



**BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

ESCUELA DE BIOLOGIA

Aplicación de los SIG para el análisis de la dinámica de cambio de  
uso de suelo en el municipio de Atlixco, Puebla

Tesis presentada como requisito para obtener el título de  
licenciatura en Biología.

PRESENTA: Rosa Isela Oriol Ortiz

Mtro. José Silvestre Toxtle Tlamani

Asesor de tesis



Junio 2016

## Contenido

*Dedicatoria*

*Agradecimientos*

Cuadros .....	3
Mapas.....	3
Tablas .....	3
Figuras.....	4
Esquemas .....	4
Graficos .....	4
Anexos.....	4
I. Resumen.....	7
II. Introducción .....	8
III. Antecedentes.....	10
IV. Justificación .....	14
V. Objetivos. ....	15
5.1 Objetivo general.....	15
5.2 Objetivo específico.....	15
VI. Marco Conceptual. ....	16
VII. Material y métodos. ....	21
7.1. Área de estudio .....	21
7.1.1 Clima y precipitación. ....	23
7.1.2 Hidrología .....	25
7.1.3 Edafología .....	27
7.1.4 Vegetación y Uso de suelo.....	29
7.1.5 Geología .....	31
7.2 Colección de información. ....	33
7.3 Mapas de uso de suelo .....	34

7.3.1	Procedimiento en Idrisi Selva .....	34
7.3.2	Procesamiento de imágenes. ....	35
7.3.3	Clasificación de uso de suelo e interpretaciones de imágenes de satélite.....	35
7.3.4	Validación del modelo .....	39
7.3.5	Determinar pérdidas y ganancias, así como el cambio neto y el cambio total.....	40
7.4	Análisis de los procesos de cambio.....	41
7.5	Matriz de transición .....	41
7.6	Tasa de cambio de los uso de suelo.....	41
VIII.	Resultados. ....	43
8.1	Validacion del modelo .....	43
8.2	Mapas de uso de suelo y analisis de cambio de uso de suelo.....	43
8.3	Pérdidas, ganancias, cambio neto y el cambio total. ....	47
8.4	Matriz de transicion.....	48
8.5	Tasa de cambio .....	50
IX.	Discusión. ....	51
X.	Conclusión .....	54
XI.	Consideraciones finales.....	55
XII.	Anexos.....	56
XIII.	Referencias.....	64
12.1	Portales de descarga de la geoinformacion.....	70
12.2	Sitios de consulta .....	70

## **Cuadros**

Cuadro 1: Características de Landsat 7 .....	19
Cuadro 2: Características de Landsat 8 .....	20
Cuadro 3 Características de las imágenes de satélite .....	33
Cuadro 4: Leyenda jerárquica de uso del suelo .....	34
Cuadro 5: a) Aplicación de la combinación de bandas; b) Imágenes de Google Earth.....	37
Cuadro 6: Matriz de transición .....	48

## **Mapas**

Mapa 1: Área de estudio .....	22
Mapa 2: tipos de climas.....	24
Mapa 3: Hidrología .....	26
Mapa 4: Edafología.....	28
Mapa 5 uso .....	30
Mapa 6: Tipos de rocas.....	32
Mapa 7: usos de suelo del Municipio de Atlixco año 2002 .....	45
Mapa 8: usos de suelo 2016.....	46
Mapa 9: Mapa de transición y persistencias .....	49

## **Tablas**

Tabla 1 Descripción de climas .....	23
Tabla 2: Análisis de cambio de usos de suelo.....	44
Tabla 3 a 1: Cambio total.....	47
Tabla 3 b 1: Cambio neto.....	47
Tabla 4 Tasa de cambio de los periodo 2002-2016.....	50

## **Figuras**

Figura 1: Distribución de vegetación obtenido de SNIEG versión 3.1 .....	29
--	----

## **Esquemas**

Esquema 1: Procedimiento en Idrisi Selva.....	38
---	----

## **Graficos**

Grafica 1: Ganancias y pérdidas del periodo 2002 y 2016.....	47
Grafica 2: crecimiento poblacional del municipio Atlixco.....	62

## **Anexos**

Anexo 1: Imagen de Google Earth.....	56
Anexo 2: Mapa de usos de suelo ajustado a 4 clases.....	57
Anexo 3: Mapa de las Coordenadas de los puntos de la salida de campo .....	58
Anexo 4: Fotos de la salida de campo .....	59
Anexo 5: Mapa de la mancha urbana.....	61
Anexo 6: Grafica del crecimiento lineal de la población del municipio de Atlixco, Puebla.	62
Anexo 7: Mapa de tendencia de la clase urbanización .....	63

## *Dedicatoria*

A mi bella Laura, que ha sido mi mejor amigo y la pieza fundamental de mi vida, a quien yo admiro demasiado por ser tan genuina y le agradezco por su amor incondicional, por apoyarme siempre y porque sin ella nunca hubiera llegado aquí, GRACIAS por el hecho de estar siempre conmigo.

*“por que para ser mejor, solo es cuestión de mirarla a ella”*

## *Agradecimientos*

Agradezco a dios y a la vida por haberme dado la oportunidad de estudiar Biología.

A mi amorosa madre Guadalupe por ser la persona que siempre me apoyo, por su comprensión y por ser mi guía en mi vida, además le agradezco todo su esfuerzo para que yo pudiera continuar.

A mí querido padre Facundo por estar siempre pendiente de mi bienestar y por cuidar de mí.

A mis cariñosos hermanos: Laura, a quien quiero mucho y respeto, Sergio por ser mi hermanito preferido que quiero tanto, Nancy por su comprensión y su tolerancia, que a pesar de todo siempre ha cuidado de mí y a mi hermano Toño que sé que de alguna manera el contribuyo en la persona que soy ahora.

Al maestro Toxtle que fue mi asesor de tesis, al cual admiro, respeto y le tengo un gran afecto por su comprensión, sus buenos consejos, su tiempo y sobre todo su apoyo.

También agradezco a todas las personas que me apoyaron durante estos 5 años de la carrera, a todos mis amigos, en especial a mis mejores amigos Edi, Breen, Diana, Franco, Jorge y Ubaldo que siempre estuvieron para escucharme, los quiero mucho.

## I. Resumen

Una de las principales preocupaciones actualmente en la sociedad, es el cambio de uso de suelo, debido a que es un causante del deterioro ambiental. Ante esta situación se hace necesaria la investigación en este tema.

En este trabajo se realizó un análisis de la dinámica de cambio de uso de suelo en el municipio de Atlixco Puebla, en dos periodos 2002 y 2016, mediante la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica.

Se elaboraron 2 mapas de uso de suelo; un mapa de cambios y uno de persistencias en el software Idrisi selva, que corresponde a la fechas de los periodos 2002 y 2016, también se determinaron 4 clases de uso de suelo (vegetación, agricultura temporal, agricultura de riego y urbanización). Así mismo, se elaboró la matriz de transición a partir del mapa de cambios y el mapa de persistencia. También se obtuvo la tasa de cambio, así como el cambio neto, cambio total, pérdidas y ganancias para cada clase.

Los resultados obtenidos en el periodo analizado (14 años) indican que las clases vegetación, agricultura temporal y agricultura de riego sufrieron una reducción de área de 1450.53 ha., 569.09 ha, 357.52 ha., respectivamente, presentando una tasa ligeramente negativa (-2.14%, -0.28%, -0.61%), mientras que la clase urbanización tuvo un incremento de 2377.15 ha. y tuvo una tasa positiva de 2.67 %.

## II. Introducción

Los suelos están formados por una capa superficial de la corteza terrestre, que está compuesta por material mineral, materia orgánica, aire y agua. Son un componente básico de los hábitat, sirven de soporte y cubren gran parte de las necesidades ecofisiológicas de los vegetales, además son reconocidos como un elemento clave de los ecosistemas terrestres (Artieda, 2008).

En el planeta se encuentran distintos tipos de suelos, los cuales se clasifican en base a sus propiedades químicas, físicas y biológicas (FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2010). Sin embargo el suelo también se puede clasificar de acuerdo a sus diferentes usos, como agricultura, forestal, industrial, urbanización entre otras (Pascual Aguilar, 2004).

El uso de suelo original o natural se ha modificado sustancialmente debido a las actividades antropogénicas y por las interacciones de factores económicos, políticos y sociales (Pineda *et al.*, 2009. Citado en; Meyer y Turner, 1992; Walter y Steffen, 1997; Geist y Lambin, 2001). Uno de los principales factores del cambio en el uso de suelo es el crecimiento demográfico (García Orozco, Cedillo Gutiérrez, Juan Pérez, & Balderas Plata, 2012), que contribuye al crecimiento de zonas urbanas y a una rápida expansión de las ciudades. En los últimos años se ha determinado que más de la mitad de la poblacional mundial vive en zonas urbanas y de acuerdo a las estimaciones se espera que para el año 2030, 5,000 millones de personas vivirán en ciudades (Ramírez & Pértile, 2013).

Además algunas proyecciones indican que en los siguientes 30 años todo el crecimiento poblacional será casi urbano (Larrazábal, Gopar, & Vieyra, 2014). Lo que sin duda provocará cambios en el paisaje, acarreará un costo ambiental significativo en algunas décadas (Forquera, 2008). Al mismo tiempo el rápido crecimiento urbano conllevará a problemas sociales como desempleo creciente,

falta de servicios urbanos, sobrecarga de la infraestructura existente y carencia de acceso a la tierra, recursos financieros y una vivienda adecuada (PNUMA, 2002).

El cambio de uso de suelo se considera como una de las principales causas del deterioro ambiental, además la conversión de tierras desencadena una serie de problemas como lo menciona Erna López *et al.*, en su trabajo “*Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán*” (2002):

El cambio de uso de suelo se ha convertido en un importante forzante del cambio climático regional y global (Houghton *et al.*, 1999, Chase *et al.*, 2000, Claussen *et al.*, 2001, DeFries *et al.*, 2002, Brovkin *et al.* 2004); es considerado la primera causa de alteración del suelo (Matson *et al.*, 1997, Lambin *et al.*, 2001, Foley *et al.*, 2005); y afecta, fuertemente, la capacidad de los sistemas biológicos para soportar y satisfacer las necesidades humanas (Vitousek *et al.*, 1997, Foley *et al.*, 2005). Tales cambios incrementan, a su vez, la vulnerabilidad de ecosistemas y personas frente a desastres naturales (Lambin *et al.*, 2001).

Además se reconoce al cambio de uso de suelo como la principal amenaza a la biodiversidad por la pérdida y degradación de los hábitat (CONABIO, 2009).

Debido a esto, en las últimas décadas se han incrementado las investigaciones en el tema de la dinámica de cambio de uso de suelo, donde se han implementado nuevas herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que requiere, principalmente, del uso y manipulación de distintos insumos cartográficos (mapas temáticos, mapas topográficos y sobre todo mapas de uso de suelo y vegetación, etc.). Pues a partir de esto, se analiza el cambio en el uso del suelo que posteriormente permite la construcción de modelos para conocer las tendencias que se esperan en una región determinada, con la finalidad de disminuir el daño hacia el medio ambiente y cuidar de una mejor manera los recursos naturales. (Ramos Reyes R. , Palma López, Ortiz Solorio , Ortiz García, & Díaz Padilla, 2004) (Camacho Sanabria, y otros, 2015) ( Galicia, García, Gómez , & Ramírez, 2007)

### III. Antecedentes

El cambio de uso de suelo se ha convertido en el centro de la investigación ambiental actual siendo un tema de interés no solo para investigadores sino también para los gobiernos (Bautista, M. & Rodríguez. Citado en; Lambin, 1997).

Estudios realizados en distintos años y diferentes lugares, demuestran que la cobertura terrestre se ha modificado principalmente por los cambios de uso de suelo. En las últimas décadas, se ha registrado, que las áreas destinadas a uso forestal, pastizal y en general la vegetación natural ha presentado una reducción de superficie.

En el estudio *“Global forest land-use change 1990 – 2005”* (2012) realizado por la FAO determinan que las zonas forestales son las que principalmente se han reducido a nivel mundial ya que en el periodo 1990 - 2000, la pérdida fue 9,5 millones de hectáreas y en los años 2000 – 2005 fue de 13,5 millones de hectáreas.

En México se han reducido considerablemente las áreas destinadas a uso forestal y durante las últimas 5 décadas esto se ha incrementado. La FAO en el 2005 reportó una pérdida de 52 millones de hectáreas de bosques y selvas con que contaba el país en 2000 y presentaron una tasa de deforestación promedio de 631 mil ha/año (Nájera González , Bojórquez Serrano, Cifuentes Lemus, & Marcelaño Flores , 2010 ) y para el 2011 se habían transformado alrededor de 55.9 millones de hectáreas de vegetación natural a otros uso de suelo, es decir, cerca del 29% del territorio. En términos relativos, los tipos de vegetación que habían perdido mayor superficie hasta esa fecha fueron las selvas (42% de su superficie original, es decir, 23.4 millones de hectáreas), seguidas por los pastizales naturales (40%, 6.5 millones), los bosques templados (27%, poco menos de 13 millones) y los matorrales (10%, 5.8 millones).

Del mismo modo la vegetación natural en general ha tenido una disminución significativa. Trabajos como el de Ramos *et al.*, en su estudio *“Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera”* (2004), establecen que la vegetación natural presentó una pérdida muy

severa en su superficie, ya que entre 1972 y 2000 ésta disminuyó de 1.98% a 0.28% de un área de 1235 ha. Otro caso similar es el estudio realizado por Castelán *et al.*, (2007), en el cual la vegetación de la subcuenca del río San Marcos, perdió más de 9400 ha de una superficie 70 376.6 hectáreas en el periodo 1976 a 2000.

La pérdida de áreas forestales así como la vegetación natural, se debe, a que pasaron a ser parte de agricultura y zonas urbanas, como lo reporta García *et al.*, (2012). De igual forma Orozco *et al.*, (2012) encuentran que un factor importante para la pérdida de vegetación es el aumento de asentamientos humanos irregulares y regulares, además mencionan que al eliminar la cobertura vegetal, se deriva un importante proceso de erosión.

Pérez en el 2013 encuentra que en la Región del altiplano Mexicano que los bosques fueron los que mayormente registraron una pérdida y que esta situación está asociada con la apertura de nuevas áreas para el establecimiento de cultivos agrícolas que son destinados a la subsistencia de las familias campesinas, pero estas áreas a corto plazo son abandonadas o erosionadas por no tener vocación agrícola, o son ocupadas para el establecimiento de asentamientos humanos.

Debido a lo anterior, la agricultura es una categoría que ha aumentado en área, como lo señala Márquez (2008) en su estudio realizado en Bahía de Banderas de Nayarit , puesto que obtiene que la agricultura de riego como de temporal tuvieron una tasa de cambio positiva, mientras que las demás categorías tuvieron una tasa negativa. En el 2009 Muñoz, Rodríguez y Romero encuentran algo similar, en la microcuenca las Minas, donde los cultivos aumentaron considerable en el año 2008, registrando a 28.13 ha de la superficie total.

Trucíos *et al.*, (2013) en su trabajo “Análisis del cambio de uso de suelo en San Cristobal de las Casas.” donde cuantifican incrementos mayores a 5000 ha para agricultura de temporal (la sexta parte de la cuenca, con una superficie de 29,730 ha).

Sin embargo, la agricultura en algunos estudios se ha reportado como una categoría que ha sufrido una pérdida de manera significativa; en el 2015 Reynoso *et al.*, en

sus resultados obtienen las áreas destinadas a la agricultura de riego y temporal tienen una disminución de 34,8% y 25,6 %, respectivamente, de una superficie total de 329053,9 ha.

Esta pérdida de suelo destinado a la agricultura se debe principalmente a que estas áreas han pasado a ser parte de zonas urbanizadas como lo encuentran Burriel *et al.*, (2005). En el 2006 Henríquez *et al.*, hacen énfasis en que la mayor probabilidad de cambio de las distintas categorías de uso de suelo y en especial las áreas de cultivos pasan a ser de uso urbano y esto desencadena un aumento de escorrentía superficial, pérdida de suelo, fragmentación del paisaje, cambio en las temperaturas superficiales etc.

Otro estudio realizado en el 2011 por Valdez señala que los espacios destinados a la agricultura de temporal y de riego, bosques y pastizales han pasado ser parte de la mancha urbana.

Por otra parte, la agricultura temporal ha sido sustituida por la agricultura de riego, como lo muestra el trabajo realizado por Corrales *et al.*, (2014) que indica que la agricultura temporal pasó a ser agricultura de riego debido a la apertura de presas y la habilitación de sistemas de riego por gravedad y tecnificados que han dado pasó al cultivo intensivo en el estado de Sinaloa.

En el 2014 Comino *et al.*, afirman que el principal factor de cambio de áreas dedicadas al cultivo temporal y pastizal, que pasaron a espacios agrícolas de riego, es el proceso de peri urbanización.

La categoría que ha aumentado notablemente, es la urbanización, puesto que las ciudades han presentado, un rápido crecimiento y una acelerada expansión. Por ejemplo los resultados de López *et al.*, en el 2001, demuestran que la ciudad de Morelia ha experimentado una expansión importante, la cual se incrementó en superficie, durante los años 1960 a 1975 en un 71% y, en el periodo 1975 a 1990 en un 197%. En el 2009 Rosete, Pérez y Bocco en su trabajo: “*Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de*

*Baja California*” obtiene que durante el periodo 1978-2000, la superficie ocupada por los asentamientos humanos se incrementó en casi 270%.

Otro estudio realizado por Galeana *et al.*, (2009) observaron que la transformación del ecosistema de la en la Cuenca del Río Magdalena se derivó a causa del crecimiento de la mancha urbana.

En el 2011 Valera *et al.*, encuentran que el municipio Español, Alacant en el periodo 1998 – 2005 ha quintuplicado las áreas dedicadas a usos urbanizados y que estos cambios están relacionados con las dinámicas económicas y demográficas regionales ya que la población se ha multiplicado por 3 en los últimos 50 años.

Una de las causas a la cual se debe el aumento de la urbanización es la infraestructura ya que están profundamente relacionado con el crecimiento de las localidades tanto urbanas como rurales (Guevara y Montalvo, 2015. Citado en; Hernández, 2007), además el incremento de la población requiere de movilidad y mejora en sus vías de comunicación para satisfacer sus necesidades básicas. ( Guevara Romero & Montalvo Vargas , 2015).

En el caso del municipio de Atlixco, Puebla en el 2011 reportó una disminución en las áreas destinadas a las actividades agrícolas de temporal como de riego ya que pasaron de 54, 603 ha., en 1977 a 34, 312 ha., en el 2007, sin embargo la zona urbana tuvo un incremento de 16,776 ha en el mismo periodo. (Luna Fernández , 2011)

## IV. Justificación

En México como en muchos países se ha reconocido a los cambios de cobertura de la vegetación y el uso del suelo como una de las principales causas de deterioro ambiental (Ibarra Montoya, y otros, 2011). En nuestro país los estudios sobre cambio de uso de suelo han aumentado ya que la cubierta de vegetación natural ha presentado una disminución, pasando del 78.55% en 1976 a 71.03% en el año 2000, (Bocco et al., 2001).

En la actualidad, los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios de uso del suelo son importantes como necesarios debido a que proporcionar información del comportamiento y las tendencias de los procesos de degradación (Castelán *et al.*, 2007. Citada en; Kaimowitz y Angelsen, 1998; Velázquez et al., 2002; Priego et al., 2004; Guerra y Ochoa, 2006). Debido a la importancia de conocer los cambios de la cubierta que son generados por el constante cambio de usos de suelo, se llevó a cabo este estudio en el municipio de Atlixco Puebla, el cual nos permitirá proveer información de la dimensión y la velocidad con la sucede dicho cambio, así como los factores que intervienen; además el municipio ha reportado una acelerada expansión urbana en las últimas 4 décadas, así como un aumento en su población, siendo el principal factor que desencadena esta transformación.

## **V. Objetivos.**

### **5.1 Objetivo general**

Analizar la dinámica de cambios de uso de suelos de los periodos 2002 - 2016 en el municipio de Atlixco, Puebla mediante la aplicación de los SIG.

### **5.2 Objetivo específico.**

Generar mapas de uso de suelo de los años 2002 y 2016.

Cuantificar el cambio de uso de suelo durante los periodos 2002 y 2016.

Determinar las pérdidas y ganancias durante los periodos 2002 y 2016.

Determinar la tasa de cambio de uso de suelo de los periodos 2002 y 2016.

## VI. Marco Conceptual.

- Cobertura de la tierra y Uso de suelo.

Las definiciones de cobertura de la tierra y uso de suelo son confundidas a menudo, la primera se refiere a la cobertura biofísica en general la descripción de la vegetación que se observa sobre la superficie de tierra, en cambio el uso de tierra/uso de suelo se caracteriza por los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla. (FAO, Sistema de clasificación de la Cobertura de la Tierra., 2005).

- Sistemas de información geográficas (SIG).

Se definen como una tecnología básica que sirve para capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y presentar datos espacialmente referenciados. Cabe mencionar que los sistemas de información geográficos no solo es un programa de cartografía ni un software, debido a que incorporan información geo-referenciada que es analizada y es utilizada para abordar problemas de planificación y gestión, es decir, para la toma de decisiones. (Cañada , y otros, 2008).

- Georreferenciación

Se refiere a la forma en la que las ubicaciones en los mapas que se relacionan con las ubicaciones en la superficie de la tierra. (Eastman, 2012)

- Teledetección o Percepción remota.

Se define como una herramienta que permite obtener información de los objetos situados sobre la de la superficie terrestre sin estar en contacto con ellos (Eastman, 2012). Para que la percepción remota sea posible son necesarios 6 elementos:

1) Fuente de energía: es el flujo energético que procede de la luz solar o podría tratarse de otro tipo de energía emitida por el sensor (ondas de radar).

2) La energía que refleja o emiten el objeto de estudio.

Los sistemas de teledetección se basan principalmente en la radiación electromagnética que emiten todos los cuerpos, la cual se puede explicar con la teoría ondulatoria que permite describir cualquier tipo de energía radiante en su función de su longitud de onda o frecuencia y suelen establecerse en una serie de bandas que forman espectro electromagnético.

El espectro electromagnético comprende desde las longitudes de ondas más corta como rayos gamma, rayos X, hasta las kilométricas (telecomunicaciones). La teledetección trabaja principalmente con las bandas del espectro visible las cuales tiene una longitud de onda que va de 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ , también con las bandas de infrarrojo cercano, medio y térmico.

3) Sistema sensor, tiene la misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestre, codificarla y grabarla o enviarla al sistema de recepción.

4) Sistemas de recepción, es donde se recibe la información transmitida por la plataforma se graba en un formato apropiado y se distribuye a los intérpretes.

5) Intérprete que analiza esa información y la convierte en una clave temática o cuantitativa para evaluar los problemas de estudio.

6) Usuario final, encargado de analizar el documento. (Chuvieco, 2010).

- El programa Landsat.

Es un programa diseñado para obtener información de datos de satélite con la finalidad de registrar los cambios en la superficie terrestre desde el espacio que ha revolucionado la forma de ver y estudiar nuestro planeta. (Ariza, 2013)

Las imágenes Landsat están compuestas por bandas espectrales y espaciales, que al combinarse producen diferentes imágenes de color que incrementan notablemente sus aplicaciones. Dependiendo del satélite se incluye una imagen pancromática y/o una térmica, además las resoluciones espaciales varían de 15, 30, 60 y 120m (CONAGUA, 2005).

En este trabajo solo se utilizaron imágenes provenientes de los satélites Landsat 7 y Landsat 8 que en los siguientes cuadros 1 y 2 se describen sus características.

Landsat 7	MODO ESPECTRAL	ESPACIAL (metros)	ESPECTRAL (micras)	RADIOMÉTRICA	TEMPORAL
<b>Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).</b>	Multiespectral	30	Banda 1. Azul 0.45 - 0.52 Banda 2. Verde 0.53 - 0.61 Banda 3. Roja 0.63 - 0.69 Banda 4. Infrarrojo cercano1. 0.78 - 0.90 Banda 5. Infrarrojo cercano2. 1.55 -1.75 Banda 7. Infrarrojo Medio 2.09 - 2.35	8 BITS	16 Días
	Termal	120	Banda 6. Infrarrojo Térmico 10.4 12.5		
	Pancromática	15	Banda 8. Pancromática 0.52 - 0.90		

Cuadro 1: Características de Landsat 7

(ELABORACION PROPIA)

Landsat 8	MODO ESPECTRAL	ESPACIAL (metros)	ESPECTRAL (micras)	RADIOMÉTRICA	TEMPORAL
Sensor OLI & Thermal Infrared sensor (TIRS)	Multiespectral	30	Banda 1 Aerosol costero 0.43 - 0.45	12 BITS	16 Días
			Banda 2. Azul 0.45-0.51		
			Banda 3. Verde 0.53 - 0.61		
			Banda 4. Roja 0.64 - 0.67		
			Banda 5. Infrarrojo Cercano. 0.85 - 0.88		
Banda 6 Infrarrojo de Inda corta (SWIR 1). 1.57 -1.65					
Banda 7 Infrarrojo de inda corta (SWIR 2) 2.11-2.29					
	Pancromática	15	Banda 8. Pancromática 0.50 - 0.68		
		30	Banda 9. Cirrus. 1.36- 1.38		
		100	Banda 10. Sensor infrarrojo Térmico (TIRS 1). 10.60-11.19		
		100	Banda 11.Sensor infrarrojo térmico (TIRS 2). 11.50 - 12.51		

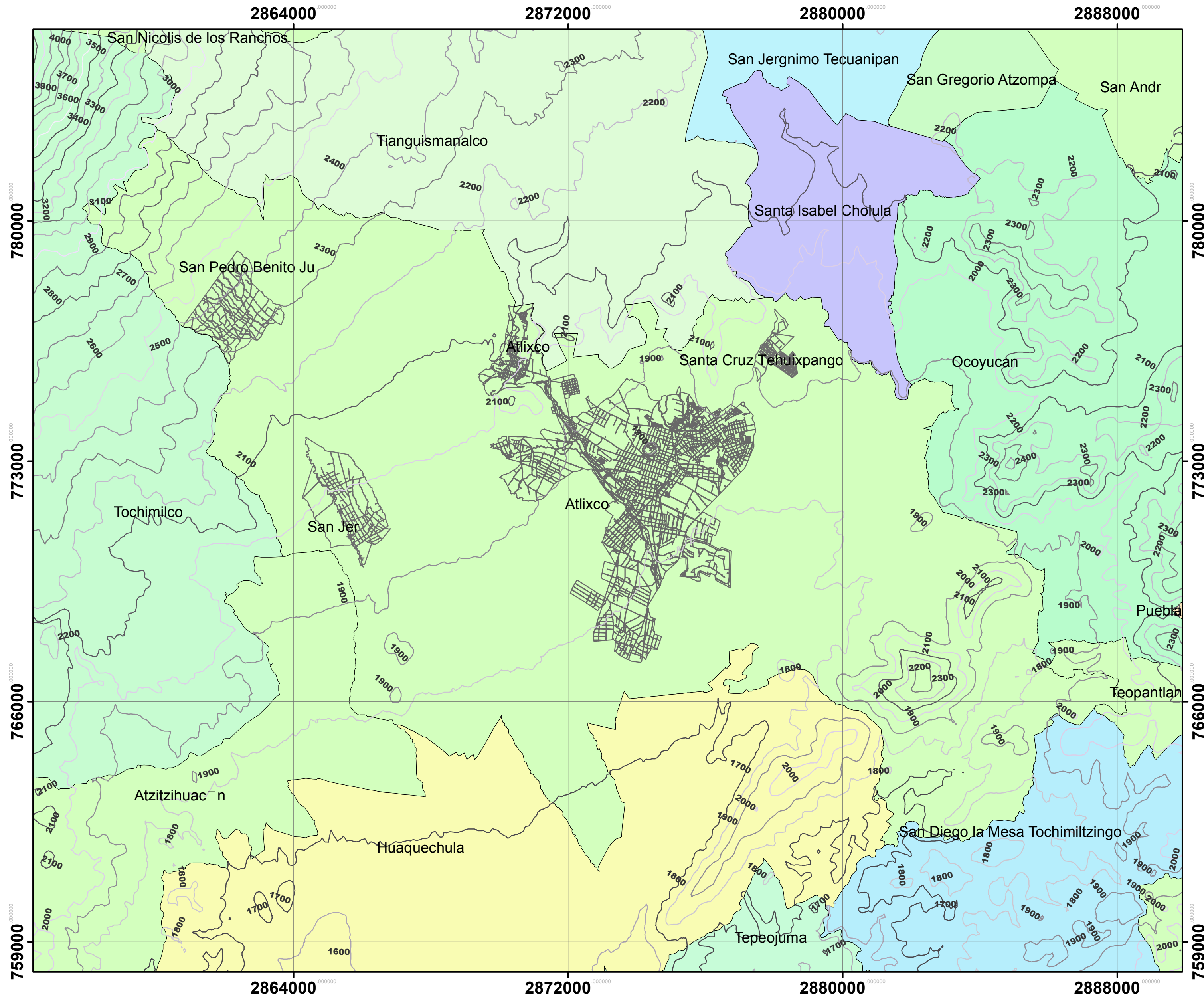
Cuadro 2: Características de Landsat 8  
(ELABORACION PROPIA)

## **VII. Material y métodos.**

### **7.1. Área de estudio**

El municipio de Atlixco, Puebla se localiza en la parte centro Oeste del estado de Puebla. Se localiza entre 1640 y 3120 sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 49` 30" y 18° 58` 30" de latitud norte y los meridianos 98° 18` 24" y 98° 33` 36" de longitud oeste. Tiene una superficie aproximada 293.01 Km<sup>2</sup>. (INAFED, 2010)

# Municipio de Atlixco, Puebla



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

ESCUELA DE BIOLOGIA

Elaboracion propia. Apartir de informacion CONABIO

INEGI

## leyenda

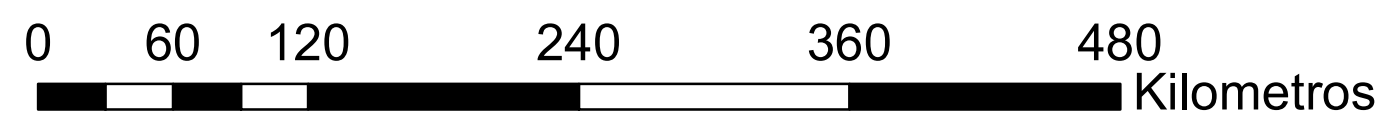
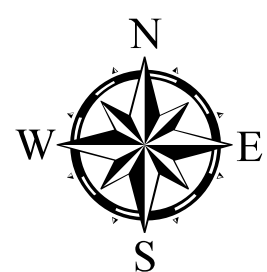
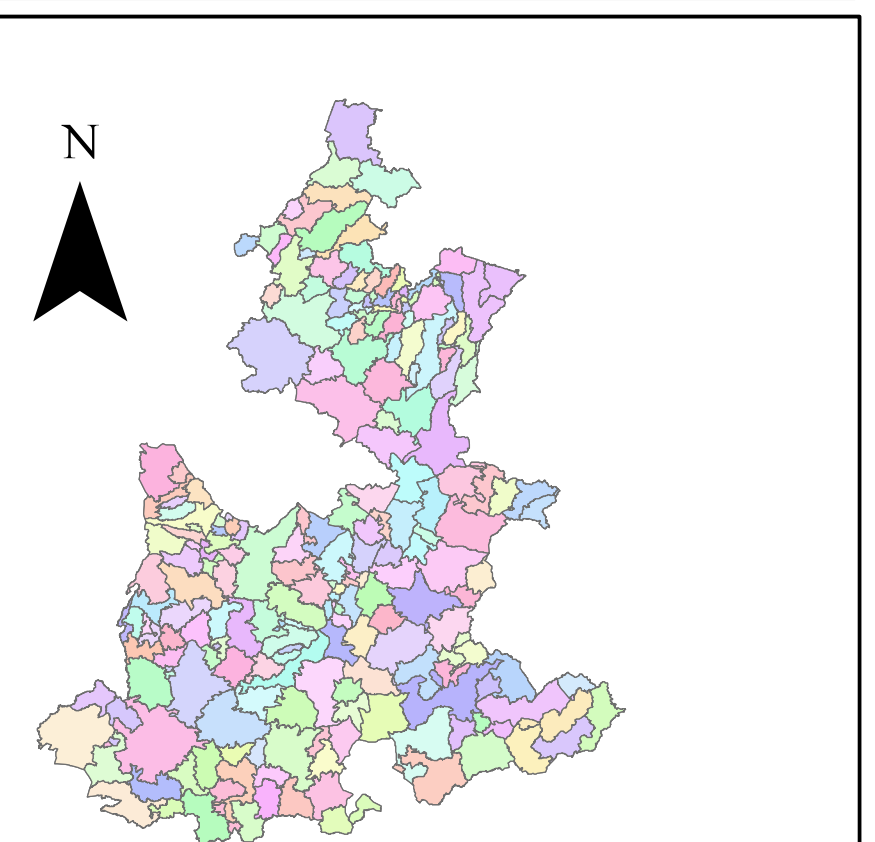
Municipio de Atlixco, Puebla

localidades >= 2500 habitantes

- Atlixco
- San Jeronimo
- San Pedro Benito Juarez
- Santa Cruz Tehuixpango

Curvas de nivel -----1400 a 5300

Sistema de coordenadas Metrico  
 Proyeccion UTM14 N  
 Datum WGS84  
 Elipsoide WGS84  
 ESCALA 1: 100000



### 7.1.1 Clima y precipitación.

El municipio de Atlixco presenta 5 tipos de clima de acuerdo a la clasificación Köppen, (modificada por Enriqueta García, 1998)

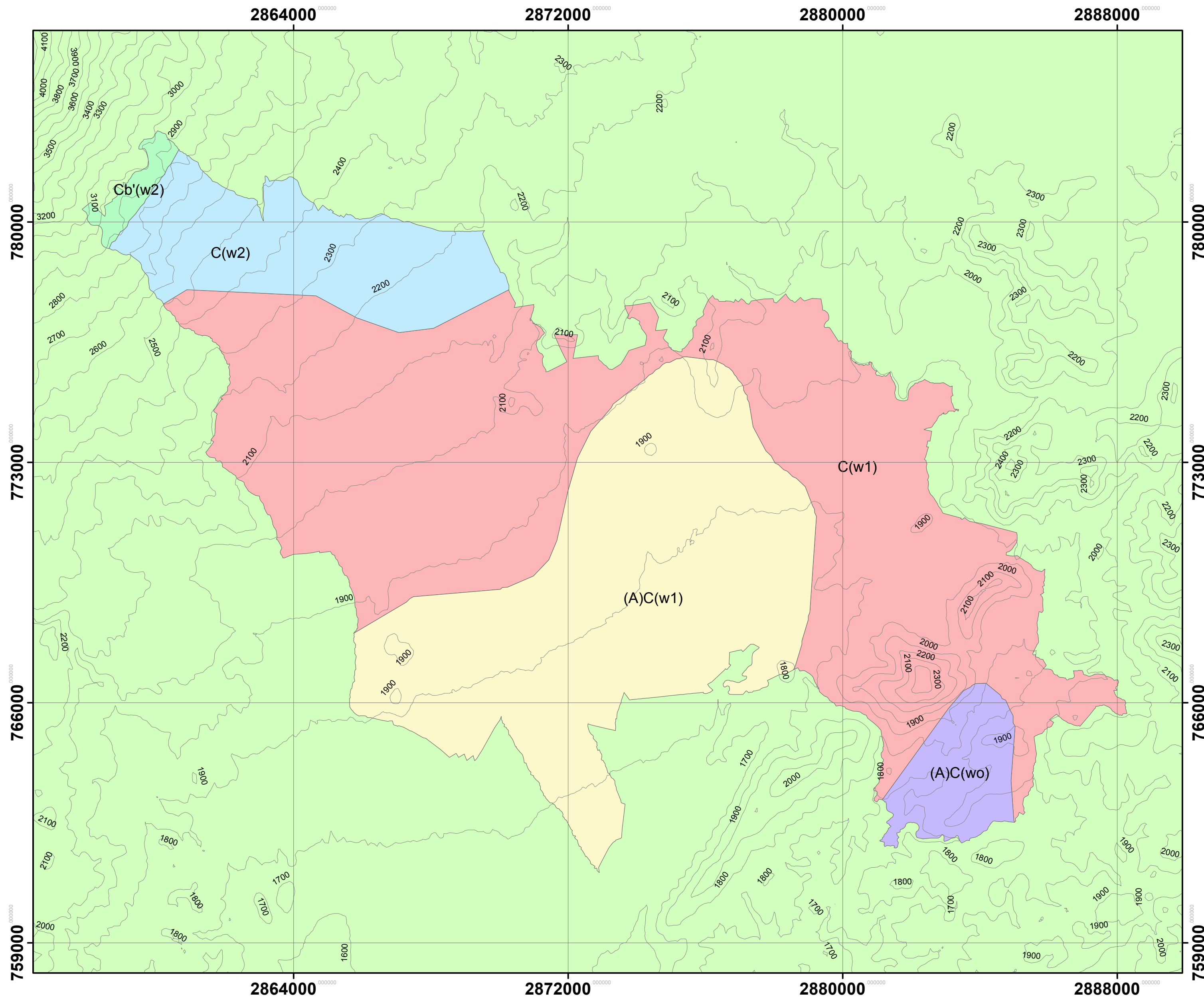
Clasificación	Descripción
C(w1)	Templado, subhúmedo 1 (corresponde al de humedad media) con una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C.
C(w2)	Templado, subhúmedo 2 (corresponde al más húmedo) con una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C.
Cb'(w2)	Semifrío, subhúmedo con una temperatura media anual entre 5°C y 12°C
(A)C(w1)	Templado con una temperatura media anual entre 12°C y 18°C
(A)C(wo)	Semicalido, subhúmedo con una temperatura media anual mayor de 18 °C,

Tabla 1 Descripción de climas

(ELABORACION PROPIA)

La precipitación anual en la región Atlixco varía de 800 a 1500 mm. Los meses más lluviosos ocurren en junio, julio, agosto y septiembre con una precipitación anual hasta de 1273.2 mm., (García, 1990)

# Tipos de climas en el Municipio de Atlixco, Puebla



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

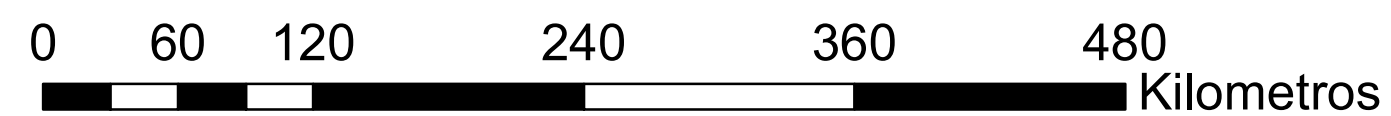
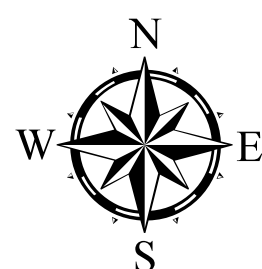
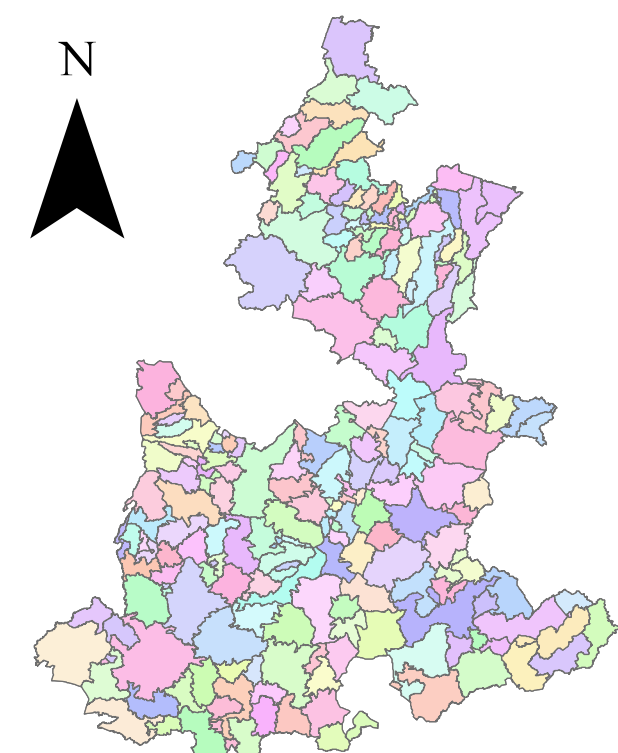
ESCUELA DE BIOLOGIA

Elaboracion propia. Apartir de informacion CONABIO

INEGI

## Leyenda

- (A)C(w1) Sistema de coordenadas Metrico
- (A)C(wo) Proyeccion UTM14 N
- C(w1) Datum WGS84
- C(w2) Elipsoide WGS84
- Cb'(w2) ESCALA 1: 100000



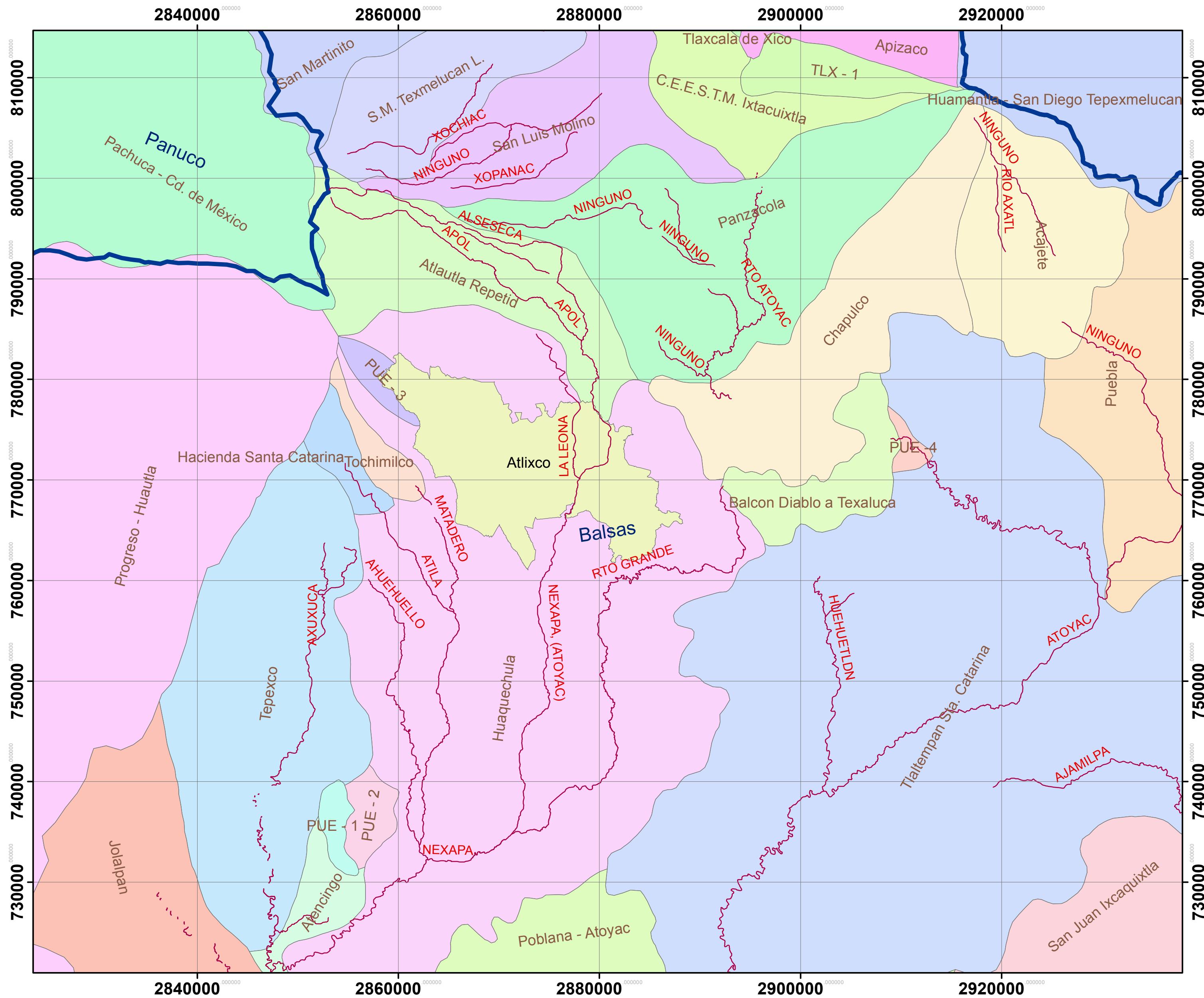
### 7.1.2 Hidrología

Las corrientes superficiales más importantes que escurren por el valle Atlixco son: El río Nexapa, Río Epatlán y el río Atila o Huitzilac, los dos últimos se consideran afluentes del primero. El Nexapa, nace en la falda oriental del Popocatepetl a unos 20 km al norte de la ciudad de Atlixco, es un río de régimen permanente, alineado en su porción alta por los deshielos del volcán, solo que pocos kilómetros debajo de su nacimiento derivan sus aguas a través de un canal, cuyo nombre va cambiando, en este sitio es conocido como los Molinos.

Sobre su porción occidental, recibe aportaciones de los arroyos Cuescomate y el Río Cantarranas, este último, se inicia donde nacen los manantiales de San Baltazar Atlimeyaya, cuyas aguas son conducidas por el canal Catecuxco. El río Epatlán escurre paralelamente al río Nexapa y vierte sus aguas a este a la altura del poblado de Puctla, a 4 km al sur de Izúcar de Matamoros y poco más adelante confluye con el río Atila en el poblado denominado Atzala, este último río nace en la falda suroriental del volcán Popocatepetl, a unos 12 km de Tochimilco, escurre en dirección sureste hasta llegar al poblado de Huaquechula, donde cambia su rumbo para dirigirse al sur; en su trayecto recibe aportaciones de los ríos Ahuizoc, César Matadero y Ahuehuevo, que bajan de las faldas de este mismo volcán.

El Municipio de Atlixco se ubica en la región hidrológica del Río Balsas (RH-18) en la cuenca Río Atoyac y subcuenca Nexapa (CONAGUA, 2015)

# Municipio de Atlixco, Puebla

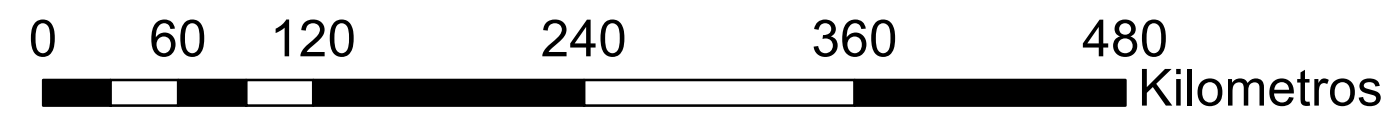
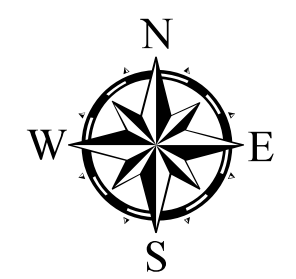
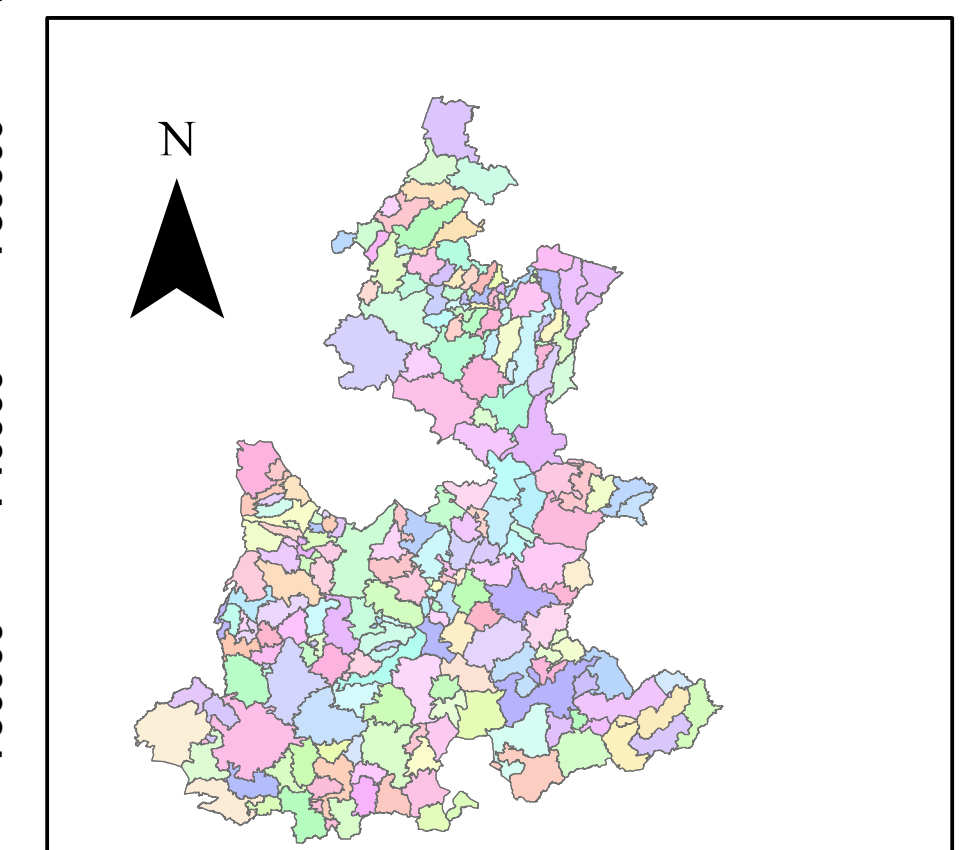


**BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**  
**ESCUELA DE BIOLOGIA**  
 Elaboracion propia. Apartir de informacion CONABIO  
**INEGI**

**leyenda**

El Municipio de Atlixco se ubica en la región hidrológica del Río Balsas (RH-18) en la cuenca Río Atoyac y subcuenca Nexapa

Sistema de coordenadas Metrico  
 Proyeccion UTM14 N  
 Datum: WGS84  
 Elipsoide WGS84  
 ESCALA 1: 100000



### 7.1.3 Edafología

En el municipio Atlixco Puebla se identifica 7 tipos de suelo:

-Fluvisol Eutrigo: es un suelo predominante, ocupado en la mayoría por la clase agricultura temporal debido a que tienen un buen contenido de nutrientes y su textura es gruesa, principalmente en la capa superficial y además con piedras o grava en todo el perfil

-Feozem haplico: cubre una gran parte de su territorio donde se encuentra la agricultura de riego, que se caracterizan por presentar texturas de migajón arcillo-arenoso

- Rendzina: se caracteriza por su formación sobre materiales con abundantes cantidades de carbonatos de calcio, teniendo una textura principalmente migajón o migajones arcillosos.

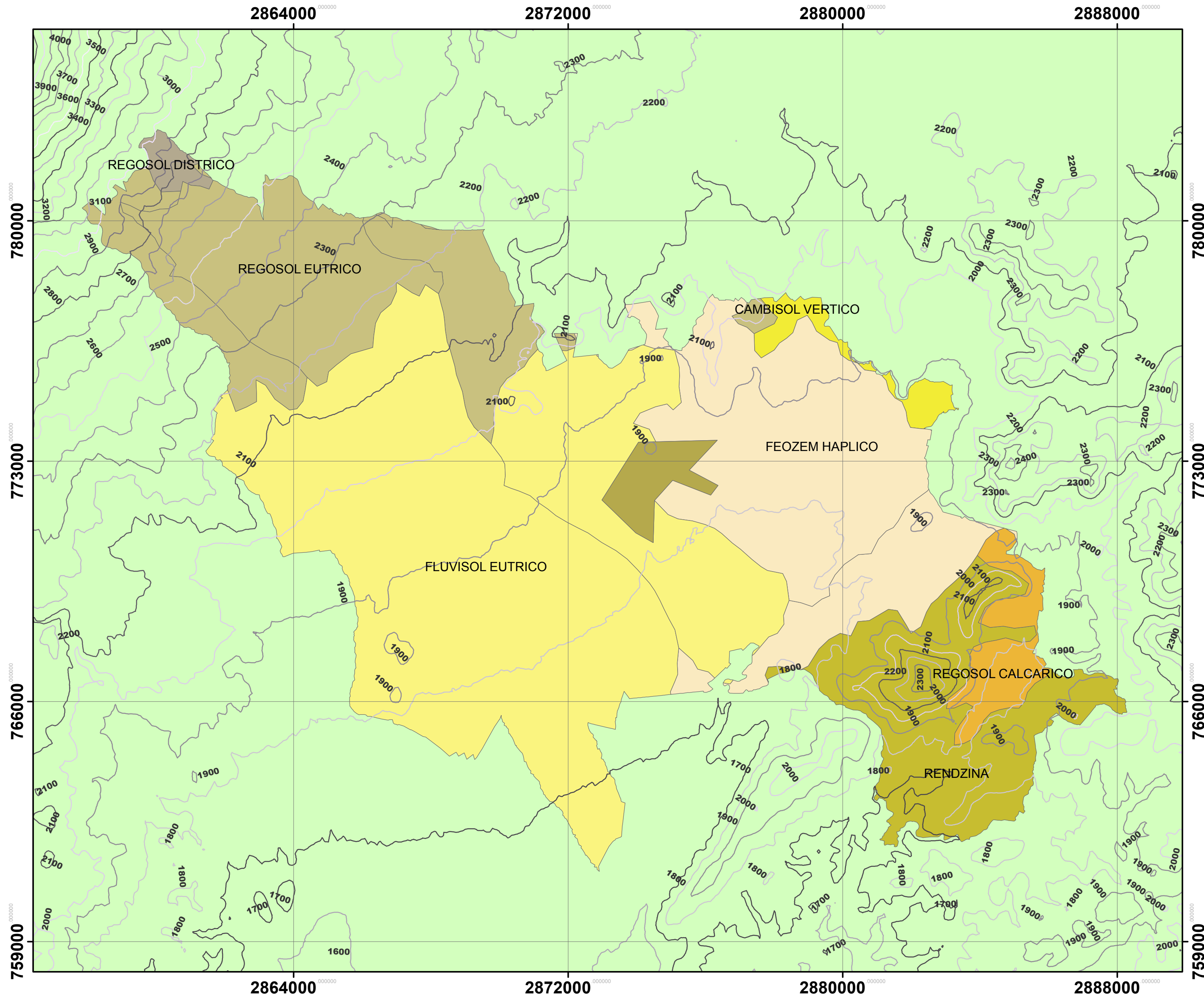
-Regosol Eutrigo: presenta texturas de arena migajosa, arena, migajón arenoso, migajón arcilloso-arenoso y migajón y en esta superficie se encuentra las áreas boscosas.

-Cambisol Vertico: tiene la textura de migajón arcilloso y se encuentra en muy poca porción en el territorio.

-Regosol Calcarico, Regosol Distrito: en general estos tipos de suelos presentan texturas de arena migajosa, arena, migajón arenoso, migajón arcilloso-arenoso y migajón

(INEGI, Síntesis Geográfica del Estado de Puebla, 2000)

# Edafología del Municipio de Atlixco, Puebla



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

ESCUELA DE BIOLOGIA

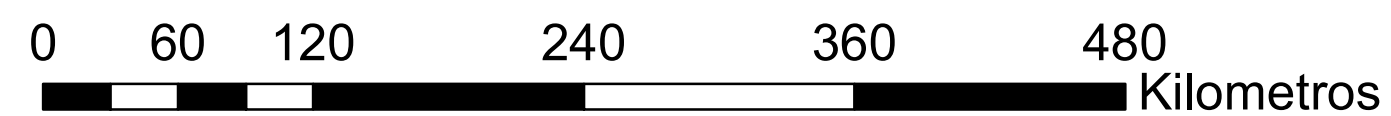
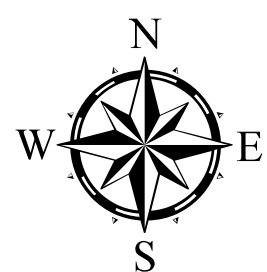
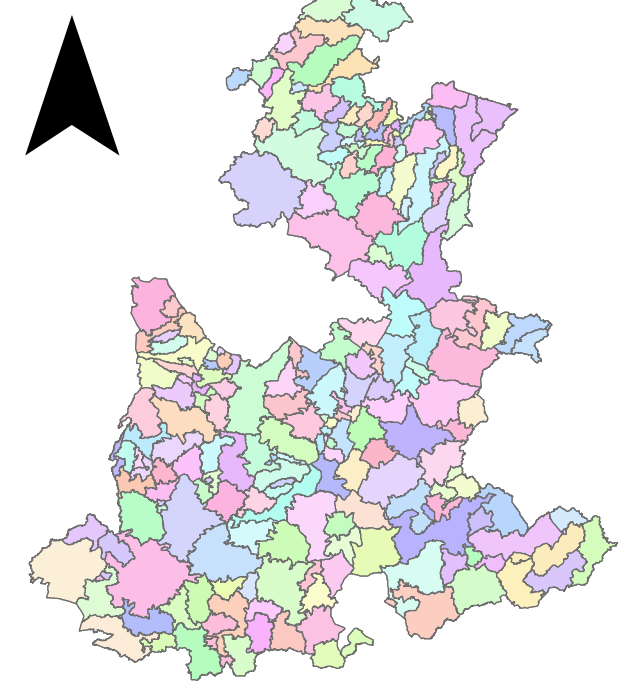
Elaboracion propia. Apartir de informacion CONABIO

INEGI

- Leyenda**
- CAMBISOL VERTICO
  - FEozEM HAPLICO
  - FLUVISOL EUTRICO
  - REGOSOL CALCARICO
  - REGOSOL DISTRICO
  - REGOSOL EUTRICO
  - RENDZINA

Sistema de coordenadas Metrico  
 Proyeccion UTM14 N  
 Datum=WGS84  
 Elipsoide WGS84  
 ESCALA 1:100000

N



### 7.1.4 Vegetación y Uso de suelo

La vegetación más representativa que encuentra en el Municipio de Atlixco es: bosque de oyamel, bosque de pino encino, palmar inducido y pastizal inducido.

Los principales usos de suelo son la agricultura temporal, agricultura de riego, bosque y urbanización. (PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO LOCAL, 2014)(mapa 5)



#### Distribución de la Vegetación

- AGRICOLA-PECUARIA-FORESTAL (52.962 km<sup>2</sup>)
- BOSQUE DE CONIFERAS (31.54 km<sup>2</sup>)
- BOSQUE DE ENCINO (23.982 km<sup>2</sup>)
- ASENTAMIENTOS HUMANOS (3.44 km<sup>2</sup>)
- ZONA URBANA (2.678 km<sup>2</sup>)
- PASTIZAL (1.056 km<sup>2</sup>)
- SIN VEGETACION APARENTE (0.902 km<sup>2</sup>)
- VEGETACION INDUCIDA (0.316 km<sup>2</sup>)

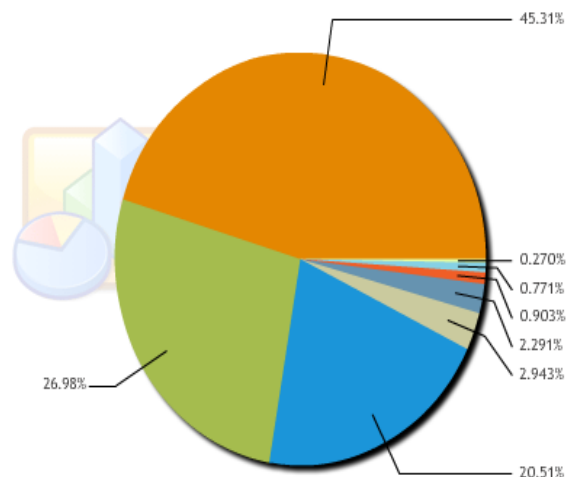
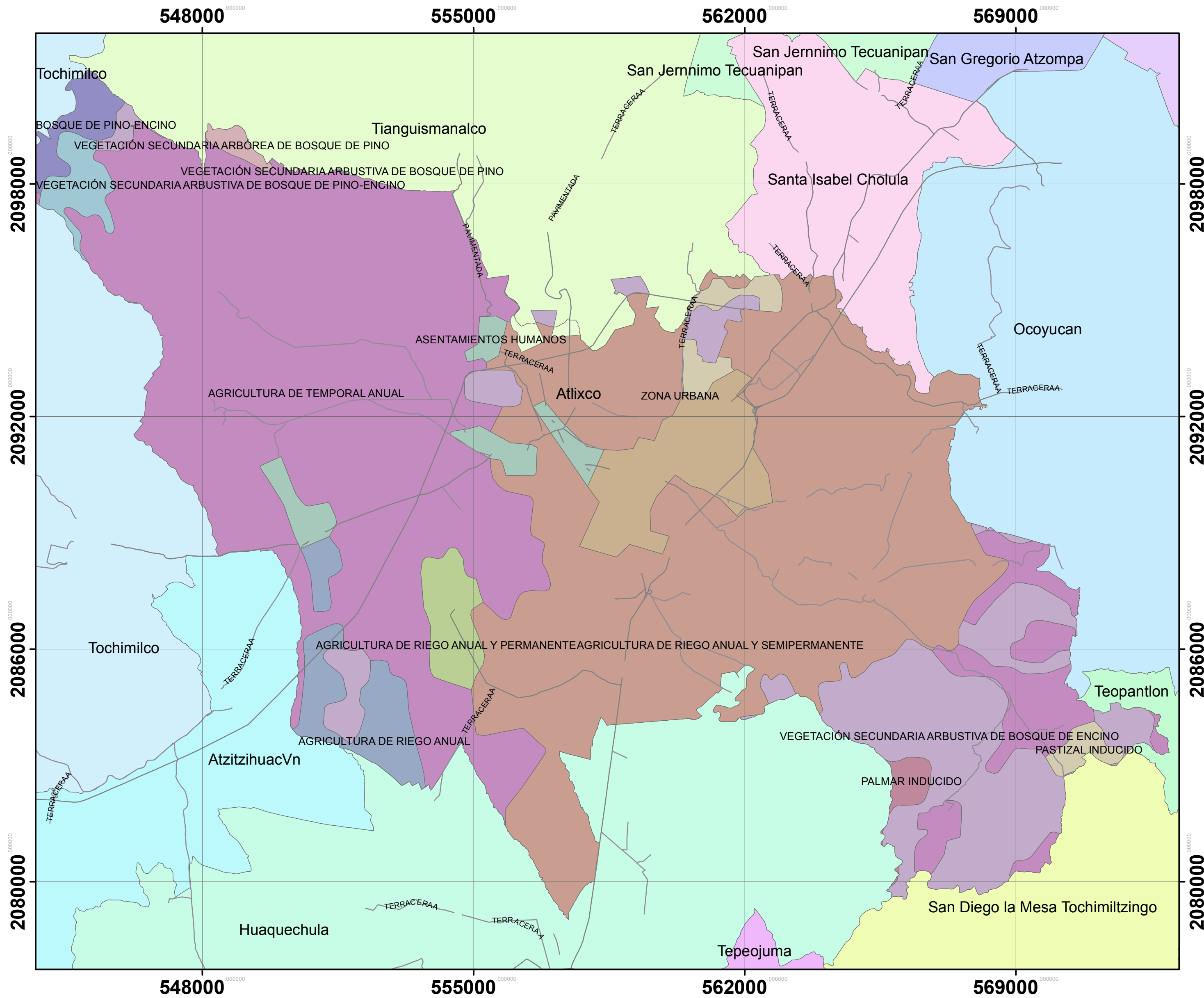


Figura 1: Distribución de vegetación obtenido de SNIEG versión 3.1

# Municipio de Atlixco, Puebla



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

ESCUELA DE BIOLOGIA

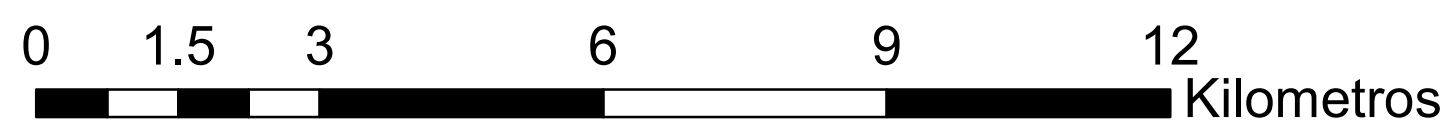
Elaboracion propia apartir de informacion de

COANABIO, INEGI

## Leyenda

- AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL
- AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE
- AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE
- AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL
- ASENTAMIENTOS HUMANOS
- BOSQUE DE PINO-ENCINO
- PALMAR INDUCIDO
- PASTIZAL INDUCIDO
- VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO
- VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO
- VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO
- VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO
- ZONA URBANA

Sistema de coordenadas Metrico  
 Proyeccion UTM14 N Elipsoide  
 WGS84  
 Datum:WGS84  
 ESCALA 1: 100000



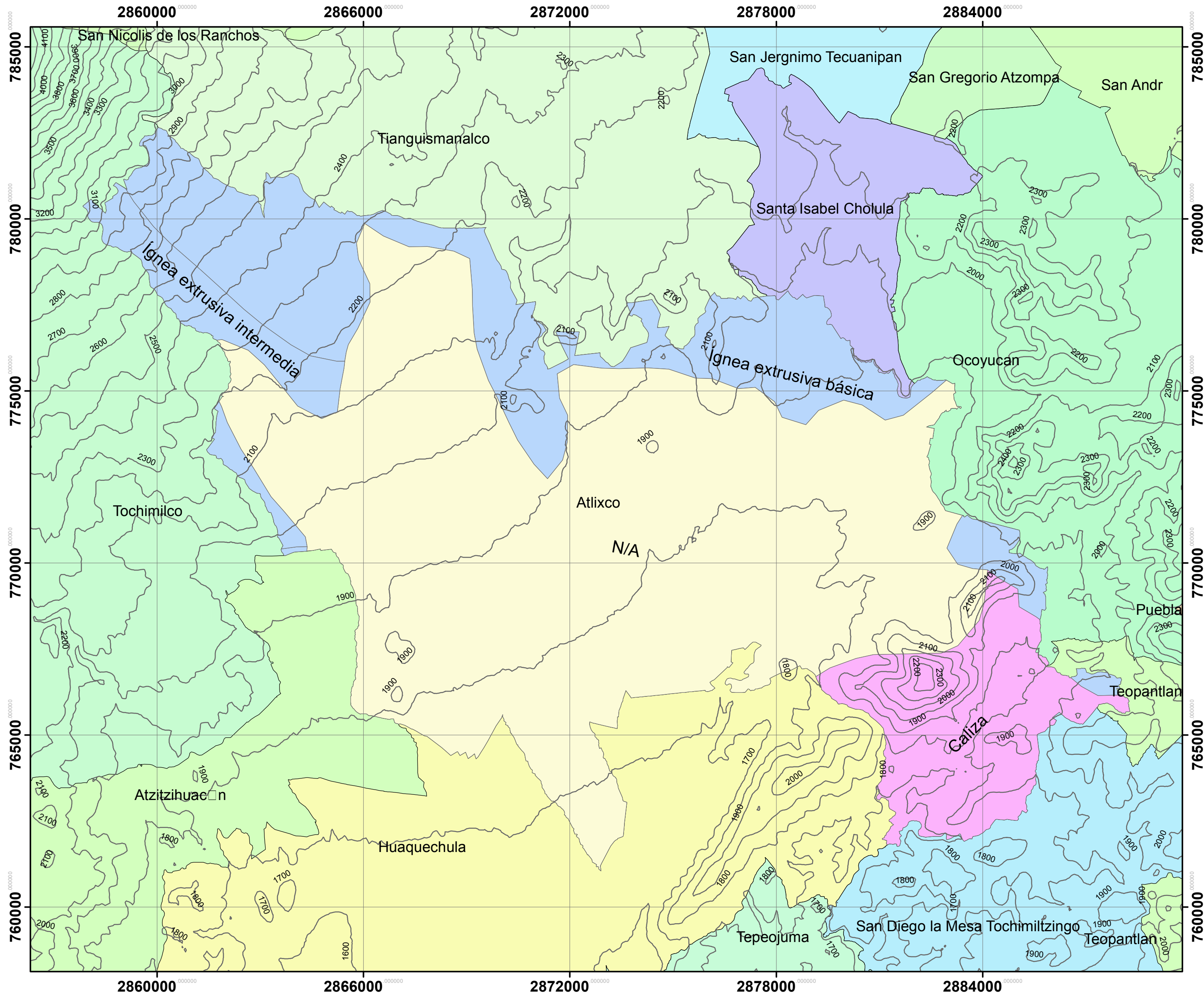
### 7.1.5 Geología



En general, las rocas ígneas extrusivas son predominantes en el municipio y se caracterizan por formarse por un rápido enfriamiento de la lava, este proceso ocurre cuando el magma es expulsado de los volcanes a la superficie y al contacto con la temperatura ambiental, se enfría rápidamente desarrollando pequeños cristales que forman rocas de grano fino (no apreciables a simple vista). (INEGI, 2011)

También se encuentran rocas caliza, que son de tipo sedimentarias de origen fundamentalmente químico u organógeno, formadas al menos por un 50% de carbonato cálcico. Las de origen bioquímico se forman por la acción de los seres vivos ya que fijan el calcio disueltos en el agua y lo utilizan para construir sus esqueletos en forma de calcita o aragonito, cuando estos mueren, sus esqueletos darán unas calizas formadas por calcita, siempre el aragonito es inestable y se transforma en calcita.

La caliza tiene gran interés económico ya que constituye la materia prima del cemento; se utiliza parte en la construcción y como fundente en la industria siderúrgica. ( Guerrero Hernández, 2001)

# Municipio de Atlixco, Puebla



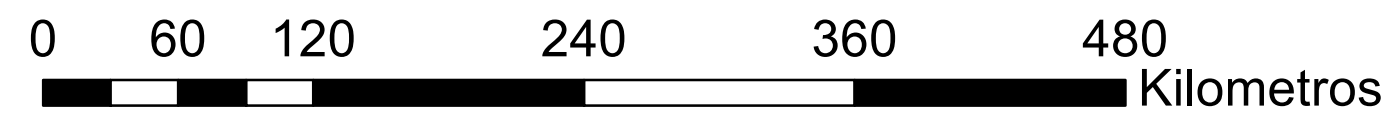
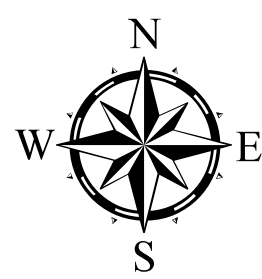
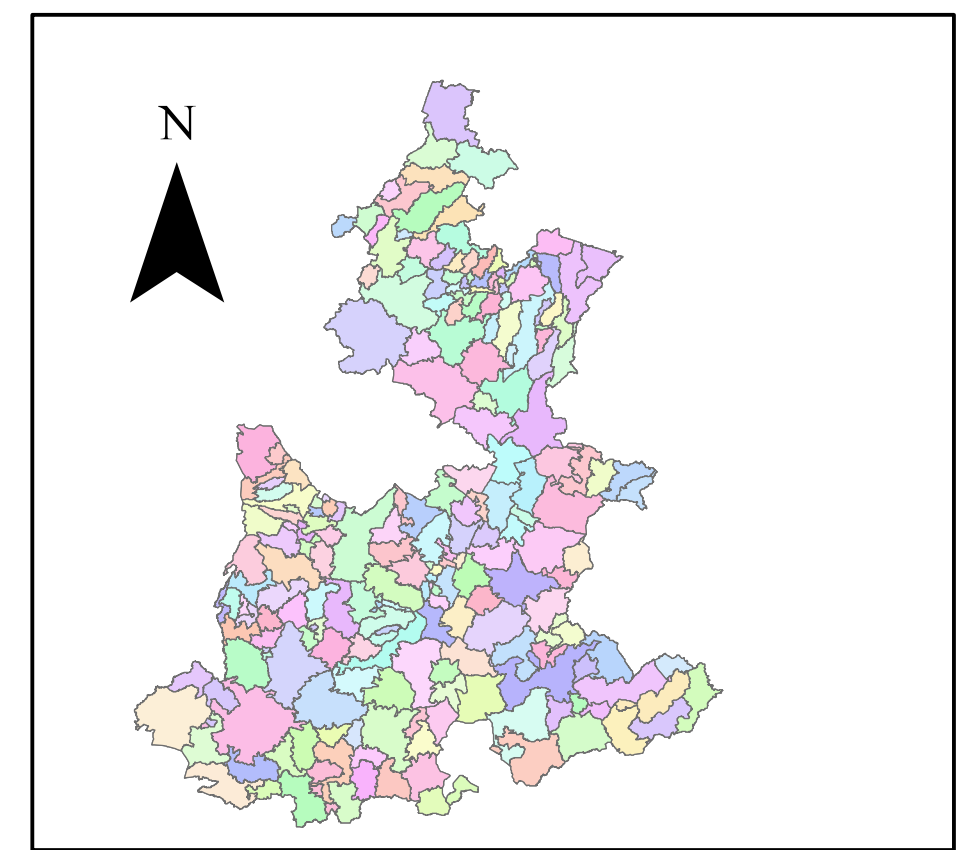



**BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**  
**ESCUELA DE BIOLOGIA**  
 Elaboracion propia. Apartir de informacion CONABIO  
**INEGI**

### Leyenda

- N/A
- Sedimentaria
- Ígnea extrusiva

Sistema de coordenadas Metrico  
 Proyeccion UTM14 N Elipsoide  
 WGS84  
 Datum: WGS84  
 ESCALA 1:100000



## 7.2 Colección de información.

Se descargaron las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación con la clave: E14-2 a escala 1:250 000, de las series III, IV Y V y también las cartas topográficas E14B52, así como los datos vectoriales, las cuales se encuentran disponibles en el portal de INEGI

(<http://www.inegi.org.mx/>).

Los temas de clima y edafología, se obtuvieron del portal CONABIO

(<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>).

Las imágenes de satélites se adquirieron en el portal GLOVIS = the USGS Global Visualization Viewer (<http://glovis.usgs.gov/>). Con las siguientes características:

Satélite	Landsat 7	Landsat 8
Tipo de imagen	ETM	OLI
Mes	Enero	Febrero
Año	2002	2016
Resolución espacial	30	30
Numero de bandas	8	11
Path – row	26-47	26-47
Nubosidad	10%	10%
Estación	seca	seca

Cuadro 3 Características de las imágenes de satélite

(ELABORACION PROPIA)

## 7.3 Mapas de uso de suelo

### 7.3.1 Procedimiento en Idrisi Selva

En el software Idrisi selva se elaboraron los mapas de uso de suelo de los años 2002 y 2016. Se establecieron 4 clases de uso de suelo: 1) vegetación, 2) agricultura de temporal, 3) agricultura de riego, 4) urbanización, en base al sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (FAO, Sistema de clasificación de la Cobertura de la Tierra., 2005).

Clases	Uso de suelo en el municipio de Atlixco, Puebla de acuerdo con INEGI
Vegetación	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino Palmar inducido Pastizal inducido Bosque de pino- encino Oyamel
Agricultura de Riego	Agricultura de riego Anual Agricultura de riego Anual y permanente Agricultura de riego Anual y semipermanente
Agricultura Temporal	Agricultura de temporal anual
Urbanización	Asentamientos humanos Zona urbana

Cuadro 4: Leyenda jerárquica de uso del suelo

### **7.3.2 Procesamiento de imágenes.**

Con las imágenes descargadas de los satélites Landsat 7 y Landsat 8 se utilizó la herramienta Pansharpen para mejorar la resolución espacial de las imágenes, el procedimiento que realiza la herramienta consiste en la fusión de la imagen pancromática que tiene una resolución de 15 metros por pixel y multiespectral de 30 metros, dando como resultado una nueva imagen de color con una mejor resolución en este caso 15m.

Se recortaron las imágenes de satélite de acuerdo al polígono georreferenciado, que previamente se había realizado en el software ArcGIS 10.3 donde se reproyectó al sistemas de coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) y la zona 14 Norte que corresponde al área de estudio, con la finalidad de disminuir las distorsiones en el mapa, debido a que la información disponible generalmente se encuentra en el Sistema de Cónica Conforme de Lambert; además también en este software se elaboraron los mapas clima, edafología y cambio de uso de suelo con la geoinformación de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>).

### **7.3.3 Clasificación de uso de suelo e interpretaciones de imágenes de satélite.**

Se llevó a cabo una clasificación supervisada con segmentación de las imágenes, debido a que se contaba con un previo conocimiento del área de estudio permitiendo delimitar las zonas representativas de las distintas categorías (Nazareno Orradre, 2014) .

La clasificación supervisada se basó en la selección de 10 polígonos para cada clase de uso de suelo y posteriormente el programa seleccionó los segmentos con el mismo comportamiento espectral, generando los mapas de uso de suelo.

Para la selección de los segmentos se emplearon los métodos propuesto por Chuvieco (1990)



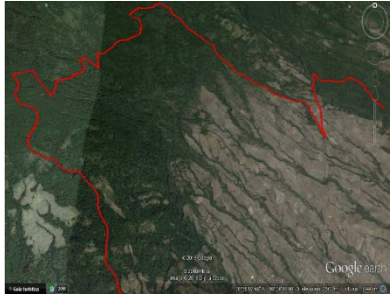
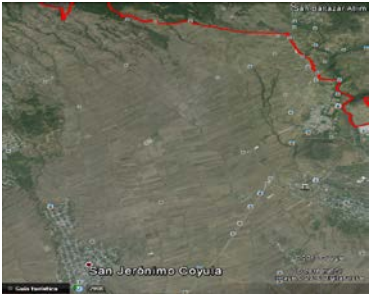


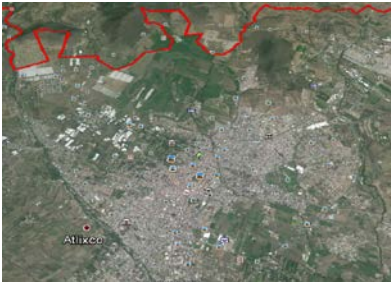
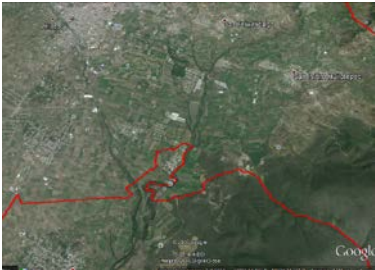
Los cuales son:

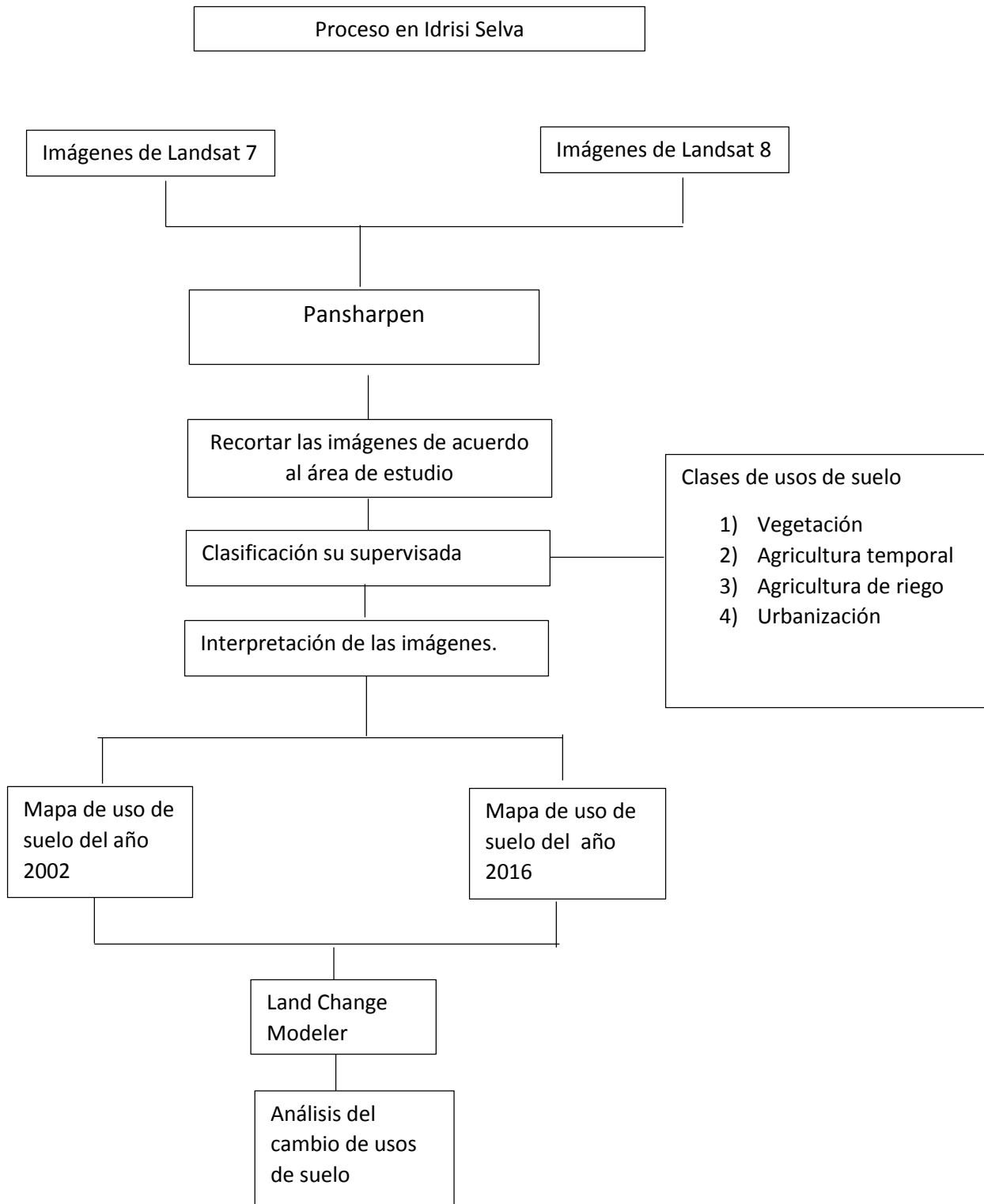
- 1) los criterios visuales para la interpretación de imágenes que permiten discriminar categorías con un comportamiento espectral parecido. Las pautas utilizadas fueron el color y el tono de la composición de las imágenes.
- 2) la interpretación de composición en color, en este trabajo se utilizó una composición de bandas para resaltar las zonas urbanas y la vegetación como se muestra en el cuadro.5 a
- 3) la técnica de fotointerpretación la cual consiste en extraer información que se encuentran contenida en fotografías e imágenes tomadas desde aviones o satélites que son destinados al relevamiento de los recursos terrestres, para la interpretación de la superficie terrestre. ( Basterra, 2011).En este trabajo se emplearon las imágenes de Google Earth para visualizar el territorio del municipio Atlixco, Puebla. (<http://www.google.com.mx/intl/es/earth/>) cuadro.5b

Cuadro 5: a) Aplicación de la combinación de bandas; b) Imágenes de Google Earth

a)

b)

Landsat 7	Landsat 8	Vegetación	Agricultura Temporal
<p>Bandas 1, 2 y 3 color natural</p> 	<p>Bandas 7,6 y 4 Falso color (urbano)</p> 		
<p>Bandas 2, 3 y 4 Color infrarrojo (vegetación)</p> 	<p>Bandas 3,4 y 5 Color infrarrojo (vegetación)</p> 	<p>Urbanización</p> 	<p>Agricultura de riego</p> 



Esquema 1: Procedimiento en Idrisi selva

(ELABORACION PROPIA)

### 7.3.4 Validación del modelo

La validación del modelo consistió en una salida de campo para corroborar que las áreas elegidas pertenecieran a cada uso de suelo.

En programa Google Earth se eligieron los puntos con las siguientes coordenadas (anexo 1). Posteriormente se utilizó el software MapSource para subir las coordenadas al GPS.

X	y	z	tipo de suelo	clave	nombre del punto
546196.00	2099025.00	2646	vegetación	1	v001
546136.39	2099107.75	2659	vegetación	2	V002
546067.21	2099948.27	2772	vegetación	3	V003
546426.50	2099293.76	2669	vegetación	4	V004
550617.09	2095019.29	2194	agricultura temporal	5	T001
550764.74	2095126.56	2191	agricultura temporal	6	T002
550884.07	2095054.61	2184	agricultura temporal	7	T003
550723.52	2094943.4	2186	agricultura temporal	8	T004
559863.58	2093220.34	1889	agricultura riego	9	R001
559926.81	2093187.15	1888	agricultura riego	10	R002
559815.10	2093132.3	1888	agricultura riego	11	R003
559879.17	2093114.44	1887	agricultura riego	12	R004
560575.36	2092525.91	1897	urbanización	13	U001
560535.74	2092474.84	1890	urbanización	14	U002
559358.84	2090832.36	1849	urbanización	15	U003
559270.61	2090709.35	1848	urbanización	16	U004

Además se utilizó un mapa de INEGI (2013) de uso de suelo y vegetación serie V, escala 1:250000 (anexo 2), la cual se ajustó a las 4 clases de usos de suelo, esto con la finalidad de tener una mejor selección en la clasificación supervisada.

### 7.3.5 Determinar pérdidas y ganancias, así como el cambio neto y el cambio total.

Se utilizó el módulo Land Change Modeler y la herramienta de análisis de cambio para estimar pérdidas y ganancias de cada clase, durante los periodos 2002 y 2016.

Con los resultados de las pérdidas y ganancias, se obtuvo el cambio neto, que se define como el valor absoluto de las diferencias de las pérdidas y ganancias de cada clase. (Santana Castañeda & Pineda Jaimes. Citado en; Pontius *et al.*, 2004)

$$CN = |P - G|$$

CN= cambio neto

P= perdidas

G= ganancias

Además se obtuvo el cambio total para cada categoría que se establece como la suma de las ganancias y pérdidas (Santana Castañeda & Pineda Jaimes. Citado en; Pontius *et al.*, 2004)

$$CT = P + G$$

CT= cambio total

P= perdidas

G= ganancias

## **7.4 Análisis de los procesos de cambio**

El análisis de procesos de cambio usos del suelo, técnicamente consiste en comparar dos o más mapas de usos del suelo para una misma área, correspondientes a cuando menos dos fechas distintas. La comparación, o cruce de mapas, realizada en el municipio de Atlixco, Puebla, se llevó a cabo mediante el uso de dos mapas generados en Idrisi selva. El primer mapa corresponde a la fecha 2002 y la segundo mapa a la fecha 2016, ambas corresponde a la época de secas (François Mas, Velázquez, & Couturier, 2009) ( Durán Medina, Jean François , & Velázquez)

## **7.5 Matriz de transición**

Para analizar más a detalle el cambio de uso del suelo se elaboró una matriz de transición, la cual contiene en uno de los ejes las clases de uso del suelo de la fecha inicial (t1) y el otro eje corresponde a la segunda fecha (t2) con las mismas clases. De esta forma, cada una de las celdas de la diagonal principal de la matriz representa la superficie en hectáreas de cada clase de uso que permaneció en la misma categoría durante el periodo considerado, mientras que en el resto de las celdas se estima la superficie de un determinado uso que pasó a otra categoría (Castelán *et al.*,2007. Citado en; López, 1999).

La matriz se realizó en base a los datos del mapa de cambio de usos de suelo y el mapa de persistencia que se obtuvieron con el módulo Land Change Modeler.

## **7.6 Tasa de cambio de los uso de suelo.**

La tasa de cambio es in indicador que permite conocer la dimensión y la velocidad con la sucede el cambio. Esto nos permite evaluar la dinámica del cambio de usos de suelo mediante la fórmula propuesta por la FAO (1996), la cual expresa el cambio en porcentaje de la superficie del año inicial (Falcón, 2014).

$$tc = \left[ \left( S_2 / S_1 \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100$$

Dónde: tc = tasa de cambio (en %)

S<sub>1</sub> = superficie de la fecha inicial

S<sub>2</sub> = superficie de la fecha final

n = diferencia de años entre la fecha inicial y final

## **VIII. Resultados.**

### **8.1 Validacion del modelo**

Los puntos que se eligieron para cada clase de uso de suelo fueron verificados y validados con la salida de campo, los cuales efectivamente correspondían a cada clase. (Anexo 3 y 4).

### **8.2 Mapas de uso de suelo y analisis de cambio de uso de suelo.**

Se obtuvieron los mapas de uso de suelo que corresponden a los años 2002 y 2016, que posteriormente se analizaron para conocer los cambios de este periodo.

En el mapa 7 que corresponde al año 2002 se puede observar que la vegetación se localiza al noroeste y suroeste del municipio ocupando 18.81%, la agricultura temporal ocupaba el 48.48% y se observa que se practica primordialmente hacia al noroeste, mientras que la agricultura de riego se extiende por la zona central hacia el norte, cubriendo una superficie de 14.69 %, por último, la zona urbana se ha desarrollado especialmente en el centro hacia el este, sin embargo los asentamientos humanos se localizan al noroeste y suroeste del municipio, en total ocupaban un 18% de la superficie total.

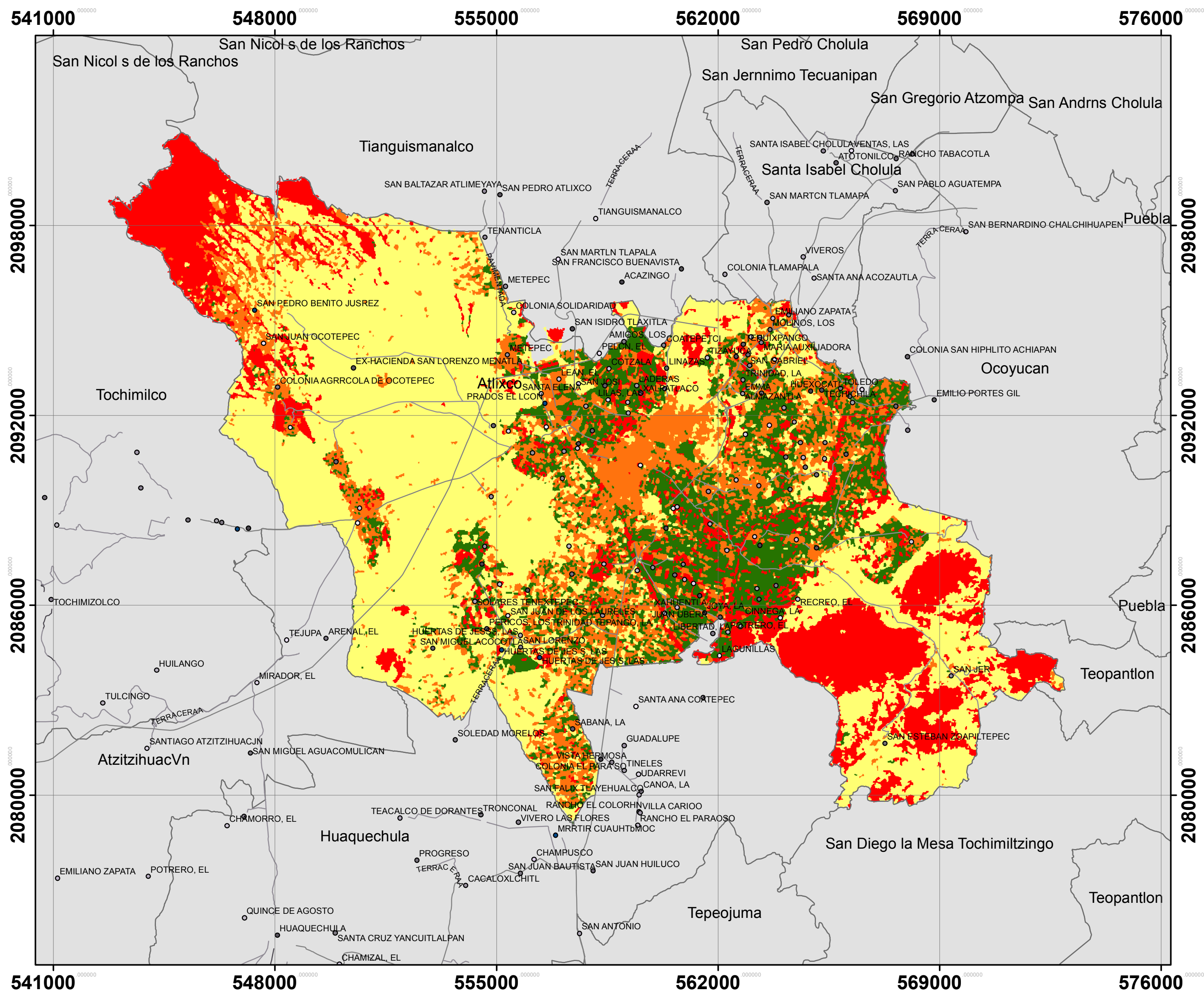
En el mapa 8 que pertenece al año 2016, las clases que muestran una disminución en superficie son la vegetación, la agricultura de riego, la agricultura temporal que pasaron a ocupar una área 13.85%, 13.4%, 46.54%, respectivamente, mientras que la urbanización es la única clase que aumentado en área pasando a ocupar un 26.11% de todo el territorio.

Finalmente se realizó el análisis de cambio y los resultados se resumen en la tabla 2, que contiene la superficie en hectáreas y el porcentaje ocupada de cada clase, además se determinó el cambio de la superficie

Clase	Año 2002		Año 2016		Cambio de la superficie en ha
	Ha	%	Ha	%	
Vegetación	5514.32	18.81	4063.79	13.85	-1450.53
Agricultura temporal	14207.46	48.48	13638.37	46.54	-569.09
Agricultura de Riego	4304.49	14.69	3946.97	13.4	-357.52
Urbanización	5274.83	18	7651.98	26.11	2377.15

*Tabla 2: Análisis de cambio de uso de suelo.*

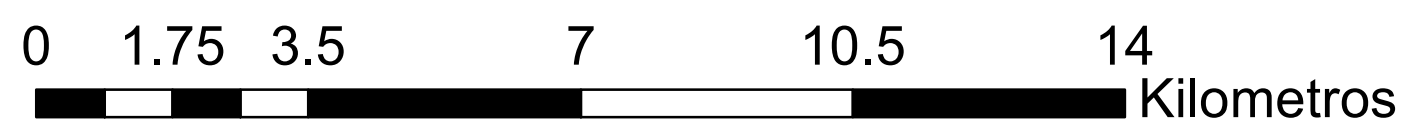
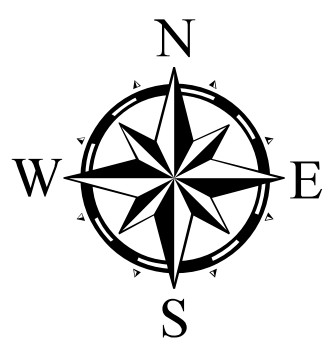
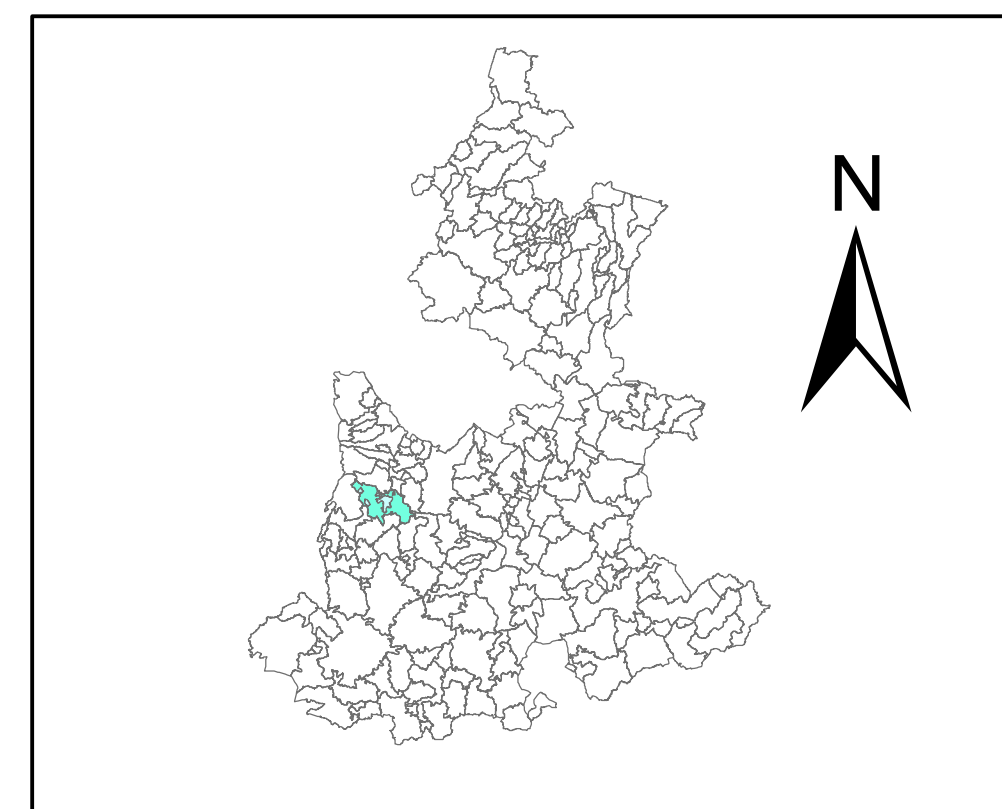
# Uso de suelo del año 2002, Municipio de Atlixco, Puebla



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
 ESCUELA DE BIOLOGIA  
 Elaboracion: Rosa Isela Oriol Ortiz

**Leyenda**

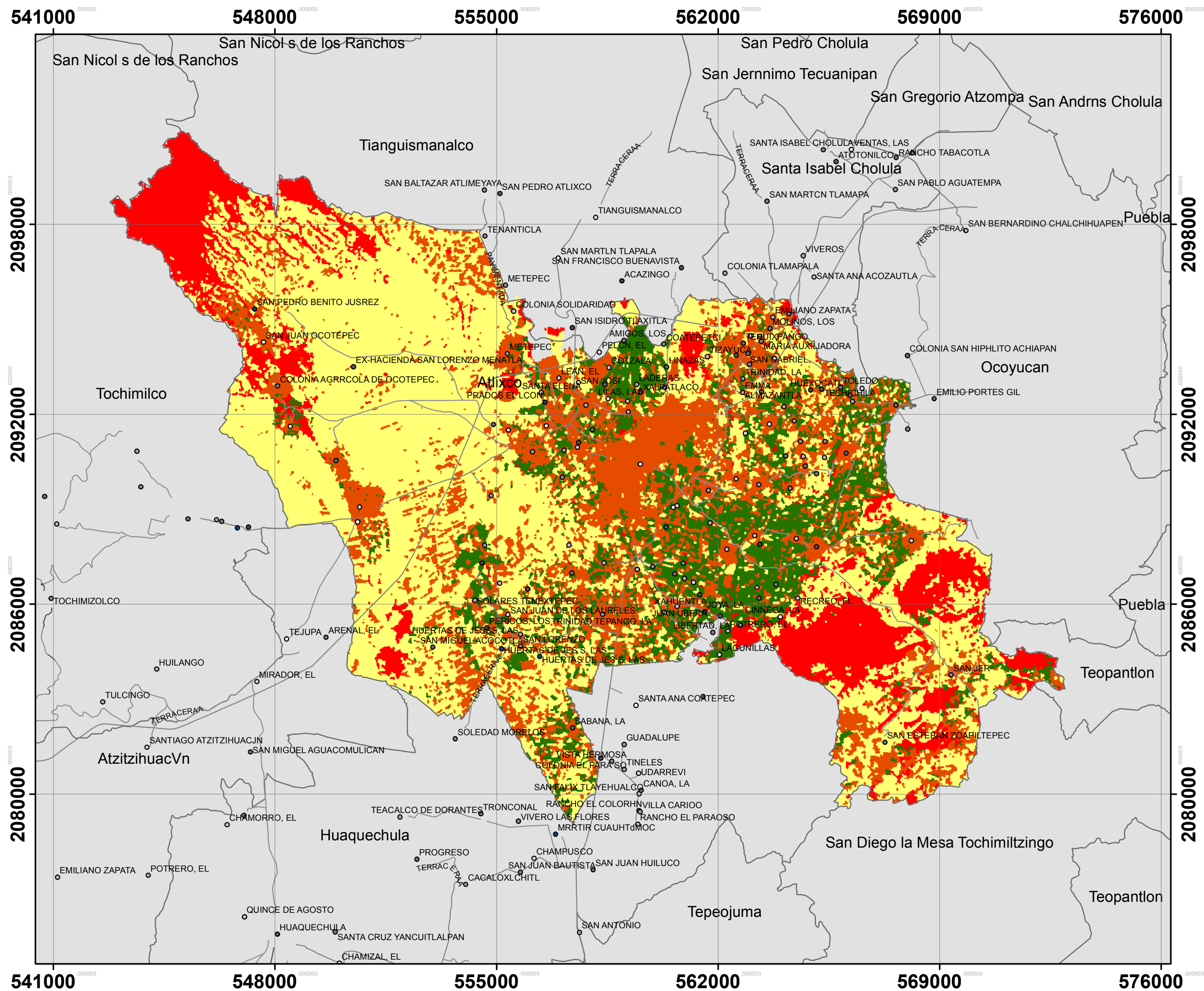
- Vegetación
- Agricultura de temporal
- Agricultura de riego
- Urbanización
- ◆ Localidades con un numero <= a 2500 habitantes
- Tipos de carreteras



1 : 100000

Sistema de coordenadas Metrico  
 Proyeccion UTM14 N  
 Elipsoide WGS84  
 ESCALA 1: 100000  
 FUENTE: Imagenes de Landsat 7

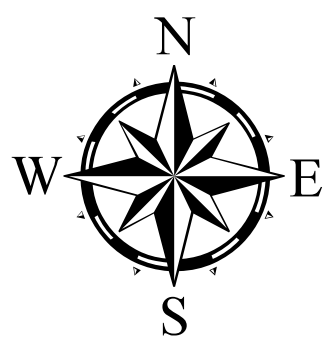
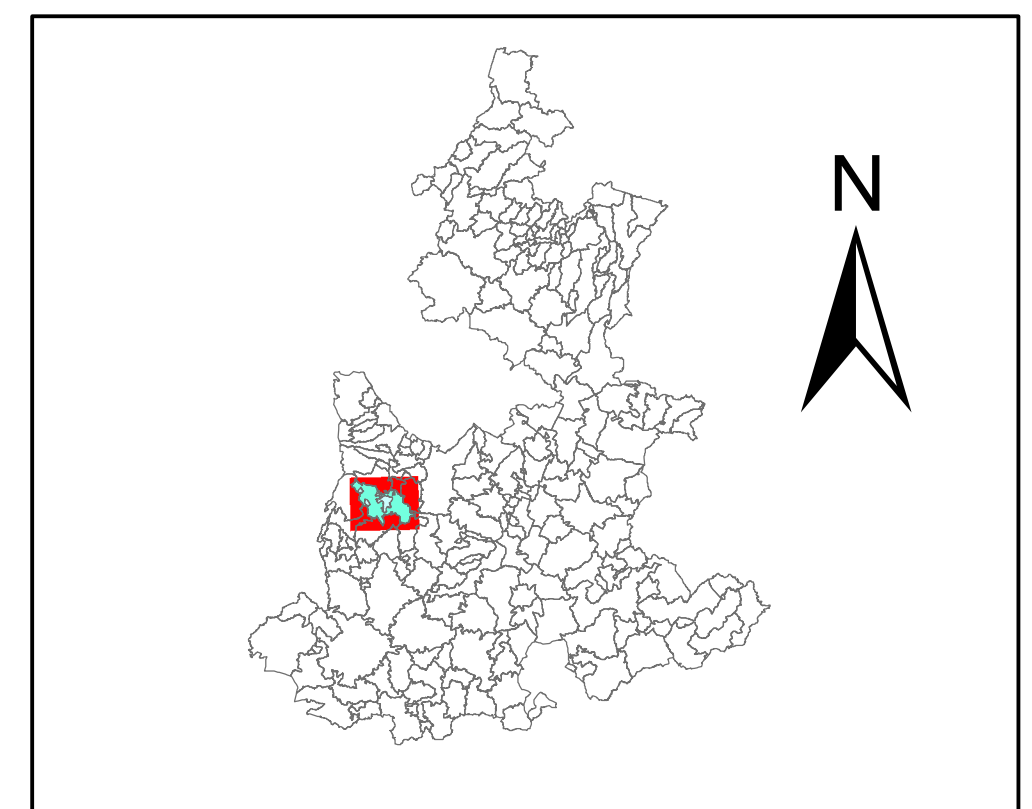
# Uso de suelo del año 2016, Municipio de Atlixco, Puebla



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
 ESCUELA DE BIOLOGIA  
 Elaboracion: Rosa Isela Oriol Ortiz

**Leyenda**

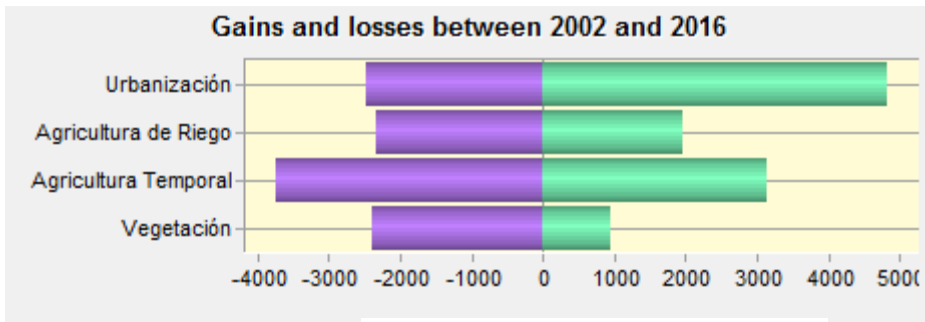
- Vegetación
- Agricultura de temporal
- Agricultura de riego
- Urbanización
- ◆ Localidades con un numero <= a 2500 habitantes
- Tipos de carreteras



Sistema de coordenadas Metrico  
 Proyeccion UTM14 N  
 Elipsoide WGS84  
 ESCALA 1: 100000  
 FUENTE: Imagenes de Landsat 8

### 8.3 Pérdidas, ganancias, cambio neto y el cambio total.

Los resultados de la herramienta de análisis de cambio son los siguientes: La clase urbanización ganó 4845 ha y perdió -2468 ha; la Agricultura de riego ganó 1974 ha y perdió -2331 ha; la Agricultura temporal ganó 3162 ha y perdió -3731 ha y la Vegetación ganó 943 ha y perdió -2393ha.



Grafica 1: Ganancias y pérdidas del periodo 2002 y 2016

Los resultados obtenidos de las ecuaciones de cambio neto y total de cada clase se muestran en las tablas 3a y 3b.

Categoría	Cambio neto (Hectáreas)
Vegetación	-1450
Agricultura Temporal	-569
Agricultura de riego	-355
Urbanización	2377

Tabla 3 a 1: Cambio neto

Categoría	Cambio total (Hectáreas)
Vegetación	3336
Agricultura Temporal	6893
Agricultura de riego	4305
Urbanización	7313

Tabla 3 b 1: Cambio total

## 8.4 Matriz de transición

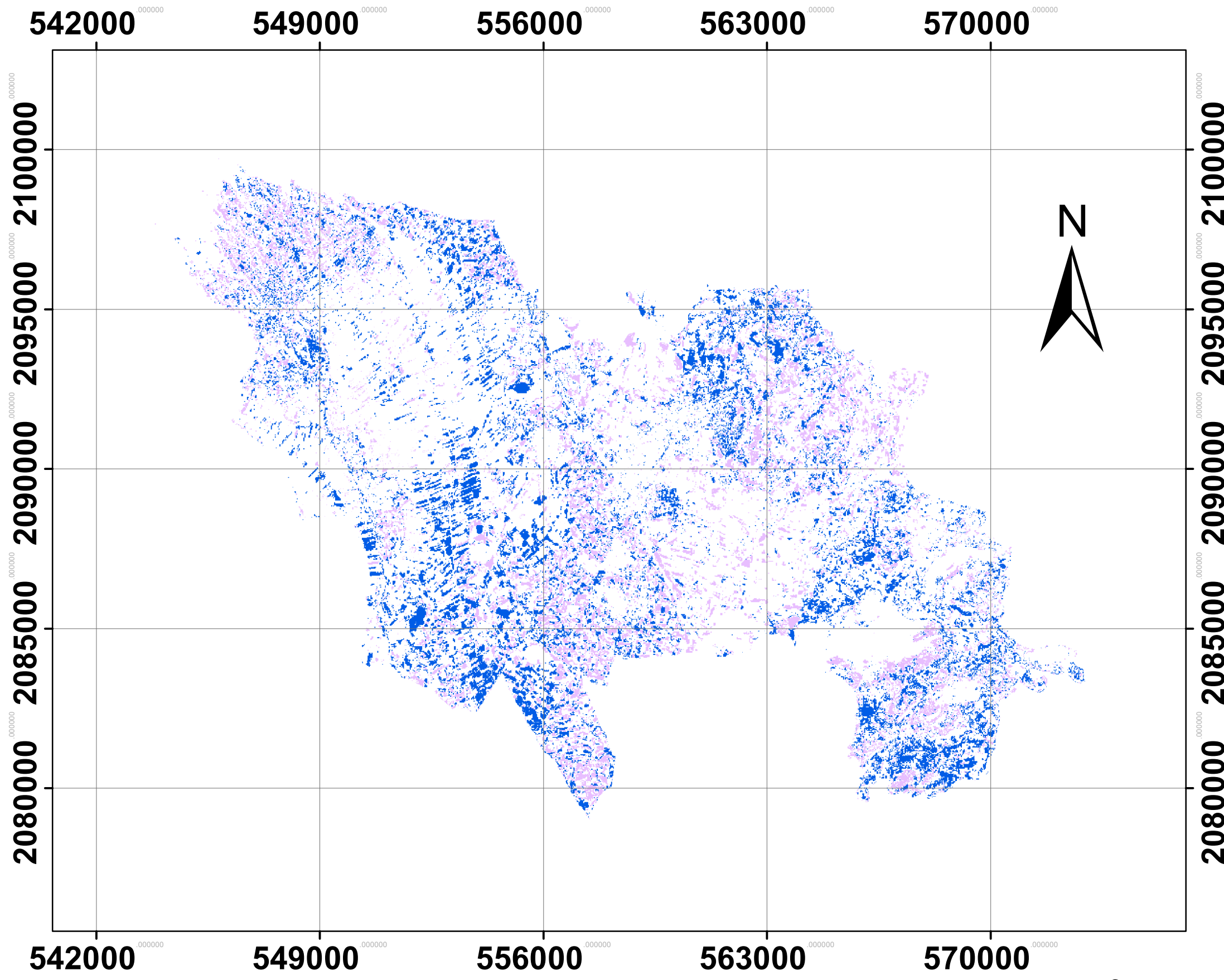
A partir del mapa de cambios y el mapa de persistencia en los periodos 2002 y 2016 se construyó la matriz de transición. En la cual se establece el número de hectáreas por clases, las hectáreas que pasaron a ser parte de otras clases (pérdidas) y el número de hectáreas que persistieron en el periodo.

La vegetación perdió 2393 ha, de las cuales 846.31 ha, pasaron a ser agricultura temporal, 873.09 ha pasaron a ser de agricultura de riego y 673.67 ha pasaron a ser urbanización, mientras que las persistencias fueron de 3121.24 ha; la agricultura temporal perdió 3731 ha, de las cuales 694.01 ha pasaron a ser de vegetación, 381.01 ha pasaron a agricultura de riego y 2656.26 ha pasaron a ser de urbanización, las persistencias fueron de 10476.18; la agricultura de riego perdió 2331 ha, de las cuales 113.98 ha pasaron a vegetación, 702.27 ha a Agricultura temporal y 1514.94 a urbanización, la persistencia fue 1973.29 ; la urbanización perdió 2468 ha, de las cuales 134.55 ha pasaron a ser parte de vegetación, 1613.61 ha de Agricultura temporal, 719.57 ha de Agricultura de riego, sin embargo estas dos últimas categorías se consideraran como <<falsos cambios>> (en negritas) ya que son cambios no factibles (Velázquez, y otros, 2002) y por ultimo las persistencias fueron de 2807.10 ha.

### *Uso de suelo 2016*

<i>Uso de suelo 2002</i>	Vegetación	Agricultura temporal	Agricultura de riego	Urbanización	Total 2002
<i>Vegetación</i>	3121.24	846.31	873.09	673.67	5514.31
<i>Agricultura temporal</i>	694.01	10476.18	381.01	2656.26	14207.46
<i>Agricultura de riego</i>	113.98	702.27	1973.29	1514.94	4304.49
<i>Urbanización</i>	134.55	<b>1613.61</b>	<b>719.57</b>	2807.10	5274.83
<i>Total 2016</i>	4063.78	13638.37	3946.96	7651.97	29.30

Cuadro 6: Matriz de transición



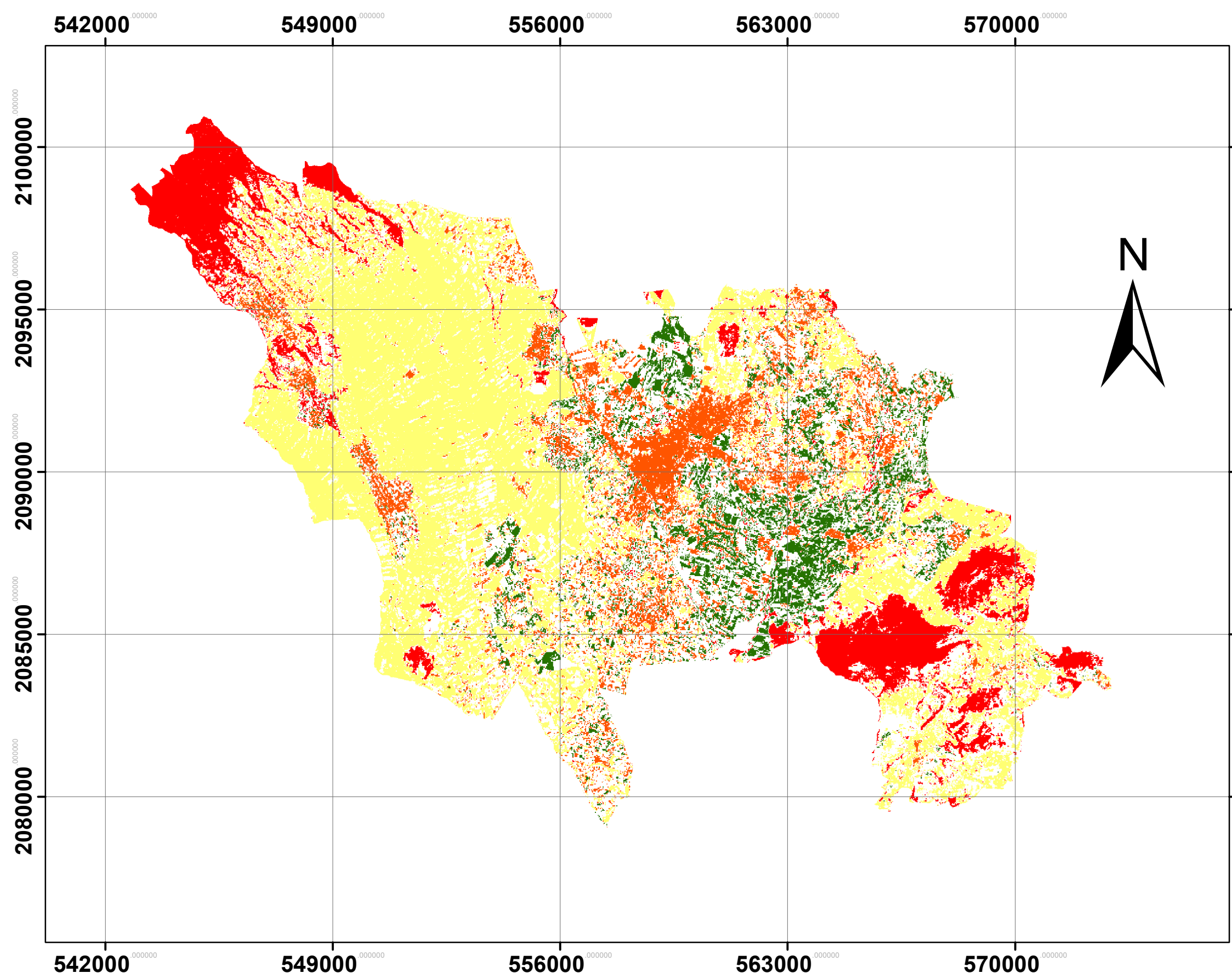
Mapa de cambios de suelo

**Legend**

- Agricultura Temporal to Vegetación
- Agricultura de Riego to Vegetación
- Urbanización to Vegetación
- Vegetación to Agricultura Temporal
- Agricultura de Riego to Agricultura Temporal
- Urbanización to Agricultura Temporal
- Vegetación to Agricultura de Riego
- Agricultura Temporal to Agricultura de Riego
- Urbanización to Agricultura de Riego
- Vegetación to Urbanización
- Agricultura Temporal to Urbanización
- Agricultura de Riego to Urbanización



1 : 100000



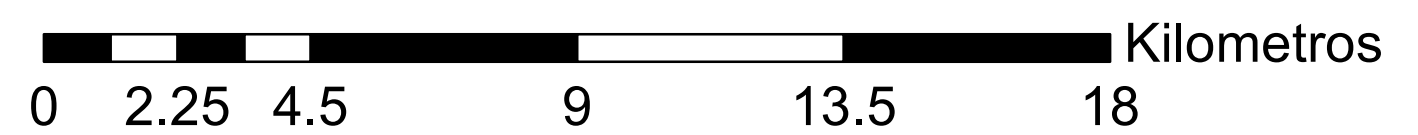
Mapa de Pesistencias

**Leyenda**

- Vegetación
- Agricultura Temporal
- Agricultura de Riego
- Urbanización



1 : 100000



Sistema de coordenadas Metrico  
 Proyeccion UTM14 N  
 Elipsoide WGS84  
 ESCALA 1: 100000  
 FUENTE: Imagenes de Landsat 7 Y 8

## 8.5 Tasa de cambio

En los periodos 2002 y 2016 la tasa de cambio de las clases: vegetación, agricultura de temporal y agricultura de riego presentaron una tasa negativa con -2.14 %, -0.28 % y -0.61% respectivamente para cada clase, lo que significa que tuvieron una reducción de área mientras que la clase urbanización fue la única que mostro una tasa positiva de 2.67%, provocando un aumento de superficie destinada a uso urbano.

Clases	Tasas de cambio del periodo 2002 a 2016
Vegetación	-2.14 %
Agricultura temporal	-0.28 %
Agricultura de riego	-0.61 %
Urbanización	2.67 %

Tabla 3 Tasa de cambio de uso de suelo de los periodos 2002 y 2016

## IX. Discusión.

Dentro de las 4 clases de usos de suelo que se determinaron, la clase vegetación fue la que presentó una mayor pérdida de área, con una tasa de cambio negativa de -2.14%. En el año 2002 ocupa una superficie de 5514.32 hectáreas lo que representaba el 18.81% de todo el municipio y en el año 2016 pasó a ocupar una superficie de 4063.79 hectáreas que corresponde al 13.85%. El cambio total en esta clase fue 3336 hectáreas y el cambio neto fue 1450, puesto que, en este periodo se registró una pérdida de 2393ha, gano 943 ha y la persistencia fue de 3121.24 hectáreas, estos cambios se deben a que 846.31 hectáreas pasaron a hacer parte de la agricultura temporal y 873.09 pasaron a hacer de agricultura de riego, esto es parecido a los resultados obtenidos de García *et al.*, (2012) así como los de Pérez (2013) que mencionan que los terrenos destinados a la vegetación se convierten en tierras destinadas a la agricultura.

Por último 673.67 hectáreas pasaron a ser parte de la urbanización, esto se debe a la apertura de nuevos asentamientos humanos en el municipio de Atlixco, ya que de acuerdo a la información extraída de la cartografía de INEGI escala 1:250 000 serie III que concierne al periodo 2000-2004, donde no registra ningún asentamiento humano en cambio para la serie IV y serie V se contabilizan 507.78 hectáreas de asentamientos humanos, estas causas son parecidas a lo que sugiere Orozco *et al.* (2012) que encuentran que un factor importante para la pérdida de vegetación es el aumento de asentamientos humanos irregulares y regulares.

La siguiente clase que presentó una reducción de área fue la agricultura de temporal, siendo el uso de suelo con mayor superficie que se encuentra en el municipio, presentó un cambio neto de 569 hectáreas y una tasa de cambio ligeramente negativa (-0.28 %), pues en el año 2002 esta clase tenía una superficie de 14207.46 ha, lo correspondía a un 48.48% del total del área. Para el año 2016, esta superficie se convirtió en 13638.37 ha, que ahora ocupa un 46.54%; esta reducción de área, se debió a que estas hectáreas pasaron a las clases de vegetación, agricultura de riego y urbanización. El mayor cambio se dió a la clase

de urbanización, al igual que lo menciona en su trabajo Burriel *et al.*, (2005), puesto que obtuvimos que pasaron 2656.26 hectáreas a esta clase, esto probablemente fue a causa del aumento de los asentamientos humanos y la expansión de la zona urbana.

El siguiente cambio se dio hacia la vegetación ya que 694.0125 hectáreas pasaron a ser parte de esta clase, este cambio se dio en el municipio de Atlixco, porque de acuerdo con los datos reportados de INEGI (INEGI, Instituto nacional de estadística y geografía, 2011) en el año 2011 tan solo 5,604 hectáreas se encontraban sembradas y esto indica que el resto de los terrenos probablemente se encuentran en barbecho o están recuperando la vegetación natural. Y por último 381.015 hectáreas pasaron a agricultura de riego; una de las causas de este cambio es que, en el municipio de Atlixco se ha diversificado la producción de cultivos en los últimos 25 años, transformándose de una zona eminentemente granera de temporal, a una de cultivos de riego donde se siembran principalmente hortalizas, forrajes y flores que tienen una alta demanda comercial. Además los cultivos de hortaliza y el forrajeo son convenientes para el productor ya que se pueden cosechar 4 o 6 veces al año y pueden ser recambiadas en función de la dinámica del mercado. En el caso de las flores, se cultiva gladiola que tiene una demanda fuerte en los mercados, pero también cabe resaltar el cultivo de cempoalxóchitl que a pesar de ser estacional tiene una gran demanda y es un cultivo rentable en su temporada (Ramírez, Campos, & Campos, 2006). Otro factor que influye en el aumento de agricultura de riego es que el municipio forma parte de la región del Altiplano del Centro del país y de la provincia fisiográfica del eje neovolcánico, está inmerso dentro de la región hidrológica del Río Balsas, la Cuenca del Río Atoyac y la subcuenca del Río Nexapa y se asienta sobre el acuífero valle de Atlixco (Felipe Ochoa y asociados, 2002). Por ende el municipio cuenta disponibilidad de agua para los cultivos de riego lo que permite el desarrollo de la agricultura de riego en la región. Sin embargo el cambio no fué notorio para esta clase, porque los resultados indican que la agricultura de riego sufrió una mayor pérdida; además se obtuvo que 702.27 ha regresaron a ser parte de la agricultura temporal, puesto que en el municipio se han tenido disputas por el

recurso hídrico y la falta de infraestructura han provocado que algunos campesinos dejen la agricultura de riego y continúen con la agricultura temporal.

La clase de agricultura de riego durante este periodo tuvo un cambio neto de 355 ha, debido a que ganó 1974 ha y perdió 2331 ha, que pasaron a ser parte de las restantes clases, como la vegetación que tan solo pasaron 134.55, ya que solo 6186 se encuentran sembradas y el resto podría estar recuperando su vegetación natural. Por otro lado el mayor cambio se dio hacia la agricultura temporal como ya se mencionó y a la urbanización que pasaron 1514.94 ha. Por lo que la superficie total cambio, en el 2002 ocupa 4304.49 hectáreas y para el 2016 paso a ocupar 3946.97 ha, teniendo una tasa de cambio negativa -0.61 %.

El cambio más representativo que se dió en el municipio de Atlixco, fué el aumento de la clase urbanización, dado que en el año 2002 la superficie destinada a esta clase era de 5274.83 ha y en 2016 paso a ser 7651.98 ha, el cambio neto fue 2377 ha, a causa de que esta clase tuvo una mayor ganancia de 4845, respecto a las pérdidas que solo fueron de 2468 ha, de las cuales solo 134.550 ha pasaron a ser parte de ella, puesto que en el año 2014 la administración actual (2014-2018) realizo una inversión para rehabilitar y recuperar áreas verdes de bulevares y jardines del municipio de Atlixco, Puebla. (H. Ayuntamiento de Atlixco, 2015)

También se obtuvo un total de 2333.181 ha pasaron a las clases de agricultura de temporal y de riego, lo que consideramos un <<cambio falso>> ya que es un tipo de cambio muy difícil que suceda y lo tomaremos como un error que se dio a causa de omisión. (Velázquez, y otros, 2002)

Por el contrario el incremento en esta clase se debió a que la población del municipio de Atlixco ha registrado un crecimiento lineal, en el año 1995 la población era 112,480, en el año 2000 la población paso a ser 117,111, posteriormente en el 2005 la población era 122,149 y para el año 2010 la población es 127,062, esto indica que la población aumentado en lapso de tiempo corto como se muestra en la gráfica 2(anexo 5). Simultáneamente los incrementos de los asentamientos humanos han provocado un aumento en esta clase así como la expansión de la mancha urbana

(anexo 6). No obstante como ya se mencionó el municipio cuenta con bastantes recursos hídricos, lo que genera que la población se mantenga y aumente.

## **X. Conclusión**

Gracias al uso de sistemas de información geográfica (SIG) y técnicas de teledetección o percepción remota, fue posible reconstruir con cierta precisión los cambios de usos del suelo del municipio de Atlixco, Puebla durante los últimos 14 años. Se usaron imágenes de satélite disponibles para los años 2002 y 2016 y así poder llevar a cabo el análisis de la dinámica de cambio de usos de suelo, que permitió determinar los incrementos y los decrementos de los usos de suelo. En este caso, la clase urbanización fue la única que aumentó con 2377.15 ha, mientras que las clases de la vegetación, agricultura temporal y agricultura de riego disminuyeron -1450.53, -569.09, -357.52 respectivamente.

Cabe resaltar que aunque el municipio presentó pérdidas en 3 clases de usos de suelo, no fueron cambios relevantes; sin embargo el aumento en la clase urbanización indica que el municipio de Atlixco está siguiendo la tendencia esperada de las ciudades relativamente pequeñas hacia identidades más complejas, además es importante señalar que las clases agricultura de riego como de temporal tienen una mayor probabilidad a pasar a ser parte de la urbanización (anexo 7).

Por otra parte es importante mencionar que a pesar del uso del software, la fotointerpretación y la cartografía, que son consideradas herramientas imprescindibles para el análisis del espacio temporal que permite comprender las causas y consecuencias que conlleva el cambio de uso del suelo, es necesario validar la información obtenida, con datos de campo, para tener un mayor grado de confiabilidad y para la toma de decisiones.

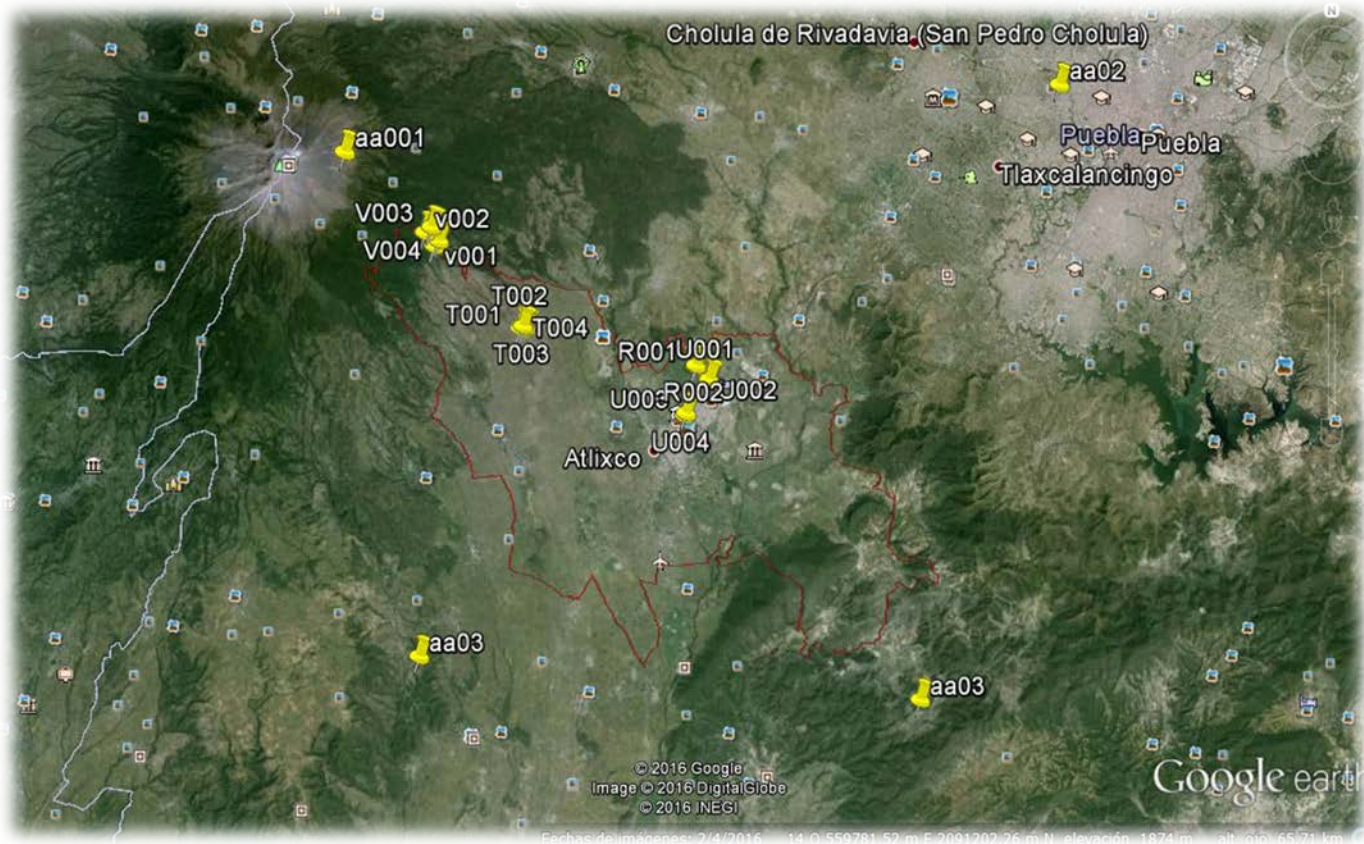
## **XI. Consideraciones finales.**

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se recomienda a la administración encargada del municipio implementar un programa de ordenamiento territorial actualizado, ya que solo se cuenta con Programa municipal de desarrollo urbano sustentable de Atlixco, Puebla que concierne al año 2013. No obstante, el municipio debería contar con un programa de ordenamiento ecológico, con la finalidad de regular el uso de suelo para reducir los impactos ambientales.

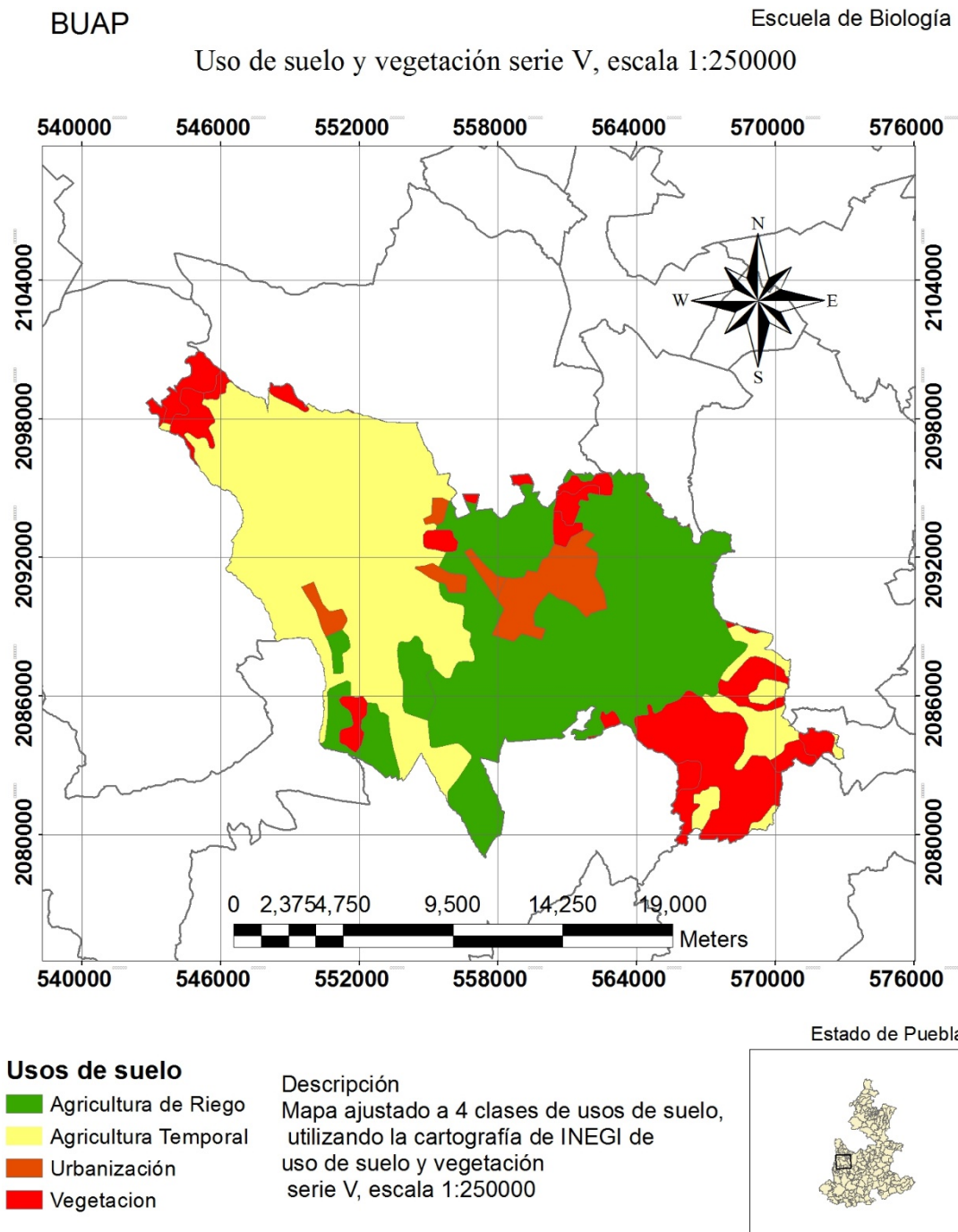
## XII. Anexos

Anexo 1: Imagen de Google Earth

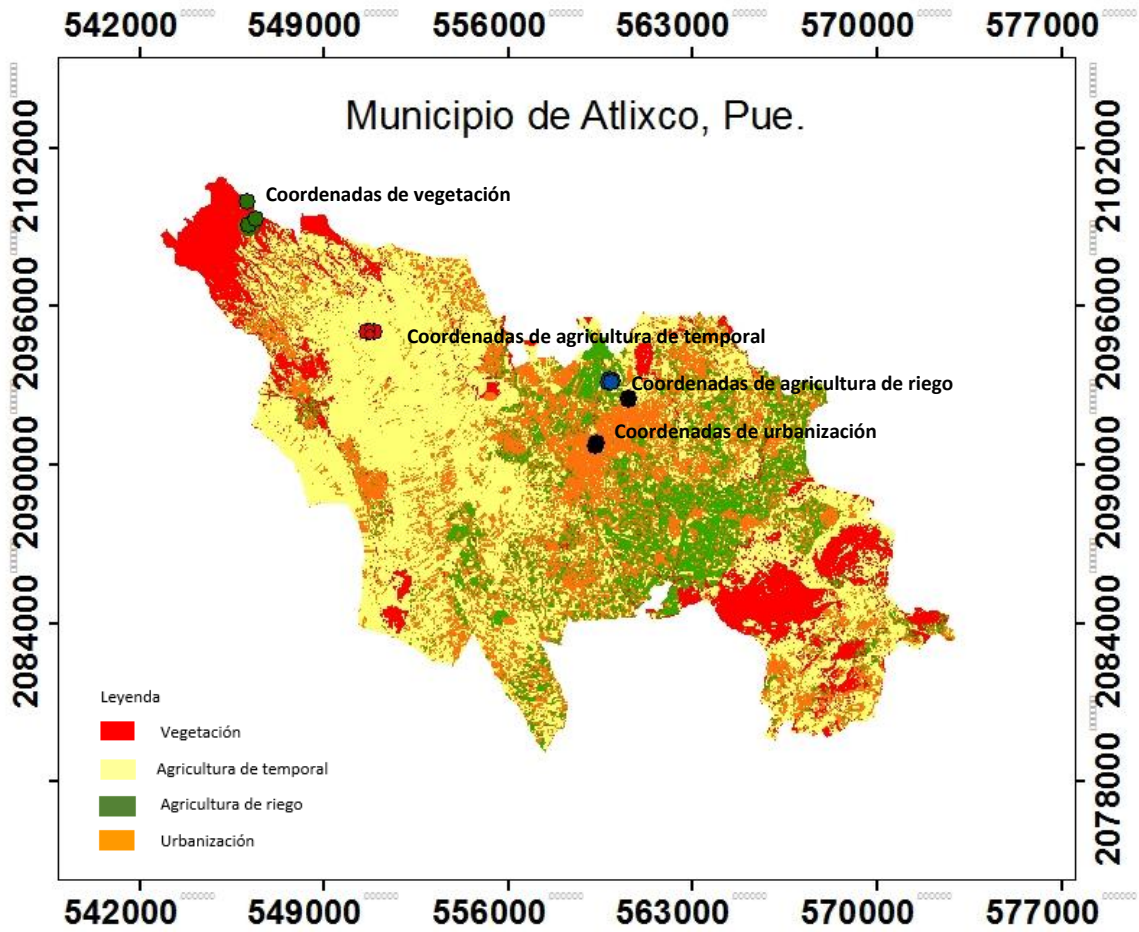
En esta imagen se muestra la selección de los puntos de uso de suelo para la validación del modelo.



## Anexo 2: Mapa de usos de suelo ajustado a 4 clases



Anexo 3: Mapa de las Coordenadas de los puntos de la salida de campo



Coordenadas de Puntos de la salida de campo.

vegetación:		Agricultura de riego:	
546196.00	2099025.00	559863.58	2093220.34
546136.39	2099107.75	559926.81	2093187.15
546067.21	2099948.27	559815.10	2093132.3
546426.50	2099293.76	559879.17	2093114.44
Agricultura temporal		Urbanización:	
550617.09	2095019.29	560575.36	2092525.91
550764.74	2095126.56	560535.74	2092474.84
550884.07	2095054.61	559358.84	2090832.36
550723.52	2094943.4	559270.61	2090709.35



1:100000

#### Anexo 4: Fotos de la salida de campo

- Uso de suelo denominado Vegetación



Fotografía 1: Bosque de encino-pino;  
ubicado en San Pedro Benito Juárez,  
Atlixco, Puebla

Tomada 30 mayo del 2016



Fotografía 2: Bosque de encino-pino;  
ubicado en San Pedro Benito Juárez,  
Atlixco, Puebla

Tomada 30 mayo del 2016

- Uso de suelo denominado Agricultura de temporal



Fotografía 3: Agricultura de temporal;  
ubicado en Atlixco, Puebla

Tomada 30 mayo del 2016



Fotografía 4: Agricultura de temporal;  
ubicado en Atlixco, Puebla

Tomada 30 mayo del 2016

- Uso de suelo denominado Agricultura de riego



Fotografía 5: Agricultura de riego; ubicado en Atlixco, Puebla  
Tomada 30 mayo del 2016



Fotografía 6: Agricultura de riego; ubicado en Atlixco, Puebla  
Tomada 30 mayo del 2016

- Uso de suelo denominado Urbanización.

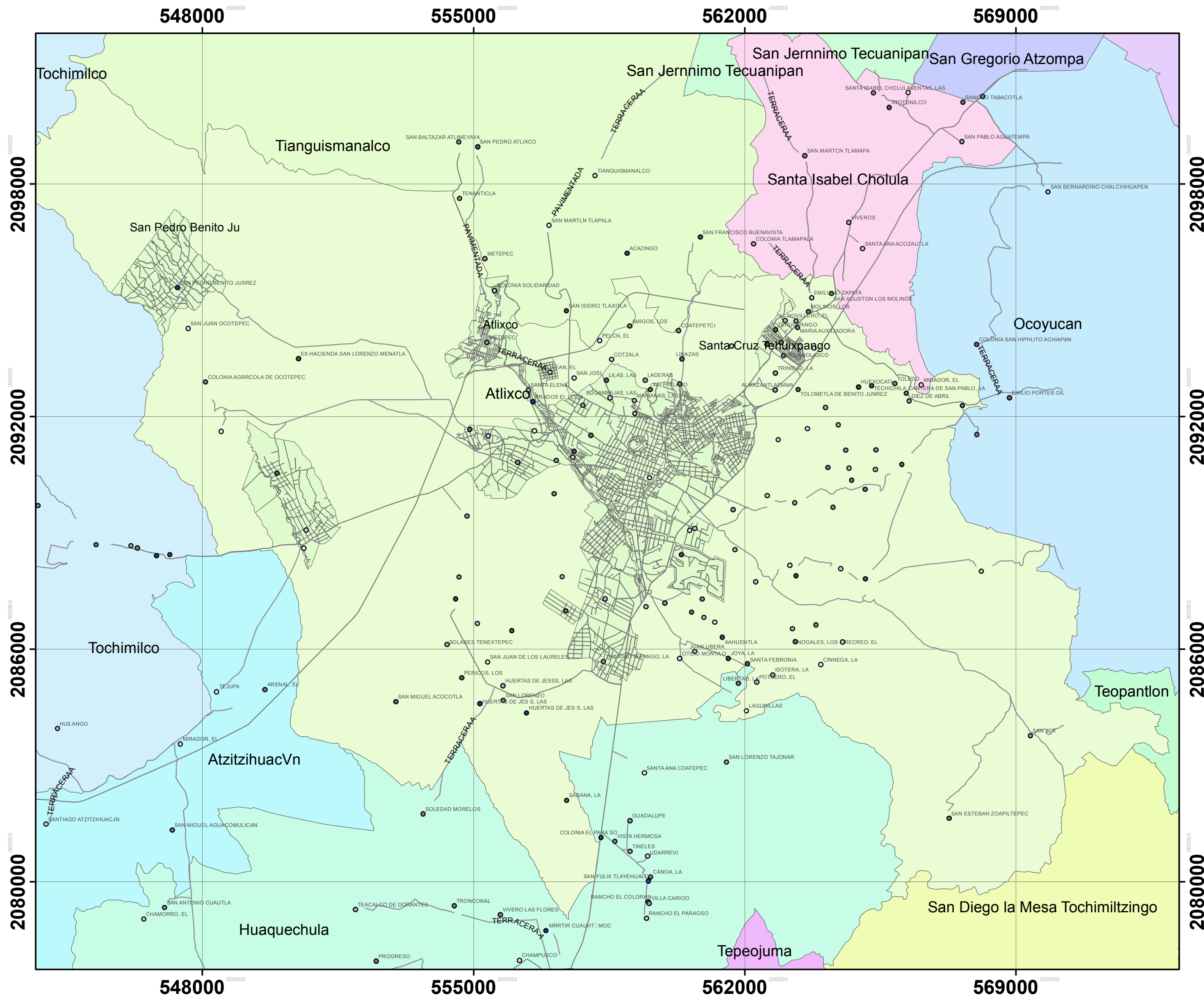


Fotografía 7: mancha urbana; ubicado en el centro de Atlixco, Puebla  
Tomada 30 mayo del 2016






Fotografía 8: mancha urbana; ubicado en el centro de Atlixco, Puebla  
Tomada 30 mayo del 2016

# Municipio de Atlixco, Puebla

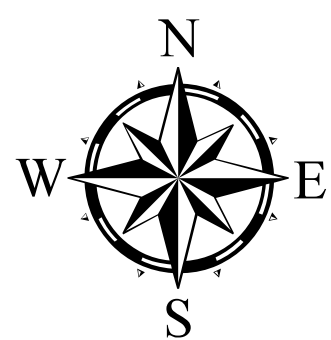
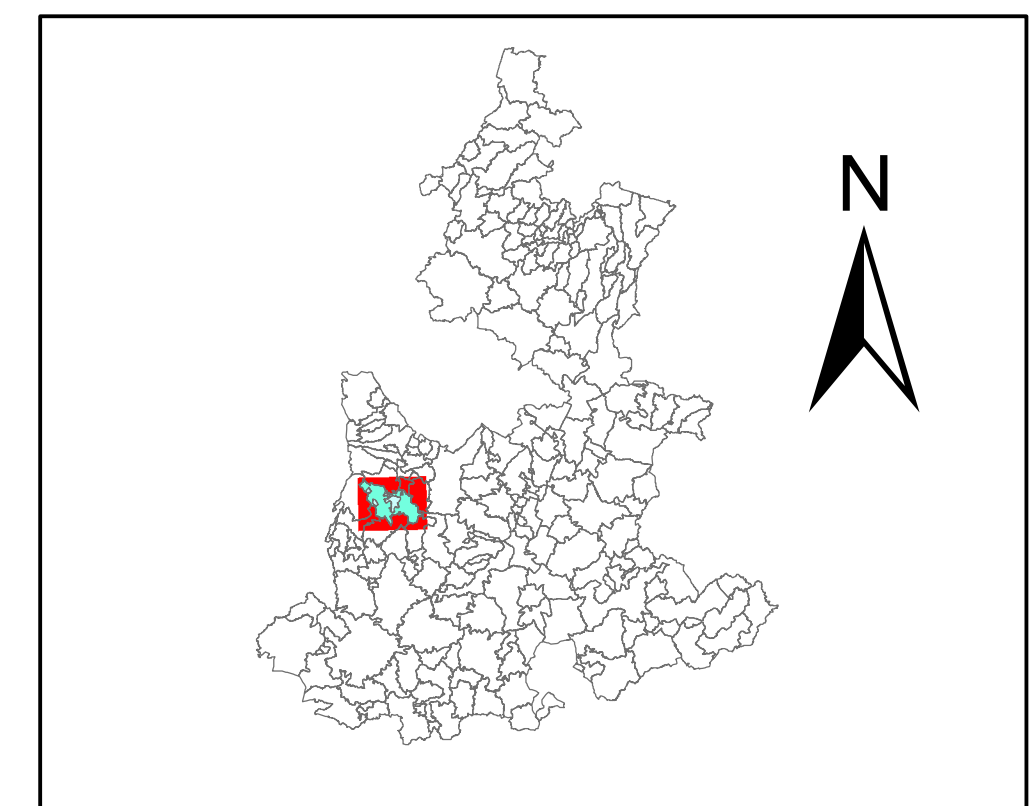


BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

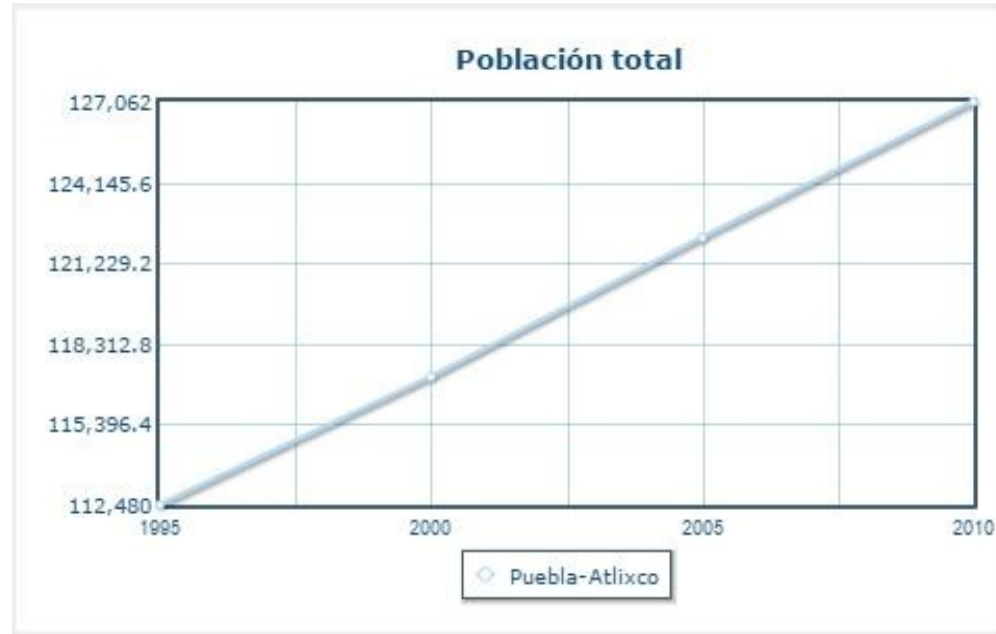
Elaboracion propia, apartir de infomacion de INEGI  
CONABIO

-  Mancha urbana de Atlixco
-  Localidades con un numero <= a 2500 habitantes
-  Tipos de carreteras

Sistema de coordenadas Metrico  
Proyeccion UTM14 N  
Datum: WGS84  
Elipsoide WGS84  
ESCALA 1: 100000



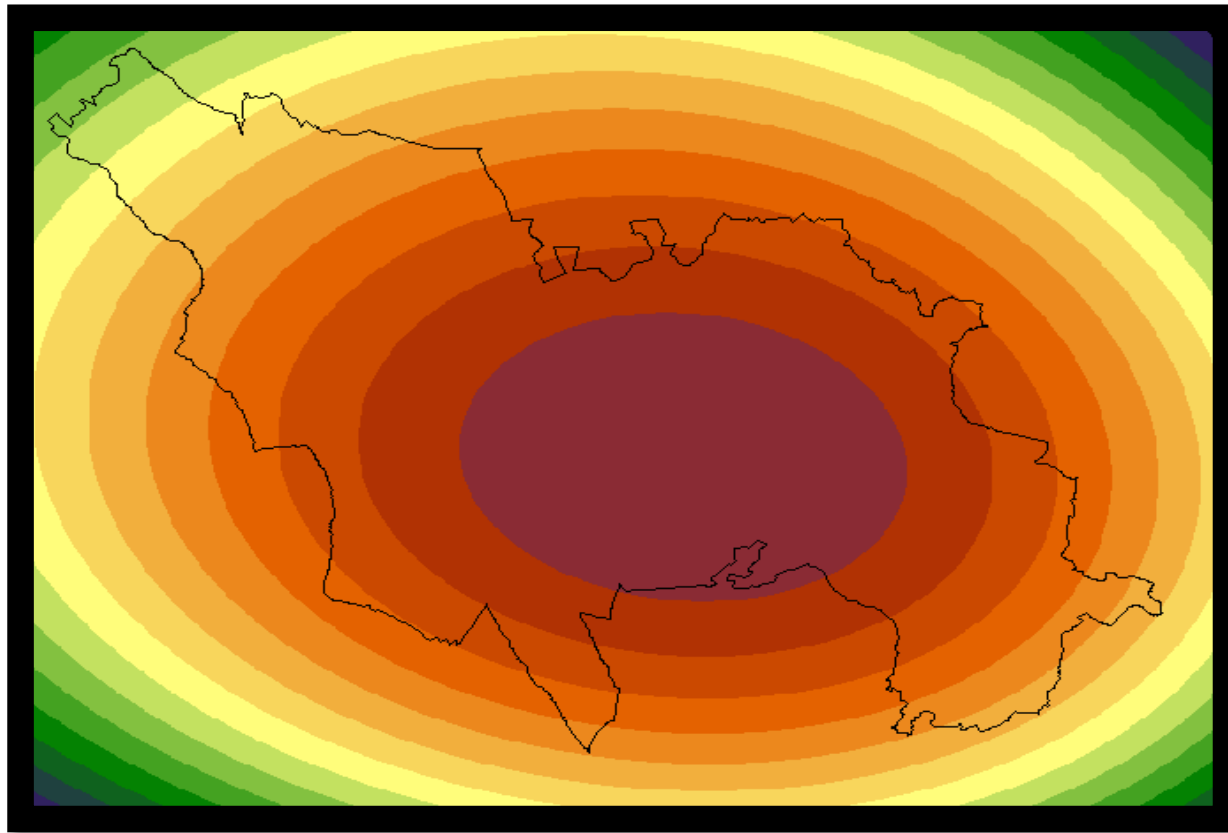
Anexo 6: Grafica del crecimiento lineal de la población del municipio de Atlixco, Puebla.



Grafica 2: crecimiento poblacional del municipio Atlixco

### Anexo 7: Mapa de tendencia de la clase urbanización

Este mapa indica que la mancha urbana se expandirá hacia la parte sur afectando inicialmente a las clases de agricultura de riego y la agricultura de temporal.



### XIII. Referencias

- Aguayo , M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a finales del siglo XX. Entendiendo la dinamica espacial y temporal del paisaje . *revista Chilena de historia natural*, 361-374.
- Andrade, O., Briceño, J., Erasmi, S., Kappas, M., & Unda, J. (2010). Generación y mapeo de parámetros ambientales con fines de evaluación de tierras en el municipio torres, Estado Lara, Venezuela. *BIOAGRO* , 115-126.
- Ariza, A. (2013). Productos LDCM - Landsat 8. *Centro de Investigación y Desarrollo - CIAF*, 1- 43.
- Artieda, O. (2008). Papel del suelo en el ciclo hidrológico. *FORUM de Sostenibilidad* , 19-31.
- Basterra, I. (2011). *Cátedra de fotointerpretacion..* Obtenido de <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte01/pr.pdf>
- Bautista , M., & Alcaraz Rodríguez, G. (s.f.). Obtenido de <http://iieg.gob.mx/contenido/GeografiaMedioAmbiente/Cambiodeusodelsueloparaestudiodebiodiversidad.pdf>
- Bocco, G., Mendoza, M. y Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 44. Instituto de Geografía, UNAM. México. (18-38).
- Burriel Moreno, J. A., Ibañez Martí, J. J., & Fernández, P. X. (2005 ). Cambios en los usos y las cubiertas del suelo en el ámbito Metropolitano de Barcelona. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 35-39.
- Camacho Sanabria, J. M., Juan Pérez, J. I., Pineda Jaimes, N. B., Cadena Vargas, E. G., Bravo Peña, L. C., & Sánchez López, M. ( 2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques* , 93-112.
- Cañada , R., Cervera , B., Fernández , F., Gómez, N., Martínez, P., Moreno, A., . . . Vidal, M. J. (2008). *Sistemas y análisis de la información Geografica.Manual de aprendizaje con ArcGis*. México D.F.: Alfaomega.
- Castelán Vega, R., Ruiz Careaga, J., Linares Fleites, G., Pérez Avilés, R., & Tamariz Flores, V. (2007). Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del

- suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones geográficas*, 75-89.
- Chuvienco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Ediciones RIALPA S.A.
- Chuvienco, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio*. Madrid: Ediciones Ariel Ciencia.
- Comino, J., Senciales González, J. M., & Ferré Bueno, E. (2014). Analisis de los cambios de los usos de suelo en el área de Casapalma (Valle del Guadalhorce Málaga) entre 1991 y 2007. *Papeles de Geografía*, 157-171.
- CONABIO. (2009). *Biodiversidad Mexicana. Comisiona Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad*. Obtenido de <http://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque.html>
- CONAGUA. (2005). *Percepcion remota "fundamentos de teledetección espacial"*. Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero valle de puebla (2104) estado de puebla.
- Corrales Barraza, G., Plata Rocha, W., Hinojoza Castro, G., & Aguilar Villegas, J. (2014). Análisis de los cambios de uso y cobertura del suelo para el Estado de Sinaloa mediante Sistemas de Información Geográfica. *XVI Congreso de Tecnologías de la Información Geográfica.*, 401-410.
- Durán Medina, E., Jean François , M., & Velázquez, A. (s.f.). Ecología y cambio de uso del suelo.
- Eastman, R. (2012). *IDRISI Selva. Guía para SIG y procesamiento de imagenes*. CLARK UNIVERSITY.
- Falcón, G. O. (2014). dinamica de cambio en la cobertura/ uso de suelo, En una region del estado de Quintana Roo México. (*Tesis de Maestria*) *Universidad Nacional Autonoma de Mexico*.
- FAO. (2005). *Sistema de clasificación de la Cobertura de la Tierra*. Rome, Italy.
- FAO. ( 2010). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/clasificacion-de-suelos/es/>
- FAO. (2012). Global forest land-use change 1990–2005. ROME: FAO 2012 .

- Felipe Ochoa y asociados (2002). *Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Atlixco, Puebla*. Atlixco, Puebla.
- Forquera, E. (2008). ¿Urbanización sobre suelos productivos? El caso de la localidad de Cinco Saltos. *Universidad Nacional de Villa María*.
- François Mas, J., Velázquez, A., & Couturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental*, 23-39.
- García Orozco, J. A., Cedillo Gutiérrez, J. G., Juan Pérez, J. i., & Balderas Plata, M. Á. (2012). Procesos de cambio en el uso de suelo de una Microcuenca en el Antiplano Mexicano. En el caso del río San José en el estado de México. *Papeles de Geografía*, 63-73.
- García, E. (1990). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- García, E. (1998). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Galeana Pizaña, J., Corona Romero, N., & Ordóñez Díaz, J. (2009). Análisis dimensional de la cobertura vegetal–uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena. *Ciencia Forestal en México*, 137-158.
- Galicia, L., García, A., Gómez, L., & Ramírez, I. (2007). Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Ciencia*.
- Guerrero Hernández, C. (2001). Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. *Temas de ciencia y tecnología*, 3-14.
- Guevara Romero, M., & Montalvo Vargas, R. (2015). Cambio de uso de suelo y vegetación derivados de la dotación de infraestructura: Sierra norte del Estado de Puebla. *Nova Scientia*, 314 - 336.
- Henríquez, C., Azócar, G., & Aguayo, M. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 61-74.
- H. Ayuntamiento de Atlixco, P. A.-2. (30 de MARZO de 2015). Obtenido de [http://atlixco.gob.mx/atlixco/armonizacion-contable/2015/AFM\\_PUE\\_ATL\\_01\\_15.pdf](http://atlixco.gob.mx/atlixco/armonizacion-contable/2015/AFM_PUE_ATL_01_15.pdf)
- Ibarra Montoya, J., Román, R., Gutiérrez, K., Gaxiola, J., Arias, V., & Bautista, M. (2011.). Cambio en la cobertura y uso de suelo en el norte de Jalisco,

México: Un análisis del futuro, en un contexto de cambio climático.  
*Ambiente & Agua*, 111-128.

- INAFED. (2010). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Puebla*.
- INEGI. (2000). *Síntesis Geográfica del Estado de Puebla*. México: INEGI.
- INEGI. (2011). *Diccionario de datos Geológicos Escala 1:50000*. Mexico: INEGI.
- Larrazábal, A., Gopar, L. F., & Vieyra, A. (2014). Expansion urbana y fragmentación de la cubierta del suelo en el periurbano de Morelia. En A. Vieyra, & A. Larrazábal, *Urbanización, sociedad y ambiente de México*, (págs. 89-119). Mexico : Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA).
- López Granados, E., Bocco, G., & Mendoza Cantú, M. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. *Investigaciones geográficas*, 56-76.
- López Granados, E. M., Mendoza, M. E., & Acosta, A. (2002). Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Gaceta Ecológica*, 19-34.
- Luna Fernández, V. G. (2011). Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio del uso de suelo rural-urbano en la región Atlixco, Puebla. (Tesis doctoral). *Colegio de Postgraduados, campus Puebla*.
- Márquez González, A. (2008). Cambio de uso de suelo y el desarrollo turístico en Bahía de Banderas, Nayarit. *Ciencia UANL*, 161-167.
- Muñoz Guerrero, D., Rodríguez Montenegro, M., & Romero Hernández, M. (2009). Análisis multitemporal de cambios de uso de suelo y coberturas, en la microcuenca las Minas, corregimiento de la laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Ciencias agrícolas*.
- Nájera González, O., Bojórquez Serrano, J., Cifuentes Lemus, J., & Marcelino Flores, S. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo de la cuenca del río Moloa, Nayarit. *Biociencias*, 19 a 29.
- Nazareno Orradre, M. (2014). Métodos de Clasificación de imágenes de Satélite para la determinación de usos de suelo Agrícola en el partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 11-28.
- Pascual Aguilar, J. A. (2004). Dinámica reciente de usos del suelo en el continuo Metropolitano de Valencia (1956-1998). *Cuad. de Geogr.*, 183 - 202.

- Peréz Gutiérrez, C., & Muñoz Nieto, Á. (2006). *Teledetección: Nociones y Aplicaciones*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Pérez, J. I. (2013). Análisis del cambio de uso del suelo en una región del altiplano Mexicano. Retos e impactos: 1986 – 2011. *OIDLES*.
- Pineda Jaimes, N. B., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., & Plata Rocha, W. (2009). Análisis del cambio del cambio de uso de suelo en el estado de México mediante sistemas de información geográficas y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Invest. Geog*, 33-52.
- PNUMA. (2002). *Estado del medio ambiente y medidas normativas : 1972–2002*.
- Posada, E. (2012). *Manual de prácticas de percepción remota*. Bogotá DC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2012.
- Programa de ordenamiento ecológico local*. (2014). Obtenido de [http://atlixco.gob.mx/atlixco/transparencia/2014/marco-normativo/POE\\_ATLIXCO.pdf](http://atlixco.gob.mx/atlixco/transparencia/2014/marco-normativo/POE_ATLIXCO.pdf)
- Ramírez, J., Campos, V., & Campos, P. (2006). Territorialidad y conflicto por el agua en Axocopan, Atlixco, Puebla. *Gestión y Cultura del Agua*, 169-192.
- Ramírez, L., & Pértile, V. C. (2013). Cambio de uso del suelo y tendencias de la expansión urbana entre 1990 y 2030 en. Juan José Castelli y Villa Ángela, Chaco, Argentina. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 194-216.
- Ramos Reyes, R., Palma López, D., Ortiz Solorio, C., Ortiz García, C., & Díaz Padilla, G. (2004). Cambio de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de Información Geográfica en una región cacaotera. *Tierra-Latinoamericana*, 267-278.
- Reynoso Santos, R., Valdez Lazalde, J., Escalona Maurice, M., & Héctor Manuel de los Santos Posadas, H. (2015). Análisis de la dinámica del uso del suelo de la cuenca Metztitlán en Hidalgo, México. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 102-111.
- Rosete Vergés, F., Pérez Damián, J., & Bocco, G. (2009). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación Ambiental*, 70-82.
- Santana Castañeda, G., & Pineda Jaimes, N. (s.f.). *Descripción del cambio de uso de suelo y cobertura de suelo en los bosques primarios del estado de México durante 1976-2000*. Obtenido de INEGI: [http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/Conf\\_Ibero/doc/ET6\\_16\\_SANTANA.pdf](http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/Conf_Ibero/doc/ET6_16_SANTANA.pdf)

- Trucíos Caciano, R., Rivera González, M., Delgado Ramírez, G., Estrada Ávalos, J., & Cerano Paredes, J. (2013). Análisis del cambio de uso de suelo en Sn Cristóbal de las Casas. *Chapingo Serie Zonas Áridas*.
- Valdez Lazalde, J., Aguirre Salado, C., & Ángeles Pérez, G. (2011). Analysis of land use changes in the watershed of Metztlán river (Mexico) using satellite imagery: 1985-2007. *Chapingo*, 313-324.
- Valera Lozano, A., Añó Vidal, C., & Sánchez Díaz, J. (2011). Crecimiento urbano (1956-2005) y sellado antropogénico del suelo en el municipio de Alacant. *Serie Geográfica*, 97 - 108.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz Gallegos, J. R., Mayorga Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., . . . Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 21-37.

## 12.1 Portales de descarga de la geoinformación

CONABIO: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

EARTH EXPLORER: <http://earthexplorer.usgs.gov/>

GLOVIS: <http://glovis.usgs.gov/>

IDRISI MEXICO: <http://idrissi.uaemex.mx/>

INEGI: <http://www.inegi.org.mx/>

[http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/)

[http://buscador.inegi.org.mx/search?q=%22Cartas+Topogr%C3%A1ficas%22&client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=\\*&sort=date:D:S:d1&entsp=a\\_inegi\\_politica\\_p72&lr=lang\\_es%7Clang\\_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.187.2.255&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=140](http://buscador.inegi.org.mx/search?q=%22Cartas+Topogr%C3%A1ficas%22&client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a_inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.187.2.255&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=140)

## 12.2 Sitios de consulta

CLARK LABORATORIOS: <https://clarklabs.org/>

ArcMap | ArcGIS for Desktop:

<https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chromeinstant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=ARCMAP>

PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO:

<http://uspaeinecol.com/programa-de-ordenamiento-ecologico-territorial/>

INEGI. (2011). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>

INEGI. (s.f.). <http://www.inegi.org.mx/>. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/elementos.aspx>

INEGI. (s.f.). *Aspectos técnicos de las imágenes*. Obtenido de [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos\\_tecnicos\\_de\\_imagenes\\_landsat.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf).