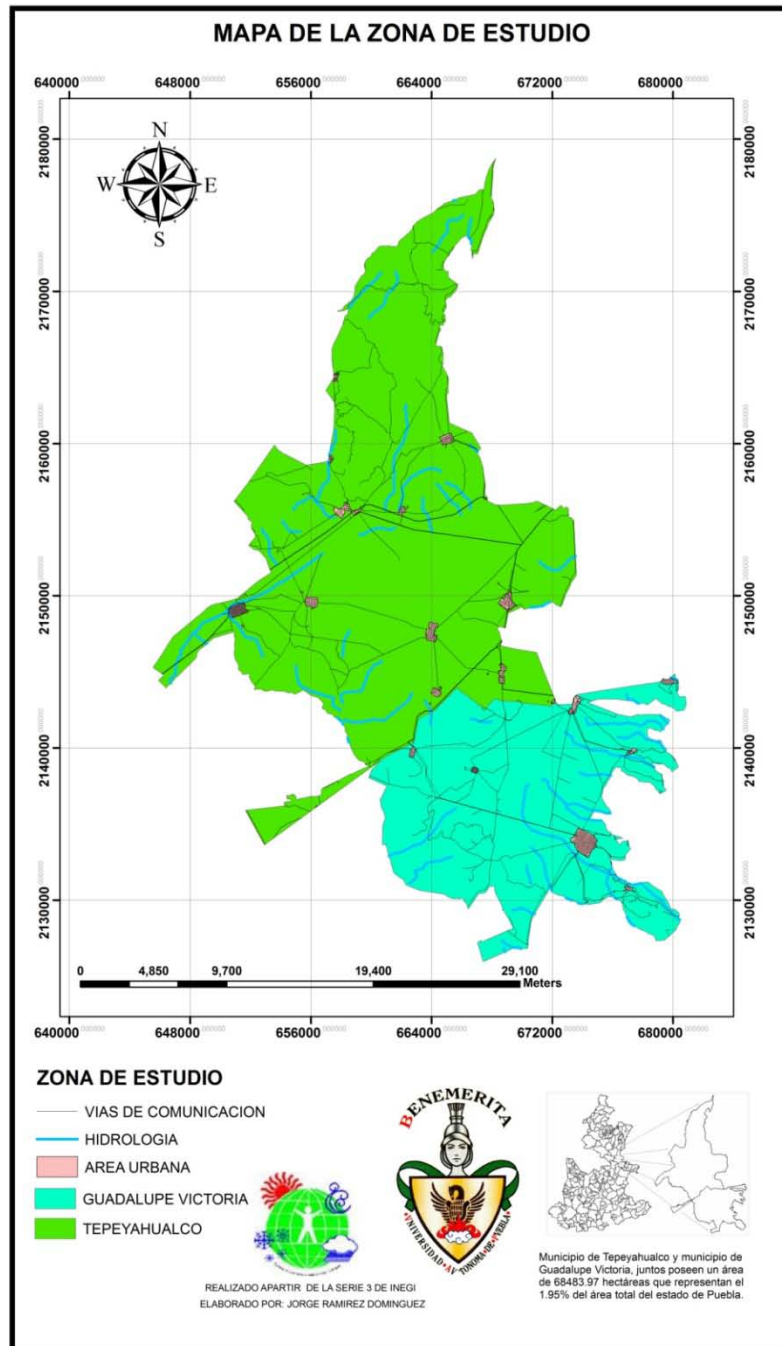
Limnología básica: salinidades: 1.2-14 gr/l; pH=8-9; O<sub>2</sub>=0-6.5 mg/l; temperatura anual se encuentra en un rango de 12.8-14.4°C; precipitación anual promedio entre 425-656 mm; conductividad menor de 1 000 µmhos/cm a 20°C; El análisis del agua de los lagos señala una elevada concentración de aniones y cationes, lo que permite dividirlos en dos grupos: los salinos formado por los lagos de Alchichica y Atexcac y los diluidos formado por los lagos restantes. De manera general se puede definir al agua de los lagos como alcalina, con alta concentración de cloruros y bicarbonatos de sodio y de magnesio. El sedimento de todos los lagos es de textura arenosa y baja concentración de nutrientes. Estos cuerpos de agua corresponden con diastremas o maars y se les incluye dentro del tipo 11 de la clasificación de Hutchinson (1975). Las características morfométricas de los lagos del área de estudio son las siguientes. (TABLA 3) (CONABIO, 2012).

**TABLA 3.** *Lagos cráter.* Lagos cráter que se encuentran total o parcialmente en nuestra zona de estudio. En el cuadro se muestra las características de los lagos que son área, volumen y profundidad.

Lagos-cráter	Área superficial(km <sup>2</sup> )	Volumen(m <sup>3</sup> X 10 <sup>6</sup> )	Profundidad máxima(m)
Alchichica	1.81	69.9	64.6
La Preciosa	0.78	16.2	45.5
Quechulac	0.50	10.9	40.0
Atexcac	0.29	6.10	39.1

El municipio de Guadalupe Victoria se localiza en la parte centro este, del Estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son: los paralelos 19° 14'54" y 19° 25'42" de latitud norte. Y los meridianos 97° 15'54" y 97° 31'06" de longitud occidental. Se encuentra a una altitud entre 2 400 y 3 400 mnm colinda al norte con el municipio de Tepeyahualco y el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave; al este con el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y el municipio de La fragua; al sur con los municipios de La fragua, Tlachichuca y San Nicolás Buenos Aires; al oeste con los municipios de San Nicolás Buenos Aires y Tepeyahualco. Ocupa el 0.66% de la superficie del estado Cuenta con 61 localidades donde las más importantes son Guadalupe Victoria, Quechulac (Santa Cruz), Maravillas, Hacienda Nueva (San Pedro el Águila), El Progreso, Canoítas (San Antonio Canoítas), San Luis Atexcac. Y una población total de 15 041 habitantes (INEGI, 2009).

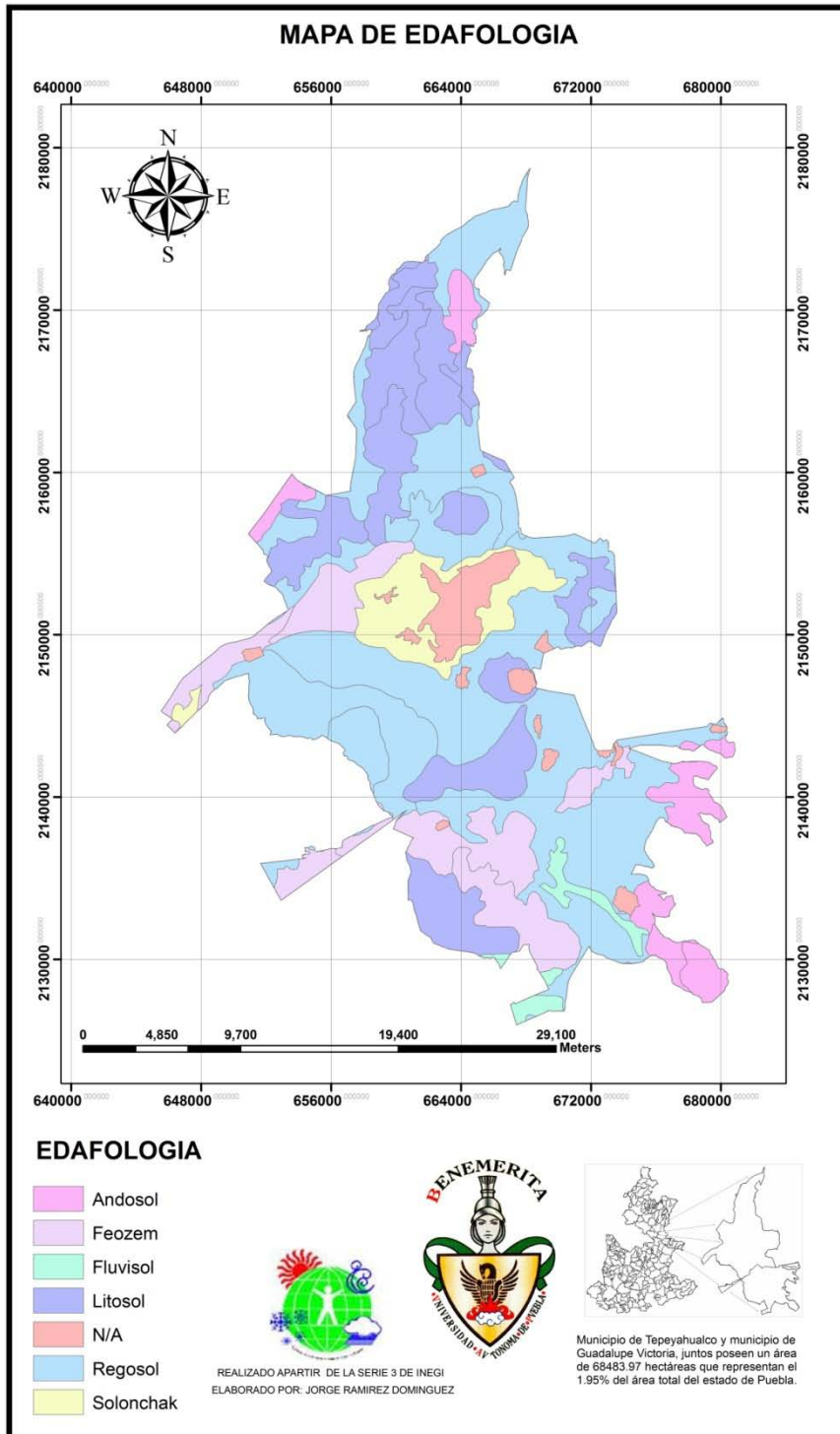
El municipio de Tepeyahualco se localiza en la parte noreste del Estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 23' 06" y 19° 42' 42" de latitud norte y los meridianos 97° 21' 54" y 97° 21' 18" de longitud occidental. Se encuentra a una altitud entre 2 300 y 3 100 mnm. Colinda al norte con los municipios de Cuyoaco, Chignautla, Xiutetelco y el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave; al este con el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y el municipio de Guadalupe Victoria; al sur con los municipios de Guadalupe Victoria, San Nicolás Buenos Aires y Oriental; al oeste con los municipios de Oriental, Libres y Cuyoaco. Ocupa el 1.31% de la superficie del Estado. Cuenta con 37 localidades donde las más importantes son San José Alchichica, El Fuerte de la Unión, Chichicautla, Tepeyahualco, Guadalupe Sarabia, Itzoteno (San Miguel), Jalapasco de Barrientos y cuenta con una población total de 15 814 habitantes, municipios del área de estudio. (IMAGEN 5) (INEGI, 2009).



**IMAGEN 5.** *Municipios del área de estudio.* Tepeyahualco en la parte norte y Guadalupe Victoria en la parte sur. Tepeyahualco cuenta con 37 localidades y una población de 15 814 habitantes y ocupa el 1.31% de la superficie del Estado mientras que Guadalupe Victoria cuenta con 61 localidades y una población 15 041 habitantes y ocupa un 0.65% de la superficie del Estado.

### **7.3.- EDAFOLOGÍA**

La distribución edafológica presente en el área de estudio consta de suelos de tipo regosol distribuidos en la parte central del área de estudio siendo el tipo predominante, mientras los suelos de tipo litosol poseen una fuerte presencia en la parte norte de área de estudio así como en la parte centro, sures y noroeste, el tipo feozem se encuentran en menor proporción en el sur, suroeste y oeste del área de estudio, mientras que los tipos andosol, flovisol y litosol poseen un distribución menos ponderante, mientras que el tipo correspondiente a solonchank se encuentra distribuido en la parte centro norte del área de estudio que es donde se encuentra un embalse que permite las condiciones para que este tipo edafológico pueda presentarse, **(IMAGEN 6)** la distribución de la edafología de los municipios de Tepeyahualco y Guadalupe Victoria, nos refleja una zona en donde el recurso agua se encuentra presente pero restringido y delimitado.



**IMAGEN 6.** Edafología de los municipios de la zona de estudio. Se muestra el mapa de la edafología de la zona de estudio en la cual se aprecian los tipos y distribución de los suelos presentes en la zona de estudio correspondiente a los Municipios de Tepayahualco y Guadalupe Victoria.

### **7.3.1.- Andosoles**

Los Andosoles acomodan a los suelos que se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima (excepto bajo condiciones climáticas hiperáridas). Sin embargo, los Andosoles también pueden desarrollarse en otros materiales ricos en silicatos bajo meteorización ácida en climas húmedo y hiperhúmedo.

Descripción resumida de Andosoles

Connotación: Típicamente, suelos negros de paisajes volcánicos; del japonés an, negro, y do, suelo.

Material parental: Vidrios y erupciones volcánicas (principalmente ceniza, pero también tufa, pómez y otros) u otro material rico en silicato (INEGI, 1998).

### **7.3.2.- Fluvisoles**

Los Fluvisoles acomodan suelos azonales genéticamente jóvenes, en depósitos aluviales. El nombre Fluvisoles puede ser confuso en el sentido de que estos suelos no están confinados sólo a los sedimentos de ríos (latín fluvius, río); también pueden ocurrir en depósitos lacustres y marinos. Muchos Fluvisoles correlacionan con: suelos aluviales.

Descripción resumida de Fluvisoles

Connotación: Suelos desarrollados en depósitos aluviales; del latín fluvius, río.

Material parental: Predominantemente depósitos recientes, fluviales, lacustres y marinos (IUSS, 2007).

### **7.3.3.- Leptosoles**

Los Leptosoles son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos. Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas. En muchos sistemas nacionales, los Leptosoles sobre roca calcárea pertenecen a las Rendzinas, y aquellos sobre otras rocas, a los Rankers. La roca continua en la superficie se considera no suelo en muchos sistemas de clasificación de suelos.

Descripción resumida de Leptosoles

Connotación: Suelos someros; del griego leptos, fino.

Material parental: Varios tipos de roca continua o de materiales no consolidados con menos de 20 por ciento (en volumen) de tierra fina (IUSS, 2007).

### **7.3.4.- Regosoles**

Los Regosoles forman un grupo remanente taxonómico que contiene todos los suelos que no pudieron acomodarse en alguno de los otros GSR. En la práctica, los Regosoles son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros ni muy ricos en gravas (Leptosoles), arenosos (Arenosoles ) o con materiales flúvicos (Fluvisoles). Los Regosoles están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos. Muchos

Descripción resumida de Regosoles

Connotación: Suelos débilmente desarrollados en material no consolidado; del griego rhegos, manta. Material parental: material no consolidado de grano fino.

Ambiente: Todas las zonas climáticas sin permafrost y todas las alturas. Los Regosoles son particularmente comunes en áreas áridas (incluyendo el trópico seco) y en regiones montañosas.

Desarrollo del perfil: Sin horizontes de diagnóstico. El desarrollo del perfil es mínimo como consecuencia de edad joven y/o lenta formación del suelo, e.g. debido a la aridez (IUSS, 2007).

### **7.3.5.- Feozems**

(Del griego *phaios*, oscuro y del ruso *zemlja*, suelo), son suelos muy fértiles y aptos para el cultivo, altamente susceptibles a la erosión, con frecuencia suelos profundos y ricos en materia orgánica, se desarrollan principalmente en climas templados y húmedos.

Símbolo: H. Suelo con una capa superficial oscura, algo gruesa, rica en materia orgánica y nutrientes.

Feozem calcárico. Símbolo: Hc. Feozem con algo de cal a menos de 50 cm de profundidad.

Feozem háplico. Símbolo: Hh. Feozem sin ninguna otra propiedad especial (INEGI, 1998).

### **7.3.6.- Solonchaks**

Los Solonchaks son suelos que tienen alta concentración de sales solubles en algún momento del año. Los Solonchaks están ampliamente confinados a zonas climáticas áridas y semiáridas y regiones costeras en todos los climas. Nombres comunes internacionales son suelos salinos y suelos afectados por sales. Descripción resumida de Solonchaks Connotación: Suelos salinos; del ruso sol, sal. Material parental: Virtualmente cualquier material no consolidado.

Ambiente: Regiones áridas y semiáridas, notablemente en áreas donde la capa freática ascendente alcanza el solum o donde hay algo de agua superficial presente, con vegetación de pastos y/o hierbas halófitas, y en áreas de riego con manejo inadecuado. Los Solonchaks en áreas costeras ocurren en todos los climas.

Desarrollo del perfil: Desde débil a fuertemente meteorizados, muchos Solonchaks tienen un patrón de color gléyico a cierta profundidad. En áreas bajas con capa de agua somera, la acumulación de sales es mayor en la superficie del suelo (Solonchaks externos). Los Solonchaks donde el agua freática ascendente no alcanza el suelo superficial (o aún el solum) tienen la mayor acumulación de sales a cierta profundidad debajo de la superficie del suelo (Solonchaks internos) (IUSS, 2007).

## **7.4.- CLIMA**

La zona de estudio posee una distribución de los tipos de climas, entre las cuales se pueden encontrar, el Semiseco Templado con Lluvias en verano, Templado Subhúmedo con Lluvias en Verano, de Humedad Media entre otros (**IMAGEN 7**).

### **7.4.1.- Semiseco Templado con Lluvias en Verano**

Este clima en general presenta temperaturas medias anuales de 12° a 18°C y precipitaciones totales anuales inferiores a 600 mm. Se distribuye en tres áreas separadas entre sí, las cuales están alineadas más o menos norte-sur y se localizan en el este y sureste del Estado. La primera comprende la parte más estrecha del territorio poblano, es decir, de San José Alchichica a Oriental; en ésta el verano se considera fresco, ya que la temperatura media del mes más cálido es inferior a 18°C, la precipitación invernal representa entre 5 y 10.2% de la total anual. En la estación meteorológica Laguna de Alchichica, la temperatura media anual reportada es de 12.9°C, junio es el mes más cálido con 15.4°C de temperatura media y enero es el más frío con 9.2°C; la precipitación total anual promedio es de 372.0 mm, la lluvia se concentra en junio con 76.5 mm en promedio, y enero es el mes más seco con 5.0 mm (INEGI, 2011).

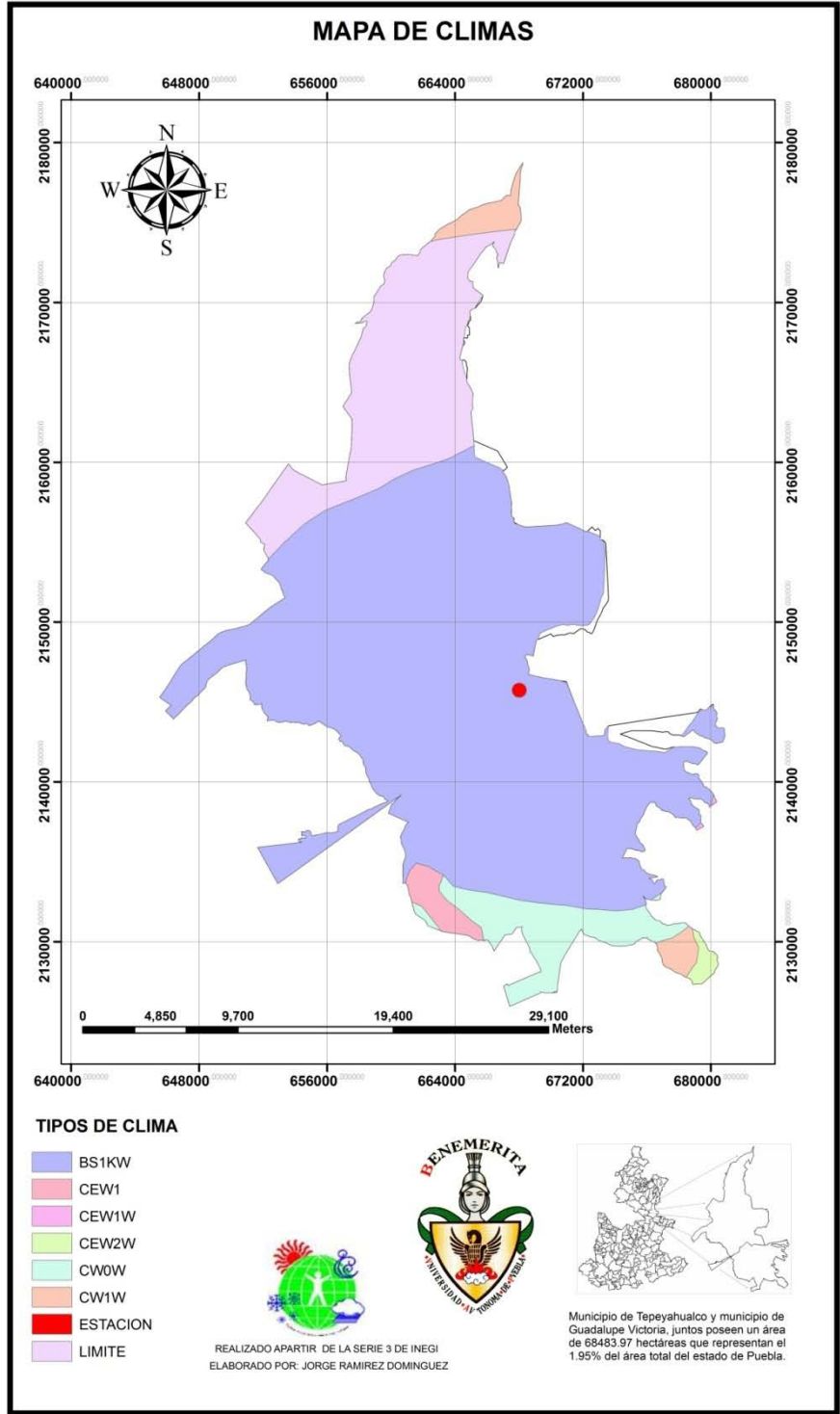
### **7.4.2.- Templado Subhúmedo con Lluvias en Verano, de Humedad Media**

Los terrenos bajo la influencia de este clima están ubicados: hacia el norte, donde comprenden parte de los municipios de Chignahuapan, Aquixtla, Tetela de Ocampo, Ixtacamaxtitlán, Zautla, Cuyoaco, Libres, Tlatlauquitepec, Chignautla y Xiutetelco; al centro-oeste, es decir, de la población Nopalucan de la Granja a las localidades San Salvador el Seco, San Pablo de las Tunas, Tepeaca y Cuautinchán, así como en los alrededores de la presa Manuel Avila Camacho (Valsequillo); al oriente, en las inmediaciones de Tlachichuca, al sur de Saltillo y al noroeste de Atzitzintla; y al sur, en dos áreas separadas entre sí, situadas al suroeste de la cabecera municipal Tlacotepec de Benito Juárez y al oeste de Tehuacán respectivamente.

La temperatura media anual varía entre 12° y 18°C, igual que en el clima anterior; la precipitación total anual tiene un rango de 600 a 1 000 mm, y el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5 (INEGI, 2011).

#### **7.4.3.- Templado Subhúmedo con Lluvias en Verano, de Menor Humedad**

Este clima es el menos húmedo de los templados subhúmedos con lluvias en verano, se distribuye: en la zona más estrecha del Estado, sitio en el que comprende la mitad sur de los municipios de Libres y Cuyoaco, y el norte de Oriental y Tepeyahualco; en la porción que abarca desde San José Chiapa y el sur de Guadalupe Victoria hasta San Vicente Coyotepec y el sur de Atzitzintla; en los alrededores de Nicolás Bravo y en el suroeste de Caltepec. El rango de temperatura media anual es igual que en los climas anteriores, es decir, de 12° a 18°C; mientras que la precipitación total anual se encuentra entre 400 y 800 mm, el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5 (INEGI , 2011).



**IMAGEN 7.** Mapa de tipos de clima. Se observa la distribución de los climas presentes en la zona de estudio.

## **7.5.- TIPOS DE VEGETACION**

Los usos de los suelos presentes en el área de estudio según las cartas temáticas de INEGI, nos presentan seis categorías entre las que son: asentamientos humanos, bosque templado. Bosque templado fragmentado, cuerpos de agua, matorrales y otros usos. Se puede observar una generalización en el uso de suelo predominante correspondiente a otros usos, se observa una pérdida de información por la escala a la cual están representados, es conveniente hacer un trabajo más preciso sobre los usos de los suelos. Ver mapas de la distribución de los tipos de vegetación y usos de suelos de los municipios de Tepeyahualco y Guadalupe Victoria pagina.

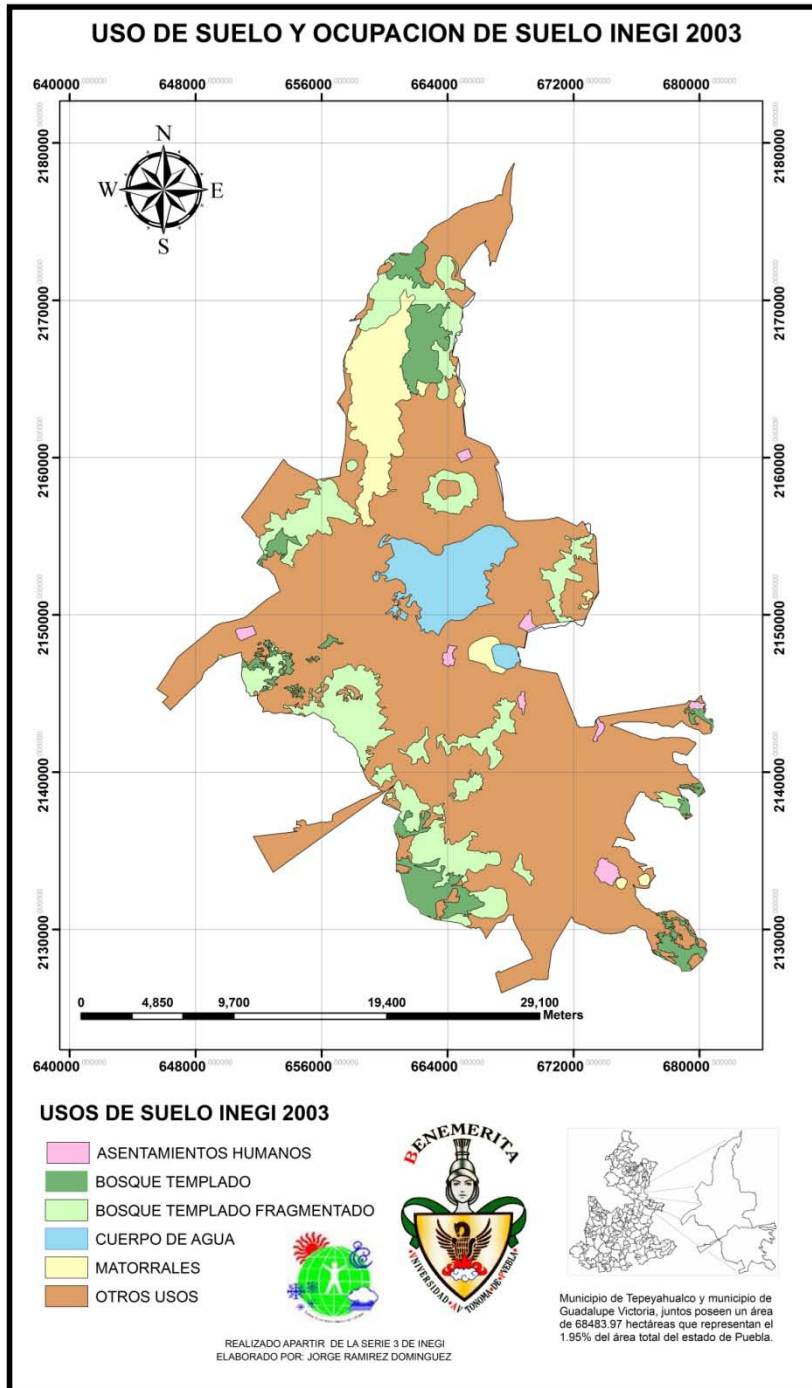
### **7.5.1.- Bosque de Pino-Encino**

Comunidad de bosque ampliamente distribuida que ocupa la mayor parte de la superficie forestal de las porciones superiores de los sistemas montañosos del país, la cual está compartida por las diferentes especies de pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.); dependiendo del dominio de uno y otro, se le denomina pinoencino si predominan las coníferas y es llamado encino-pino cuando dominan los encinares. La transición del bosque de encino al de pino está determinada (en condiciones naturales) por el gradiente altitudinal. Estas mezclas son frecuentes y ocupan muchas condiciones de distribución.

Algunas de las especies más comunes son pino chino (*Pinus leiophylla*), pino (*P. hartwegii*), ocote blanco (*P. montezumae*), pino lacio (*P. pseudostrobus*), pino (*P. rudis*), pino escobetón (*P. michoacana*), pino chino (*P. teocote*), ocote trompillo (*P. oocarpa*), pino ayacahuite (*P. ayacahuite*), pino (*P. pringlei*), *P. duranguensis*, *P. chihuahuana*, *P. engelmani*, *P. lawsoni*, *P. oaxacana*, encino laurelillo (*Quercus laurina*), encino (*Q. magnoliifolia*), encino blanco (*Q. candicans*), roble (*Q. crassifolia*), encino quebracho (*Q. rugosa*), encino tesmilillo (*Q. crassipes*), encino cucharo (*Q. urbanii*), charrasquillo (*Q. microphylla*), encino colorado (*Q. castanea*), encino prieto (*Q. laeta*), laurelillo (*Q. mexicana*), *Q. glaucoides*, y *Q. scytophylla* (CONAFOR, 2012).

### 7.5.2.- Matorral xerófilo

En esta categoría están incluidos un conjunto grande de tipos de vegetación (matorrales rosetófilos, sarcocaulales, crasicaulales, etc.). Vegetación dominada por arbustos, típica de las zonas áridas y semiáridas (de ahí el nombre xerófilo). Se trata del tipo de vegetación más extenso en México. El número de endemismos en estas zonas es sumamente elevado. Debido a la escasez de agua y a que los suelos son pobres y someros, la agricultura se practica en pequeña escala, salvo donde hay posibilidades de riego. Por el contrario, la ganadería está sumamente extendida, y zonas muy grandes de matorral xerófilo están sobrepastoreadas. Las especies más características son: *Agrave lecheguilla*, *Hechtia spp.*, *Dasylíron spp.*, *Yucca filifera* y *spp.*, *Euphorbia antisphilitica*, *Fouqueria spp.*, y *Opuntia spp* (SEMARNAT, 2005).



**IMAGEN 8.** Mapa de vegetación de la zona de estudio. Se representa la distribución de los usos de suelo y vegetación según la serie 3 de INEGI, se puede observar una amplia distribución del uso denominado otros usos, el cual engloba un área importante de la cual no se tiene registro de los usos, es por ello que es conveniente generar mapas de los usos de los suelo más puntuales.

## 7.6.- CLIMOGARAMA DE THORNTHWAITE

Un climograma es un gráfico en el cual se representan las medias de temperaturas y precipitaciones de registros anuales y en este caso se presenta lo que corresponde a la evapotranspiración potencial, la cual es referida bajo la clasificación de Thornthwaite en la cual se utiliza el valor de evapotranspiración potencial, la cual hace referencia, al fenómeno inverso a la precipitación, la evapotranspiración potencial es la suma del agua que transpira la cubierta vegetal, más la evaporación del agua de la superficie del suelo, la evapotranspiración potencial se obtiene partir de la temperatura media y la radiación solar, este último factor hace referencia a la duración del día. Se presentan los climogramas correspondientes de los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco (**IMAGEN 9-10**) (ICT, 1972).

Para el cálculo del clima se toman en cuenta las variables de

- A. Temperatura media anual (T) en grados centígrados °C.
- B. Precipitación mensual en (P) en cm.
- C. Índice de calor mensual, el cual se calcula por la siguiente formula.

En donde:

i= índice de calor mensual

T= Temperatura media anual

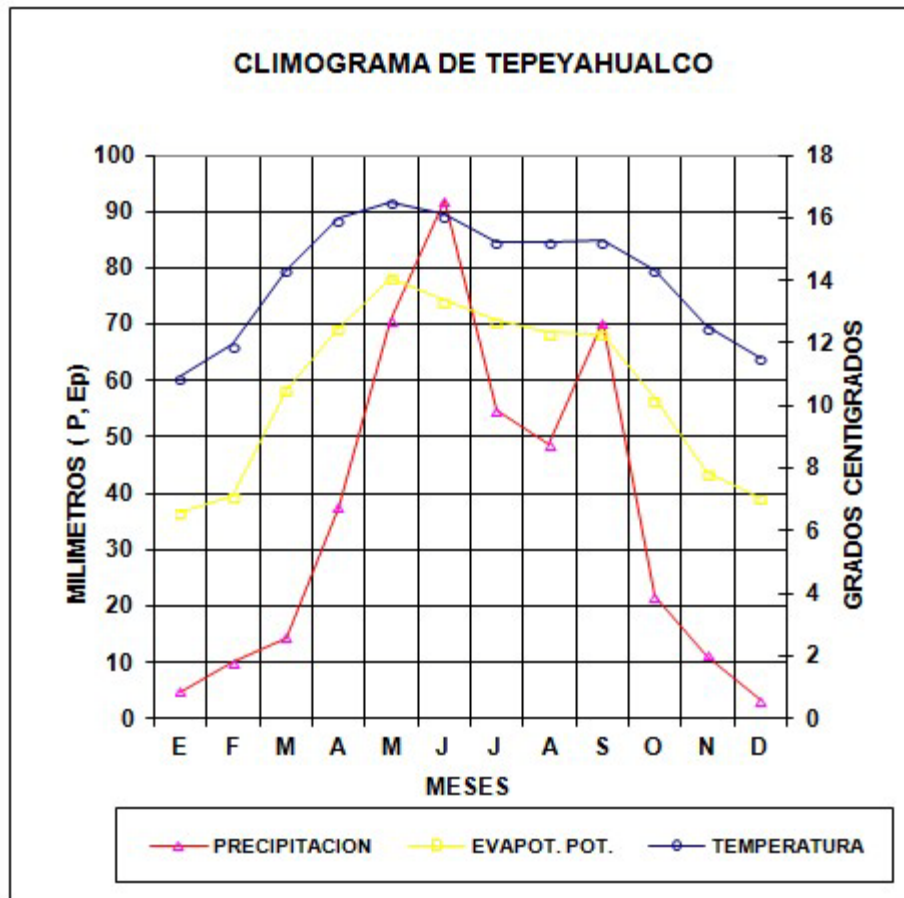
A la suma de los 12 valores de i es igual al índice de calor anual (I).

La evapotranspiración potencial (EP) se obtiene multiplicando el valor de la evapotranspiración potencial sin corregir (EP') por el factor (F) de corrección por latitud, esto se debe a los diferentes valores de iluminación que ocurren en diferentes latitudes (ICT, 1972).

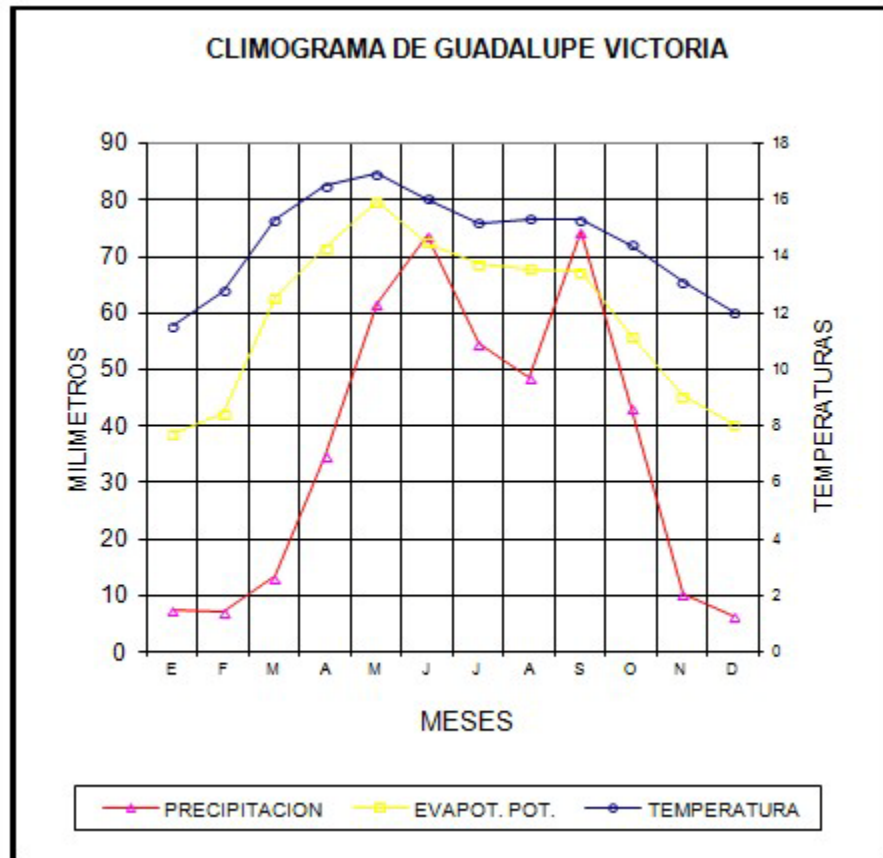
Evapotranspiración potencial sin corregir.

$$EP' = 1.6$$

Evapotranspiración potencial corregida.



**IMAGEN 9.** *Climograma del municipio de Tepeyahualco.* Donde se puede observar que la temperatura tiene como un mínimo registros de 11 grados centígrados en los meses de enero, febrero y diciembre y un máximo de 17 grados centígrados en el mes de mayo, mientras tanto los meses con menor precipitación son enero, febrero noviembre y diciembre. Lo cual denota que los meses con mayor estrés hídrico son enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre esto se debe a que el índice de evapotranspiración es mayor a la humedad del ambiente. (CONAGUA, 2012).



**IMAGEN 10.** *Climograma del municipio de Guadalupe Victoria.* En donde podemos observar registros de 11 grados centígrados en los meses de enero y diciembre mientras que la temperatura más alta se registró en mayo con 16.9 grados centígrados y sus precipitaciones se encuentran en el mes de septiembre y los meses más secos son enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre que es donde se presenta un estrés hídrico, puesto que la evapotranspiración es mayor a la humedad proporcionada por el ambiente (CONAGUA, 2012).

## 7.7.- FLORA Y FAUNA

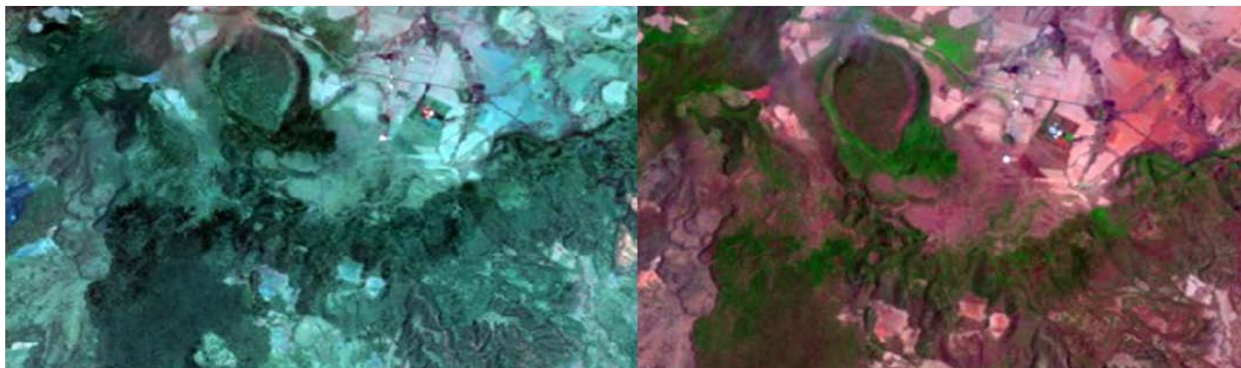
Las especies dominantes que integran estos estromatolitos son nuevas para la ciencia y el principal rasgo fisiográfico del lago es el estromatolito tipo esponjoso constituido por *Enthophy salistrata*, *Enthophysalis sp*, *Calothrix. parletina* y *Calothrix sp.* y el estromatolito tipo columnar constituido por *Enthophysalis lithophyla* y *Nitzchia sp.* Sobre esta cama de estromatolitos, en partes profundas del lago se desarrolla una comunidad abundante de *Cladophora* con un alto grado de epifitismo de cianoprocariontes (también especies nuevas) *Chamaesiphonhalophilus*, *Heteroleibleinia profunda*, *Mantellum rubrum* y *Xenococcuscan delariae*. También se han encontrado en fitoplancton, 23 géneros agrupados en tres divisiones: crisofita con catorce géneros, cianofita con cinco y clorofita con cuatro. Las especies dominantes a lo largo del año son *Agmenellum sp*, *Amphora sp.*, *Chaetoceros similis*, *Coscinodiscus sp.*, *Cyclotel lastrata*, *Nodularias pumigena*, *Stephanodiscus niagarae* y *Synechocystis sp* (CONABIO 2012).

En cuanto a la flora acuática a las especies mejor representadas en los lagos cráter son los hidrófitos enraizados emergentes *Eleocharismont evidensis*, *Juncusandicola*, *J. mexicanus*, *Phragmitesaustralis*, *Scirpuscali fornicus* y *Typha domingensis*; los hidrófitos enraizados sumergidos *Cyperuslae vigatus*, *Potamogeton pectinatus* y *Ruppia maritima* y el hidrófito libremente flotador *Lemnagibba*. La mayoría de estas especies son indicadoras de condiciones extremas caracterizadas por las altas concentraciones iónicas del agua y el pobre contenido de nutrientes.

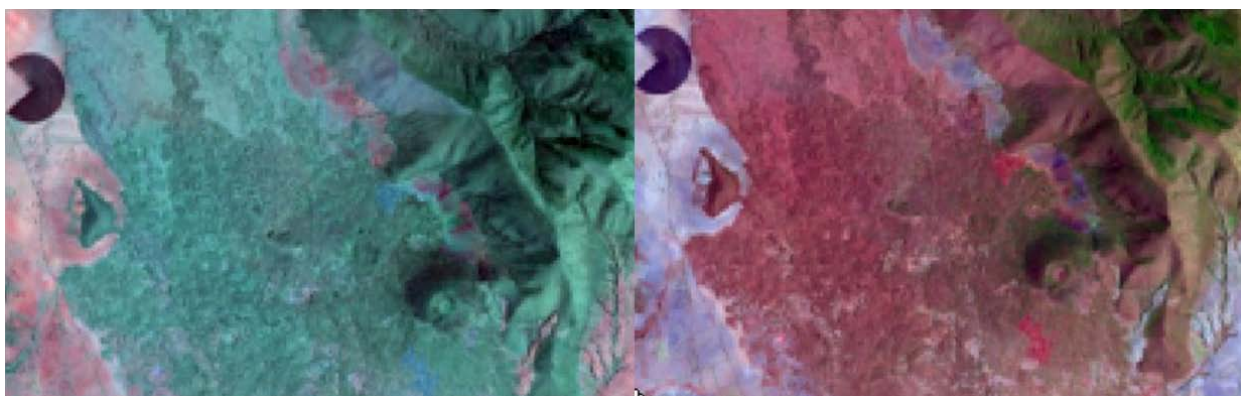
Endemismo del anfibio *Ambystoma subsalsum* y de peces como *Evarrabusta mantei*, *E. eigenmanni*, *E. tlahuacensis*, *Poblana alchichica alchichica*, *P. alchichica squamata*, *Poblana ferdebueni*, *P. letholepis*. Estas especies junto con *Chirostoma sp.*, y *Heterandria jonesi* se encuentran amenazados por desecación e introducción de especies exóticas y se caracterizan por presentar distribución restringida. Endemismos: de aves *Atlapete spileatus*, *Catharus occidentalis*, *Ergaticus ruber*, *Oriturus superciliosus*. Especies amenazadas: de aves *Buteo jamaicensis* y *Circusc yaneus* (CONABIO 2012).

## 7.8.- CARTOGRAFÍA

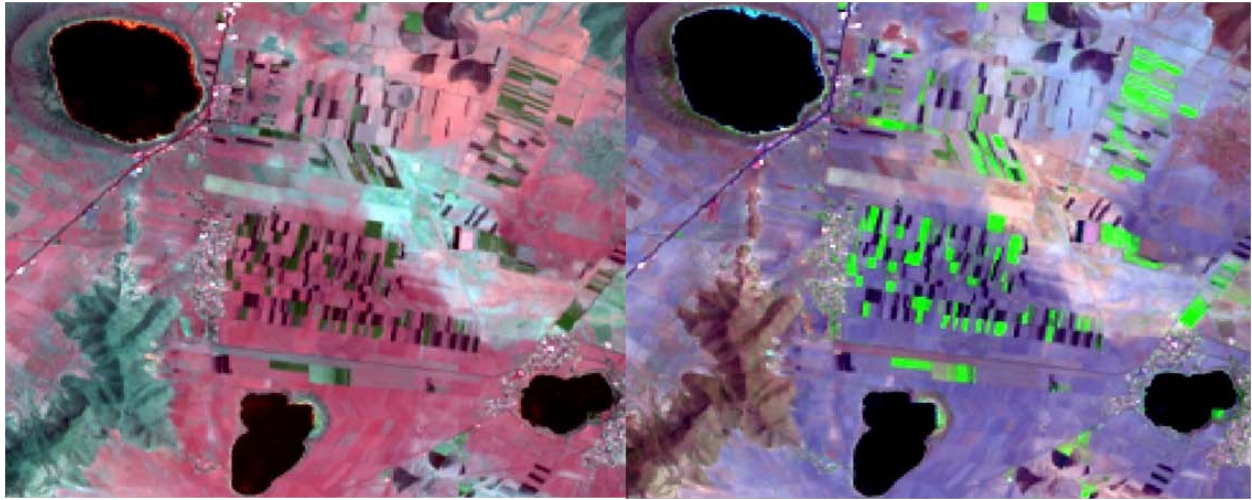
La metodología para generar la cartografía utilizada en el presente estudio se basa en lo descrito por Eastman 2006, comienza con la categorización de los usos de los suelos para la cual se utilizaron que son: Urbano, Agua, Bosque denso, Bosque fragmentado, Vegetación halófila, Pastizales, Suelo desnudo, Agrícola de riego, Agrícola de temporal y Matorral. (**IMAGEN 11-20**) de la clasificación de usos de suelo.



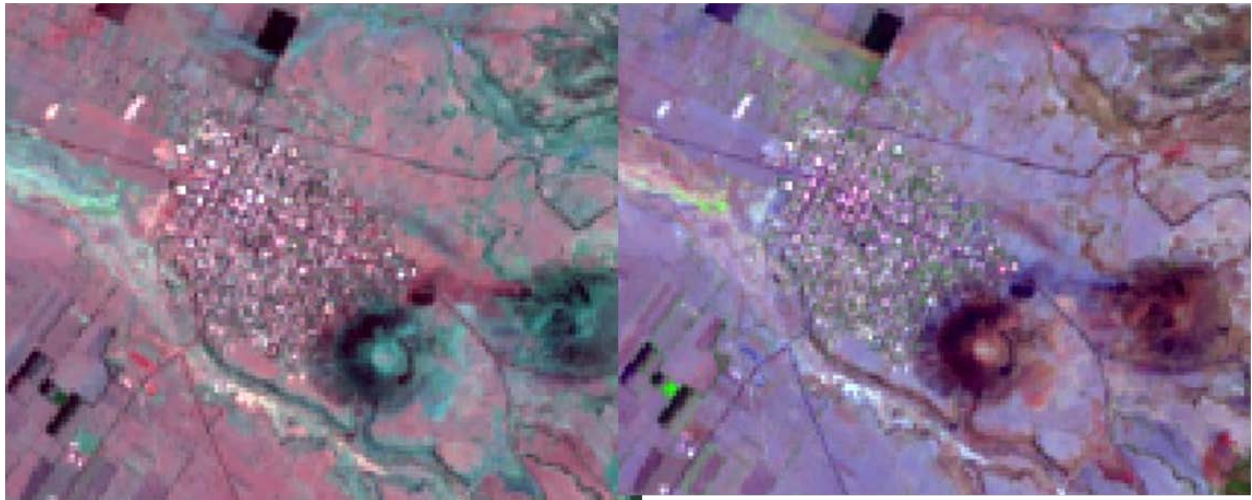
**IMAGEN 11.** *Representación del uso de suelo Bosque denso.* Para este tipo de suelo se buscaron las zonas con tonalidades más oscuras en las cuales se pueden observar conglomerados arbóreos densos



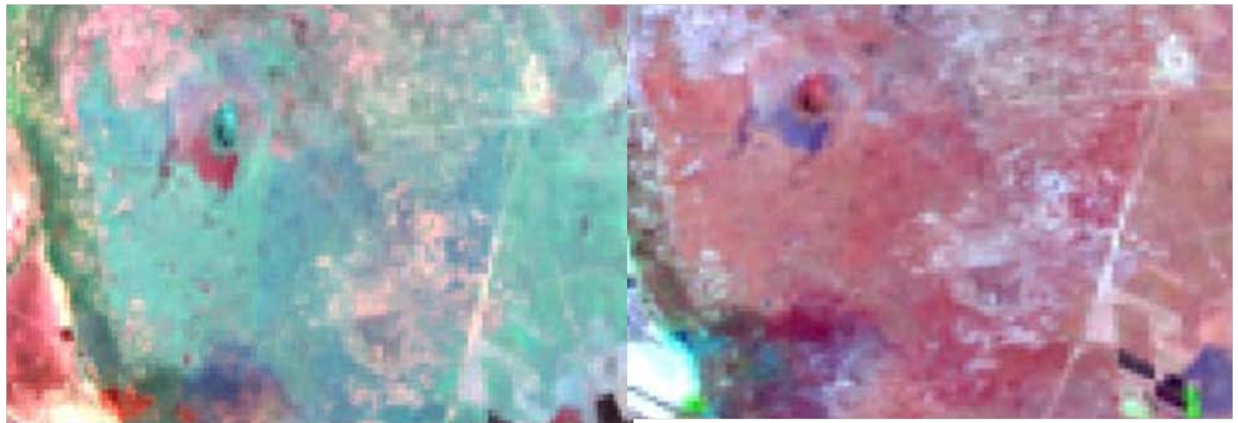
**IMAGEN 12.** *Representación del uso de suelo Bosque fragmentado.* Se busca aun una representación de manchones de copas de árboles, pero no obstante son manchones o con poca presencia de árboles con frecuencia de otros usos como matorral, pastizal o suelo desnudo.



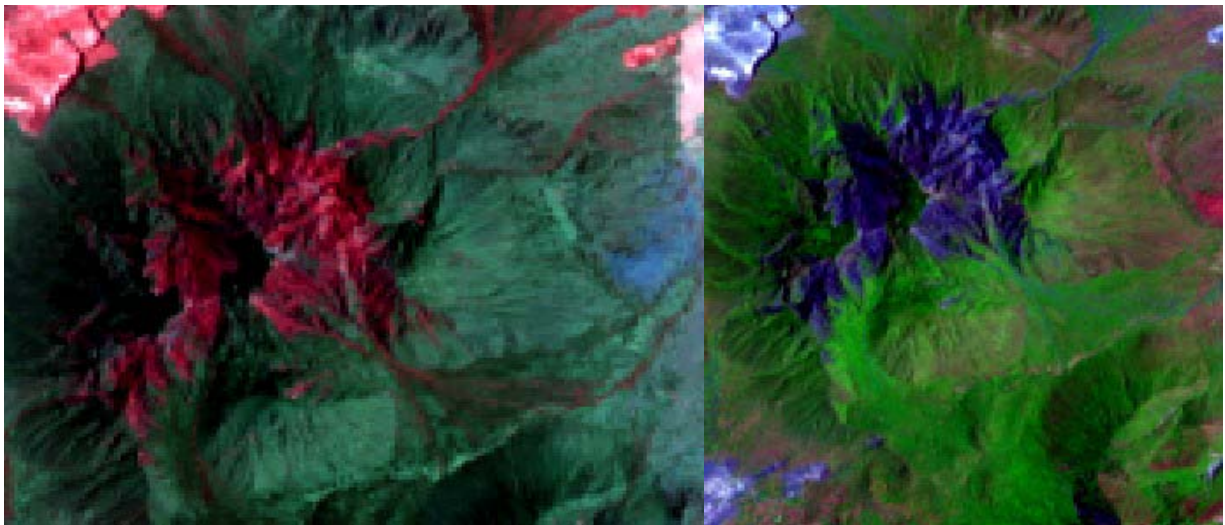
**IMAGEN 13.** *Representación del uso denominado Agua.* Es muy fácil localizarlo ya que solo hay cuatro cuerpos de agua que son los lagos cráter de la región.



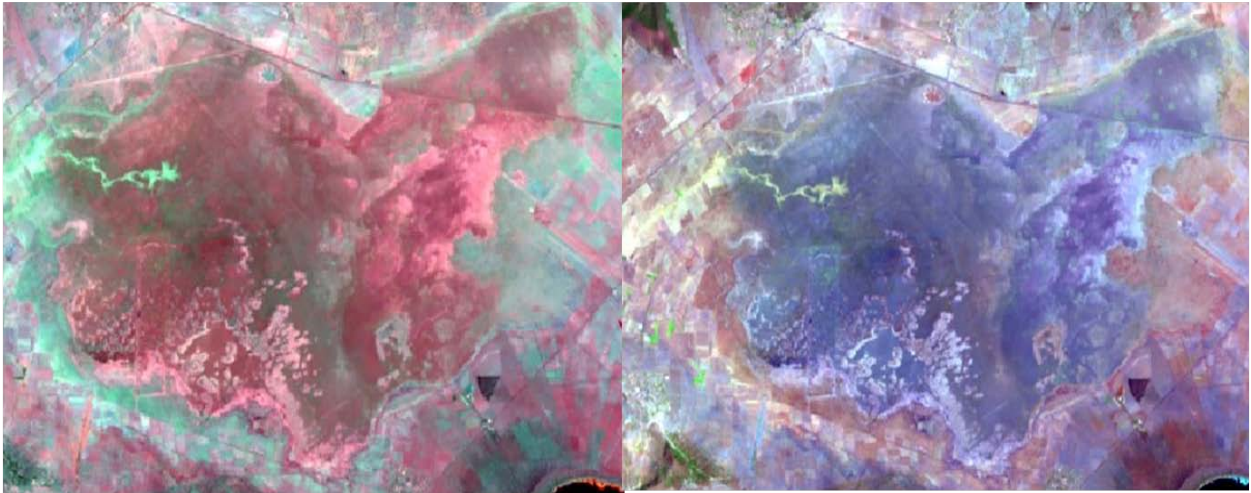
**IMAGEN 14.** *Representación del uso denominado Urbano.* En este uso cabe mencionar que posee variantes de acuerdo a la localización, porque no es lo mismo que se encuentre en el valle que a faldas de un cerro con vegetación de bosque, cada uso urbano es diferente es por ello que la delimitación de los mismos es de gran importancia.



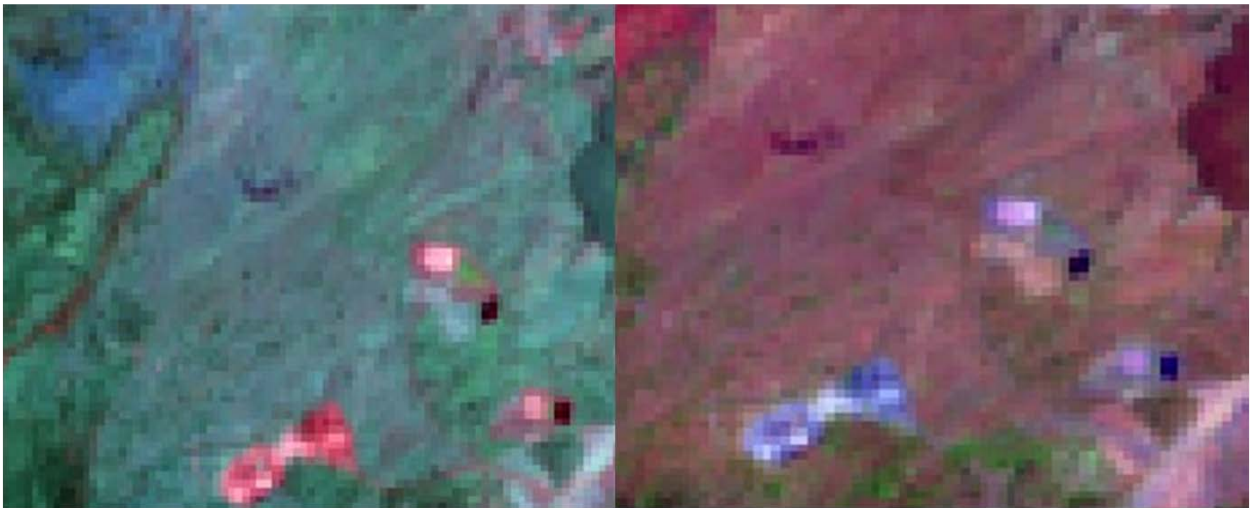
**IMAGEN 15.** Representación del uso denominado Pastizal. Se localiza en la inmediaciones entre bosque fragmentados, agrícolas matorrales entre otras, se localizan por tonalidades verdosas claras.



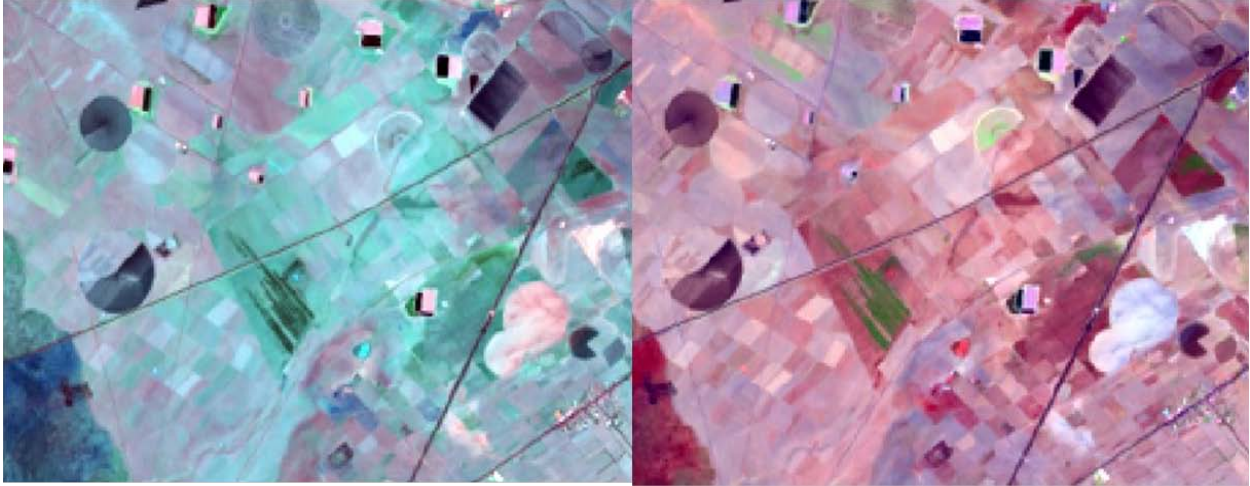
**IMAGEN 16.** Representación del uso denominado Suelo desnudo. Este uso de suelo se caracteriza por ausencia de vegetación, se presenta de tonalidades rojizas.



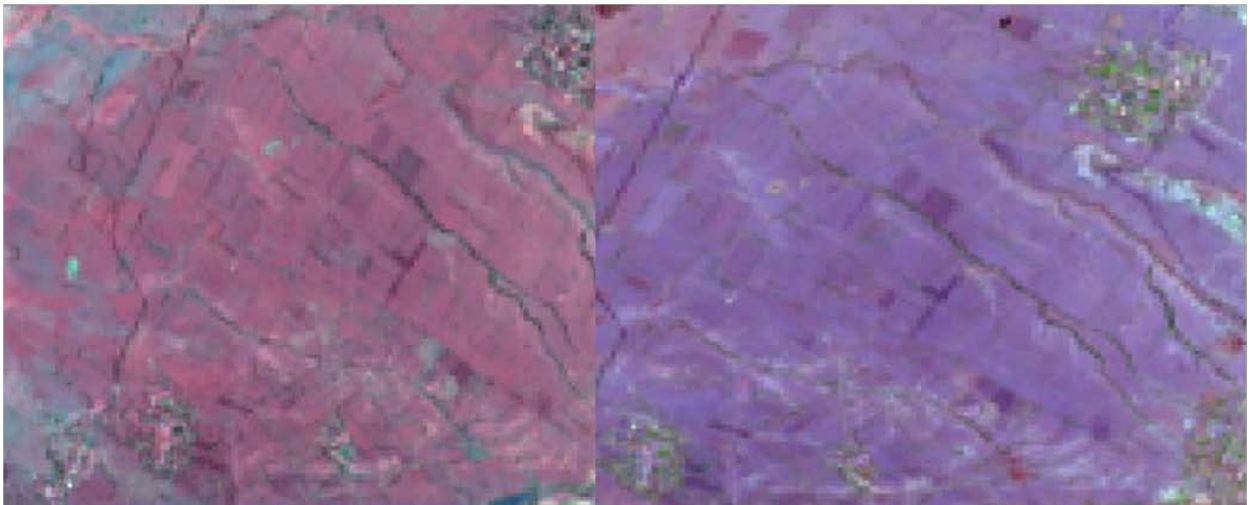
**IMAGEN 17.** Representación del uso denominado *Vegetación halófitas*. Son zonas inundadas con una alta concentración salina por lo cual poca vegetación se encuentra distribuida, se observan tonalidades rojizas y verdes.



**IMAGEN 18.** Representación del uso denominado *Matorral*. Se localizan en las transiciones de bosques, y agrícolas o pastizales y bosques, etc. Son zonas de color verde, que no llegan a ser predominantes.



**IMAGEN 19.** *Representación del uso denominado Agricultura de riego. Son zonas de agricultura que en la zona de estudio se ve caracterizada por la industrialización de los tipos de riego como se puede observar en la imagen los círculos, se distingue por el color más verdoso.*



**IMAGEN 20.** *Representación del uso denominado Agricultura de temporal. Al igual que la agricultura de riego se encuentra bien delimitada y fragmentada pero no obstante el color va de café a verde peor no tan intenso y brillante como es el caso de agricultura de riego.*

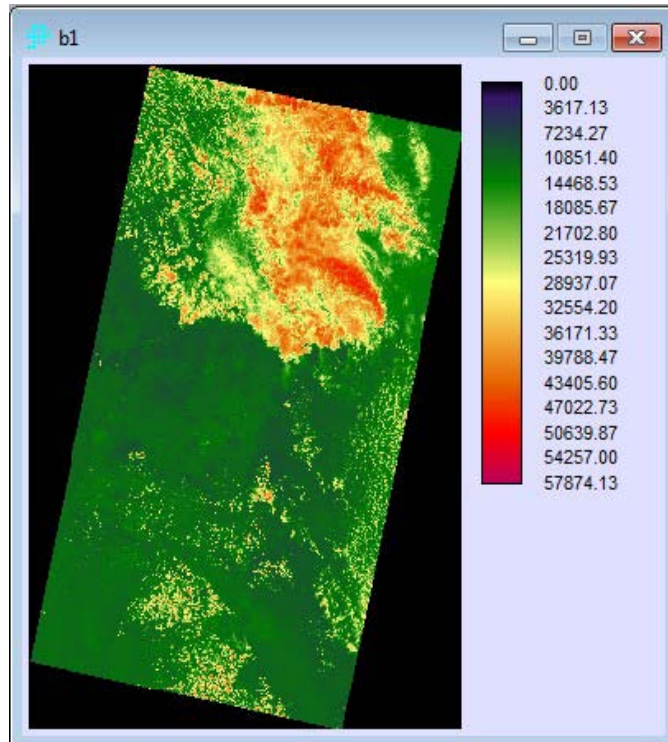
Se utilizaron imágenes de satélite LANDSAT\_1, LANDSAT\_5, LANDSAT\_7 y LANDSAT\_8, obtenidas de Glovis (Glovis, 2013). Las cuales se procesaron en IDRISI TAIGA versión 16 (**TABLA 4**).

**TABLA 4.** *Relación de imágenes Landsat utilizadas en el estudio.* Se muestra el total de bandas y la resolución de cada una de las bandas de las imágenes Landsat, así como el año y tipo de sensor con que fueron obtenidas.

AÑO	SENSOR	SATÉLITE	DATUM	RESOLUCIÓN	NÚMERO DE BANDAS
1972	MSS	LANDSAT_1	"WGS84"	79	8
1984	TM	LANDSAT_5	"WGS84"	30	14
1984	TM	LANDSAT_5	"WGS84"	120	
1993	ETM	LANDSAT_5	"WGS84"	30	16
1993	ETM	LANDSAT_5	"WGS84"	120	
2000	ETM	LANDSAT_7	"WGS84"	30	18
2000	ETM	LANDSAT_7	"WGS84"	15	
2013	OLI	LANDSAT_8	"WGS84"	30	24
2013	TIRS	LANDSAT_8	"WGS84"	100	

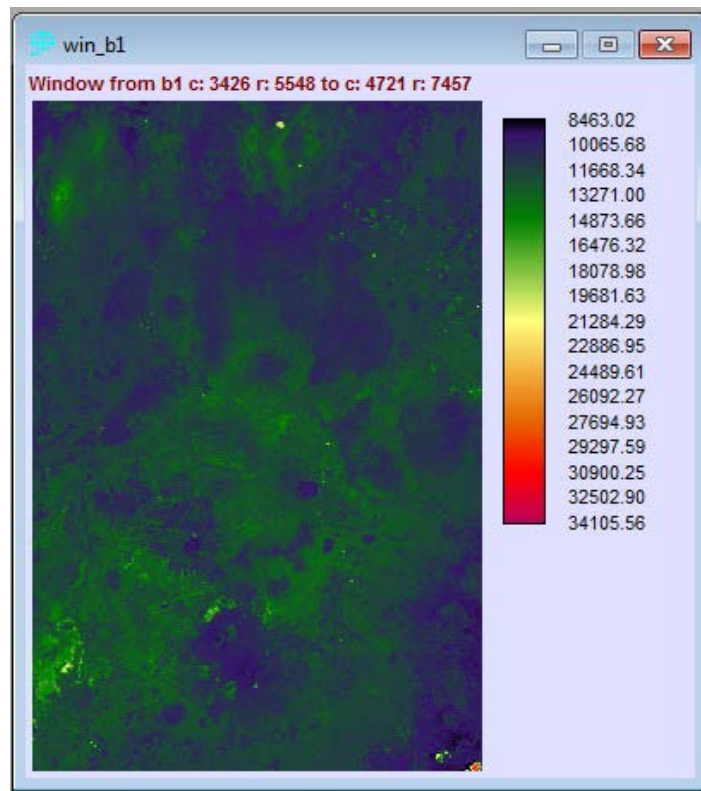
Las imágenes Landsat se trabajaron por año. Las imágenes correspondientes a 1972 y 1984, se les realizó un tratamiento previo el cual consistió en el cambio de datum de las imágenes de 1972 y una corrección en la georeferenciación de las imágenes de 1984 los dos procesos se realizaron con Arcgis 9.3, para después trabajarlas en el Software Idrisi TAIGA versión 16, se prosiguió a la importación de cada una de las bandas, para lo cual se descomprimieron con el Software Winrar, para después ser importadas a Idrisi por medio del módulo "LANDSAT ETM data to idrisi convertion", eligiendo la opción Geotif, puesto que es el formato en el cual se encuentran nuestras imágenes, se procedió a seleccionar una por una en orden de menor a mayor, una vez importadas se prosiguió a unir cada banda con su homónima por medio del módulo "MOSAIC" El efecto mosaico se refiere al proceso de combinación de características radiométricas de un grupo de imágenes que

ensamblan para producir un compuesto más grande, dentro de IDRISI, el módulo MOSAIC facilita el proceso. La lógica básica es ecualizar los promedios y varianzas de los valores almacenados en los grupos de imágenes, basándose en un análisis de valores comparativos en áreas superpuestas, la primera imagen especificada actúa como la principal a la cual se ajustan las otras imágenes ver (**IMAGEN 21**) (Eastman, 2012).



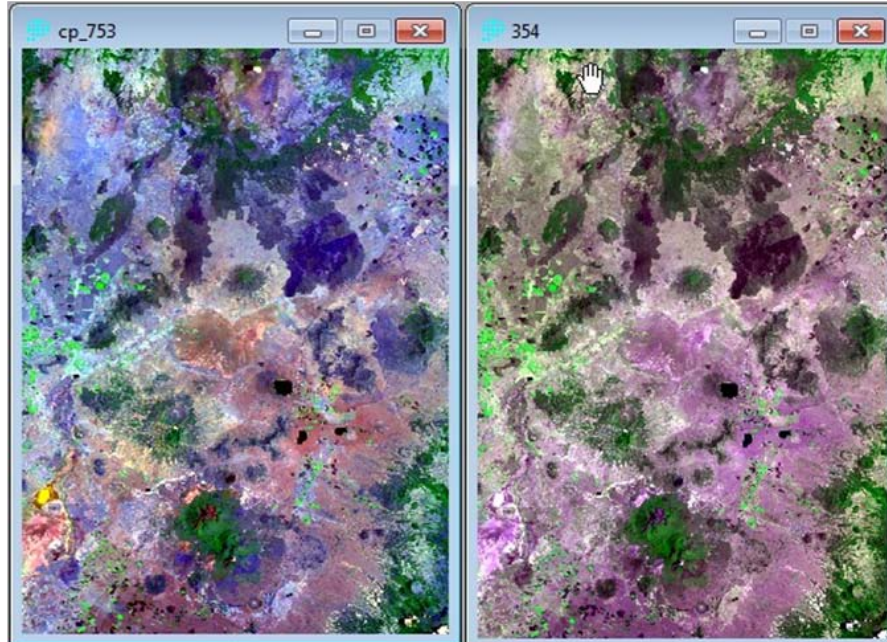
**IMAGEN 21.** *Ejemplo de Mosaic.* Correspondiente a la banda unión de las bandas uno del año 2013.

Este proceso se repitió con cada una de las bandas, una vez que se obtuvieron todos los mosaicos, se prosiguió a delimitar el área de estudio con una imagen que incluya los dos municipios, esta imagen se toma como base para delimitar el área de las nuevas imágenes, se les agrega el prefijo "Win\_" para poder identificarlas, el módulo "WINDOW" se usó para cambiar los límites de las imágenes raster, funciona guardando un subgrupo de imágenes de menor área, como una imagen nueva (**IMAGEN 22**) (Eastman, 2012).



**IMAGEN 22.** Ejemplo de un el resultado de Window, Esta imagen corresponde a el window de la banda 1 del mosaico de la banda 1 del año 2013.

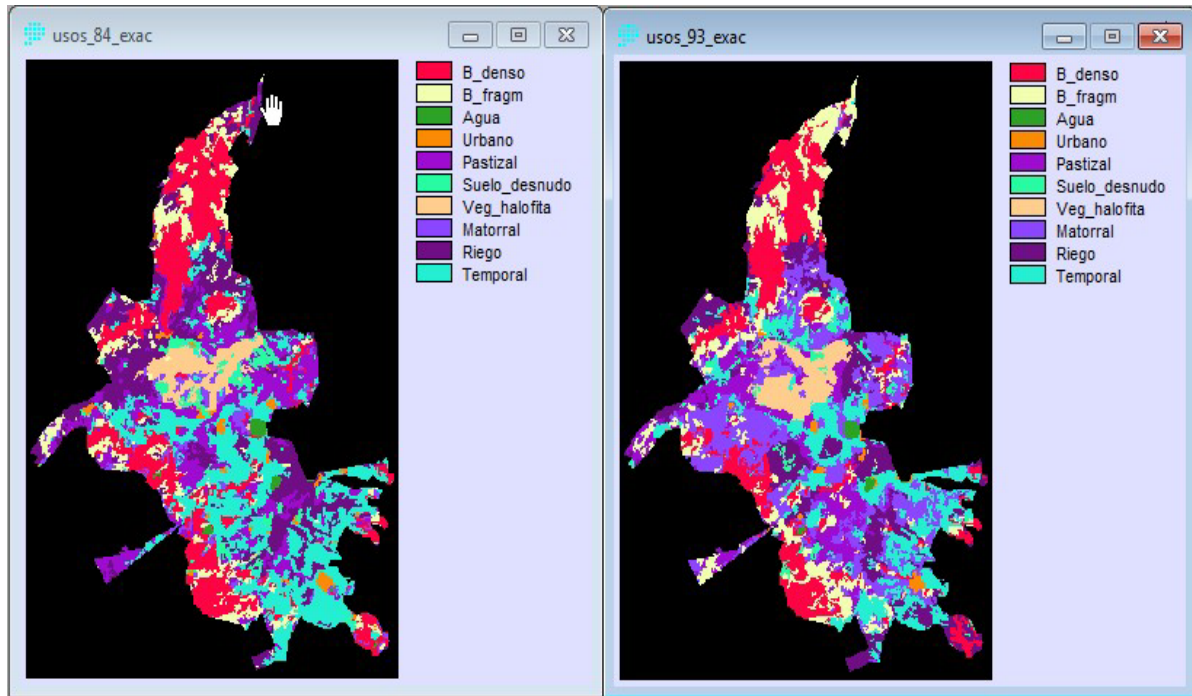
Una vez que se tienen los Windows, se prosigue a realizar los composites (compuestos), como resultado se tiene una imagen compuesta a color de 24 bits a partir de tres bandas de imágenes, para el análisis visual, los compuestos color hacen un uso total de las capacidades del ojo humano, dependiendo del sistema gráfico en uso, la generación de compuestos va desde la simple elección de las bandas a utilizar, hasta procedimientos más complejos de combinaciones de bandas y área de contraste asociadas. (**IMAGEN 23**) (Eastman, 2012).



**IMAGEN. 23.** *Composites o compuestos de 3 bandas.* Se muestran dos ejemplos de compuestos de bandas, el de la primera corresponde a la conjunción de las bandas 7, 5 y 3, mientras que la segunda corresponde a la conjunción de bandas 5, 3 y 4, ambos compuestos se utilizaron para la clasificación de los usos de suelo, por el contraste que se marca tanto en zonas boscosas, agrícolas y urbanas, estos compuestos corresponden a las imágenes Landsat del 2013.

Una vez que se realizaron los recortes con el módulo Window, se prosiguió a realizar una clasificación supervisada, para lo cual se necesita, fragmentar las imágenes en pequeños polígonos, para poder realizar nuestra clasificación, para esto se colocaron las bandas en el módulo "SEGMENTATION" Para lo cual se trabajó con una similitud de tolerancia de 40. Una vez que se obtiene esta segmentación se prosigue con la clasificación supervisada que consiste en primer paso en identificar los usos de suelo o sitios de entrenamiento dentro de la imagen, en este caso se realizó por cada uso de suelo un promedio de 200 el mayor y 10, el último caso se dio en el uso agua al ser una zona pequeña se logró categorizar con pocos puntos debido a su área pequeña. El software se utiliza para desarrollar una caracterización estadística de los reflejos por cada clase de información (uso de suelo), este paso se denomina análisis de firmas y puede ser una simple caracterización del medio o el rango de los reflejos por cada banda, una vez lograda la caracterización estadística de cada clase

de información, la imagen es clasificada a partir de examen de los valores por cada píxel y de la toma de decisión acerca de la cuál de las firmas se parece más. Con este procedimiento generamos lo que son los usos de suelo de los municipios de la zona de estudio (**IMAGEN 24**).



**IMAGEN 24.** Mapas de uso de suelo. Ejemplo de los mapas de cambios de uso de suelo de los años 1984 y 1993, estos mapas se trataron con un mapa booleano de los municipios, el cual nos permite visualizar solo el área de interés, en este caso los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco.

El análisis de la dinámica de cambio de uso de suelo se realiza asumiendo que estos mismos poseen un comportamiento estocástico, mediante una cadena de Markov de primer orden, a continuación se presenta un ejemplo de cadenas de Markov de primer orden tomado de Briceño, 2004. Se tienen tres categorías de uso de suelo 1,2 y 3, se inicia en el uso de suelo: (1) que se puede considerar como el estado natural, o no intervenido, el sistema puede cambiar al uso (2), un estado intervenido con actividades agrícolas o al uso (3), actividades urbanas y sus relacionados; también se puede dar el caso de que no cambie y permanezca en el uso (1) inicial. Entonces el proceso se puede describir como una serie de valores, de estados del sistema: 2,3,3,3,1,2,1,3,2..... $\alpha$ .

Si se detona la probabilidad de un cambio de  $i$  a  $j$  durante el intervalo de tiempo  $(t, t+1)$  con la expresión  $p_{ij}(t, t+1)$ . A esto se le denomina probabilidades de transición y son probabilidades condicionales por el estado previo o estado inicial (Bell, 1974; Briceño, 2004).

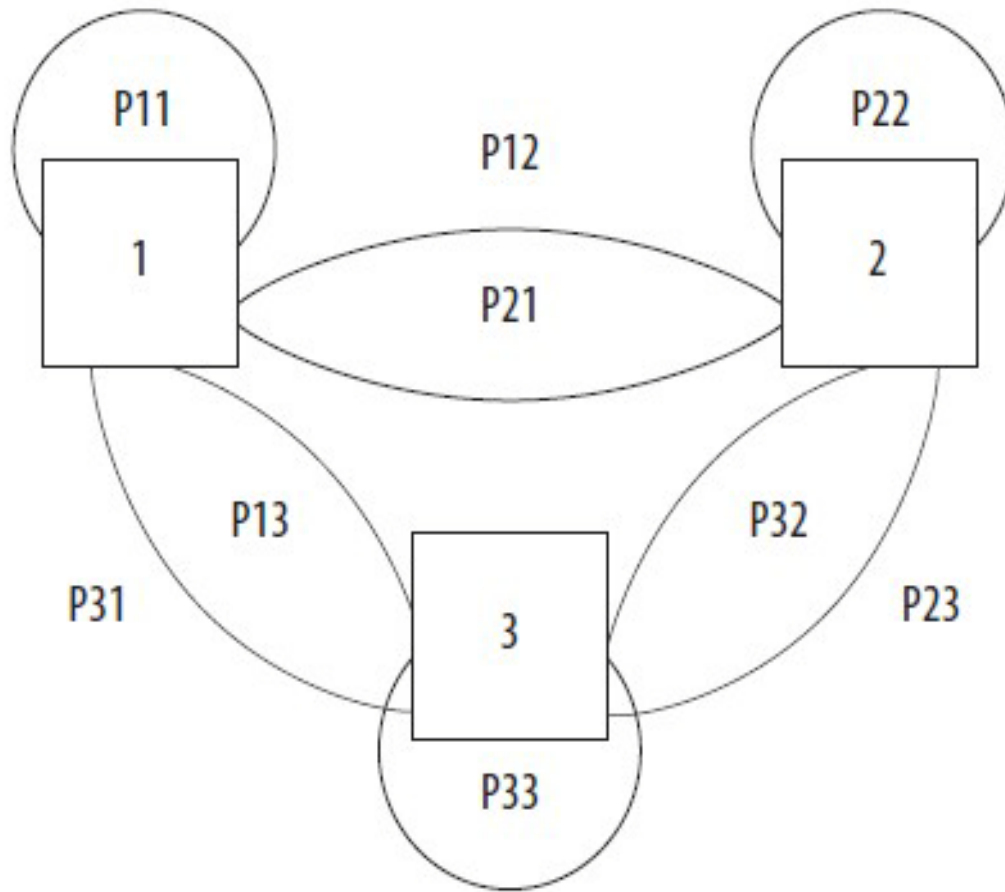
La matriz de probabilidades de transición, designada  $P_{ij}$  representa la probabilidad de moverse al estado  $j$  en un tiempo  $T_{r+1}$  dado que el proceso está en el estado  $i$  en el tiempo  $(t)$ , lo cual es el mecanismo básico en el proceso de Markov, que proporciona un modelo descriptivo y prospectivo para el análisis de cambio de usos de suelo y su distribución. Aplicando lo mencionado aun área se obtiene la probabilidad de que este en uso  $i=1$  en un tiempo  $(t)$ , representado por la expresión  $\pi_i(t)$ , y las probabilidad de un cambio de(1) a (2), o de  $i$  a  $j$  durante el intervalo de tiempo  $(t, t + 1)$  como  $P_{ij}(t, t+1)$ , entonces la probabilidad de que el área de estudio se encuentre en una categoría de uso de suelo  $j$  en un tiempo  $(t+1)$ , será dada por la expresión siguiente (**IMAGEN 25**).

Donde  $(n)$  es el número de categorías de uso.

Simplificando, se tiene que la distribución de las probabilidades de las variables aleatorias de uso del suelo en tiempo  $(t+1)$ , será dada por la multiplicación matricial que a continuación se expresa.

Y para el caso donde las probabilidades de transición dependen solo del intervalo de tiempo  $(t, t+1)$  se considera que el proceso es temporalmente homogéneo, pudiendo escribirse la ecuación anterior:

De esta manera, el proceso de Markov se lleva a efecto mediante operaciones entre matrices pudiendo hacerse de forma automatizada, con el software apropiado, obteniéndose la matriz de conteo Sherer 1972, generada de la tabulación cruzada de los datos de dos fechas que poseen la misma clasificación. A partir de la matriz de probabilidades de transición o de tabulación cruzada proporcional, se genera la matriz de probabilidades condicionales que permite hacer el pronóstico de los cambios de función de probabilidades de cambio ver imagen 25 (Briceño, 2004).



**IMAGEN 25.** Probabilidades de cambio de usos. 1 Bosque natural no intervenido, 2 Área intervenida con uso agrícola, 3 Uso urbano, fuente Bell, E. 1974; Briceño, 2004.

Para identificar las áreas más propensas a los cambios, se comparan cartográficamente, para cada transición, la localización de los cambios respecto a diferentes variables explicativas cartografiadas. Esta comparación permite establecer una relación entre el potencial de cambio y las variables a través de diferentes enfoques como análisis multicriterio, regresiones, peso de evidencias o redes neuronales, entre otros (Jean-Francois, 2011).

Las redes neuronales artificiales fueron originalmente una simulación abstracta de los sistemas nerviosos biológicos, formadas por un conjunto de unidades llamadas neuronas o nodos, conectadas unas a otras. Estas conexiones poseen gran similitud con las dendritas y los axones en los sistemas nerviosos biológicos, según Sharle en 1994 las redes neuronales artificiales son una amplia gama de regresiones no lineales,

modelos discriminantes, modelos de reducción de datos y sistemas dinámicos no lineales (Rodríguez, 2002).

Desde otro punto de vista Haykin en 1994 conceptualiza a las redes neuronales artificiales como una unidad de proceso masivo distribuido en paralelo que tiene una propensión a guardar conocimiento y usarlo en una situación similar. Esto asemeja al cerebro humano por el proceso de aprendizaje y por la conexión neuronal (Rodríguez, 2002).

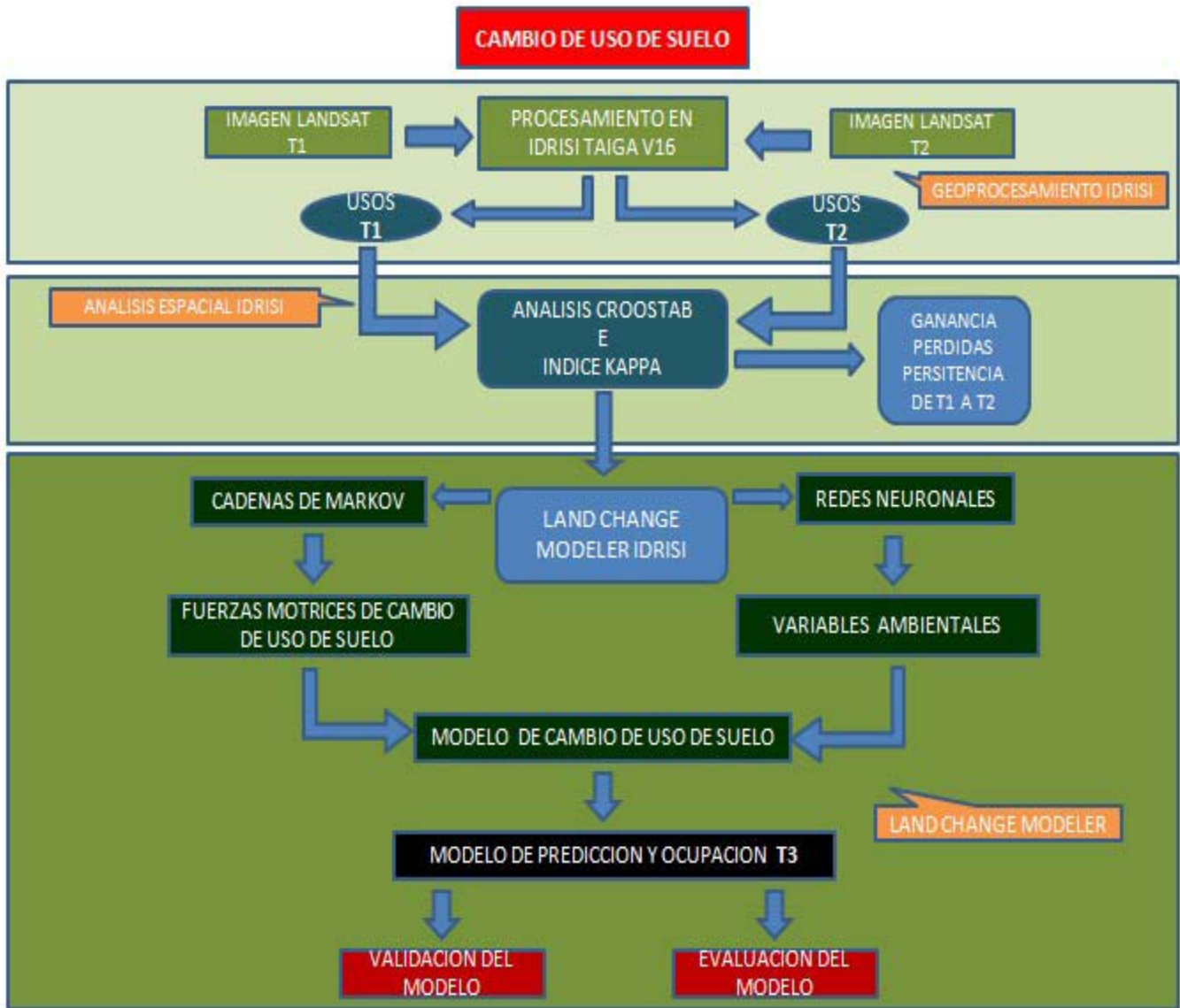
Las redes neuronales se utilizan principalmente en modelos de sistemas nerviosos biológicos, inteligencia artificial, adaptador en tiempo real en procesos simples. La primera parte de una red neuronal es la función de activación denotada por  $q$ , la cual define la salida de una neurona en términos del nivel de activación de la neurona de entrada. Esta función de entrada es generalmente alguna forma de función no lineal.

La segunda parte se compone de la topología de las redes neuronales que consiste en la organización y disposición de las neuronas en la red, formando capas o agrupaciones neuronales más o menos alejadas de la entrada y salida de la red, los parámetros fundamentales son, numero de capas, numero de neuronas por capas, su conectividad y tipo de conexión. Las fase de aprendizaje se considera el proceso por medio del cual la red neuronal modifica sus pesos en respuesta a una información, a través de una época, se dice época cuando todo el conjunto ha sido presentado a la red, los cambios que se producen durante el proceso de aprendizaje se reducen a la modificación y creación de conexiones entre neuronas (Rodríguez, 2002).

El módulo de “LAN CHANGE” agrupa tanto las cadenas de Markov como las redes neuronales, para la que el corrimiento del módulo sea correcto se necesitan, un modelo digital de elevaciones de la zona de estudio, las 19 variables bioclimáticas ver cuadro 5, así como los usos de suelo de 1972, 1984, 1993, 2000 y 2003, para poder realizar las transiciones y predicciones, a partir de mapas de usos de suelo, se ingresaron 19 variables bioclimáticas obtenidas de Bioclim ver **(TABLA 5)**, la metodología se esquematiza en la **(IMAGEN 26)**.

**TABLA 5.** *Variables bioclimáticas, se obtuvieron de inegi y bioclim. Se generó un recorte para el área de estudio, esto se hace para delimitar correctamente todas las variables.*

VARIABLE	SIGNIFICADO
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima-Temp. Mínima)
BIO3	Isotermalidad $(Bio2/Bio7)(*100)$
BIO4	Estacionalidad de temperatura (Desviación estándar *100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango de temperatura anual (Bio5-Bio6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más caliente
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación total anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestres más caliente
BIO19	precipitación del trimestre más frío



**IMAGEN 26.** Esquema de *metodología esquematizada*. Por medio de la percepción remota se realiza la selección de áreas de muestreo representativas de los nueve usos de suelo presentes en la zona de estudio, para ser trabajadas por medio de IDRISI TAIGA V16, para generar los cambios de uso de suelo de cada año, y procesarlo en el módulo. Cadenas de Markov, para la obtención del cambio y la cantidad de uso de suelo, para la obtención de la tasa de magnitud de cambio de uso de suelo y la persistencia de los usos para procesarlo en el algoritmo de distribución espacial para obtener el modelo a futuro del cambio de uso de los suelos de la zona de estudio.

## **7.9.- ANALISIS CROSTAB E INDICE KAPPA**

### **7.9.1.- Tabulación cruzada (Análisis crosstab).**

Con los datos cualitativos se debe usar un Crosstab, (tabulación cruzada o matriz de confusión) para el análisis de cambio entre imágenes y por otra parte, existen varios tipos de producción que pueden ser útiles, una tabla de tabulación cruzada nos muestra las frecuencias con las cuales las clases han permanecido iguales (las frecuencias a lo largo de la diagonal) o han cambiado (las frecuencias fuera de la diagonal), en otras palabras la diagonal representa el número de sitios de verificación para los cuales existe una concordancia entre el mapa y los datos de referencia, mientras los marginales nos indican los errores de asignación.

Para generar un crosstab Colganton (1991) sugiere realizar una normalización o estandarización de nuestra matriz, esta se lleva a cabo un ajuste interactivo para que las filas y columnas de la matriz nos sumen 1, y nos argumenta que dicha normalización nos permite ajustar los valores de la matriz tomando en cuenta las filas y columnas, este paso permite modificar los valores de la diagonal y nos permite calcular un valor de confiabilidad global normalizado que representa mejor la calidad del mapa (Francois, 2003).

### **7.9.2.- El índice Kappa (KIA)**

Indica el grado de acuerdo entre los dos mapas, ambos en un sentido general y sobre una base categórica. Puede haber coincidencia de resultados sin que exista más que puro azar, no el mismo criterio en la decisión, (Arvaira). Es deseable que un índice de concordancia tenga en cuenta este hecho, y que de algún modo indique el grado de desacuerdo, encima del esperado al azar, es por ello que Cohen propuso el denominado Índice Kappa (K) que se definió como:

$$k = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Siendo ( $P_o$ ) la porción de acuerdos observados y ( $P_e$ ) la proporción de acuerdos esperados en la hipótesis de independencia entre los observadores, es decir, de acuerdos por azar.

El índice Kappa ( $k$ ) se usa para evaluar la concordancia o reproductibilidad de instrumentos de medida cuyo resultado es categórico (dos o más categorías).

Representa la proporción de acuerdos observados más allá de azar respecto al máximo acuerdo posible más allá de azar.

En la interpretación del índice Kappa ( $k$ ) hay que tener en cuenta que el índice depende del acuerdo observado, pero también de la prevalencia del carácter estudiado y de la simetría de los totales marginales.

Desde la propuesta inicial de Cohen el índice  $k$  ha sido progresivamente generalizado a clasificaciones multinomiales (con más de dos categorías), ordinales, a más de dos observadores, a diseños incompletos y a todas estas situaciones combinadas, generalizaciones que suponen una mayor complejidad en el cálculo pero que mantienen la misma interpretación. Esta interpretación está dificultada por algunos efectos poco intuitivos. En primer lugar, el índice  $k$  depende de la prevalencia del carácter observado: Cuanto más cerca esté de 0 o de 1, menor es el índice  $k$  para igual proporción de acuerdos observados. En segundo lugar, depende de la simetría de los totales marginales: en igualdad de acuerdos observados, cuanto menor sea la diferencia entre las prevalencias observadas por cada observador, menor es el índice  $k$  cuadro de valor de índice KAPPA ( $k_{ia}$ ) (Arvaira, 2010) **(TABLA 6)**.

Para la detección de cambio utilizo un análisis multitemporal postclasificadorio, traslapando los mapas temáticos de cada año realizando las comparaciones de 1972-1993, 1993-2000 y 2000-2013. La matriz de detección de cambio permite calcular la conjugación lógica de todas las combinaciones posibles de las clases representadas en los dos mapas, en donde la diagonal superior de la matriz representa pixeles de la misma clase en ambas fechas, es decir pixeles sin cambio, con esta matriz se puede calcular, el porcentaje de área de estudio sin cambio, así como el valor del coeficiente kappa (Eastman *et al.* 2012), para cada una de las comparaciones.

**TABLA 6.** *Relación de la nomenclatura de los valores del índice kappa. Así como una interpretación textual.*

<b>KAPPA (K)</b>	<b>GRADO DE CONCORDANCIA</b>
<0.0	SIN ACUERDO
0.00-0.20	POBRE
0.21-0.40	DÉBIL
0.41-0.60	MODERADO
0.61-80	BUENA
0.81-1.00	MUY BUENA

## 8.- RESULTADOS

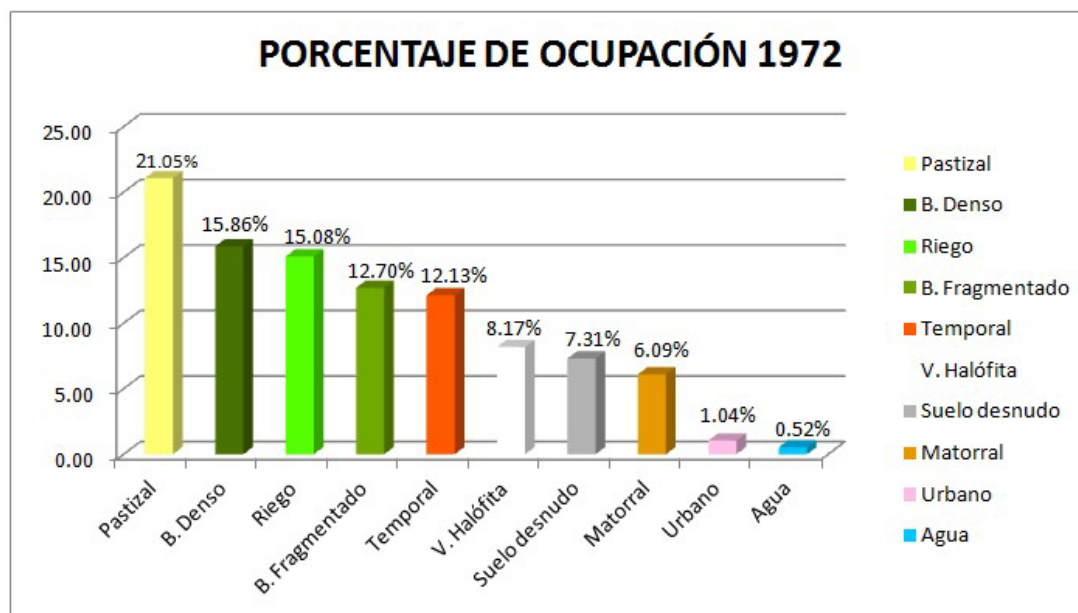
El estudio de cambio de uso de suelo realizado para los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco ubicados en el Valle de Libres-Oriental Puebla, se realizó a partir de imágenes Landsat, obtenidas de [www.glovis.usgs.gov](http://www.glovis.usgs.gov). La digitalización se realizó bajo la plataforma de IDRISI TAIGA v16, por medio de una clasificación supervisada. Las imágenes se trabajaron con una resolución de 30 metros. Con el módulo Land Change Modeler se realizó un análisis de cambio de usos del suelo entre los años 1972, 1984, 1993, 2000 y 2013, así como su validación y prospección. A través de este módulo, también se obtuvieron la persistencia, las pérdidas y las ganancias de los usos del suelo, y la transición de cada uso de suelo y las predicciones de los años 2025 y 2050 (**TABLA 7**).

**TABLA 7.** *Relación de ganancias, pérdidas y persistencias* en las transiciones correspondientes a 1972-1984, 1984-1993, 1993-2000 y 2000-2013. La tabla se divide por interacciones nombradas sección (A, B, C, y D) y subdividida en cada uso de suelo dando el resultado en porcentaje.

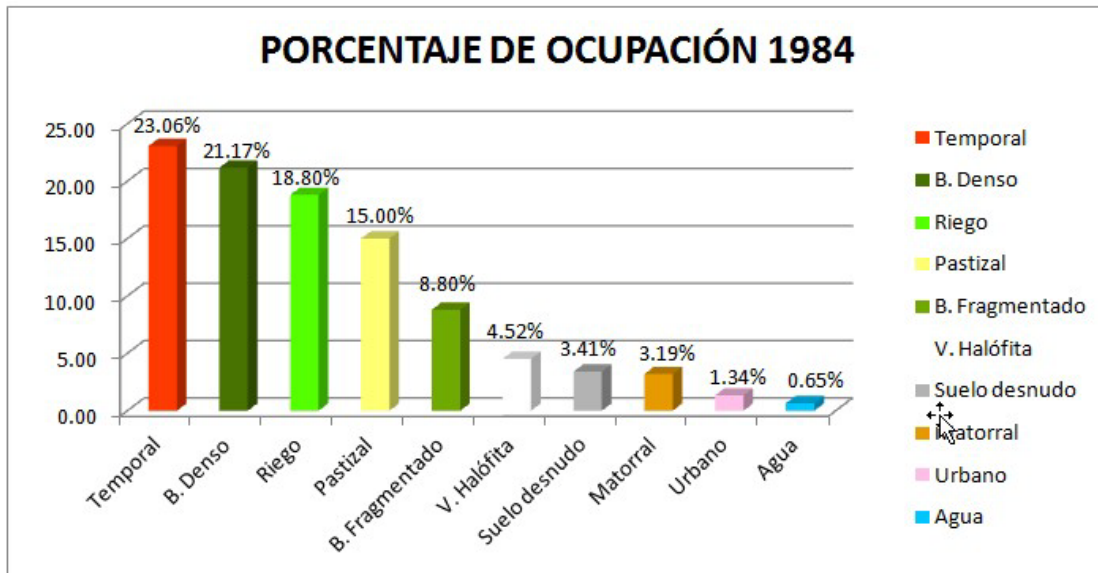
USO DE SUELO	(A) 1972-1984			(B) 1984-1993			(C) 1993-2000			(D) 2000-2013		
	PERDIDAS	GANANCIA	PERSISTENCIA	PERDIDAS	GANANCIA	PERSISTENCIA	PERDIDAS	GANANCIA	PERSISTENCIA	PERDIDAS	GANANCIA	PERSISTENCIA
BOSQUE DENSO	2.96	8.27	12.91	5.37	2.25	15.58	5.39	1.77	12.66	7.17	3.88	7.26
BOSQUE FRAGMENTADO	8.67	4.77	4.03	3.73	8.25	5	7.26	4.22	6.06	4.97	13.31	5.31
AGUA	0.14	0.27	0.39	0.14	0.01	0.51	0.01	0	0.51	0.01	0.01	0.51
URBANO	0.22	0.51	0.83	0.88	0.37	0.46	0.46	0.34	0.37	0.17	1.16	0.55
PASTIZAL	16.96	10.91	4.1	11.65	7.13	3.31	7.51	4.87	2.97	7.66	11.02	0.18
SUELO DESNUDO	5.95	2.05	1.36	2.99	1.89	0.42	1.54	4.57	0.77	4.66	1.13	0.68
VEGETACION HALÓFITA	6.05	2.4	2.13	1.98	2.52	2.51	1.46	1.59	3.6	0.95	1.54	4.24
MATORRAL	6.04	3.15	0.05	2.6	19	0.59	17.14	4.98	2.47	6.65	7.12	0.8
AGRICULTURA DE RIEGO	9.28	13	5.81	12.99	8.44	5.73	7.23	9.79	7.02	13.5	3.2	3.31
AGRICULTURA DE TEMPORAL	6.86	17.8	5.27	14.96	7.42	7.99	4.15	20.05	11.38	13.64	17.01	17.79

## 8.1.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 1972-1984

El uso dominante en el año 1972 es el pastizal, que posee una extensión de 14,421.6 has que corresponde al 21% del territorio de ambos municipios, seguido del uso bosque denso con 10,864.8 has equivalentes al 15.86% del territorio. Por otro lado los usos del suelo con menor superficie son el agua y el uso del suelo urbano (**IMAGEN 27 e IMAGEN 1 del Anexo Cartográfico**). Mientras que en el mapa de usos de suelo de 1984 (**IMAGEN 28 e IMAGEN 2 del AC**) muestra que el uso del suelo dominante es la Agricultura de temporal, la cual ocupa una extensión de 15,799.4 has equivalente a 23% del territorio, seguido del bosque denso el cual posee una extensión de 14,502.15 has que equivale al 21.18% del territorio de los dos municipios, mientras que los usos agua y urbano siguen siendo los usos con menor superficie, ocupando el 1.34% y 0.66% respectivamente.



**IMAGEN 27.** *Porcentaje de ocupación 1972.* Se observa una dominancia en cuanto a la extensión porcentual de los usos de suelo de tipo natural, siendo los usos dominantes el Pastizal y Bosques densos; mientras que los usos agrícolas se encuentran en tercero y quinto lugar en cuanto a extensión porcentual de territorio del área de estudio.



**IMAGEN 28.** Gráfico de porcentaje de ocupación 1984. En donde se observa la dominancia de los usos agrícolas, en los que se encuentran las categorías agricultura de temporal y agricultura de riego, mientras que los usos correspondientes a urbano y agua siguen siendo los de menor ocupación con 1.34% y 0.55% correspondientemente.

### 8.1.1.- Análisis CROSSTAB 1972-1984

De acuerdo con el análisis CROSSTAB el uso del suelo que presento mayores cambios es el uso de pastizal con una ganancia de 16.96% de área, mientras que Bosque denso es el uso con mayor persistencia con un 12.91%. Finalmente el uso de suelo que registro mayor perdida en esta transición es el uso denominado pastizal con 17.80% (**TABLA 8**). El índice Kappa mide la concordancia por categoría de uso del suelo, siendo para la transición 1972 a 1984 la del uso agua, la que obtuvo un valor de 0.99 y Bosque denso con 0.87 mientras que Matorral y Pastizal son los uso con valores más bajos en relación al índice Kappa con 0.02 y 0.16 respectivamente (**TABLA 9**).

**TABLA 8.** Análisis CROSSTAB, correspondiente a la transición de 1972 a 1984, por encima de la diagonal se registran las ganancias en relación a cada uso de suelo, la diagonal nos representa las persistencias, mientras que lo que se encuentra por debajo de la diagonal son las pérdidas registradas en la transición. Se tomaron en cuenta sólo los cambios mayores a 500 hectáreas (IMAGEN 6 AC).

		AÑO 1972										
USOS		B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal	Total
A Ñ O  1 9 8 4	B. Denso	12.91	4.52	0.05	0.01	0.24	0.37	0.22	0.45	1.44	0.96	21.18
	B. Fragmentado	1.49	4.03	0	0	0.21	0.2	0.15	0.64	1.45	0.63	8.8
	Agua	0.09	0.01	0.39	0	0.01	0.14	0	0	0	0.01	0.66
	Urbano	0.01	0.01	0	0.83	0.19	0.04	0.15	0.01	0.07	0.03	1.34
	Pastizal	0.28	1.03	0	0.02	4.1	2.01	1.77	1	3.16	1.64	15
	Suelo desnudo	0.09	0.05	0	0	0.38	1.36	1	0.05	0.32	0.16	3.41
	V. Halófito	0	0.05	0	0	1	0.82	2.13	0.26	0.18	0.08	4.53
	Matorral	0.25	0.52	0.01	0.01	0.3	0.34	0.79	0.05	0.49	0.44	3.2
	A. Riego	0.38	1.5	0.02	0.1	3.75	1.3	1.36	1.68	5.81	2.9	18.81
	A. Temporal	0.35	0.99	0.06	0.07	10.88	0.72	0.62	1.95	2.16	5.27	23.07
<b>TOTAL</b>		15.86	12.7	0.53	1.05	21.06	7.31	8.18	6.09	15.09	12.13	100

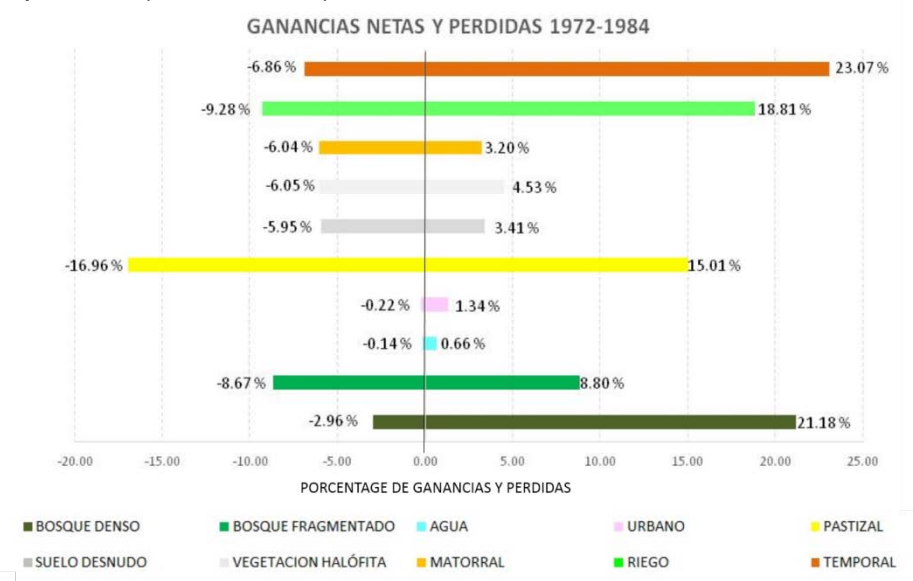
**TABLA 9** Índice Kappa por uso de suelo 1972-1984. En la tabla se muestran los resultados del índice Kappa correspondiente a la transición 1972-1984.

USOS	KAPPA
Bosque Denso	0.87
Bosque Fragmentado	0.31
Agua	0.99
Urbano	0.55
Pastizal	0.16
Suelo Desnudo	0.17
Vegetacion Halófito	0.49
Matorral	0.02
Agricultura de Riego	0.37
Agricultura de Temporal	0.56

### 8.1.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 1972-1984

Como se puede apreciar en la sección A de la (TABLA 7) existe una fuerte intensificación del uso del suelo hacia sistemas agrícolas de temporal y de riego (ganancias y persistencias); lo cual indica un incremento de la actividad antropogénica en el área de estudio teniendo como prioridad los usos agrícolas.

Al evaluar la transición entre los usos de los suelos de 1972 y 1984, se observa que el uso de suelo que perdió más extensión fue el uso denominado pastizal con 11,615 has, equivalente al 16.96%, y teniendo una ganancia 7,470 has que corresponde a 10.91%. Mientras que, el bosque fragmentado obtuvo una ganancia de 5,939 has (8.97% del territorio), y una pérdida de 3,268 has (2.96% del territorio). Sin en cambio los usos de suelo que presentan menor ganancia y pérdida son el uso agua (con 95 has de ganancia, y 185 has de pérdida) y el urbano (con una pérdida de 149 has y una ganancia de 352 has), ver la sección A de la TABLA 7 correspondiente a ganancias, pérdidas y persistencias en la transición de 1972 a 1984. Para la obtención de ganancias netas se sumaron ganancias y persistencias, se comparan con las pérdidas, se observa una dominancia de Agricultura de temporal con 23.07% de ganancia neta y solo un 6.86% de pérdida (IMAGEN 29).



**IMAGEN 29.** *Ganancias netas y perdidas 1972-1984. Los usos agrícolas presentan la mayor ganancia, mientras los pastizales registran la mayor pérdida en la transición.*

En la transición 1972-1984 el uso del suelo con mayor persistencia es bosque denso con 8,840.07 has (12.91% del territorio), seguido de agrícola de riego con 3,976.65 has equivalentes al 5.81%, mientras que los usos menos persistentes son agua y matorral con 266.22 has y 34.02 has, respectivamente. Se realizó un modelo de transición de cambios de uso del suelo a partir de los usos de 1972 y 1984, a fin de predecir el año 1993. La mayor probabilidad de cambio es la que se acerca a 1 (**TABLA 10**).

**TABLA 10** Probabilidad de transición por uso de los suelo 1972-1984. En la tabla se muestran la probabilidad de transición, se aprecia una baja probabilidad de cambio en la mayoría de las transiciones.

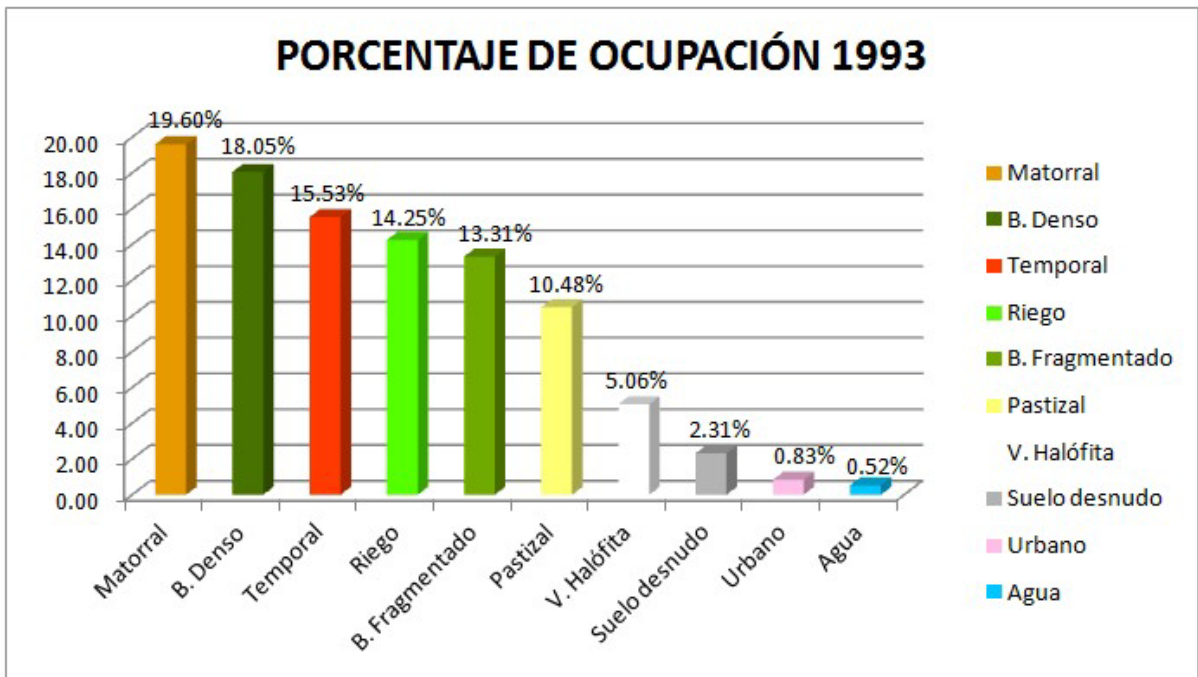
USOS		AÑO 1972									
		B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal
AÑO 1984	B. Denso	0.8469	0.0865	0.0048	0.0005	0.0121	0.0052	0	0.0144	0.0158	0.0139
	B. Fragmentado	0.3286	0.3769	0	0.0007	0.0769	0.0019	0.0017	0.0465	0.1107	0.0562
	Agua	0.0682	0	0.7929	0.0016	0	0	0.0047	0.0153	0.0202	0.097
	Urbano	0.0082	0	0.0001	0.8385	0.0116	0.0015	0	0.0043	0.0818	0.054
	Pastizal	0	0	0.0005	0.0081	0.206	0.0152	0.0532	0.006	0.1483	0.5627
	Suelo desnudo	0.0401	0.021	0.0197	0.0034	0.3034	0.2336	0.1264	0.0509	0.1648	0.0367
	V. Halófito	0.0166	0.0079	0	0.0161	0.2209	0.1411	0.3178	0.116	0.1474	0.0161
	Matorral	0.0504	0.1128	0	0	0.1642	0.004	0.0484	0	0.2885	0.3318
	A. Riego	0.0748	0.0975	0	0.0034	0.2249	0.0215	0.0073	0.0345	0.4351	0.101
	A. Temporal	0.0604	0.0438	0.0007	0.0019	0.1272	0.0116	0.0032	0.0384	0.2353	0.4777

### **8.1.3.- Modelo de cambios de uso del suelo: Prospección a 1993.**

El análisis de cambios de uso del suelo incluye realizar una predicción usando las cadenas de Markov, generando un modelo de ocupación de usos para el año 1993. Para el modelo de prospección de 1993 el uso del suelo dominante es la agricultura de temporal con 21,503.16 has y el uso menos dominante es agua, con 451.71 has (**IMAGEN 10 AC**). Al evaluar el modelo generado a partir de Cadenas de Markov, contra la realidad, se aprecia que existe una buena concordancia entre los mapas de usos del suelo; ya que el índice Kappa corresponde a 0.63, lo cual nos indica un 63% de concordancia.

### **8.2.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 1984-1993**

El cambio de uso de suelo correspondiente al periodo 1984 a 1993 con una predicción a el año 2000, para esto se utilizaron los mapas de uso de suelo de 1984 (**IMAGEN 28 e IMAGEN 2 de AC**), y el mapa de uso de suelo correspondiente a 1993 (**IMAGEN 30 e IMAGEN 3 de AC**), en el uso de suelo registrado para 1993, matorral posee el mayor porcentaje con 19.60%, y Bosque denso como segundo con un porcentaje del 18.05%, mientras que los usos de urbano y agua son los poseedores de menor área con tan solo 0.83% y 0.52% respectivamente.



**IMAGEN 30.** *Porcentaje de ocupación de 1993.* Se ordena de mayor a menor la ocupación porcentual de la zona de estudio, se puede observar que los usos naturales como lo son Matorrales y Bosque denso son los usos dominantes con un 19.60% y 18.05 %, solo de estos dos usos, seguido a la par de los usos agrícola.

### 8.2.1.- Análisis CROSSTAB 1984-1993

De acuerdo con el análisis CROSSTAB el uso del suelo que presentó mayores cambios en la transición de 1984 a 1993 es el uso de temporal, presentando una pérdida del 14.96% del territorio, mientras que bosque denso es el uso con mayor persistencia con 15.91%. Finalmente el uso de suelo que registro mayor ganancia en esta transición es el uso denominado matorral con 19% (**TABLA 11**). Por otro lado el índice kappa reafirma los cambios observados, ya que la agricultura de temporal, y el matorral son los usos del suelo que presentan menor concordancia entre 1984 y 1993 (**TABLA12**).

**TABLA 11. CROSTAB, correspondiente a la transición 1984-1993.** Se registran a forma de tabulación en cruz las ganancias, persistencias y pérdidas, registradas en la transición de 1984 a 1993, se observa una peculiaridad en los datos correspondiente a agua, solo muestra interacción con los usos cercanos espacialmente. Así como la alta probabilidad de la transición de bosques fragmentados a matorrales. Para cada uso de dicha transición se tomaron en cuenta solo los cambios mayores a 500 Has (**IMAGEN 7 AC**).

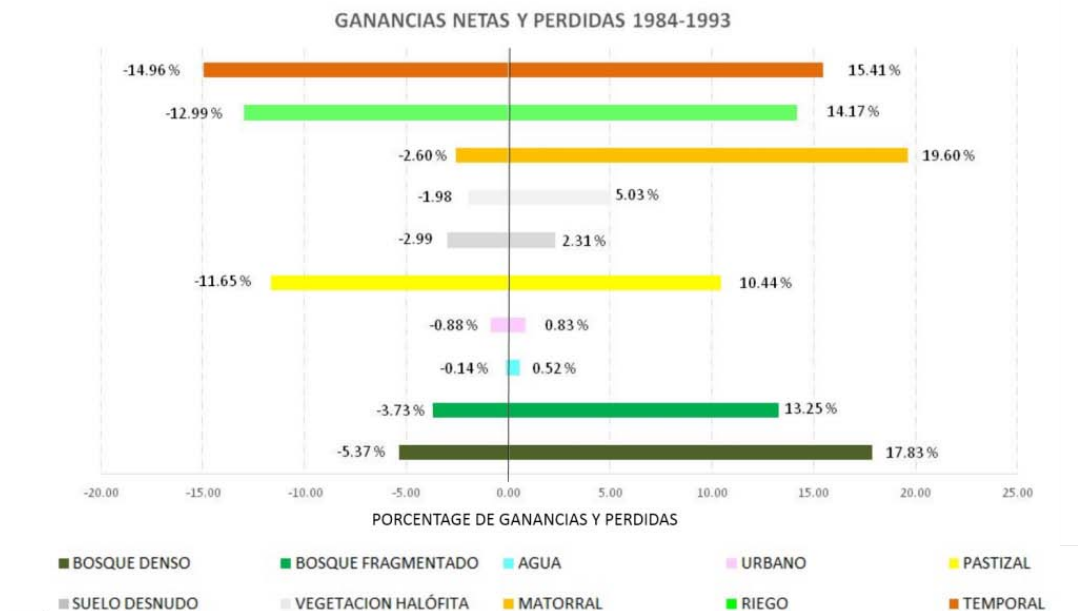
		AÑO 1984										
USOS		B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal	Total
A Ñ O  1 9 9 3	B. Denso	15.8	1.05	0.09	0	0.17	0.05	0	0.27	0.19	0.43	18.06
	B. Fragmentado	2.9	5.07	0.02	0.07	1.45	0.03	0.07	0.33	2.11	1.26	13.32
	Agua	0	0	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0.53
	Urbano	0.04	0	0.01	0.46	0.06	0	0	0.03	0.1	0.13	0.84
	Pastizal	0.11	0.51	0	0.13	3.36	0.42	0.75	0.31	2.84	2.06	10.49
	Suelo desnudo	0.07	0.05	0	0.03	0.66	0.42	0.2	0.1	0.62	0.16	2.32
	V. Halófito	0.04	0.01	0	0.13	0.33	1.14	2.54	0.65	0.06	0.15	5.07
	Matorral	1.2	0.96	0.01	0.15	4.49	0.42	0.76	0.6	3.57	7.45	19.61
	A. Riego	0.72	0.83	0	0.11	2.29	0.64	0.16	0.37	5.82	3.32	14.25
	A. Temporal	0.29	0.32	0.01	0.25	2.2	0.27	0.04	0.53	3.51	8.11	15.53
<b>TOTAL</b>		21.18	8.8	0.66	1.34	15	3.41	4.53	3.2	18.81	23.07	100

**TABLA 12. Índice Kappa por uso de suelo 1984 a 1993.** En esta transición se obtuvo un mayor acierto en el uso agua con un valor de 1 junto con las áreas forestales que se obtienen aciertos mayores a 0.5.

USOS	KAPPA
Bosque Denso	0.73
Bosque Fragmentado	0.58
Agua	1.00
Urbano	0.52
Pastizal	0.33
Suelo Desnudo	0.14
Vegetación Halófito	0.69
Matorral	0.28
Agricultura de Riego	0.40
Agricultura de Temporal	0.33

### 8.2.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 1984-1993.

Como se puede apreciar en la sección B de la (TABLA 7) para la transición de 1984 a 1993 el uso que registro mayor ganancia fue el uso agrícola de temporal con 10,245 has corresponde a 14.95%, seguido de la agricultura de riego con 8,897 has corresponde a 12.99% y el pastizal 7,978 has con 11.65%, mientras que agua y urbano son los que presentan menor ganancia con 97 has y 601 has con 0.88%, 0.14% respectivamente. El uso matorral presentó la mayor cantidad de pérdidas con 13,015 has que corresponde a 19.00%, seguido de la agricultura de riego con 5,778 has corresponde a 8.44% y el bosque fragmentado con 5,647 has corresponde a 8.25%, mientras que el uso con menos pérdida fue el uso denominado agua con 5 has y urbano con 255 has a los cuales les corresponde 0.37% y 0.01% respectivamente. Se observó que el uso más persistente es el uso bosque denso con 10,823.04 has corresponde a 15.80%, seguido del uso agricultura de temporal el cual posee un área de 5,554.2 has corresponde a 8.11%, mientras que los usos con menor persistencia dentro de esta transición son el suelo desnudo con 290.25 has y el uso urbano con 318.06 has, los cuales poseen 0.46 y 0.42%.



**IMAGEN 31.** *Ganancias netas y pérdidas 1984-1993. Se observa que el uso matorral y bosque denso presentan mayor ganancia neta y agricultura de temporal la mayor pérdida en la transición.*

Se puede observar la ganancia neta al sumar las ganancias y persistencias (**IMAGEN 31**). Mientras que la probabilidad de cada uso se puede observar en la (**TABLA 13**).

**TABLA 13.** Probabilidad de transición por uso de los suelo 1984-1993. En la tabla se muestran la probabilidad de transición de cada uso de suelo correspondiente a la transición donde se compraran los uso de 1984, contra los usos de 1993, se observa la escasa relación que tiene el uso agua con los usos con los cuales tiene poca o nula relación espacial. Mientras a la vez pondera su persistencia.

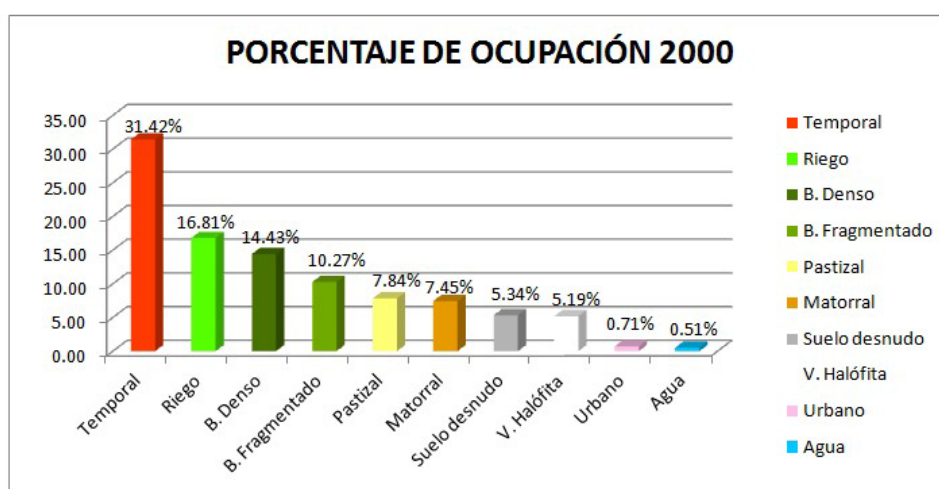
		AÑO 1984									
USOS		B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal
AÑO 1993	B. Denso	0.7906	0.1188	0	0.0017	0.0003	0.0027	0	0.0505	0.0271	0.0081
	B. Fragmentado	0.102	0.634	0.0001	0	0.0514	0.003	0	0.0999	0.0862	0.0235
	Agua	0.1096	0.0235	0.8276	0.0107	0.0039	0.0049	0	0.0088	0	0.011
	Urbano	0	0.043	0	0.4157	0.0889	0.0212	0.0913	0.0826	0.0734	0.1839
	Pastizal	0.0005	0.0846	0	0.003	0.2552	0.048	0	0.3244	0.1491	0.1354
	Suelo desnudo	0.0138	0	0	0	0.1134	0.1507	0.3507	0.0983	0.2039	0.0693
	V. Halófito	0	0.0055	0	0	0.1621	0.0416	0.6174	0.1547	0.0188	0
	Matorral	0.0814	0.0984	0	0.0105	0.0912	0.0302	0.215	0.1847	0.1132	0.1754
	A. Riego	0.0016	0.0997	0.0002	0.0046	0.155	0.0334	0	0.1751	0.3492	0.1811
	A. Temporal	0.0082	0.0368	0.0001	0.0046	0.08	0.002	0	0.3413	0.1356	0.3916

### 8.2.3.- Modelo de cambios de uso del suelo: Prospección a 2000.

En la prospección que se realiza con para el 2000 el uso dominante es el matorral, con 13,945.41 has, el uso agua es el que posee menor extensión con 349.64 has, (**IMAGEN 11 AC**) Al evaluar el modelo generado a partir de Cadenas de Markov, contra la realidad, se aprecia que existe una buena concordancia entre las mapas de usos del suelo; el índice Kappa corresponde a 0.66, lo cual nos indica un 66% de concordancia.

### 8.3.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 1993-2000

Como se recordará el uso del suelo dominante en el año 1993 son Matorrales y Bosque denso son los usos dominantes con un 19.60% y 18.05 %, (**IMAGEN, 30 e IMAGEN 3 de AC**). Por otro lado en el año 2000 se observa que el uso temporal es el que posee mayor extensión, ocupando el 31.42% del territorio, seguido de la agricultura de riego con 16.81%, mientras que los usos de urbano y agua poseen la menor ocupación con 0.71% y 0.51% de la ocupación del área de estudio (**IMAGEN, 32 e IMAGEN 4 de AC**).



**IMAGEN 32.** *Porcentaje de ocupación 2000.* Se puede observar como en esta ocasión los usos dominantes son agricultura de riego y agricultura de temporal, lo que implica una intervención de origen antropogénica más visible en el área de estudio.

#### 8.3.1.- Análisis CROSSTAB 1993-2000

De acuerdo con el análisis CROSSTAB el uso del suelo que presento mayores cambios es el uso agricultura de temporal, el cual posee la mayor ganancia 20.05 % de área, mientras que bosque denso es el uso con mayor persistencia registrando una persistencia de 11.38%. Finalmente el uso de suelo que registro mayor perdida en esta transición es el uso denominado matorral con 17.14% (**TABLA 14**). El índice Kappa mide la concordancia por categoría de uso del suelo, siendo para la transición 1993 a 2000, el uso agua, obtuvo un valor de 0.97 y vegetación halófito con 0.87 mientras que

matorral y pastizal son los uso con valores más bajos en relación al índice Kappa con -0.01 y -0.01 respectivamente (**TABLA 15**).

**TABLA 14.** *CROSSTAB correspondiente a 1993-2000.* Se puede observar que los usos naturales poseen los valores más altos de persistencia se realizó una selección de las transiciones mayores a 500 has, **IMAGEN 8 AC.**

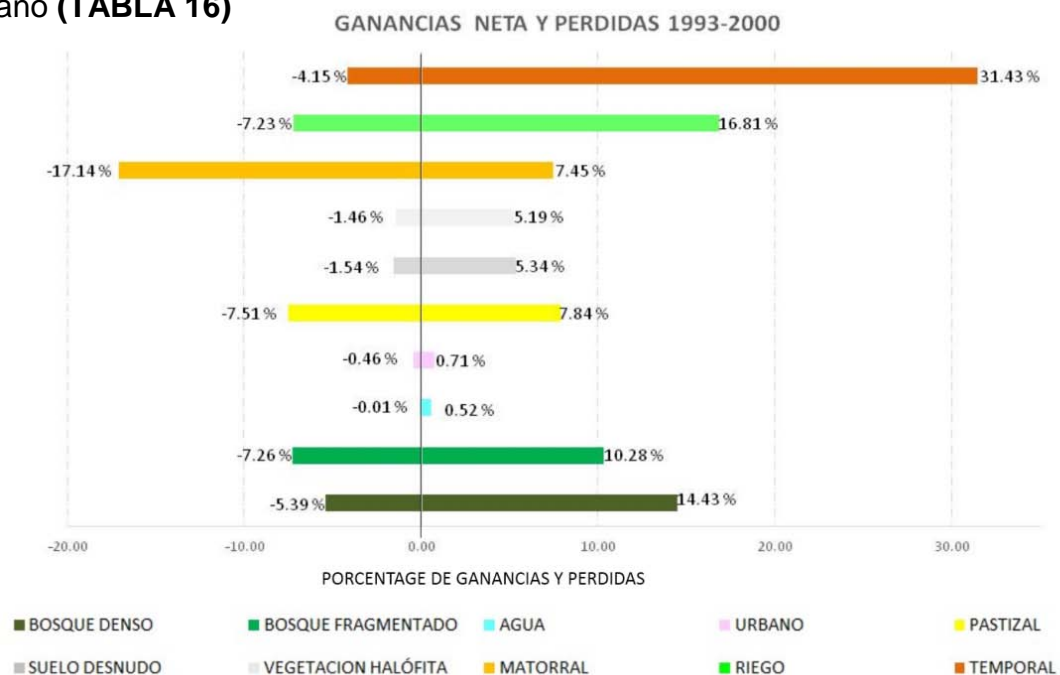
		AÑO 1993										
USOS		B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal	Total
A Ñ O 2 0 0 0	B. Denso	12.66	1.13	0	0	0.08	0.02	0	0.22	0.19	0.14	14.43
	B. Fragmentado	2.45	6.06	0	0.05	0.67	0.02	0.01	0.4	0.32	0.31	10.28
	Agua	0	0	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0.52
	Urbano	0	0.01	0	0.37	0.12	0	0	0.05	0.05	0.1	0.71
	Pastizal	0.67	1.66	0	0	2.97	0.23	0.2	0.75	1.03	0.32	7.84
	Suelo desnudo	0.1	0.07	0	0.01	0.86	0.77	1.02	0.91	1.31	0.29	5.34
	V. Halófito	0.02	0	0	0	0.45	0.29	3.6	0.69	0	0.14	5.19
	Matorral	1.35	1.25	0	0.05	1.21	0.13	0.07	2.47	0.34	0.57	7.45
	A. Riego	0.4	2.42	0	0.02	1.17	0.2	0.08	3.23	7.02	2.28	16.81
	A. Temporal	0.41	0.72	0.01	0.34	2.96	0.65	0.08	10.89	4	11.38	31.43
<b>TOTAL</b>		18.06	13.32	0.53	0.84	10.49	2.32	5.07	19.61	14.25	15.53	100

**TABLA 15.** *Índice Kappa por uso de suelo 1993-2000.* En la tabla se muestran los resultados del índice Kappa correspondiente a la transición 1993-2000, Se puedes observar que el uso denominado agua y vegetación halófito son los más altos con 0.97 y 0.73 respectivamente.

USOS	KAPPA
Bosque Denso	0.63
Bosque Fragmentado	0.18
Agua	0.97
Urbano	0.32
Pastizal	-0.01
Suelo Desnudo	0.37
Vegetacion Halófito	0.73
Matorral	0.01
Agricultura de Riego	0.47
Agricultura de Temporal	0.50

### 8.3.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 1993-2000

Se obtuvo la ganancia de cada una de las categorías, presentándose las mayores ganancias en la agricultura de temporal con 13,728 has equivalente al 20.05%, seguido del uso agricultura de riego con 6,702 has equivalente al 9.79%; mientras que los usos con menor ganancia fueron agua con 0.37% y urbano con 0.51%. En relación a las pérdidas el matorral fue la categoría con mayores cambios en este sentido, con 11,735 has que equivalente a 17.14%, en segundo término encontramos la categoría de pastizal con 5,146 has equivalente a 7.51%; siendo las categorías agua y urbano los que registraron menores pérdidas con 0.01% y 0.46% respectivamente. En términos de persistencia de ocupación de las categorías, el bosque denso es el uso de suelo más persistente con un área de 8,672.67 has equivalente a 12.66%, seguido de la agricultura de temporal con 7,794.36 has equivalente a 11.38%, mientras que los uso de urbano y agua registraron la menor área de persistencia con 0.51% y 0.36% respectivamente (**TABLA 7 SECCION C**) las ganancias netas y perdidas de la transición 1993-2000 (**IMAGEN 33**). La probabilidad de transición en el caso de agricultura de temporal se observa hacia matorral, pastizal y uso urbano (**TABLA 16**)



**IMAGEN 33.** *Ganancias netas y perdidas 1993-2000. El uso con mayor ganancia es agricultura de temporal y sus pérdidas son por mucho menores que las ganancias.*

**TABLA 16.** Probabilidad de transición por uso de los suelo 1993-2000. Se observa una alta probabilidad de persistencia de uso agua y la agricultura de temporal, el uso agua muestra muy baja interacción con los demás usos de suelo.

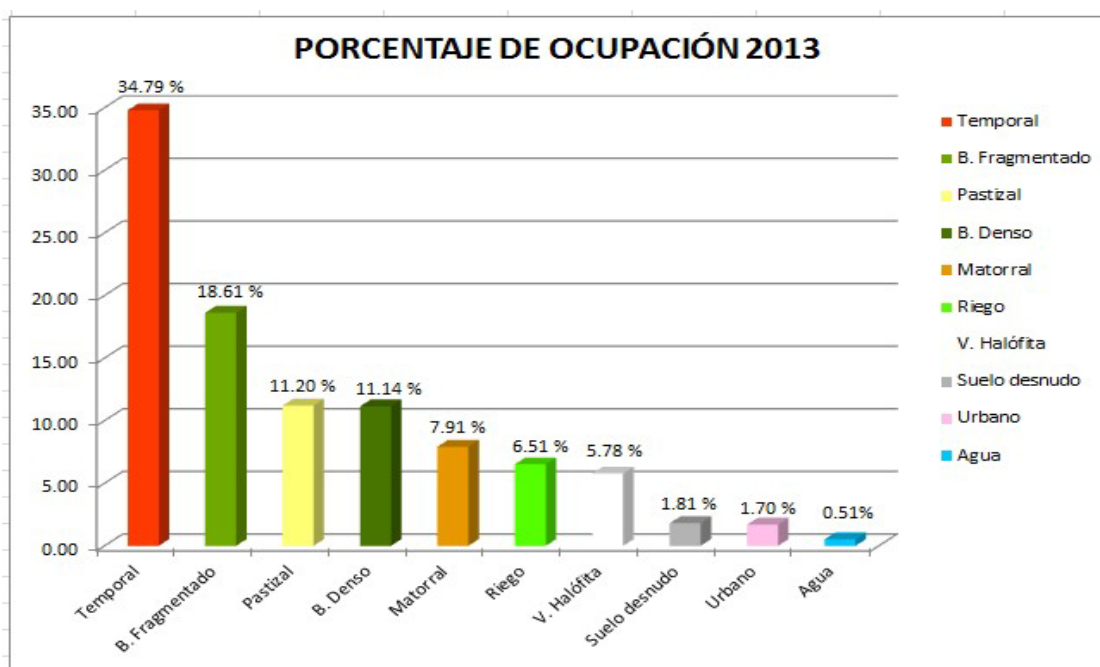
		AÑO 1993									
USOS		B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal
AÑO 2000	B. Denso	0.5273	0.1625	0	0.0009	0.0572	0.0136	0.0055	0.0812	0.0645	0.0873
	B. Fragmentado	0.1029	0.2512	0	0.0029	0.1173	0.0336	0.0082	0.0843	0.2123	0.1873
	Agua	0.0029	0.0005	0.9631	0.0018	0.0004	0.0003	0.0002	0.0036	0.0021	0.0249
	Urbano	0.0078	0.0604	0	0.2228	0.0192	0.0241	0.0066	0.0549	0.0895	0.5148
	Pastizal	0.0172	0.0614	0	0.0112	0.1254	0.0814	0.0585	0.0765	0.1626	0.4058
	Suelo desnudo	0.0124	0.021	0.0002	0.0035	0.0853	0.171	0.1429	0.0545	0.1303	0.3788
	V. Halófito	0.002	0.0065	0	0.0006	0.0604	0.2202	0.554	0.0282	0.0401	0.0881
	Matorral	0.0176	0.03	0.0001	0.0059	0.0472	0.0565	0.0413	0.052	0.1945	0.5549
	A. Riego	0.0206	0.0333	0	0.0058	0.0764	0.0902	0.0157	0.0409	0.3211	0.396
	A. Temporal	0.0161	0.0295	0	0.0086	0.0362	0.0368	0.0161	0.0412	0.1909	0.6245

### 8.3.3.- Modelo de cambios de uso del suelo: Prospección a 2013

En el caso de 2013 se observa una distribución homogénea en la parte centro sur de la zona de estudio de los usos agrícolas con un 59.15 % del área total, mientras que en la parte norte aún persisten los bosques en sus dos usos densos y fragmentados con 21.32% del área total, (**IMAGEN 12 AC**) Al evaluar el modelo generado a partir de Cadenas de Markov, contra la realidad, se aprecia que existe una buena correspondencia entre las mapas de usos del suelo; ya que el índice Kappa corresponde a 0.62, lo cual nos indica un 62% de concordancia.

#### 8.4.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 2000-2013

Para realizar la transición de uso se suelo y predicción se ocuparon los usos de suelo del año 2000 (IMAGEN 32, IMAGEN 4 de AC) y los usos de los suelos correspondientes a 2013 (IMAGEN 34, IMAGEN 5 de AC) el uso de suelo correspondiente al año 2000 se explicó anteriormente, mientras que para el 2013 se registra que el uso dominante el temporal con 34.79%, bosques densos con 11.14%, así como de agricultura de riego con 6.51%.



**IMAGEN 34.** *Porcentaje de ocupación para los usos de suelo del 2013.* Se puede observar como el uso agrícola de temporal tiene un crecimiento considerable, mientras que los pastizales tienen un decremento al igual que los bosques densos, en comparación a los usos del suelo del año 2000.

### 8.4.1.- Análisis CROSSTAB 2000-2013

De acuerdo con el análisis CROSSTAB, el uso del suelo que presentó mayores cambios en la transición, en el uso de agricultura de temporal posee la mayor ganancia 17.01 % de área, mientras que agricultura de temporal posee el uso con mayor persistencia con 17.79%. Finalmente el uso de suelo que registró mayor pérdida en esta transición es agricultura de temporal con 13.64% (TABLA 17).

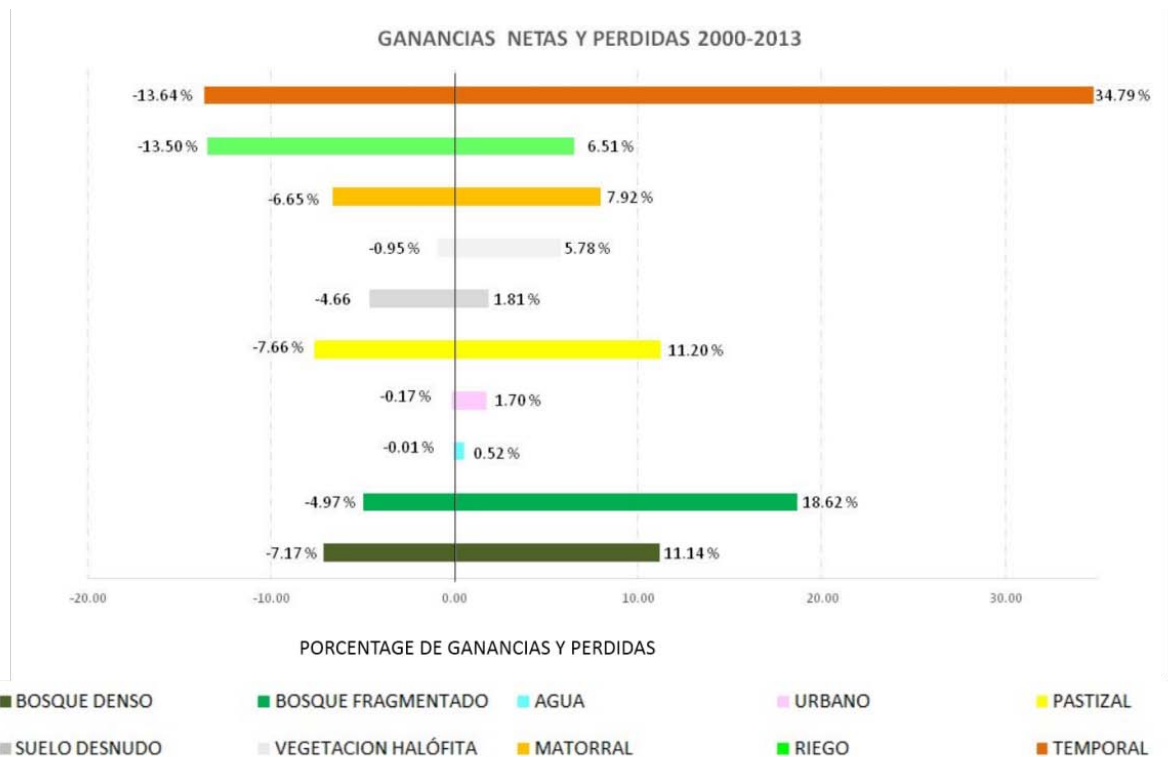
**TABLA 17.** CROSSTAB correspondiente a 2000 a 2013. El cual nos marca una situación bastante peculiar para esta transición ya que registramos los valores más altos de ganancia, persistencia y pérdida, para el mismo uso de suelo que en este caso es la Agricultura de temporal se prosigue a delimitar los cambios más importantes que son mayores a 500 hectáreas (IMAGEN, 9 AC)..

		AÑO 2000										
USOS		B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal	Total
A Ñ O 2 0 1 3	B. Denso	7.26	0.78	0	0	0.51	0.06	0.01	1.15	0.59	0.77	11.14
	B. Fragmentado	6.14	5.31	0	0.01	1.59	0.51	0	2.04	0.92	2.1	18.62
	Agua	0	0	0.51	0	0	0	0	0	0	0.01	0.52
	Urbano	0	0.05	0	0.55	0.03	0.02	0.15	0.02	0.25	0.63	1.7
	Pastizal	0.02	0.07	0	0	0.18	0.86	0.61	0.16	3.57	5.73	11.2
	Suelo desnudo	0.01	0.07	0	0	0.11	0.68	0.08	0.48	0.09	0.29	1.81
	V. Halófito	0	0.02	0	0	0.48	0.7	4.24	0.03	0.05	0.26	5.78
	Matorral	0.64	2.64	0	0.01	1.93	0.39	0	0.8	0.34	1.16	7.92
	A. Riego	0.09	0.09	0	0.01	0.16	0.1	0	0.07	3.31	2.68	6.51
	A. Temporal	0.26	1.25	0.01	0.13	2.85	2.02	0.09	2.7	7.69	17.79	34.79
<b>TOTAL</b>		14.43	10.28	0.52	0.71	7.84	5.34	5.19	7.45	16.81	31.42	100

Como siguiente paso fue sacar la persistencia de 2000 a 2013 para lo cual se utilizó el mapa de usos de suelos 2000 y el mapa de uso de suelo de 2013, (TABLA, 7) sección D en la cual se presenta una peculiaridad, la cual consiste que los niveles más altos de ganancia, pérdida y persistencia es ocupada por el uso de suelo agricultura de temporal.

### 8.4.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 2000-2013

Se observa un incremento de agricultura de temporal con un 17.01% y los bosque densos 7.26%, mientras el uso de suelo con menor ganancia es el uso agua con solo 0.01%. El porcentaje de pérdidas se presentan los dos usos Agrícolas con los mayores porcentajes de perdida 13.64% para temporal y 13.50% para riego. El porcentaje de persistencia se observa como uso ponderante a Agricultura temporal con 17.79%.que se refleja en el mapa de predicción del 2025 (**IMAGEN, 13 de AC**). Se puede observar la tendencia de dominancia si se suman las ganancias y persistencias y se comparan con las (**IMAGEN, 35**). La probabilidad de transición se muestra en la tabla 18 (**TABLA, 18**).



**IMAGEN 35.** Ganancias netas y pérdidas 2000-2013. El uso con mayor ganancia es agricultura de temporal.

**TABLA 18.** Probabilidad de transición por uso de los suelo 2000-2013. Se observa que la probabilidad de persistencia es mayor a 0.5 en seis de los usos de suelo teniendo como ejemplos de persistencia a el uso agua con 0.98, vegetación halófito con 0.82 y urbano 0.78.

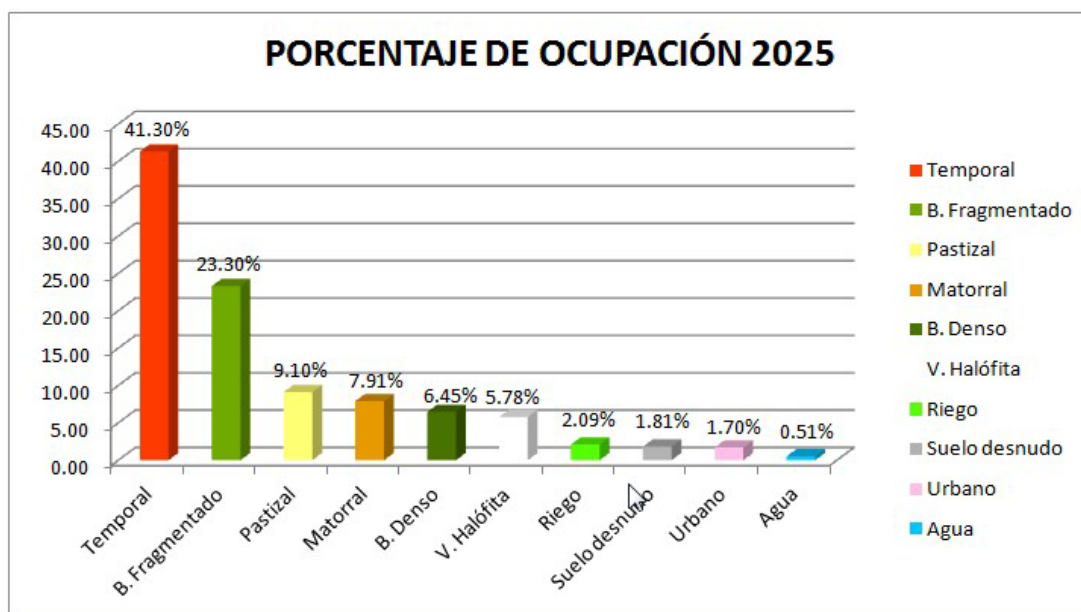
		AÑO 2000									
USOS	B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal	
AÑO 2013	B. Denso	0.5243	0.4207	0.0001	0	0.0014	0.0002	0.0001	0.0339	0.0064	0.0128
	B. Fragmentado	0.0712	0.53	0	0.0041	0.0044	0.0044	0.0015	0.2659	0.0083	0.1102
	Agua	0.0048	0.0022	0.9807	0.0023	0	0	0	0.0004	0	0.0095
	Urbano	0	0.0104	0.0003	0.7833	0.0021	0	0.0003	0.0158	0.0073	0.1805
	Pastizal	0.0611	0.1993	0	0.003	0.0156	0.0128	0.0617	0.2643	0.0177	0.3645
	Suelo desnudo	0.0083	0.0917	0	0.0025	0.1651	0.1391	0.1306	0.0695	0.0155	0.3779
	V. Halófito	0.0011	0	0	0.0267	0.1156	0.0151	0.829	0	0	0.0124
	Matorral	0.1579	0.2735	0.0001	0.0026	0.0134	0.0694	0.0023	0.1073	0.0066	0.367
	A. Riego	0.0333	0.0472	0	0.0141	0.2208	0.0049	0.0011	0.0123	0.2094	0.457
	A. Temporal	0.0221	0.0606	0.0003	0.0192	0.1879	0.009	0.0068	0.0308	0.0865	0.5768

### 8.4.3.- Modelo de cambios de uso del suelo: Prospección a 2025

En la predicción realizada a través de Markov de la ocupación de usos para el año 2025 se puede observar como la agricultura de temporal, y bosque fragmentado son los usos dominantes con 41.30% y 23.30% de área total, mientras que el uso de urbano y uso agua poseen la menor extensión porcentual con solo 1.70% y 0.51%, del área total (**IMAGEN 13 AC**). Al evaluar el modelo generado a partir de Cadenas de Markov, contra la realidad, se aprecia que existe una buena concordancia al registrar en el índice Kappa 0.62, lo cual equivale a 62% de acierto en el modelo de prospección.

## 8.5.- ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 2013-2025

Para realizar la prospección dirigida al año 2050, se ocupó el uso de suelo de 2013 (IMAGEN, 34 e IMAGEN, 5 de AC) y la predicción de 2025 (IMAGEN, 36 e IMAGEN, 13 AC). En esta acción se generó una prospección de 25 años, para lograr estimar el posible cambio de uso de suelo.



**IMAGEN 36.** Porcentaje de ocupación de 2025. Se denota como el área porcentual básicamente se inclina para los usos de suelo agricultura de temporal y bosque fragmentados, y el decremento de áreas que anteriormente predominaban como los bosque densos, Agricultura de riego, se observa una perdida en casi la mitad de usos de suelo excepto en los usos urbano y agua donde se presenta una persistencia a lo largo de las transiciones realizadas a partir de 1972 a 2013.

### 8.5.1.- Análisis CROSSTAB 2013-2025

De acuerdo con el análisis del uso del suelo 2013 a 2025 predominan las persistencias, con nulos cambios en la mayoría de los usos de suelo, la mayor pérdida registrada se da en bosque denso que cede un 4.69% que eventualmente se transforma a agricultura de temporal, dicha categoría registra una ganancia de 7.01%, (TABLA 19).

**TABLA 19.** CROSSTAB correspondiente a 2013-2025. Se observa un claro dominio de las persistencias, y una ausencia de incrementos y pérdidas en la mayoría de las transiciones de usos del suelo.

		AÑO 2013										
USOS		B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal	Total
A Ñ O  2 0 2 5	B. Denso	6.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.45
	B. Fragmentado	4.69	18.62	0	0	0	0	0	0	0	0	23.3
	Agua	0	0	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0.52
	Urbano	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0	0	1.7
	Pastizal	0	0	0	0	8	0	0	0	0.55	0.54	9.1
	Suelo desnudo	0	0	0	0	0	1.81	0	0	0	0	1.81
	V. Halófito	0	0	0	0	0	0	5.78	0	0	0	5.78
	Matorral	0	0	0	0	0	0	0	7.92	0	0	7.92
	A. Riego	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1	0	2.1
	A. Temporal	0	0	0	0	3.2	0	0	0	3.86	34.25	41.31
<b>TOTAL</b>		11.14	18.62	0.52	1.7	11.2	1.81	5.78	7.92	6.51	34.79	99.99

### 8.5.2.- Persistencias, ganancias y pérdidas en el periodo 2013-2025.

Destaca la ganancia que presenta la categoría agricultura de temporal, con 7.05%, el bosque fragmentado posee un incremento del 4.58%, y los pastizales registra un incremento de 1.09%, mientras que los demás usos de suelo no presentan incremento alguno.

El porcentaje de pérdida se muestra en solo tres usos que son bosques densos, agricultura de riego y agricultura de temporal con 4.68%, 4.41% y 0.54%

respectivamente. La persistencia. Se puede observar en el uso agricultura de temporal, el cual es el más persistente con 34.25%, seguido de los bosques fragmentados con 18.62%, mientras que los usos de urbano y agua registran la menor persistencia con 1.70% y 0.52%.

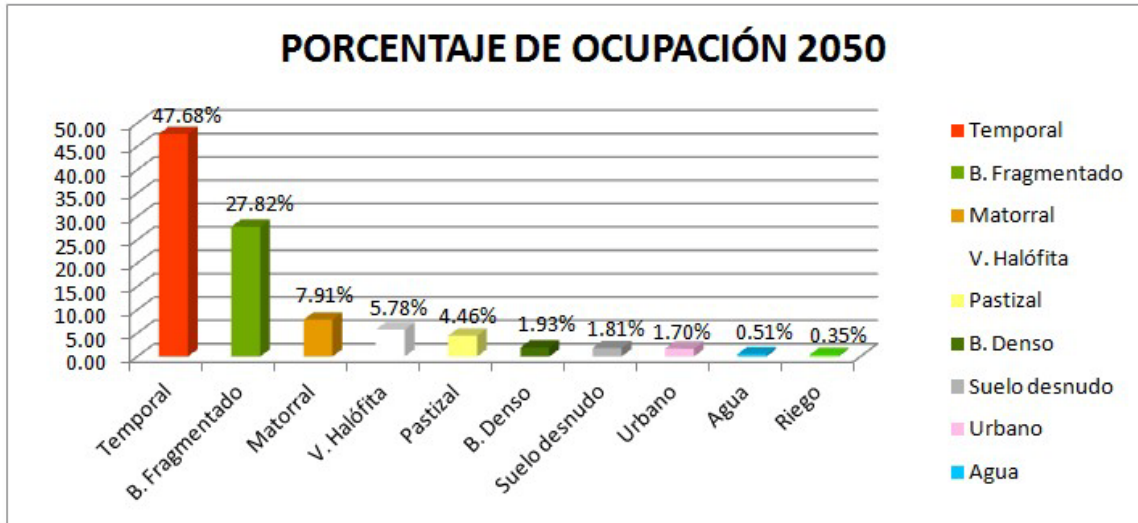
En lo referente a la probabilidad de transición, se registran seis valores de 1 en la diagonal que nos señala una totalidad de persistencia en dichos usos de suelo, por lo cual en el 2025 existe una persistencia de usos generalizada (**TABLA 20**).

**TABLA 20.** Probabilidad de transición por uso de los suelo 2013-2025. En la tabla se muestran la probabilidad de transición de cada uso de suelo correspondiente a la transición donde se comparan los uso de 2013, contra los usos de 2025, se registran transiciones importantes en las interacciones entre bosques densos y bosques fragmentados y la agricultura de temporal con la agricultura de riego y pastizales,.

		AÑO 2013									
USOS		B. Denso	B. Fragmentado	Agua	Urbano	Pastizal	Suelo desnudo	V. Halófito	Matorral	A. Riego	A. Temporal
AÑO 2025	B. Denso	0.2996	0.7004	0	0	0	0	0	0	0	0
	B. Fragmentado	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Agua	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Urbano	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Pastizal	0	0	0	0	0.4906	0	0	0	0	0.5094
	Suelo desnudo	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	V. Halófito	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Matorral	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	A. Riego	0	0	0	0	0.1008	0	0	0	0.0678	0.8314
	A. Temporal	0	0	0	0	0.0279	0	0	0	0	0.9721

### 8.5.3.- Prospección dirigida al año 2050

Una vez analizadas cada una de las ganancias perdidas y persistencias se generó el mapa de predicción de usos de suelo para el 2050 en el cual se puede observar el porcentaje de ocupación de cada uso de suelo (**IMAGEN, 37**).



**IMAGEN 37.** *Porcentaje de ocupación 2050.* Se ve un claro dominio de la Agricultura de temporal, seguido de los Bosque fragmentados, mientras los otros usos de suelos cedieron notablemente área porcentual.

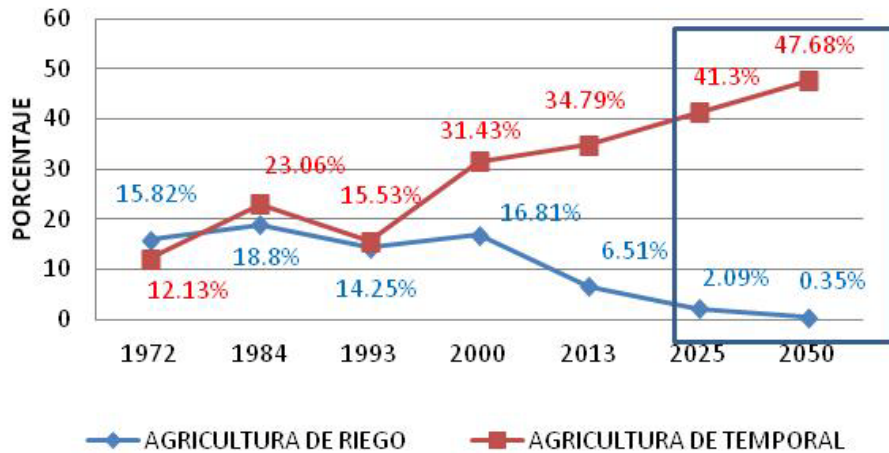
## **8.6.- ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO**

Para realizar una interpretación de la tendencia y comportamiento de los usos de suelo a lo largo del lapso de tiempo correspondiente a 1972, 1984, 1993, 2000 y 2013, se subdividieron en cuatro tipos de ocupaciones del suelo las cuales son: usos agrícolas, uso urbano, uso agua y usos naturales que a su vez se subdividen en usos naturales con arbolado y usos naturales sin arbolado, se postuló de esta forma debido a las interacciones y cercanías que tienen los usos naturales entre ellos.

### **8.6.1.-Tendencia de los usos agrícolas de la zona de estudio**

. Se puede observar que la agricultura de temporal representada por la línea de color rojo, poseía en 1972 un 12.13% del área total, en los años posteriores se ve una tendencia al incremento de su área en porcentaje llegando a poseer en el 2013 un porcentaje de área de 34.73%; y se estima que para el 2050 un área porcentual de 47.68%, esto es un incremento de casi el 200% de área porcentual de 1972 de la agricultura de temporal. Por otro lado la agricultura de riego, posee una tendencia de decremento, ya que del 15.08% registrado en 1972, se pasó a un 6.51% en el 2013. Se estima que para 2025 y 2050 un decremento muy marcado pronosticando áreas de 2.09% y 0.35% respectivamente. En términos generales se observa una tendencia de incremento en la agricultura de temporal, dicho fenómeno puede estar regido a la propuesta de veda de la cuenca libres oriental en el año 2002 bajo la norma de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el cual lleva por nombre Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000.(CONAGUA, 2013) **(IMAGEN 38)**.

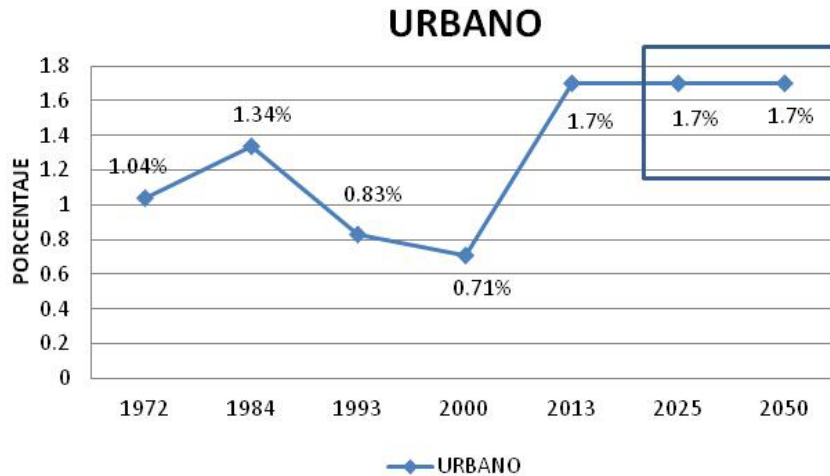
## USOS AGRICOLAS



**IMAGEN 38.** *Tendencia de los usos agrícolas.* Se observa un incremento de la agricultura de temporal a la par de la disminución de la agricultura de riego, en el recuadro azul se observan las proyecciones para los usos agrícolas.

### 8.6.2.- Tendencia del uso urbano

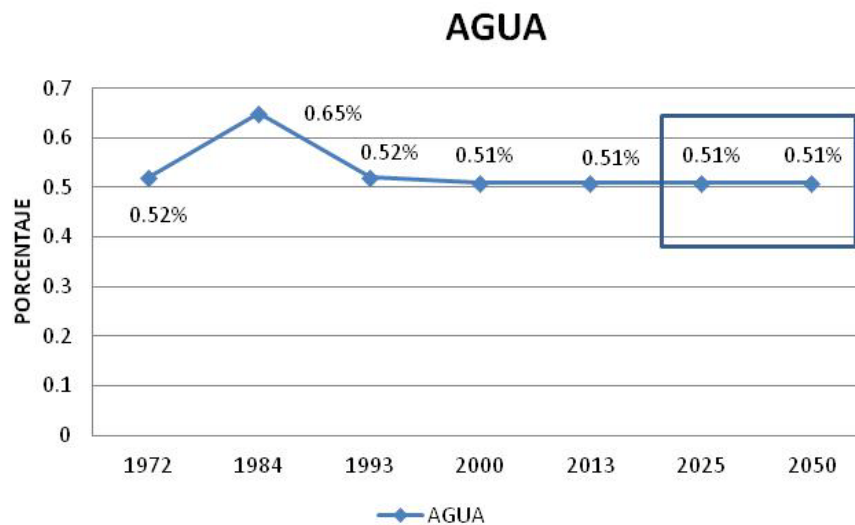
. En 1972, poseía un 1.04% del área total de la zona de estudio, presentando un incremento a 1.34% en 1984, pasando por una caída de la superficie en los años 1993 y 2000, para posteriormente llegar a un 1.7% de ocupación del territorio en 2013. Esto se debe a que las áreas urbanas no desaparecen si no por la gran diferencia de terrenos en los cuales se encuentra puede ser que el algoritmo las re categorizara en otras áreas como matorrales. Se intensificó la búsqueda de zonas urbanas, gracias a la calidad de imagen de Landsat 8 por eso se incrementa, también el hecho del crecimiento urbano por incremento poblacional es por ello que el año 2013 registra un 1.7% del área total, los datos de las estimación para 2025 y 2050, marcan una estabilidad en cuanto al crecimiento urbano (**IMAGEN 39**).



**IMAGEN 39.** *Tendencia del uso urbano.* Se observa un incremento de área urbana en relación a 1972 y 2013. en el recuadro azul se puede observar las tendencias correspondientes a las predicciones de 2025 y 2050.

### 8.6.3.-Tendencia del, el uso Agua

Se observa una tendencia continua donde desde 1972, se registra 0.52% y la transición oscila en 0.51% no hay cambios significativos y el uso agua persiste en área de ocupación. En cuanto a las predicciones de los años 2025 y 2050, registra un área porcentual de 0.51%, lo que nos indica una persistencia del uso agua en el área de estudio.



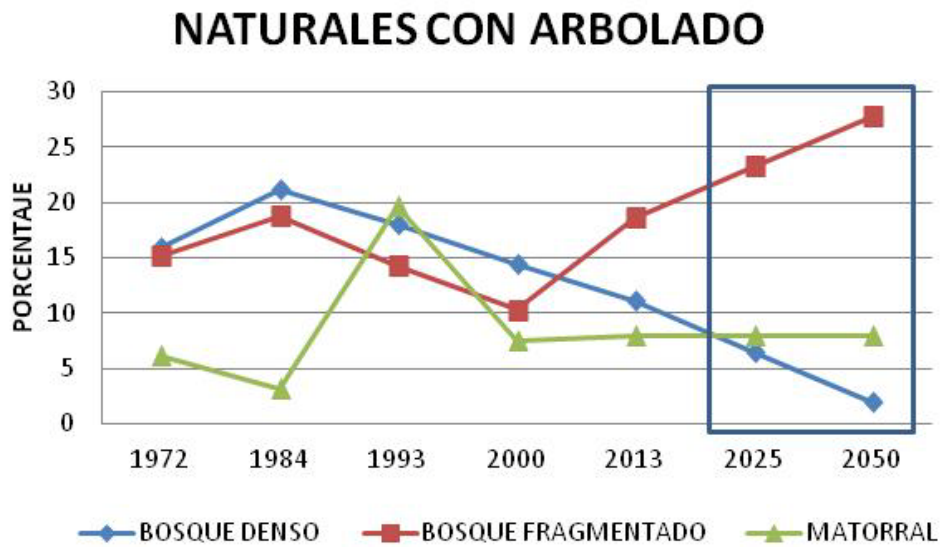
**IMAGEN 40.** *Tendencia del uso agua.* Se observa una tendencia estable solo variaciones leves esto se debe a la evapotranspiración, sequías y precipitación anual, puesto que son cuencas endorreicas. se puede observar la tendencia de las predicciones correspondientes a 2025 y 2050 en el recuadro azul.

La tendencia de los usos naturales en esta categoría se agruparon los usos, que no necesariamente necesitan la intervención humana, se agruparon en dos tipos de usos: naturales con arbolado y naturales sin arbolado. Los bosques densos son el claro ejemplo de usos naturales con arbolado, puesto que poseen menor intervención humana, (**IMAGEN 41** y **TABLA 21**) se registra un área en 1972 de 15.86% y un incremento a 21.17%, se puede deber a una regeneración de bosques densos en la década de los 80's, después se presenta una pérdida de área registrando 11.14%, debido posiblemente a la deforestación. Los bosques fragmentados están ligados a los bosques densos, se registra en 1972 un área de 15.86% y los registros siguientes muestran una baja continua de su área total hasta el año 2000 que registra un área porcentual de 10.27% y del año 2000-2013 se presenta un incremento considerable llegando a 18.61%. Lo que se ve la relación de incremento y decremento de estos dos usos de suelo. Se estima para el caso de los bosques densos una decremento importante llegando a 1.93%, al comparar con el registro de 1972 que corresponde a 15.86%, se observa una pérdida considerable mientras que los bosques fragmentados registran un incremento de área porcentual llegando a estimar para el 2050 una reá porcentual de 27.82% del área de estudio.

Los usos naturales sin arbolado (**IMAGEN 42**) donde encontramos a la vegetación halófila, es una zona muy interesante puesto que en 1972 tenía una área porcentual de 8.17% registró una pérdida de área quedando con tan solo 4.52% pero a lo largo de la transición se ha mantenido y recuperando área en el 2013 registra un área de 5.78% lo cual registra que está recuperando su área porcentual de nuestro primer registro, se estima para los años 2025 y 2050 una persistencia de 5.78%. para el caso de uso pastizal se registró en 1972 un área 21.05% registrando una tendencia la pérdida de área porcentual obteniendo para 2013 un área de 11.2% de área de estudio, para los pastizales se estima para los años 2025 y 2050, una tendencia a la pérdida de área registrando 9.1% y 4.46% respectivamente.

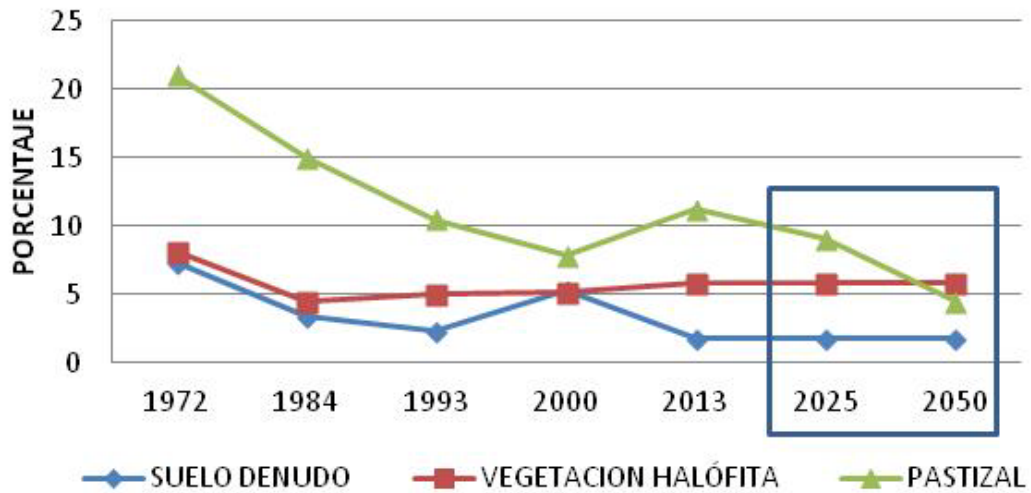
**TABLA 21.** Relación de las transiciones de los usos naturales. Se presenta el porcentaje de ocupación de los usos naturales subdivididos en naturales con arbolado y naturales sin arbolado.

NATURALES CON ARBOLADO							
	1972	1984	1993	2000	2013	2025	2050
BOSQUE DENSO	15.86	21.17	18.05	14.45	11.14	6.4	1.93
BOSQUE FRAGMENTADO	15.08	18.8	14.25	10.27	18.61	23.3	27.82
MATORRAL	6.09	3.19	19.6	7.45	7.91	7.91	7.91
NATURALES SIN ARBOLADO							
SUELO DENUDO	7.31	3.41	2.31	5.32	1.8	1.81	1.81
VEGETACION HALÓFITA	8.17	4.52	5.06	5.19	5.78	5.78	5.78
PASTIZAL	21.05	15	10.48	7.84	11.2	9.1	4.46



**IMAGEN 41** Tendencia de los usos naturales con arbolado. Se puede observar una tendencia de pérdida de área arbolada y un incremento de área fragmentada, los pastizales registran un incremento en el primer registro manteniendo un descenso hasta el año 2000, para el uso matorral se registra un incremento considerable en 1993, donde se registra 19.6% del área total de la zona de estudio, para después registrar valores de 7% de área porcentual para después registrar una tendencia a la persistencia en las predicciones. En recuadro azul se encuentran las predicciones para 2025 y 2050.

## NATURALES SIN ARBOLADO



**IMAGEN 42.** *Tendencia de los usos naturales sin arbolado. Los matorrales presentan un incremento exponencial en 1993. En el recuadro azul se resalta la tendencia de las mediciones para suelo desnudo se espera una tendencia persistir, así como para la vegetación halófito.*

## 9.- DISCUSIÓN

El estudio de los cambios del espacio geográfico es un elemento básico para la planeación del uso de la tierra y el ordenamiento del territorio. En el presente trabajo se presenta el cambio transicional de los usos de suelo, los estudios geográficos y cartográficos permiten reconocer el territorio con distintos niveles de aproximación y detalle para su correcta apreciación (Tricart y Kilian, 1982). Es prudente hacer uso de diferentes escalas y herramientas, a fin de construir modelos cartográficos mediante la disponibilidad y manejo de gran cantidad de información especializada, sistematizada de alta calidad y detallada. Esta debe de poder ser organizada con base en datos que se integren a un Sistema de Información Geográfica (SIG) para hacer eficiente su almacenamiento, procesamiento, análisis y síntesis con fines de planeación, procurando ser amigables con el usuario (Tricart y Kilian, 1982).

Con los datos obtenidos en el presente estudio de cambio de usos de los suelos de los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco, se logró recopilar información correspondiente a 41 años de evolución del territorio. En todas las posibles transiciones se ha tomado en cuenta que estos cambios están fuertemente vinculados a las actividades antrópicas o fenómenos naturales. Para poder hacer un buen análisis y comprender mejor el comportamiento y evolución de los cambios, se optó por agrupar los usos de los suelos en 4 grandes grupos, los cuales son agua o recursos hídricos, agrícolas (que engloba a la agricultura de riego y agricultura de temporal), el uso urbano y los recursos naturales, que a su vez se subdividen en naturales con arbolado (bosque denso, bosque fragmentado y matorral) y naturales sin arbolado (vegetación halófito, pastizal y suelo desnudo). Los usos agrícolas presentan un incremento de ocupación, pasando del 14.03% al 41.24%. Este incremento se encuentra vinculado con el incremento del uso urbano, el cual posee una tendencia de crecimiento, ya que en 1972 poseía un área de 1.04% del área total de la zona de estudio y para el 2013 tiene una superficie de ocupación del 1.7%. Esto tiene una relación íntima con el crecimiento de la mancha urbana y el consumo de la producción agrícola, caso contrario al que presenta Von en el 2012, que registra una pérdida de área agrícola, en el municipio de Guelatao de Juárez Oaxaca, esto se puede deber a la diferencia de

costumbres por parte de los asentamientos humanos y a la disponibilidad de área de expansión de la mancha urbana.

Los recursos hídricos superficiales se encuentran representados en el área de estudio por los lagos cráter, que presentan un atractivo paisajístico para el valle, pero no obstante a lo largo del lapso de tiempo correspondiente a 1972-2013, no presenta un cambio drástico, siendo el uso con mayor predominancia y estabilidad (en 1972 ocupaba el 0.52% mientras que en 2013 ocupa el 0.51%). Sin embargo esta estabilidad no significa que la disponibilidad de agua sea la óptima, es necesario realizar estudios para determinar la situación actual de estos cuerpos de agua para saber el grado de contaminación y disponibilidad que poseen para el aprovechamiento humano.

Los usos denominados naturales, son un punto importante ya que engloban las categorías bosques densos, bosque fragmentado, vegetación halófito, matorrales, pastizales y suelo desnudo. En el año 1972 estos grupo de usos del suelo ocupan una superficie de 73.56% del territorio, y registra una pérdida de área de 17.12% para el año 2013, conservándose un 56.54% del territorio. En la tabla 21 se muestra la distribución del área de los usos naturales en cada año. Los bosques densos presentaron una disminución de 4.72% de área total en la transición de 1972 a 2013 que fue parcialmente cubierta por bosques fragmentados que presentan un incremento de 2.79%. Lo cual concuerda con lo expresado en otros trabajos donde se registra un índice de deforestación de 6% a lo largo de 25 años en el estado de Jalisco (Bautista, 2011).

Las predicciones son muy importantes ya que nos dan un panorama de la evolución del territorio, conforme a las sucesiones de los usos de los suelos de los años analizados. Los usos presentan un comportamiento en el cual las zonas agrícolas tienen un incremento considerable, que se incrementará hasta alcanzar en el 2050 una ocupación del 48.03% del territorio. Por otro lado, la evolución de los bosques muestra una clara pérdida de masa forestal densa, ya que a pesar de que los bosques ocupan una superficie importante del territorio (29.75%), sólo el 1.93% pertenece a los bosques densos, y el resto a bosques con algún tipo de perturbación (bosques fragmentados). Esta evolución nos marca un grave problema ya que nos pronostica una pérdida

drástica y grave de los recursos forestales del área de estudio, para evitar esto, es necesario aplicar estrategias de conservación y manejo de los recursos naturales.

Los sistemas de información geográfica son una herramienta útil para la elaboración de modelos de predicción, de los cambios de usos de los suelos a través de sucesiones temporales, se puede concluir que el sistema de información geográfica IDRISI, es una opción buena para el modelado espacio temporal de la ocupación de los usos de los suelo, a través de sus módulos de Land change modeler y cadenas de Markov. Camacho Olmedo (2010) postula que es necesario indicar que, si bien ambos son modelos de simulación espacio-temporal aplicables a los cambios de ocupación de usos del suelo, sus métodos, categorías contra sus transiciones son esencialmente diferentes, y la comparación de resultados no está garantizada si no se toma la precaución de que haya una perfecta transparencia en su puesta en práctica. De hecho, no basta con utilizar los mismos datos y drivers. Sólo una descripción minuciosa de las opciones autoriza la comparación de los resultados y la obtención de conclusiones sobre el comportamiento de los modelos. Por ello se ha aplicado el modelo básico tanto en LCM como en CA\_MARKOV.

## 10.- CONCLUSIONES

El uso del suelo urbano permaneció prácticamente estable, aunque presentó un incremento del 1.05% (1972) al 1.70% (2013) de ocupación del territorio. Sin embargo, el 0.65% equivale a un incremento de la mancha urbana de 445.1458 has. Para la predicción de 2025 y 2050 se estima una persistencia de 1.70%, que equivalen a 1,164.2274 has de uso urbano.

Las áreas destinadas a la agricultura presentan un cambio continuo, siendo la agricultura de riego la que presenta una pérdida considerable de ocupación, pasando de un 15.07% (1972) a un 6.51% (2013) registrando una pérdida de 5,862.2278 has. En cuanto a la predicción a 2050 presenta un área de 1321.74 has (1.93%). El caso contrario lo presenta la agricultura de temporal la cual tiene un incremento exponencial de más de un 200% de su primer registro para 1972 con 8,307.10 has (12.13%) y 23,825.57 has (34.79%) para 2013, esto equivale a un incremento de 15,518.46 has, con las predicciones a 2050 se espera un área de 32,653.15 has (47.68%).

Para el uso agua se presenta un comportamiento peculiar al mantener su área porcentual de ocupación en 1972 de 356.11 has (0.52%), teniendo variaciones mínimas al paso del tiempo, contando en el 2013 con una ocupación de 349.26 has (0.51%), este comportamiento se puede deber a la naturaleza de los cuerpos de agua de origen endorreico, que poseen como única entrada de agua a la precipitación anual y la pérdida se denota principalmente por la evapotranspiración (CONABIO, 2012), este resultado no refleja la calidad del agua si no solo la ocupación de esta categoría.

Para el caso de usos naturales con arbolado (bosque denso, bosque fragmentado y matorrales). Los bosques densos presentan en 1972 un área de 10,861.55 has (15.86%), y para el 2013 un área de 7629.11 has (11.14%), lo que denota una pérdida de más forestal densa de 3,232.44 has. Se estima una pérdida drástica de los bosques densos para 2050, prediciendo una pérdida de 6,307.37 has (9.21%) pronosticando por tanto que sólo se conservarán 1,321.74 has (1.93%). Por otro lado, los bosques fragmentados presentan un área de 10,327.38 has (15.08%) en 1972, y tienen un incremento alcanzando una ocupación de 12,874.98 has (18.8%); sin embargo

después de este incremento se registra una pérdida continua de superficie, llegando a una ocupación de 7,033.30 has (10.27%), para después incrementar su ocupación en la zona de estudio, alcanzando en el 2013 una ocupación de 12,744.86 has (18.61%). Para la prospección de este uso en el 2050 se incrementa aún más este uso del suelo, estableciéndose un incremento de 6,307.27 has (9.21%), registrando una ocupación total de 19,052.24 has (27.82%). El uso matorral es una transición entre la frontera agrícola, urbana y forestal al igual que pastizales,. Los matorrales se encuentran en continua ganancia y perdida de su área en relación al aclareo de nuevas zonas agrícolas, urbanas, teniendo un área porcentual de ocupación de 4,170.67 has (6.09%) en 1972, con un incremento en 1993 de 9252.18 has (13.51%) para registrar una superficie de ocupación de 13,422.85 (19.6%), para después pasar por un periodo de estabilización en los años 200 y 2013, alcanzando una superficie en este último de 5,417.08 has (7.91%), presentando una pérdida de 7,937.29 has (11.59%) respecto a 1993. Para la predicción muestra un persistencia de 5,417.08 has (7.91%) para el 2050.

Los usos naturales sin arbolado (pastizal, suelo desnudo y vegetación halófito) presentan un decremento continuo en el caso de suelo desnudo presenta una superficie de 5,006.17 has (7.31%), para después presentar una pérdida en el año 1984 de de 3,773.46 has (5.51%) del área total. Finalmente, en el año 2013 este uso presentó una ocupación de 1,239.55 has (1.8%). Para la prospección esta categoría se mantiene constante. Las zonas de suelo desnudo se deben a derrumbes en zonas vegetación natural las cuales por medio de la sucesión de nicho se recuperan, de forma natural, por otro lado los aclareos por interacción antrópica también son generadores de suelo desnudo. Se ha observado que esta categoría se ve favorecida por el incremento de mancha urbana, agricultura, etc. La vegetación halófito (laguna el salado Tepeyahualco) presenta un área 5,595.14 has (8.17%) para 1972, siendo el mayor registro de ocupación, al compararlo con 2013 se registra una pérdida de 1,636.76 has (2.39%), registrando 3,958.37 has (5.78%), para la prospección a el 2050 presenta una persistencia de registrando 3,958.37 has (5.78%). Cabe denotar que en la transición de 2000 a 2013 se presenta una edificación urbana en el área de vegetación halófito. Los pastizales presentes en la zona de estudio registran 14,415.87 has (21.05%) para

1972, en los años siguientes presenta un decremento continuo hasta alcanzar en el año 2013 una pérdida total de 67,450.67 has (9.85%); registrando una ocupación 7,670.20 has (11.2%). La prospección a 2050 no predice una decremento de 4,615.81 has (6.74%), pronosticando un área de 3,054.38 has (4.46%).

## 11.- RECOMENDACIONES

Se puede apreciar que los cambios de uso de suelo son una noción compleja, la cual integra aspectos conceptuales de planificación regional o espacial, haciendo énfasis en el aspecto geográfico y en la disminución de los desequilibrios ambientales. Es importante diseñar diversas herramientas informáticas como los Sistemas de Información Geográfica que estén a disposición de los locatarios y que operen como monitores de los efectos de las políticas públicas en diferentes condiciones.

En respuesta a ello se plantean algunas sugerencias:

- La elaboración de un Sistema de Información Geográfica en donde se establezcan las características ambientales y socioeconómicas regionales, así como la representación territorial de los principales procesos que estén afectando el manejo de los recursos naturales en este caso el uso de suelo.
- Una zonificación agrícola que busque la vocación idónea del uso del suelo y especificar lo que se produce en la región, esto para identificar si son viables y ayudar a prevenir la desertificación por prácticas agrícolas erróneas.
- La elaboración de estrategias integrales que permitan el desarrollo regional, considerando distintas escalas espaciales y temporales, las cuales consideren, al menos, algunos de los siguientes aspectos:
  - a.- Propuestas para el manejo, restauración, aprovechamiento y conservación de los suelos.
  - b.- Ordenar las diferentes actividades productivas de acuerdo con una propuesta de un ordenamiento ecológico.

c.- Estimulación del crecimiento urbano hacia zonas de baja productividad,

d.- Remarcar la importancia de los usos del suelo así como las predicciones de los mismos para la elaboración de ordenamientos territoriales locales y o regionales.

## 12.- LITERATURA CITADA

**ALVARADO GONZÁLEZ A. 2009.** "Análisis multicriterio para identificar para identificar y jerarquizar fuentes de agua subterránea con mayor necesidad de protección." Tesis para obtener el título de maestro en ciencias del agua, UAEM 2009.

**ARVAIRA, V. 2000** "Índice Kappa". Unidad de Bioestadística Clínica. Hospital Ramón y Cajal. Madrid. SEMERGEN: 2000; 27: Pp247-249.

**AVERY AND BERLIN, 1992 EN VON-THADEN. U.J. J. 2012.** "Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en el municipio de Guelatao de Juárez, Oaxaca, México" Tesis de licenciatura. Universidad la Sierra de Juárez.

**BAUTISTA A. M. ALCARA R.J. 2011** "Cambio de uso del suelo y deforestación en el Estado de Jalisco" Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco.

**BELL, 1974. BRICEÑO-VALERA, F. 2004** "Las cadenas de Járkov en el análisis de cambios y asignación de usos de la tierra" Revista Geográfica Venezolana, Vol. 46(1) 2005. Pp 35-45.

**BOCCO, G., ROSETE VERGÉS, F. A. y PÉREZ DAMIÁN, J. L. 2009.** "Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México." Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Pp 67, 39-58.

**BRICEÑO-VALERA, F. 2004** "Las cadenas de Markov en el análisis de cambios y asignación de usos de la tierra" Revista Geográfica Venezolana, Vol. 46(1) 2005. Pp 35-45.

**BUREL, F. BAUDRY, J. 2002.** "Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones", Mundi Prensa Libros SA.

**CAMACHO-OLMEDO M. T., MOLERO-MELGAREJO E. PAEGELOW M. 2010** "Modelos geománticos a la simulación de cambios de usos del suelo. Evaluación del potencial de cambio" Tecnologías de la información Geográfica: la información

Geográfica al servicio de los ciudadanos secretariado de publicación de la Universidad de Sevilla. 2010. Pp. 658. 678.

**CHUVIECO, E. 1985.** "Aportaciones de la Teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo". *In*, 1985. Pp 29-48.

**CICEANA-CENTRO-DE-INFORMACIÓN-Y-COMUNICACIÓN-AMBIENTAL-DE-NORTE-AMÉRICA.** 2013 "Saber más... Percepción remota" [www.ciceana.org.mx](http://www.ciceana.org.mx).

**CLARKLABS, 2010. CAMACHO-OLMEDO M. T., MOLERO-MELGAREJO E. PAEGELOW M. 2010** "Modelos geománticos a la simulación de cambios de usos del suelo. Evaluación del potencial de cambio" *Tecnologías de la información Geográfica: la información Geográfica al servicio de los ciudadanos secretariado de publicación de la Universidad de Sevilla.* 2010. Pp. 658. 678.

**COHEN. 2003. ARVAIRA, V. 2000** "Índice Kappa". Unidad de Bioestadística Clínica. Hospital Ramón y Cajal. Madrid. SEMERGEN: 2000; 27: Pp247-249.

**CONABIO, 2012** "Pagina web consultada el 12 de agosto de 2012" [.http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp\\_070.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_070.html).

**CONAFOR, 2012** "Pagina web consultada el 12 de agosto de 2012" [.http://148.223.105.188:2222/gif/snif\\_portal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=12&Itemid=7](http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=7).

**CONAGUA. 2013** "Pagina web consultada el 5 de mayo de 2013" ["www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/balsasvedas.pdf"](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/balsasvedas.pdf) 1  
NOVIEMBRE 2013.

**CORTINA-VILLAR S., MACARIO-MENDOZA P., OGNEVA-HIMMELBERG Y. 1999** "Cambios de uso de suelo y deforestación en el sur de los Estados de Campeche y Quintana Roo, México" *Investigaciones geográficas, Boletín 38,* Pp 41-56.

**DYERS A. G. 2010** "Los grandes problemas de México XI Economía rural Capitulo 3 Uso del suelo en México *¿Conservación o desarrollo?*" *El Colegio de México* pp. 95-144.

**EASTAMAN 2006. ALVARADO GONZÁLEZ A. 2009.** "Análisis multicriterio para identificar para identificar y jerarquizar fuentes de agua subterránea con mayor necesidad de protección." Tesis para obtener el título de maestro en ciencias del agua, UAEM 2009.

**EASTMAN-RONALD J. 2006.** "Manual Idrisi Andes version 15" Clack labs y Clark University.

**EASTMAN-RONALD J. 2012.** "Manual Idrisi Selva versión 17" Clack labs y Clark University.

**FIGUEROA-JAUREGUI M. L., IBAÑEZ-CASTILLO L.A., ARTEAGA-RAMÍREZ R., ARELLANO-MONTERROSASJ. L., VAZQUEZ-PEÑA M. 2011** "Cambio de uso de suelo en la Cuenca de San Cristóbal de las Casas, México" Agro ciencia. Pp. 532-544.

**FONOLLOSA, J.B., SALLAN, J. M., SUÑE, A. 2002** "Métodos Cuantitativos de Organización Industrial II" Aula politécnica/ Organización de empresas, Edición de la Universidad Politécnica de Catalunya SI.

**GARCÍA-OROSCO J.A., GUTIÉRREZ-CEDILLO J. G., JUAN PÉREZ J.I. Y BALDERAS-PLATAS M.A. 2011** "Cambio de uso de suelo en la micro cuenca del Altiplano Mexicano". Papeles de Geografía 2011, Pp 125-135.

**GLOVIS, 2013** <http://glovis.usgs.gov>

**GÓMEZ J.C. GOBBO J.E. 2002** "Er Mapper tutorial" Facultad de Ciencias Naturales y Museo Universidad Nacional de la Plata. Argentinas PGW S.A. Earth Resources Mapping Latin América.

<http://iieg.gob.mx/contenido/GeografiaMedioAmbiente/Cambiodeusodelsueloparaestudiodebiodiversidad.pdf>.

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/508/cambiouso.pdf>. Consultada el 4 de noviembre de 2012.

**ICT.1972** “Instructivo para la determinación del clima de acuerdo con el segundo sistema de Thornthwaite”. Dirección general de Estudios y Dirección de Agrología, Departamento de estudios especiales, Secretaria de recursos Hídricos. México D.F. diciembre 1972.

**INE. 2012** “El cambio de uso de suelo y su repercusión en la atmosfera por Juan Elvira Quesada”.

**INEGI, 1998:** Diccionario de tipos de suelos.

**INEGI, 2009:** “Prontuarios municipales del Estado de Puebla, Guadalupe victoria y Tepeyahualco” <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos>.

**INEGI, 2011.** “<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espa%C3%B1ol/estados/puebla/clim.cfm?c=444&e=21>”.

**INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1989.** “Uso potencial del suelo. Aguascalientes, Aguascalientes, México”.

**IUSS GRUPO DE TRABAJO WRB. 2007:** “Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007”. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.

**JEAN-FRANCOIS M. FLAMENCO-SANDOVAL A. 2011**”Modelacion de los cambios de coberturas de usos de suelo en una región tropical de México” *Geo trópico*, 5(1) artículo 1: 1-24.

**LANDSAT.USGS.GOV, 2013:** [http://landsat.usgs.gov/tools\\_faq.php](http://landsat.usgs.gov/tools_faq.php)

**LÓPEZ, G. S., PINILLA-RUIZ, C. & LAGO, A. 2001.** “Utilización de Landsat-MSS para la cartografía de cultivos bajo plástico: Estudio de la fiabilidad de la clasificación. *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*”, Pp 65-69.

**LUCC BUDGET, PONTIUS ET AL., 2004. CAMACHO-OLMEDO M. T., MOLERO-MELGAREJO E. PAEGELOW M. 2010** “Modelos geománticos a la simulación de cambios de usos del suelo. Evaluación del potencial de cambio” *Tecnologías de la*

información Geográfica: la información Geográfica al servicio de los ciudadanos secretariado de publicación de la Universidad de Sevilla. 2010. Pp. 658. 678.

**MANZERA 1996. VELAZQUEZ J.P. MAS.J.R. GALLEGOS R. FERNANDEZ .G BACCO. E. 2002** “Patrones de tasas de cambio de uso de suelo en Mexico”. Gaceta ecológica INE, SEMARNAT México Núm. 62, México, 2002 P.p. 21-37.

**MENDOZA, M., LÓPEZ, E. & BOCCO, G. 2001.** “Regionalización ecológica, conservación de recursos naturales y ordenamiento territorial en la cuenca del lago de Cuitzeo. Michoacán”. Resultados. Proyecto.

**NÁJERA, G.O., BOJÓRQUEZ, S. JI., CIFUENTES, L. JL., MARCELEÑO, F. S. 2010,** “Cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit, Revista Biociencias, 1 (1), pp. 19-29.

**PAEGELOW, M. Y CAMACHO OLMEDO, M.T. (2005) EN CAMACHO-OLMEDO M. T., MOLERO-MELGAREJO E. PAEGELOW M. 2010** “Modelos geománticos a la simulación de cambios de usos del suelo. Evaluación del potencial de cambio” Tecnologías de la información Geográfica: la información Geográfica al servicio de los ciudadanos secretariado de publicación de la Universidad de Sevilla. 2010. Pp. 658. 678.

**PÉREZ-MIRANDA R. VALDEZ-LAZALDE R.J., MORENO-SANCHEZ F., GONZALEZ-HERNANDEZ A., VALDEZ-HERNÁNDEZ. J, I. 2011** “Predicción espacial de cambios de uso de suelo en Texcoco, Estado de México” revista Mexicana de Ciencias Forestales, Pp, 59-72.

**PINEDA-JIMÉNEZ N.B., BOSQUE-SENDRA J., GOMEZ-DELGADO M., PLATA-ROCHA W., 2009** “Análisis de cambio de uso de suelo en el Estado de México mediante Sistemas de Información Geográfica y técnicas de regresión Multivariada. Una aproximación a los procesos de deforestación” Investigación Geográfica, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 69, pp. 33-55.

**PISANTY, I. & CASO, C. M. 2006.** “Especies, espacio y riesgo”. INE, México.

**RAMOS-REYES, R., PALMA-LÓPEZ, D., DAVID, J., ORTIZ-SOLORIO, C.A., ORTIZ-GARCÍA, CARLOS F., DÍAZ-PADILLA, G. 2004** “Cambios de uso de suelo mediante técnicas de información geográfica en una región cacaotera” *Terra Latinoamericana*, vol. 22, Num. 3 pp. 267-278. Universidad Autónoma de Capingo.

**RODRÍGUEZ, E. B., DOMÍNGUEZ, S. T. & PÉREZ, E. V. 2002.** “Aplicación de imágenes de satélite en la cartografía de uso de suelo y vegetación en una región del oriente del valle de México”. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, pp 13-19.

**RODRIGUEZ-BUENDIA E., VARGAS –PEREZ E., LEYVA-OVALLE A., TERRAZAS-DOMINGUEZ S. 2002**”Aplicación de redes neuronales artificiales y técnicas SIG para la predicción de coberturas forestales” *Revista de chaingo serie ciencias forestales del ambiente*, año /volumen 8 vol 1, pp.31-37.

**ROSETE, F. BOCCO, G. 2003:** “Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas por los planes de manejo en comunidades forestales” *Gasetta ecológica INE- SEMARNAT México*. Num.68, 2003. Pag: 43-55.

**SEMARNAT, 2005:** “Vegetación de México” [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/02\\_vegetacion/recuadros/c\\_rec1\\_02.htm](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/02_vegetacion/recuadros/c_rec1_02.htm).

**SEMARNAT, COLEGIO DE POSTGRADUADOS 2003.** “Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000”. *Memoria Nacional 2001-2002*. México.

**SEMARNAT. 2012** “Capitulo 2. Vegetación y Cambio de Uso de Selo” [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/02\\_vegetacion/cap2\\_3.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/02_vegetacion/cap2_3.html). Consultada el 4 de noviembre de 2012.

**TRICART, J., KILIAN, J. 1982.** “La eco-geografía y la ordenación del territorio. Barcelona. Anagrama” [En línea]. <http://ddd.uab.cat/pub/dag/02121573n3p209.pdf>

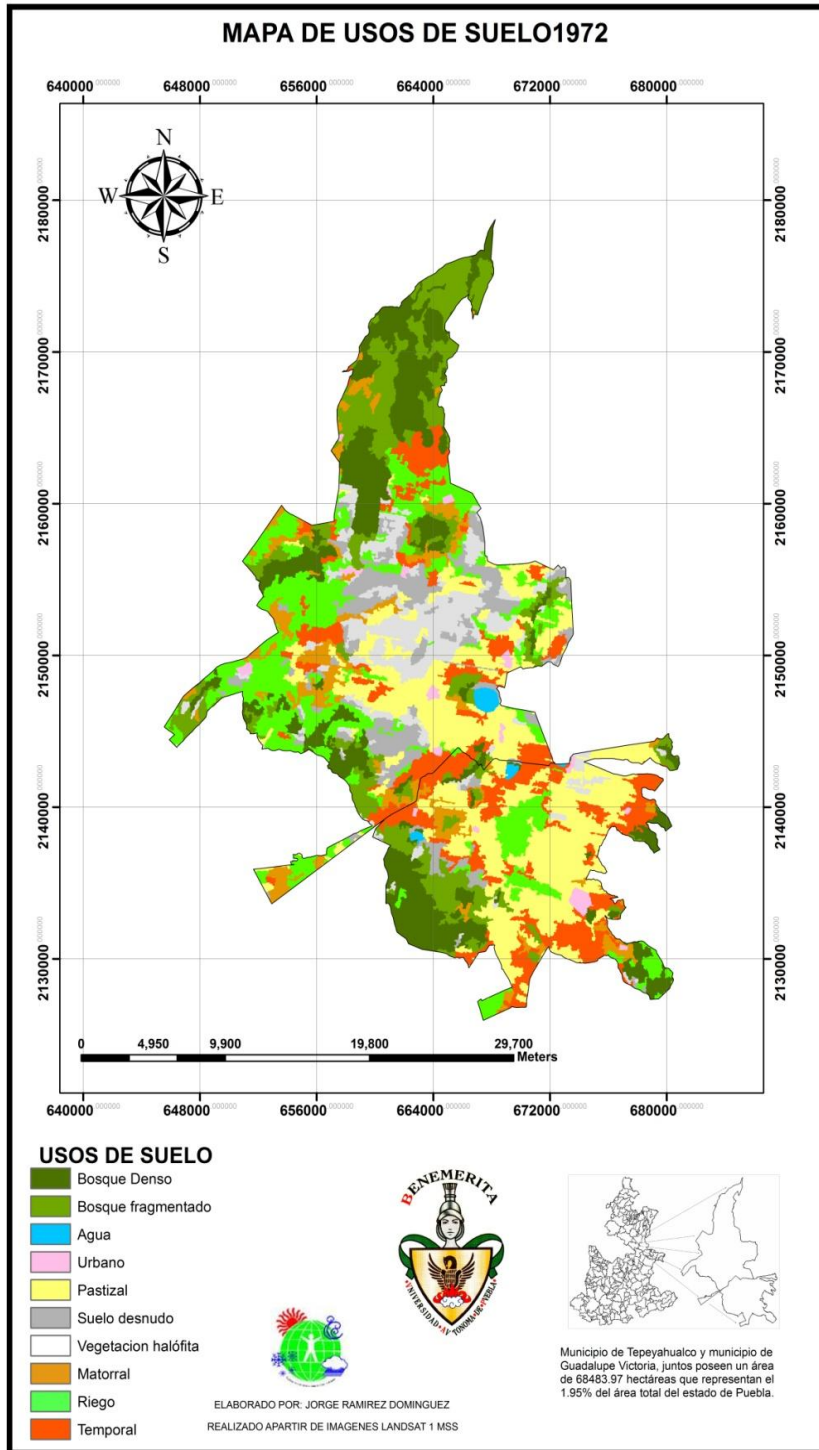
**VALLECILLO, R. S. 2009.** “Los cambios en el paisaje y su efecto sobre la distribución de las especies: modelización y aplicación a la conservación de las aves de hábitats abiertos en paisajes mediterráneos.” Tesis Doctorado, Universidad de Lleida.

**VELÁSQUEZ A., MAS J. F., DÍAZ-GALLEGOS J.R., MAYORGA-SAUCEDO R., ALCÁNTARA P. C., CASTRO R., FERNÁNDEZ T., BOCCO G., EZCURRA E., PALACIOS J. L. 2002** “Patrones y tasas de cambio de uso de suelo en México”, Gaceta Ecológica, Numero 062, Instituto Nacional de Ecología, Distrito Federal México, pp. 21-37.

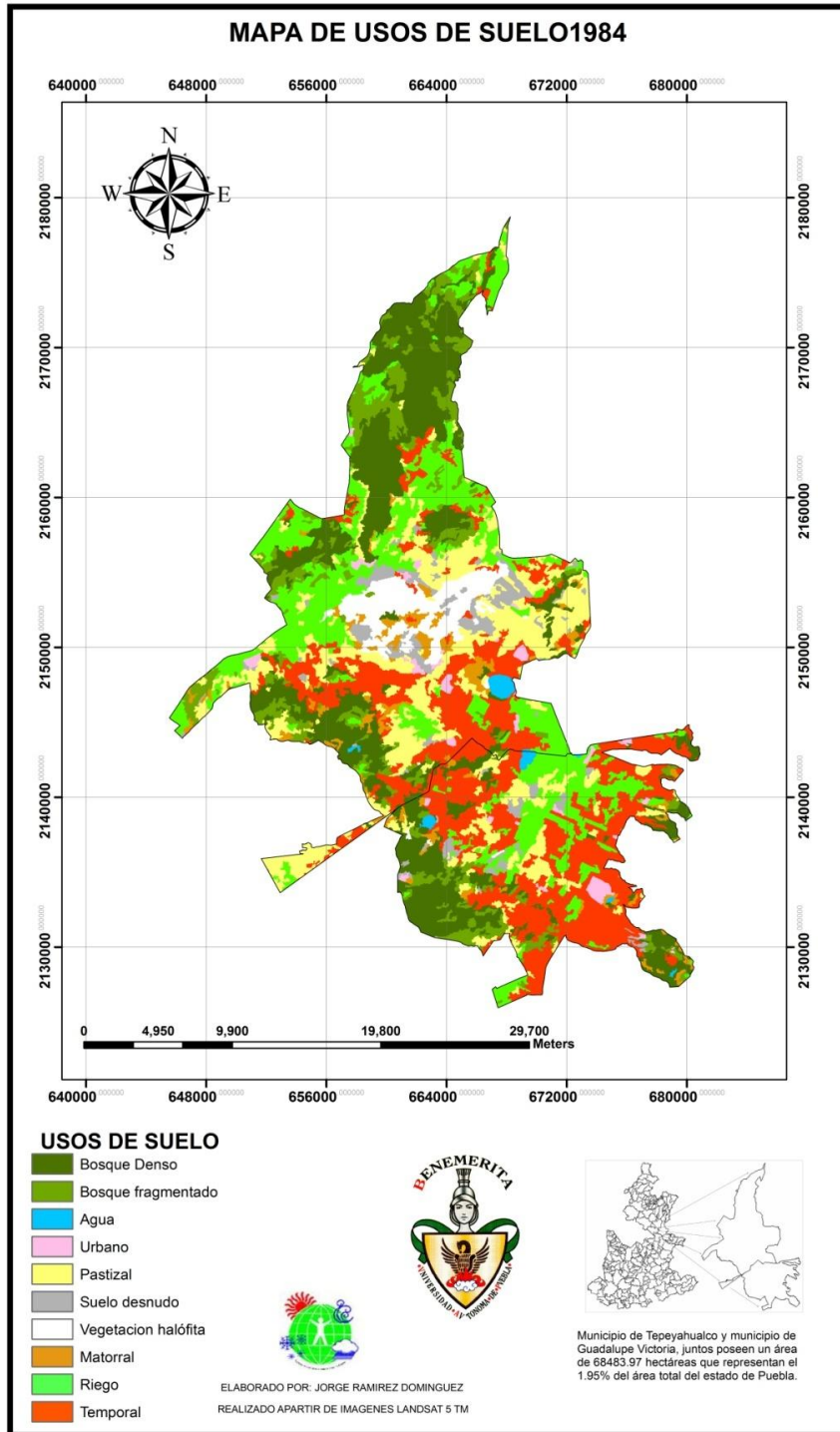
**VON-THADEN.U.J.J. 2012** "Cambio de uso de suelo de la cobertura vegetal en el municipio de Guelatao de Juárez, Oaxaca México". Tesis de licenciatura Universidad de la sierra de Juárez.

# **ANEXO CARTOGRÁFICO**

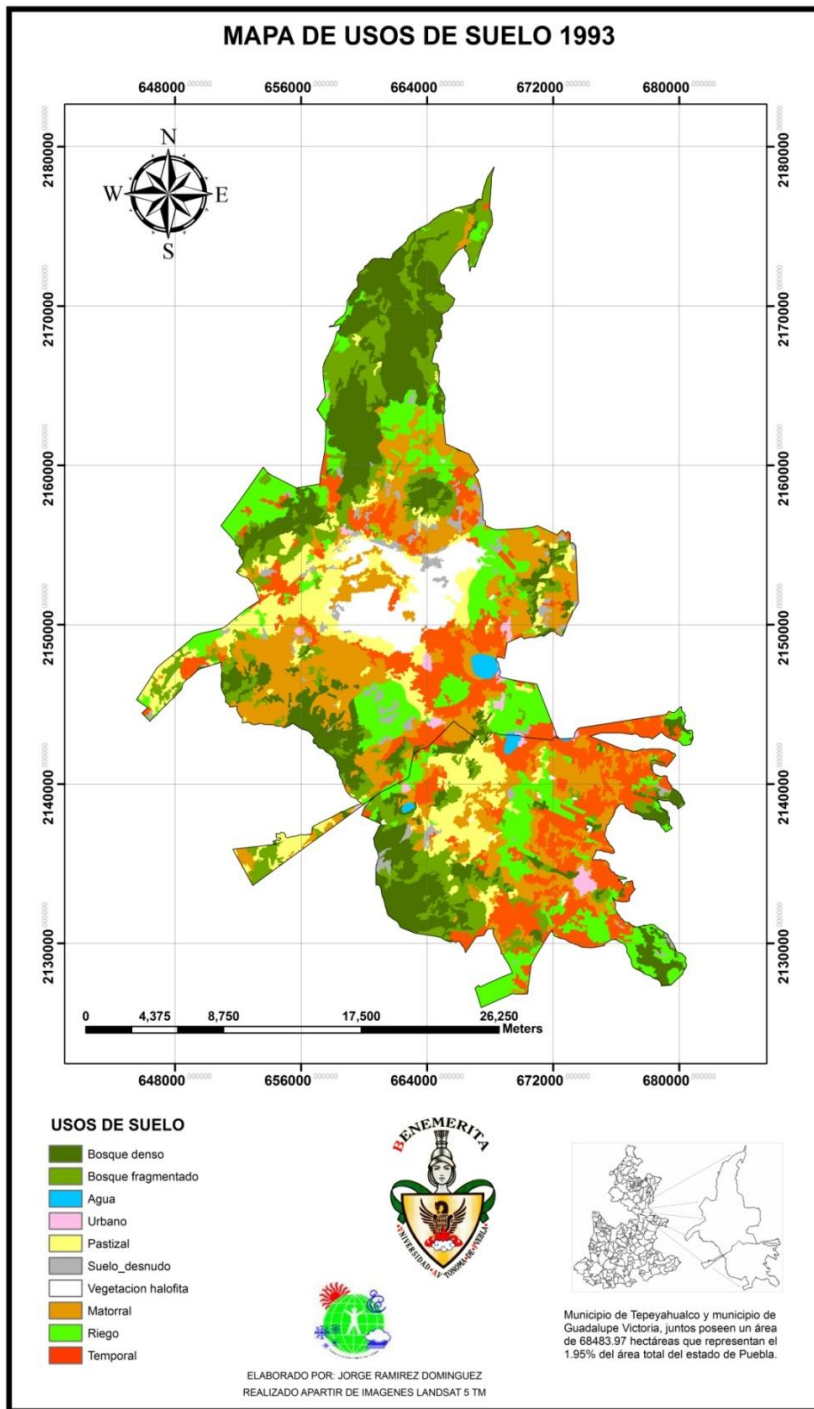
# **1.- MAPAS DE USOS DEL SUELO: 1974, 1982, 1993, 2000 Y 2013**



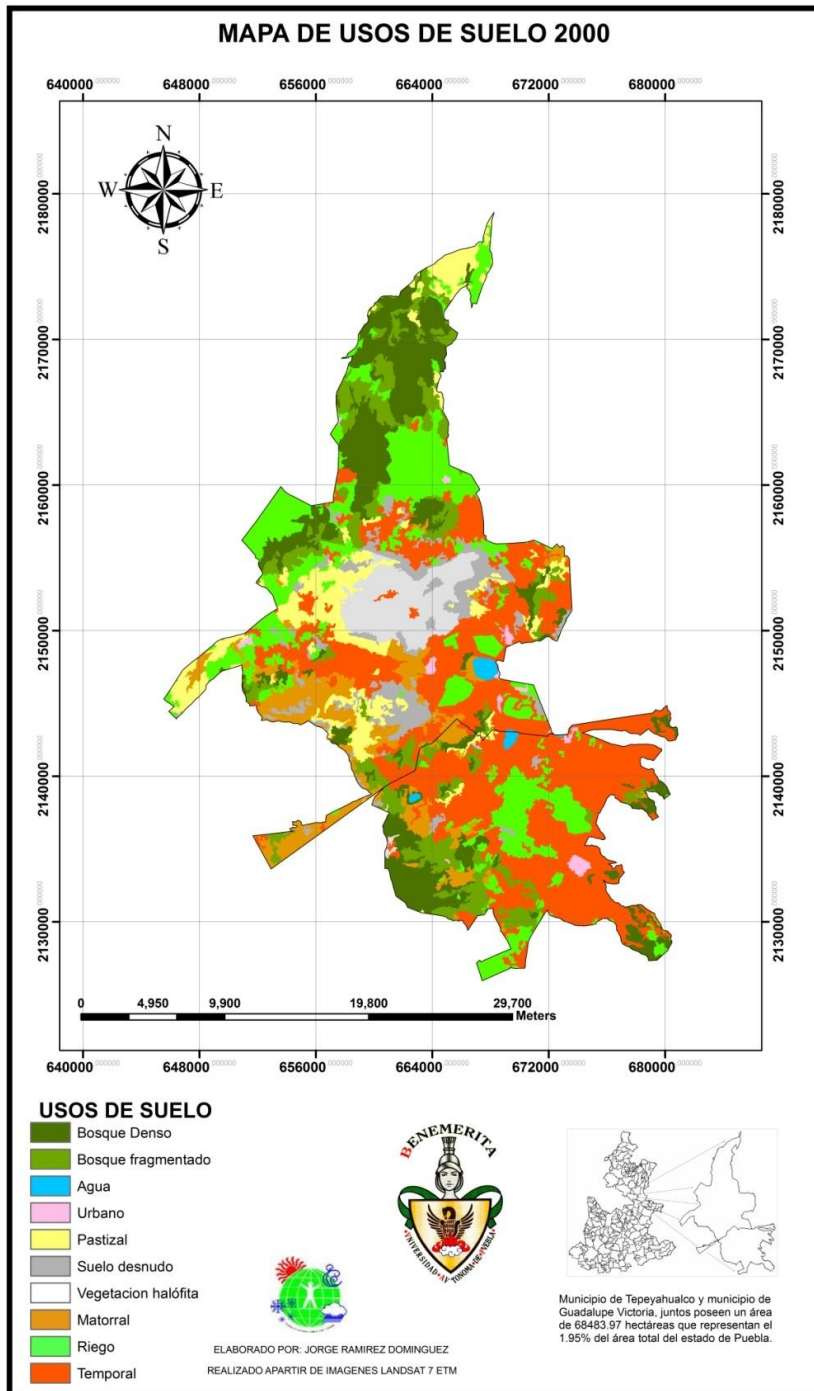
**IMAGEN. 1.** Mapa usos de suelo 1972, este mapa se genero a partir de imágenes Landsat 1 MSS, y procesado en IDRISI SELVA, nos muestra la distribución de los usos del suelo en la década de los 70's. Se observa una dominancia en cuanto extensión de los usos de suelo de tipo natural, hay dos usos naturales como lo son Pastizales y Bosques densos con 21.05 % y 15.086 % respectivamente, mientras que los usos agrícolas se encuentran en tercero y quinto lugar en cuanto a extensión porcentual de territorio de el área de estudio.



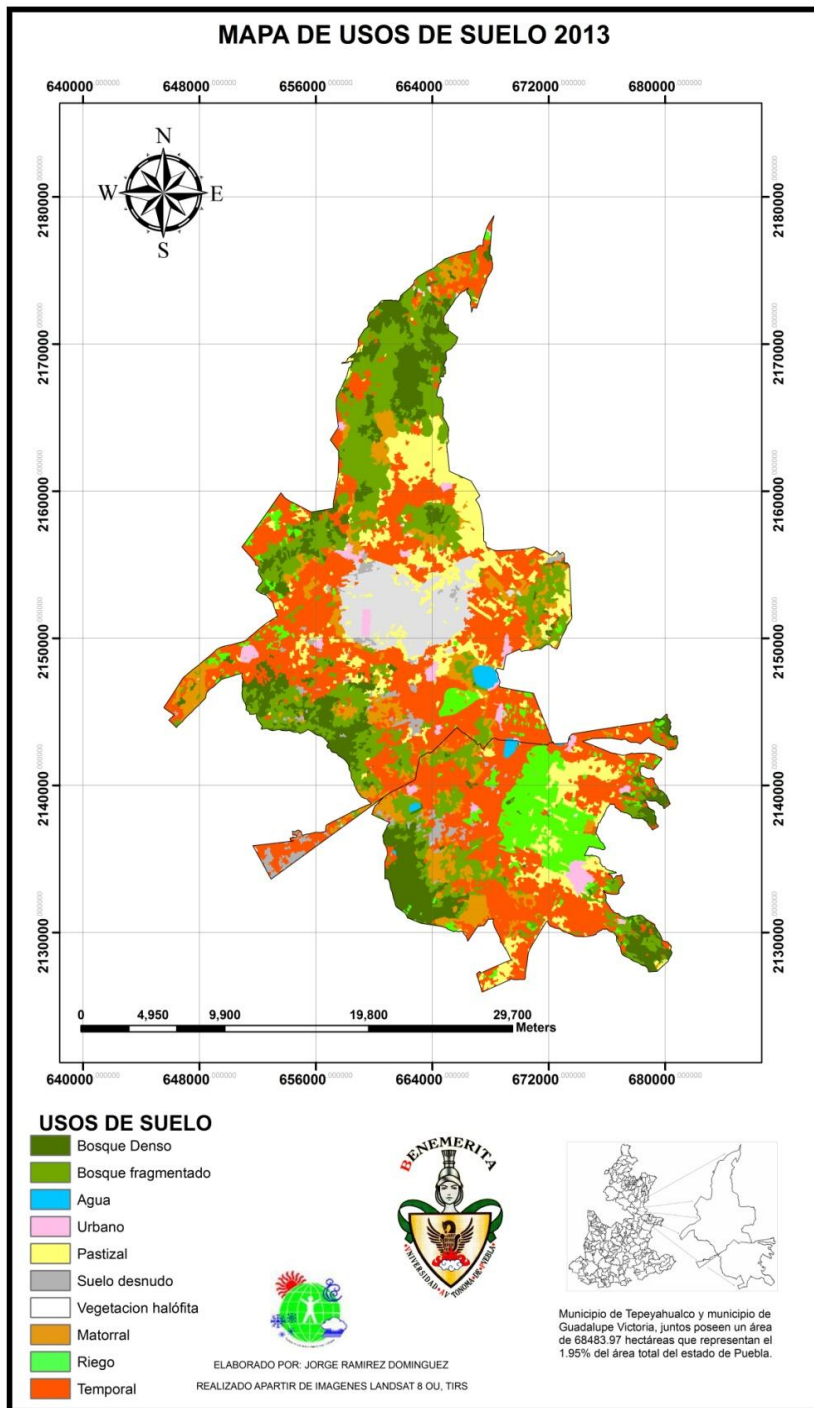
**IMAGEN. 2.** Mapa de uso de suelo de 1984, este mapa se genero a partir de imágenes Landsat 5 TM, y procesado en IDRISI SELVA. nos muestra la distribución de los usos del suelo en la década de los 80's.. Se observa una dominancia del uso temporal con 23.06 %, en segundo lugar bosque denso con 21.17 %, lo cual nos denota un incremento en la agricultura en la década de los 80's, se registra un incremento de 0.3 % en el área urbana.



**IMAGEN. 3.** Mapa de uso de suelo de 1993, este mapa se generó a partir de imágenes Landsat 7 TM, y procesado en IDRISI SELVA. Nos muestra la distribución de los usos del suelo en la década de los 90's. Se observa una dominancia de los usos de los suelos en cuanto a extensión del uso matorral con 19.60% y bosques densos con 18.05%, los usos agrícolas registran una extensión de 29.78%.

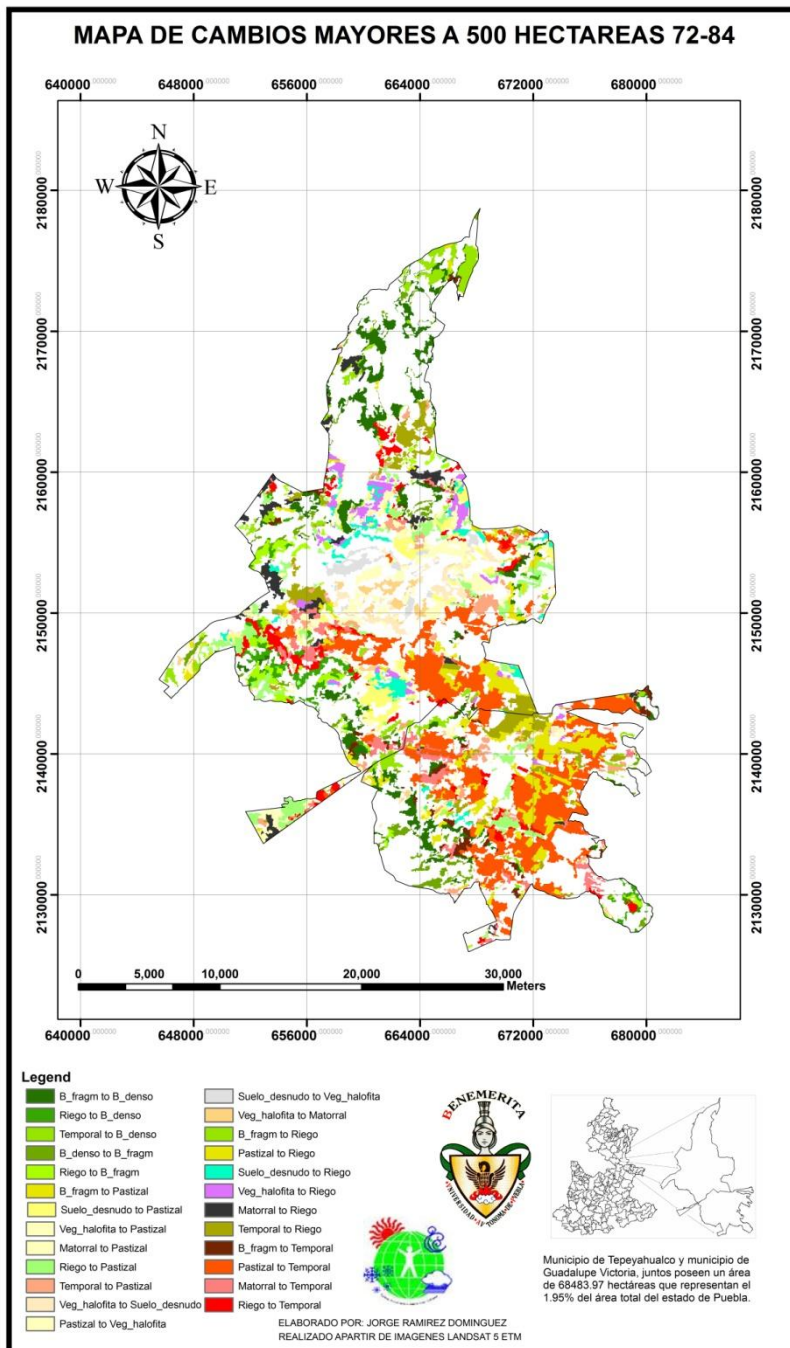


**IMAGEN. 4.** Mapa de uso de suelo de 2000, este mapa se generó a partir de imágenes Landsat 7 TM, y procesado en IDRISI SELVA. Nos muestra la distribución de los usos del suelo en año 2000. Los usos de suelo correspondientes a agricultura presentan un dominio de 48.23 %, del área total siendo la agricultura de riego el uso dominante con 31.42 %, mientras que los usos naturales, pierden extensión siendo los más dominantes de ellos el bosque denso y bosque fragmentados con 14.43 % y 10.27% respectivamente.

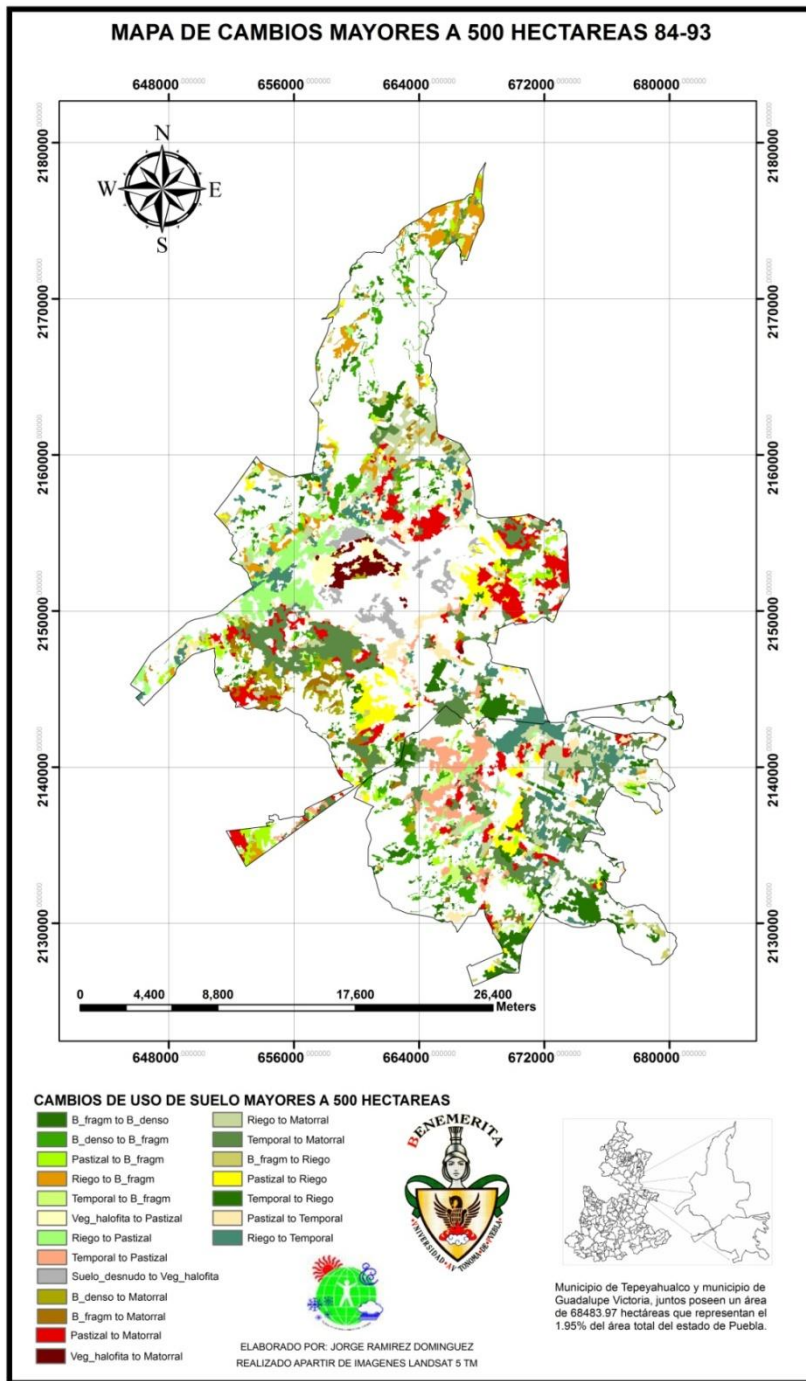


**IMAGEN.5 .** Mapa de uso de suelo de 2013, este mapa se generó a partir de imágenes Landsat 8 TM, y procesado en IDRISI SELVA. Nos muestra la distribución de los usos del suelo en el año 2013. Se observa una dominancia en ocupación de uso de suelo del uso agrícola de temporal con un 34.79% de ocupación seguido por bosque fragmentado, pastizal, bosque denso y matorral con 48.86 %, lo cual nos muestra un cambio de uso del suelo a agricultura de temporal.

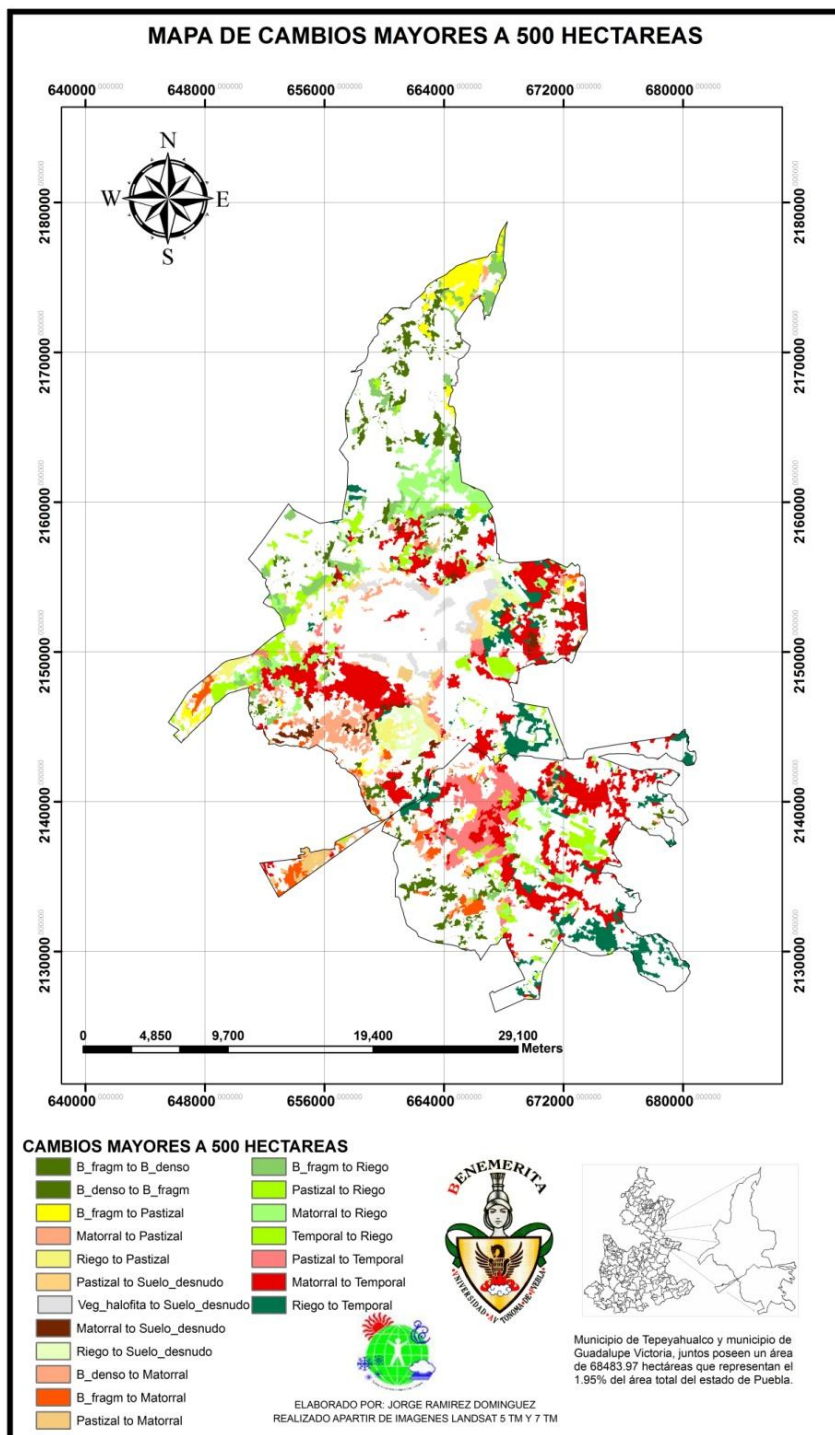
**2.- MAPAS DE CAMBIOS DE USOS DEL  
SUELO (CROSSTAB)  
1972-1984, 1984-1993, 1993-200, 2000-2013**



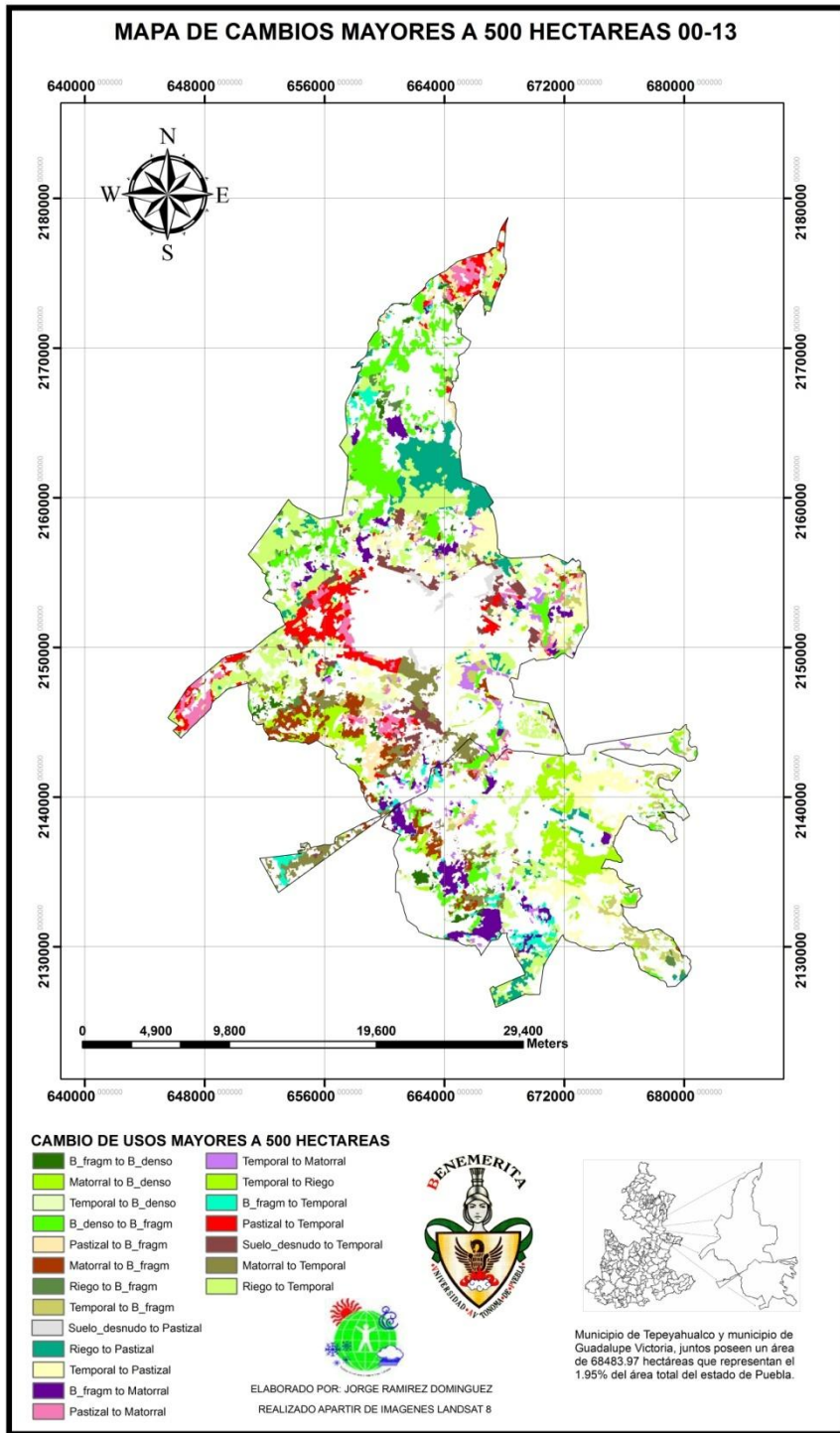
**IMAGEN.6 .** Mapa de cambios mayores a 500 has del periodo 1972-1984, en este mapa se restringieron solo a los usos mayores a 500 has, de los cuales sobre salen el cambio de bosque fragmentado a bosque denso y de riego a bosque denso teniendo la mayor extensión, no obstante se tiene que reconocer que existe un sesgo de error en cuanto a la detección y asignación al momento de la categorización de los usos de suelo y esto depende a la calidad de la imagen ver grafico de persistencia.



**IMAGEN.7 .** Mapa de cambios mayores a 500 has del periodo 1984-1993, en este mapa solo se tomaron las transiciones mayores a 500 has, donde se puede observar que la mayor transición se vio reflejada en el bosque fragmentado y el bosque denso y viceversa.

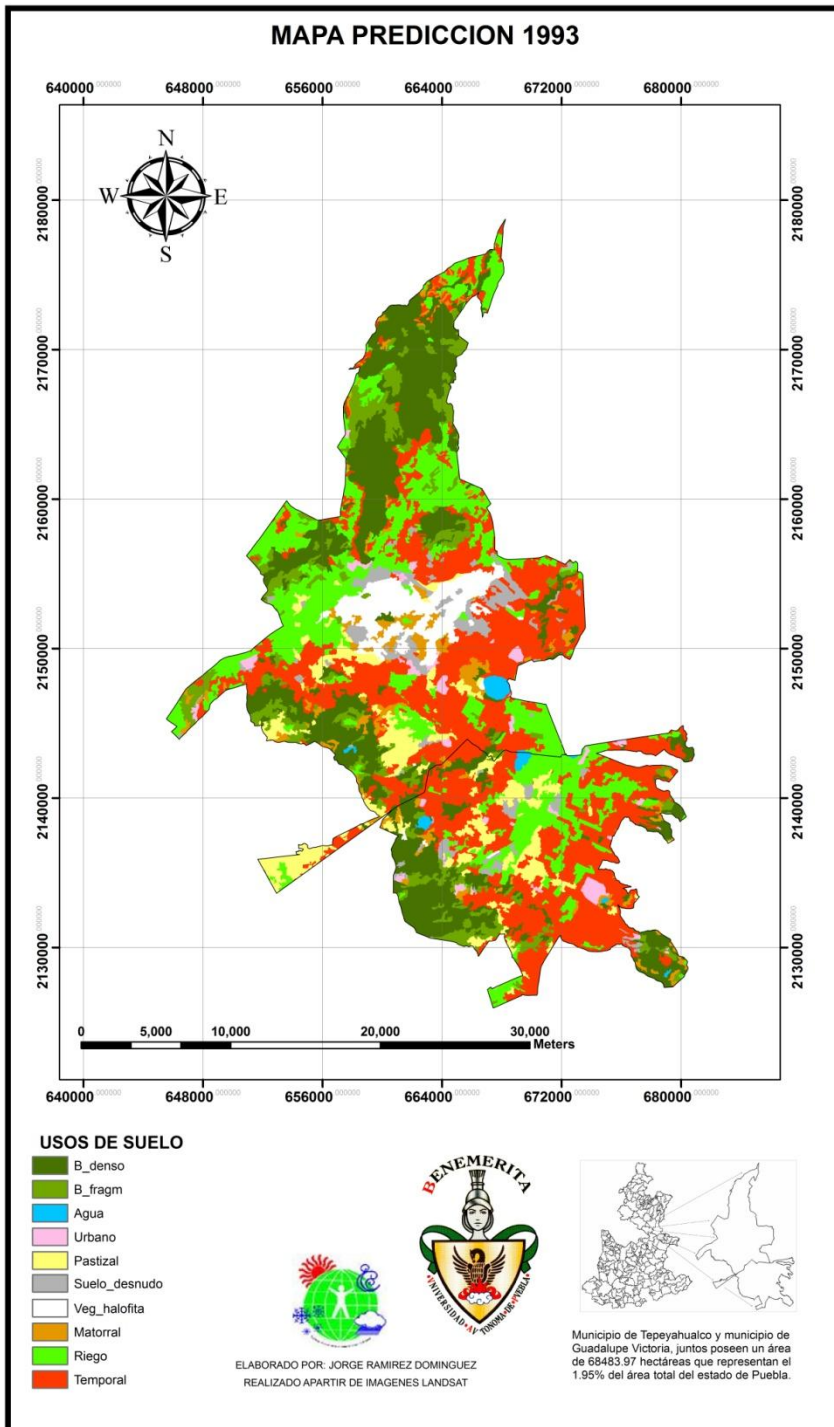


**IMAGEN.8** . Mapa de cambios mayores a 500 has del periodo 1993-2000, Se presenta el mapa de transición en el cual se restringió a solo reconocer las transiciones mayores a 500 has, esto se debe a que como el área que se está manejando es muy extensa cambios menores a 500 has, se ejemplifica como ahora los cambios más marcados están en la parte norte y sur del área de estudio.

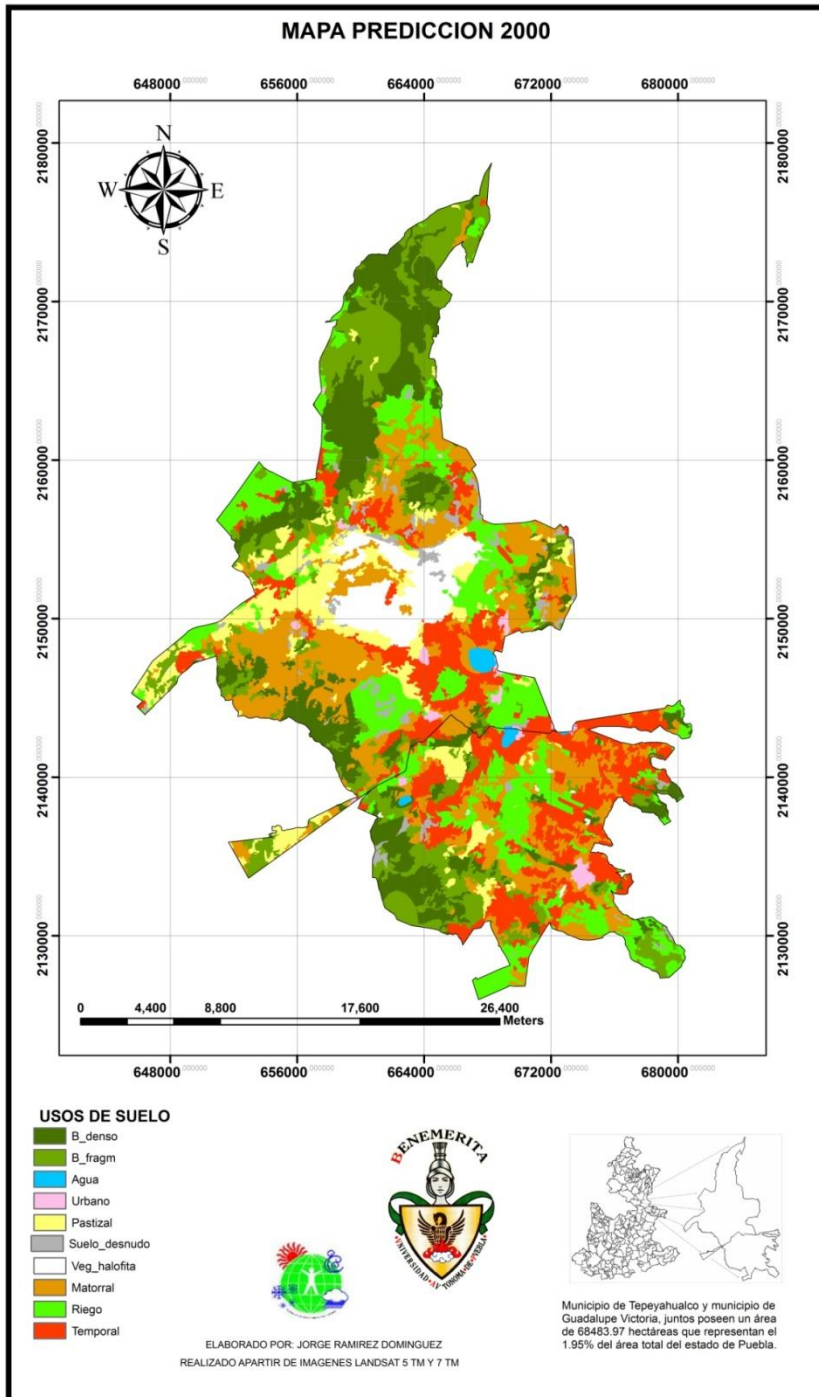


**IMAGEN.9** . Mapa de cambios mayores a 500 has del periodo 2000-2013, se observa como los cambios más marcados son en las regiones de Bosques densos, en la parte norte del área de estudio.

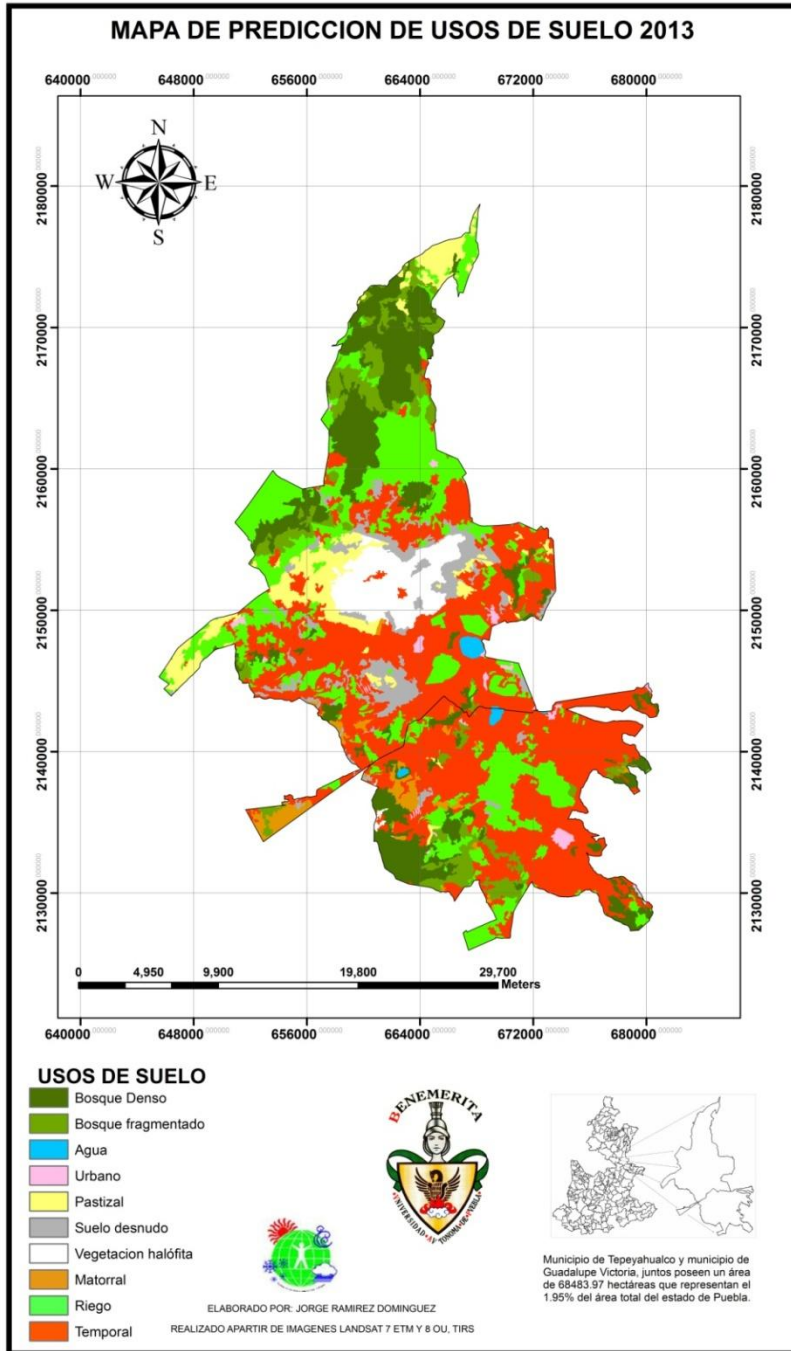
## **4.- MAPAS DE PREDICCIÓN**



**IMAGEN.10 . Mapa de predicción 1993.** En la transición de 1972 a 1984 se obtuvo la predicción de usos de los suelos de 1993. En la cual se puede observar que el uso de agricultura de temporal es la más abundante con 21503.16 has, y el uso agua posee la menor área con 451.71 has, pero no por ser el uso con menos área es el menos importante ver imagen de predicción de usos de suelo.

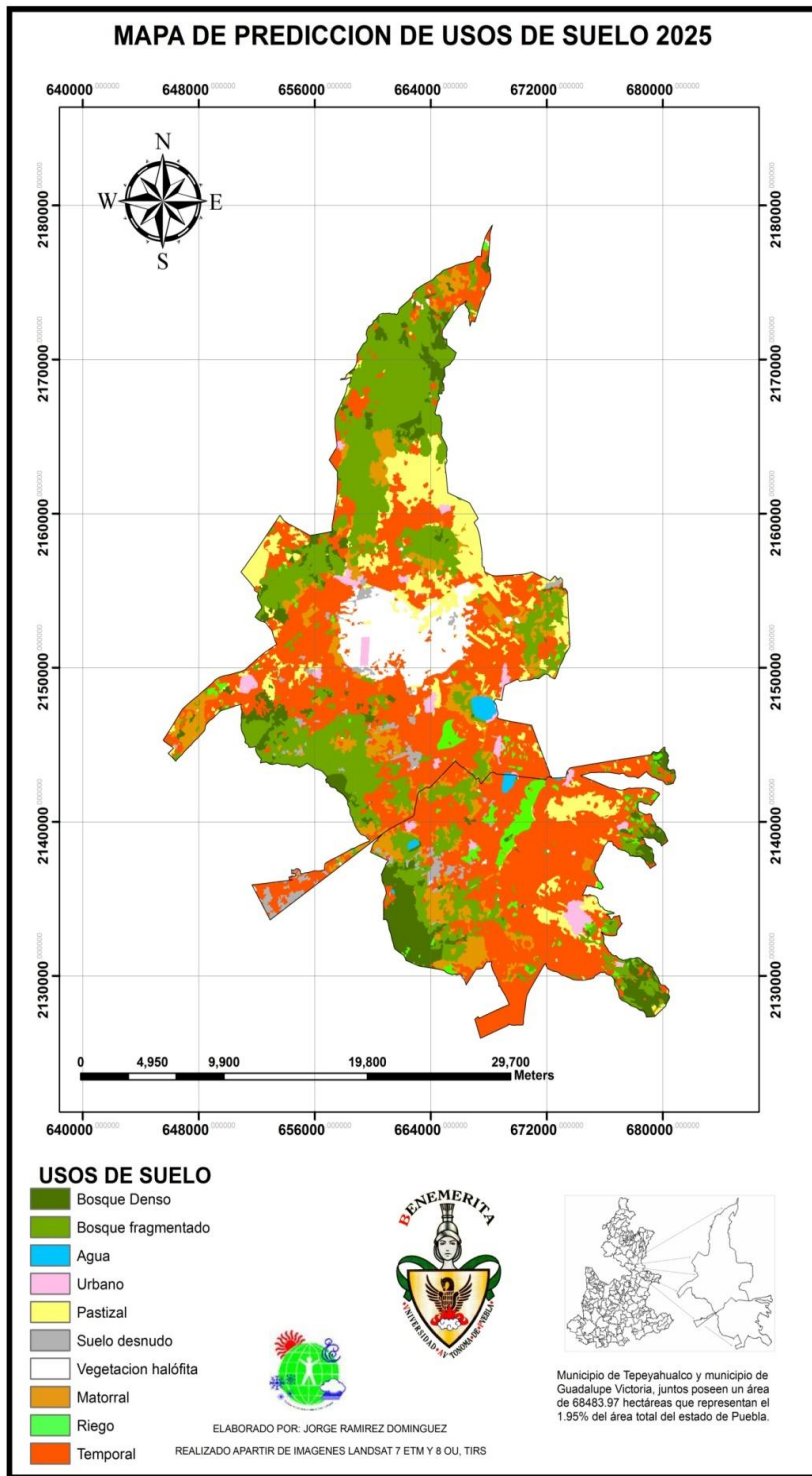


**IMAGEN.11** Mapa de predicción 2000. Se muestra la distribución de los usos de los suelos, en la predicción correspondiente al año 2000. los usos agrícolas se encuentran homogéneamente en la parte centro sur del área de estudio, mientras que los bosques predominan en el norte y sureste predominando los bosques fragmentados sobre los bosques densos.

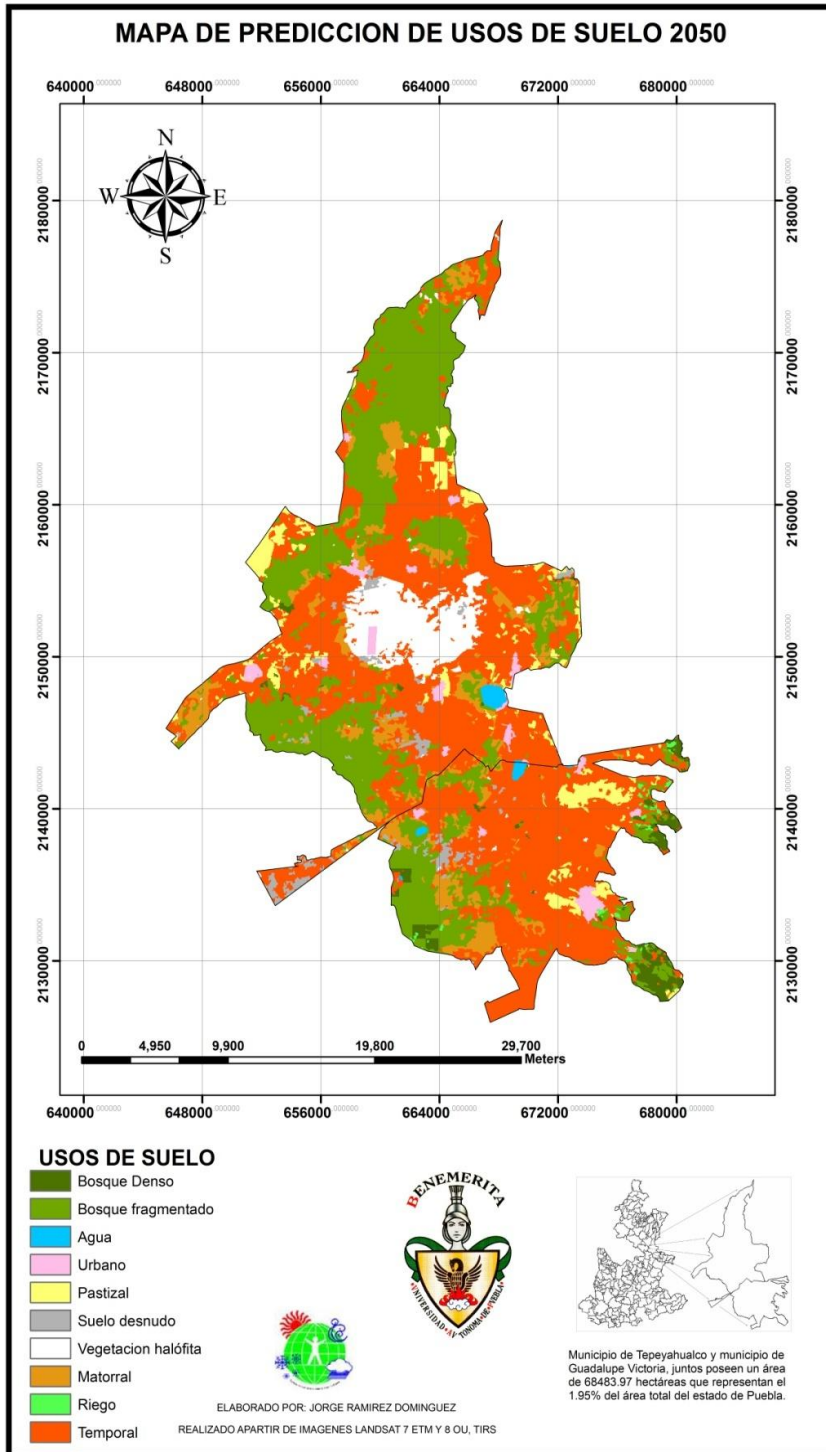


**IMAGEN.12 .** Mapa de predicción de usos de suelo de 2013. Los usos agrícolas se distribuyen por la mayoría de la zona de estudio, siendo el dominante la agricultura temporal, los bosques fragmentados predominan en la parte norte de nuestra zona de estudio.

## **5.- MAPAS DE PREDICCIÓN 2025, 2050.**



**IMAGEN.13** . Mapa de predicción de usos de suelo de 2025, se puede observar como los usos de Agricultura temporal y Bosque fragmentado son los pres=dominantes con 41.30% y 23.30%, de la ocupación total de estudio.



**IMAGEN.14** . Mapa de predicción de usos de suelo de 2050, se puede observar como los usos de Agricultura temporal y Bosque fragmentado son los predominantes con 47.68% y 27.82%, de la ocupación total de estudio.