

## DIAGNOSTICO SOCIOECONOMICO AMBIENTAL PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA SUBCUENCA HIDROLOGICA DEL RIO APULCO

<sup>1</sup>Pablo Zaldivar Martínez,  
<sup>1</sup>Esteban Joaquín Medina,  
<sup>1</sup>Fabián Enríquez García,  
<sup>1</sup>Ramón González Márquez

### Introducción

El presente diagnóstico socioeconómico - ambiental de la subcuenca hidrológica del Río Apulco nos sirve para conocer la información para el ordenamiento territorial, es desarrollado dentro de las funciones de investigación teórica y aplicada del cuerpo académico "Análisis estratégicos de sistemas agrícolas". Asimismo el propósito central del diagnóstico socioeconómico -ambiental de la subcuenca hidrológica del Río Apulco es contribuir al desarrollo regional sustentable y en el mejoramiento del nivel y calidad de vida de los habitantes de las comunidades rurales a través del aprovechamiento sustentable de recursos agrícolas pecuario, forestales y de las especies propias de cada microclima de la región. Esta propuesta de investigación permite contar con un marco de referencia regional de información del área de influencia de la Escuela de Ingeniería Agrohídrica, que facilite la toma de decisiones de los productores. Así como brindar orientación sobre los proyectos productivos. Asimismo con este proyecto se pretende diseñar un esquema analítico que permita mejorar la eficiencia en la asignación de recursos públicos para implementar proyectos productivos viables con base en el conocimiento de las condiciones socioeconómicas y ambientales de la subcuenca.

La población se relaciona con el ambiente a través de tres procesos: I) el consumo directo de los recursos naturales renovables y no renovables (como el agua, las plantas y animales, el petróleo y los minerales); II) la generación de desechos sólidos, líquidos y gaseosos producto de diferentes actividades y que afectan el estado de los suelos, el agua, el aire y el de los ecosistemas naturales y III) la transformación directa de los ecosistemas para usos como la creación de zonas urbanas y sistemas agropecuarios. En este sentido, el impacto o presión que ejerce el hombre sobre el ambiente depende tanto del tamaño de la población, como de la manera en la que se utilizan los recursos y se generan los desechos que se vierten al ambiente (SEMARNAT 2005).

La degradación de los ecosistemas generalmente daña a las comunidades rurales de manera más directa que a las poblaciones urbanas. Además, sus impactos más directos recaen sobre los más pobres. El sector de la población con mayor capacidad económica controla en muchas ocasiones el acceso a una mayor parte de los servicios que prestan los ecosistemas, consume sus servicios a una mayor tasa y está protegido contra los cambios en su disponibilidad gracias a su capacidad para adquirir los servicios de otros ecosistemas. La pobreza y la degradación ambiental pueden combinarse en un ciclo de deterioro ascendente: las comunidades pobres frecuentemente tienen menos opciones para conservar sus recursos, lo que lleva a un deterioro mayor de la tierra y, a su vez, a una mayor pobreza (SEMARNAT 2005).

---

<sup>1</sup> Profesor investigador. Unidad Académica de Ingeniería Agrohídrica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.pablozalmar@hotmail.com

## **Análisis espacial de la subcuenca hidrológica del Rio Apulco**

### *La definición de cuenca*

Es toda área drenada por una corriente o por un sistema de corrientes cuyas aguas concurren a un punto de salida; en otras palabras es el área que contribuye al escurrimiento y que proporciona todo o parte del flujo de la corriente principal y sus corrientes tributarias. Toda cuenca está limitada por una línea formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que cruza las corrientes en los puntos de salida, esas líneas reciben el nombre de parte aguas. Una cuenca se divide en subcuencas y micro cuencas, que están presentadas en una misma región hidrológica, están alimentadas por las corrientes permanentes y perennes o temporales que se forman por las escorrentías que se dan cuando llueve y lo puede hacer superficialmente o en forma subterránea (Monsalve, 2000).

Una vez que el agua de lluvia llega al suelo la altura de precipitación ocurrida en un tiempo se distribuye dependiendo de las condiciones que hay en el momento y el sitio que ocurre la lluvia, una parte de la lluvia es interceptada por las plantas, otra se deposita en almacenamientos superficiales, una más se infiltra incrementando las corrientes subterráneas saturando primero el suelo y la parte restante escurre superficialmente hacia los causes naturales de drenaje, formando así las corrientes( INIFAP, 1997).

Es así como está constituida una subcuenca, las dos formas en que está se presenta, con dos grandes magnitudes de salida y entradas de volumen de agua, una subcuenca para ser estudiada se tiene una gran tarea de conocer como está conformada y hacia dónde va todo lo que lleva, para conocer lo que se requiere para una investigación de análisis de agua, determinando hasta qué grado es reutilizable el agua o que parámetros de calidad de agua se va a desembocar al mar, ya que la mayor parte del turismo que hay en México es por las grandes playas que se tiene, sin saber a qué cantidad de factores estamos expuestos por la contaminación del agua que llega de arriba que puede ser mortal para los seres vivos, por eso se realiza grandes investigaciones de la calidad de agua que hay en las subcuencas ya que es una gran importancia para todos los seres humanos (Monsalve, 2000)

Tanto las corrientes fluviales, como los cuerpos de agua, se clasifican progresivamente en cuencas hidrológicas, regiones hidrológicas y vertientes hidrológicas. La idea general de una cuenca consiste en una superficie –enmarcada generalmente por un grupo de elevaciones del terreno– que conforma la zona de escurrimiento de una corriente principal. Una región hidrológica es a su vez un conjunto de cuencas, cuyos ríos principales son afluentes de un río de mayor importancia, el cual por lo general desemboca en el mar. Finalmente, una vertiente es un conjunto de regiones hidrológicas.<sup>10</sup>El criterio hidrológico es importante para la regionalización en dos aspectos. La existencia de ríos y cuerpos de agua son un factor importante en las condiciones sociales de vida de la población, en todos sus órdenes: economía, salud, vivienda, etc. Por otro lado, en el aspecto estadístico, la existencia de cartografía hidrológica es lo que ha hecho posible técnicamente la construcción de marcos regionales (Nájera 1999).

La altitud respecto del nivel del mar, es un factor que de igual modo interviene en las condiciones de vida de la población. Por ejemplo, de la altitud del territorio dependen factores tales como la temperatura, el clima y las precipitaciones, que a su vez influyen en los tipos de cultivo, las formas de explotación de la tierra, etc. El principal instrumento para representar este

criterio es el llamado mapade curvas de nivel. Las curvas más representativas son las que indican altitudes de 1 000, 2 000 y 3 000 metros sobre el nivel del mar.

#### *Caracterización espacial de la Subcuenca Hidrológica del Río Apulco*

El territorio nacional está dividido en cuencas hidrológicas, identificadas y delimitadas por la Comisión Nacional del Agua (CNA). Estas grandes cuencas hidrológicas se subdividen en subcuencas. Las cuencas son unidades naturales que constituyen el marco práctico y objetivo para la planificación, conservación y desarrollo sostenido de los recursos naturales, ya que permiten integrar la dimensión social, con la productiva y ambiental. La subcuenca del Río Apulco, pertenece a la cuenca hidrológica del Río Tecolutla que se encuentra en la región hidrológica de Tuxpan-Nautla (RH27). Esta región hidrológica se extiende en la Planicie Costera del Golfo Norte y parte de la vertiente este de la Sierra Madre Oriental ocupa el 24.56% de la superficie del estado de Puebla. Dentro del estado, el límite sur de la región está constituido por el parteaguas que forman las estribaciones de la sierra Norte y se extiende al noroeste de los poblados de Libres y Cuyoaco, así como al sur de Zaragoza y Teziutlán, sobre la vertiente norte de la caldera de los Húmeros. Esta zona es la más lluviosa del estado; se registran precipitaciones de lluvia entre 1 500 a 3000 mm al año; en el área de Cuetzalan se tienen medias anuales de más de 4000 mm, la temperatura media anual oscila desde 14° C en las partes más altas de la sierra, hasta 24° C en los dominios de la planicie costera. La Cuenca del Río Tecolutla abarca la mayor parte de la sierra Norte de Puebla y ocupa una superficie en el estado de 17. 46%. Esta zona alberga los principales embalses del estado para la generación de energía eléctrica como el de la Presa "La Soledad". El área total de la subcuenca hidrológica del Río Apulco es de 1,460 Km<sup>2</sup> con un gasto medio anual de 8.85 m<sup>3</sup>/seg. y un volumen medio anual de 279 millones de m<sup>3</sup> (CFE. Prontuario de Datos Técnicos).

Todo este potencial hidrológico no se aprovecha en su totalidad, debido a que se encuentra afectado en diferentes niveles de contaminación. Cabe señalar que aunque el potencial del uso del suelo sea de aptitud preferentemente forestal, la actividad principal de la cuenca del Río Apulco es la agricultura y ganadería, sin embargo las condiciones de riesgo y vulnerabilidad de alto grado de siniestralidad presenta un mayor grado de exposición a desastres naturales, aunado a la caída de los precios del café que acentúa aun más la pobreza de la población que se caracteriza en una situación de alta marginación. Ante esta compleja problemática el objetivo central del presente trabajo es realizar un diagnóstico socioeconómico ambiental para el ordenamiento territorial y espacial de la subcuenca hidrológica del Río Apulco

#### Localización territorial

La localización del sitio de estudio es en la subcuenca del río apulco que se encuentra ubicada a 97° 30' 12.35'' longitud, 19° 57' 52.94'' latitud aguas arriba y 97° 27' longitud, 20° 13' 33.52'' latitud aguas abajo, en el estado de Puebla se muestra en la figura 1.



**Figura 1 Localización de la cuenca del Río Apulco**

**Características físicas de la subcuenca**

El conocimiento de estos dos grandes marcos de acción es necesario para poder plantear que recursos hay en la naturaleza susceptibles de ser aprovechados, cuales requieren ser protegidos y en su caso, cuales son las condiciones políticas, económicas y sociales que el hombre tiene para poder obtener satisfactorios de los recursos que la naturaleza le ofrece, conociendo el clima, suelo e Hidrología que conforma cada región del estado de Puebla (INEGI, 2000)

**Climas**

En Puebla la gran variedad de de climas se debe a factores tales como la latitud, altitud, relieve y distribución de tierras y aguas que al interactuar imprimen condiciones particulares a los elementos del clima, entre ellos la precipitación, los vientos y la temperatura. Con respecto a la latitud, el estado se localiza en la zona intertropical, donde prevalecen los vientos alisios y las temperaturas son altas; condiciones que son modificadas por otros factores. Así, los vientos Alisios, que en general viajan del noreste al suroeste, son húmedos en esta región del país debido a su paso por el golfo de México, sin embargo, solo producen, altas precipitaciones en el noreste, este y sureste de la entidad como resultado de la orientación y altitud del relieve serrano que conforma esas áreas, el cual obliga al viento a ascender, este se enfría precipita y continúa su recorrido con menos humedad y produce una menor cantidad de lluvia en el resto del territorio; este efecto es conocido como sombra pluviométrica u orográfica. la cantidad de lluvia y su distribución durante todo el año en las primeras zonas antes mencionadas, se debe también a la acción de los ciclones tropicales que incrementan la humedad de los vientos, sobre todo a fines de verano y principios de otoño y de los frentes fríos y nortes, que propician la precipitación en el invierno principalmente. El clima se clasifica en grandes variedades donde las regiones que conforman la subcuenca del río apulco, entran en algunas de estas variedades climáticas:

- a) Clima Templados
- b) .Climas Cálidos
- c) Climas Semicalidos
- d) Clima Semiseco
- e) Climas Secos
- f) Climas Semifrios
- g) Climas Fríos

Con la clasificación de los climas ya mencionados son algunos en los que entran las regiones que conforma la subcuenca del apulco, en los climas templados esta su subdivisión en templado húmedo con abundancia luvias en verano o luvias todo el año y entran las regiones de Zacapoaxtla, Atempán, Tlatlauquitepec Teziutlán. En el clima cálido húmedo con lluvia todo

el año es una subdivisión de climas Cálidos en el cual también hay regiones que conforman la subcuenca del apulco tales como Atempán, Ayototlán de Guerrero, estos son los tipos de climas que se encuentran en las diferentes regiones conformadas de la subcuenca del río apulco (INEGI, 2000).

#### Tipos de suelos en la subcuenca

Los tipos de suelos más abundantes son los regosoles, litosoles y andosoles, que en conjunto ocupan 60.58% del territorio poblano, 36.75 % es ocupado por los feozems, cambisoles, redzinas, luvisoles, vertisoles. Fluvisoles y zerosoles y el restante 2.67 % por unidades poco representativas en extensión como los acrisoles, solochaks, nitosoles, castañozems, chemozems y gleysoles. (INEGI, 2000).

Los tipos de suelos se muestran en la figura 2 que se presenta en la subcuenca del río apulco aguas arriba cerca de la comunidad de San Carlos que se encuentra en la comunidad de Zacapoaxtla a  $97^{\circ} 35' 52''$  longitud  $19^{\circ} 55' 35''$ , son: Litosol (I): Son suelos de menos de 10 centímetros de espesor sobre roca o tepetate. No son aptos para cultivos de ningún tipo y sólo pueden destinarse a pastoreo. Es el suelo predominante; ocupan la parte septentrional y a la rivera del Apulco. Rigisol (R): Suelos formados por material suelto que no sea aluvial reciente, como dunas, cenizas volcánicas, playas, etc.; su uso varía según su origen; son muy pobres en nutrientes, prácticamente infértiles, se localizan en área reducida del noroeste. Luvisol (L): Son suelos ricos en nutrientes; con horizonte cálcico, presencia de material calcáreo por lo menos en la superficie. Son de fertilidad moderada a alta. Se localizan a partir del río Chichicat hacia el sur ocupan una extensa área y presentan fase lítica profunda (roca entre 50 y 100 centímetros de profundidad). Andosol (T): Suelos derivados de cenizas volcánicas recientes; muy ligeros y de alta capacidad de retención de agua y nutrientes por su alta susceptibilidad a la erosión y fuerte fijación de fósforo, se destinan a la explotación forestal o al establecimiento de parques recreativos.

En los suelos que se presentan en la subcuenca aguas abajo último punto en el estado de Veracruz comunidad del Chacal a  $97^{\circ} 27''$  longitud,  $20^{\circ} 13' 33.52''$  los tipos de suelos que se localizan son: Regosol: Es el suelo predominante ocupa más de 75% del territorio: en ocasiones presenta fase pedregosa (fragmentos de roca o tepetate de 7.5 cm. de diámetro). Feozem: Ocupa una área reducida al noreste, en la rivera del río Apulco en el cual presenta fase pedregosa. Nitosoil: Se localiza en áreas reducidas al noreste. Andosol: Se localiza en una área reducida del sur

#### Hidrología

Los recursos hidrológicos con que cuenta el estado de Puebla, incluye a fuentes de agua superficial y subterránea. Entre las primeras, se cuentan los ríos, arroyos, y cuerpos de agua como son los lagos y presas. Las fuentes de agua subterráneas comprenden el agua que se infiltra y se almacena en los materiales porosos y permeables del subsuelo. El agua subterránea puede circular lentamente a través de estos materiales y eventualmente, aflora a la superficie en forma de manantiales. De esta manera la disponibilidad de agua en la entidad, es apenas suficiente para satisfacer las necesidades a futuro. Esta situación, exige mejorar el conocimiento de los recursos hidráulicos, particularmente de las fuentes subterráneas, así como la aplicación de medidas que permitan un mejor manejo de estos recursos (INEGI, 2000).

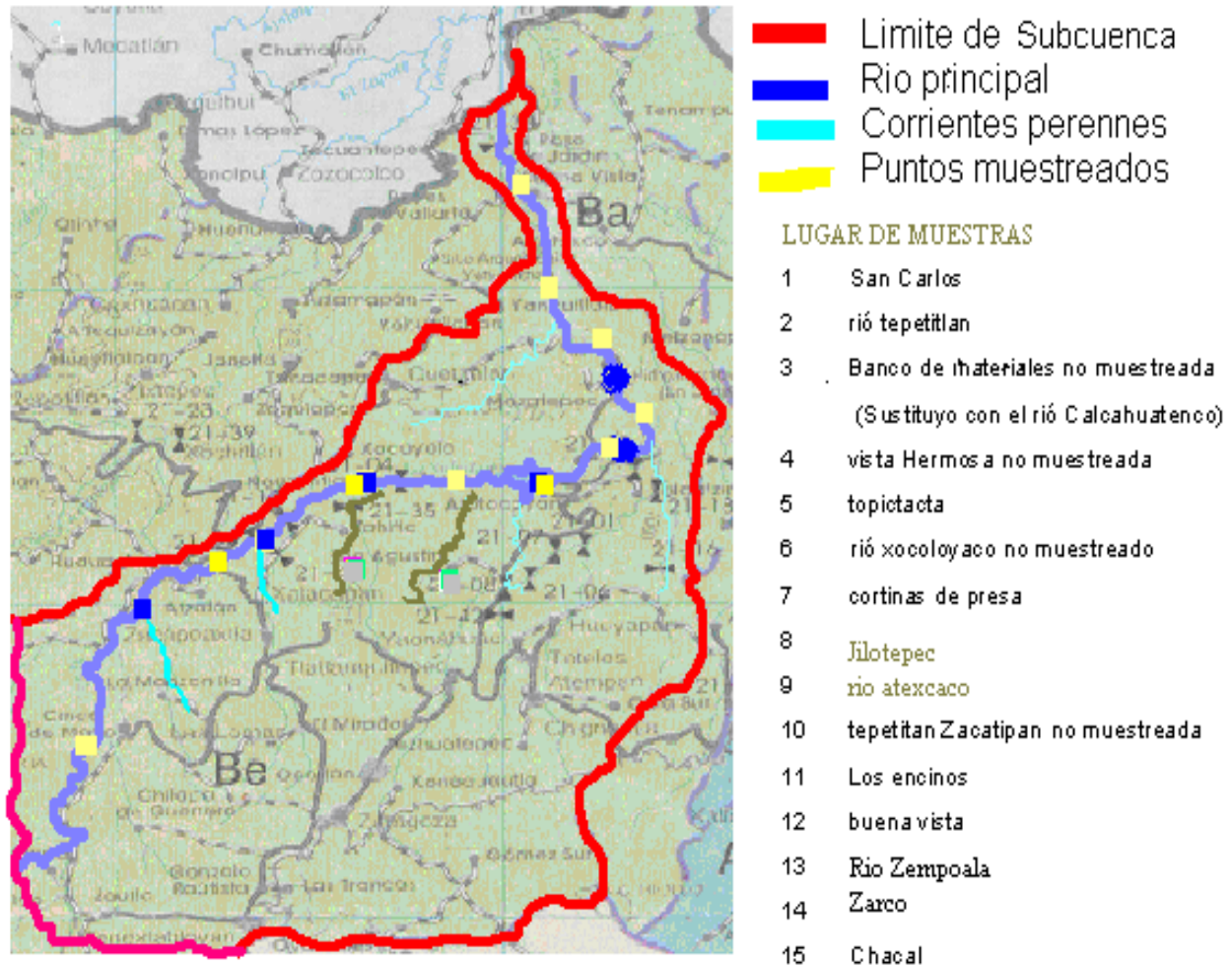
La totalidad del territorio del estado de Puebla, se encuentra comprendido dentro de cuatro grandes regiones hidrológicas de las 37 en que está dividido el territorio Mexicano. Estas regiones son; en orden de extensión dentro de la entidad; RH18 Rio Balsas, RH27 Rio Tuxpan-Nautla, RH28 Rio Papaloapan, RH26 Rio Panuco. De estas las tres primeras abarcan casi la totalidad del estado mientras que la ultima tan solo un poco decena de Km<sup>2</sup>. solo la región del Balsas pertenece a la vertiente del pacifico; las restantes descargan sus captaciones hacia el Golfo de México.

En el estado existen varias corrientes de importancia, si bien, la mayoría se localizan en las regiones montañosas de la porción norte de la entidad, donde pueden destacarse los ríos de Pantepec, San Marcos, Necaxa, Laxaxalpan, Tecuantepec y Apulco. En la parte del sur, los Rios más importantes son; Atoyac, Nexapan y Salado. Teziutlán, sobre la vertiente norte de la caldera de los Húmeros. Desde esta zona, la región se extiende hasta los estados de Veracruz-Llave e Hidalgo. En la entidad está representada por las cuencas (A), Río Nautla; (B), Río Tecolutla; (C), Río Cazones y (D), Río Tuxpan. La zona de la cuenca del Río Tecolutla es la más lluviosa del estado y se encuentra dividido por subcuencas; (a) Río Tecolutla, (b) Río Necaxa, (c) Río Laxaxalpan, (d) Río Tencuantepec, (e) Río Apulco, (f) Río Joloapan, se registran precipitaciones de lluvia entre 1,500 a 3,000mm al año; en el área de Cuetzalan se tienen medias anuales de más de 4,000mm, pero se han llegado a registrar hasta 6,000mm. La temperatura media anual, oscila desde 14 °C en las partes más altas de la sierra, hasta 24°C en los dominios de la planicie costera (INEGI, 2000).

## **Materiales y métodos**

### *Ubicación geográfica del área de estudio*

El presente trabajo se realizó en la subcuenca del Río Apulco, en un transecto de 81 Km.. Comenzando el primer punto aguas arriba cerca de la comunidad de San Carlos que se encuentra en la comunidad de Zacapoaxtla a 97° 35' 52'' latitud 19° 55' 35'', terminando en el último punto en el estado de Veracruz comunidad del Chacal a 97° 27'' longitud, 20° 13' 33.52'' latitud. Figura 3.



**Figura 3** Cuenca, el Río Apulco con las corrientes perennes que lo alimentan  
*Características sociales y productivas de la población de la subcuenca*

La población de la subcuenca hidrológica del Río Apulco tiene una tendencia a emigrar de los municipios con localidades rurales hacia las cabeceras municipales o a las ciudades como Puebla y la Zona Metropolitana de la Ciudad de México o al extranjero. El alto grado de dispersión de sus habitantes dificulta la dotación eficiente de servicios básicos, el incremento de la densidad demográfica y deficientes técnicas productivas con predominio hacia una agricultura de temporal, la accidentada conformación de su territorio favorece el alto grado de erosión. La población, sobre todo en las zonas montañosas se encuentra muy marginada. En la subcuenca dentro de las actividades agropecuarias existe producción de cultivos para exportación, como el café y la agricultura de subsistencia, vinculada al maíz y frijol. Se produce principalmente frutales como naranja, limón, ciruela, durazno, pera de temporal y hortalizas como jitomates, habas y chiles. La variedad de alturas permite cultivar todas las especies frutales de clima frío y tropical. En la producción pecuaria destaca la producción de ganado bovino, ovino y porcino. Cobran relevancia los recursos forestales en la región los cuales son altamente maderables, principalmente bosques de pino, oyamel, y encino, amenazados por la tala inmoderada, pérdida de flora y fauna, mal manejo de los suelos e incendios forestales. En contraste con las amplias potencialidades de los bosques de la región que no han sido aprovechados de manera sustentable ante la falta de planeación de los recursos forestales.

Asimismo tiene un considerable potencial pesquero en especies como la carpa, tilapia, trucha, bagre, acamayás, pescado blanco y langostino.

### *Metodología*

El diagnóstico socioeconómico-ambiental se realizara mediante la proyección de escenarios prospectivos con el diseño de modelos geográficos que permitan hacer una propuesta de ordenamiento territorial y/o espacial de la subcuenca hidrológica del Río Apulco e identificar las zonas para conservar, proteger y restaurar los recursos naturales para contribuir al manejo sostenible de la subcuenca. El Diagnóstico se realizo en las diferentes escalas espaciales: comunitario, municipal y regional, en donde se analizaron las limitaciones y potenciales que se identifican en cada subsistema, por ejemplo, el impacto ambiental de las actividades productivas; es decir, los riesgos ecológicos y socioeconómicos del cambio de uso del suelo y la problemática de los procesos ecológicos, demográficos y socioeconómicos de la región. La metodología empleada se refiere a herramientas participativas mediante el siguiente procedimiento:

En primer término, una fase de gabinete, que consistió en la consulta y análisis de información necesaria con la finalidad de obtener antecedentes y un panorama general de la subcuenca. En segundo término, una fase de campo, que consistió en la aplicación de instrumentos para obtener información directamente de la realidad y por último, una fase final de procesamiento de la información y análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones. Es importante destacar que se tomo en cuenta en la presente investigación los aspectos ambientales, económico-productivos, sociales y culturales. Para el aspecto ambiental se utilizaron Diagramas de Transectos (DT); y Mapa Histórico de Recursos Naturales (MHRN). Para el aspecto social, Perfil de la Comunidad (PC); Estrategia de Vida (EV); Diagrama de Ven (DV); Clasificación del Nivel Económico (CNE); Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas (FODA); Calendario Estacional (CE); Identificación de Sistemas de Producción (SP); Construcción de Árbol de Problemas y Soluciones (APS) e Implementación del Diagnóstico Participativo (DP).

Asimismo se empleo el método de investigación regional con enfoque territorial para el estudio de la subcuenca. La investigación regional es una disciplina cuyo objeto de estudio es la relación existente entre una comunidad y el medio físico en el cual se sitúa y realiza sus actividades. La idea central consiste en explicar de qué manera las características de su entorno físico y su relación con otros grupos humanos determinan el grado de desarrollo de una comunidad, y cómo la actividad humana ha transformado su medio ambiente. Se realizo la delimitación del límite fisiográfico de la subcuenca con el Sistema de Información Geográfica (SIG), siguiendo los límites fisiográficos como criterio para el trazo de los parteaguas, utilizando la división establecida por la CNA. En un mapa se delimitaron las divisiones político – administrativas y los municipios- que se ubican en la subcuenca. La superposición en el SIG de estos mapas – división hidrológica y división político administrativa, nos apporto información para caracterizar el área territorial de la región de estudio. La hidrología de un territorio trata de describir el carácter de sus recursos acuíferos. Sin embargo, para fines de este trabajo la hidrología del territorio se refiere únicamente a las denominadas aguas superficiales, las cuales comprenden ríos, lagos y lagunas existentes en una extensión determinada (Tamayo 1996).

Una vez definido el polígono de la subcuenca se identificaron los municipios que tienen parte de su territorio dentro de ella, ya que los municipios son las unidades administrativas básicas de



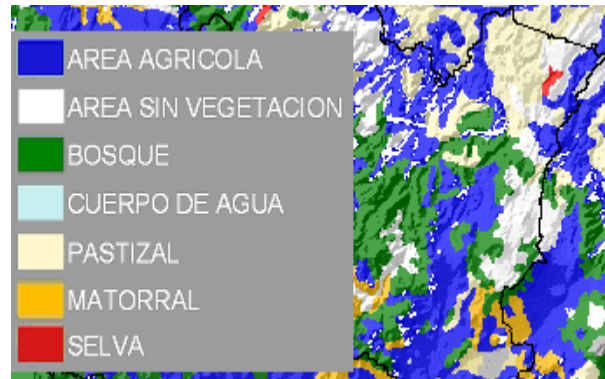
gestión pública, de manejo de presupuesto y permite el análisis espacial a través de la planeación ecoregional.

### Resultados

En cuanto a la geología y uso de suelo de la subcuenca hidrológica del río Apulco es la siguiente:



**Figura 4. Geología**



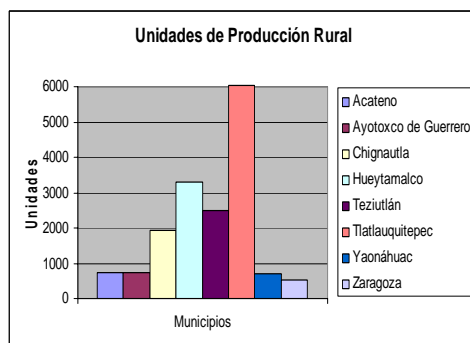
**Figura 5. Uso de suelo**

La distribución del bosque de la subcuenca hidrológica del Río Apulco es la siguiente

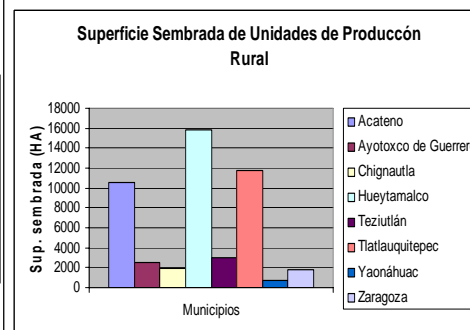


**Figura 6. Uso del suelo forestal**

Según el censo agrícola ganadero de 1991, el número de unidades de producción rural y la superficie (ha) con cultivos anuales en ciclo primavera verano (1991) en en la zona estudiada corresponde a:



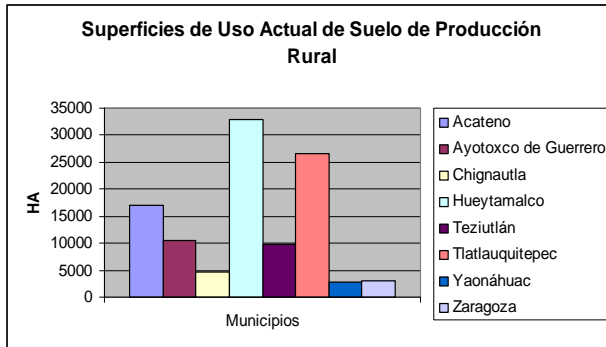
**Figura 10. Unidades de producción rural**



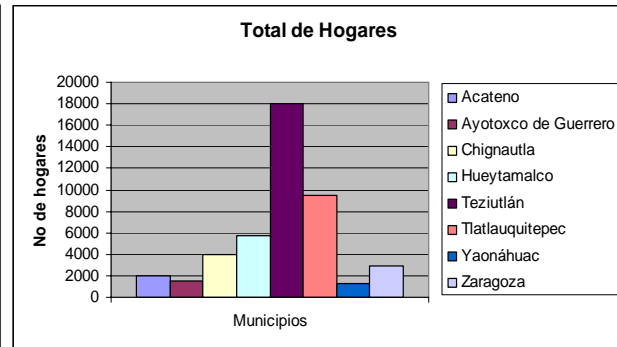
**Figura 11. Superficie sembrada ciclo P. V. 1991**

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2002

Las unidades de producción rural según su uso actual de suelo (en ha) son y el total de hogares que existe en la subcuenca hidrológica del río Apulco es de (Figuras 12 y 13)



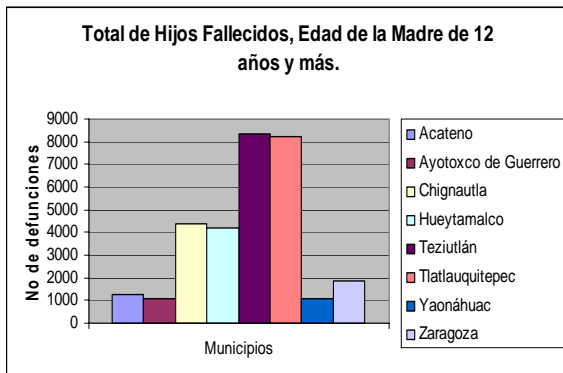
**Figura 12. Uso actual del suelo**



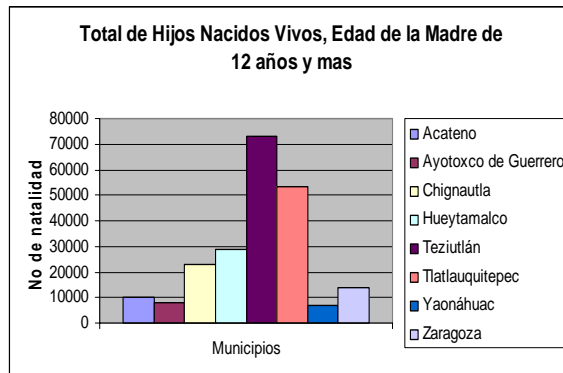
**Figura 13. Total de hogares**

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2002.

Total de hijos fallecidos y nacidos edad de la madre de 12 años y más.



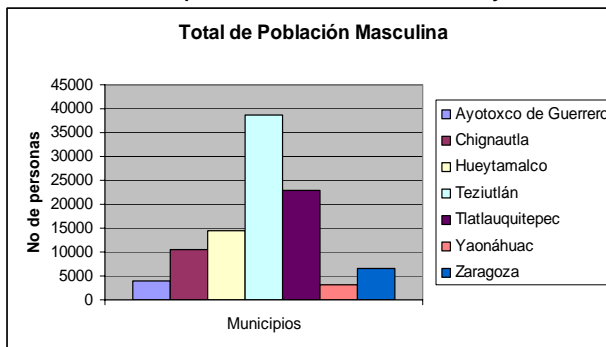
**Figura 16. Nivel de mortandad en niños**



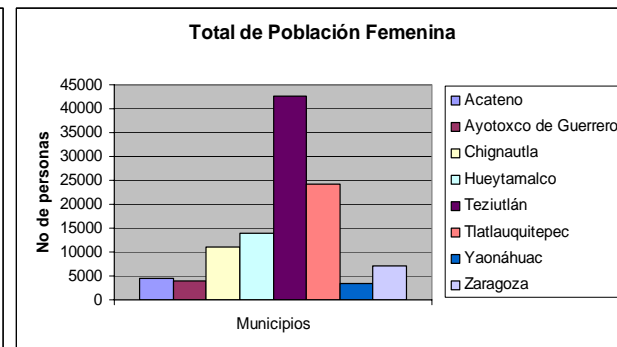
**Figura 17. Nivel de natalidad**

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2002

El número de pobladores masculinos y femeninos son:



**Figura 14. Población masculina**



**Figura 15. Población femenina**

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2002

*Resultados de la calidad química ambiental del agua de la subcuenca*

A continuación se presentan los resultados relacionados con la calidad química ambiental obtenidos en cada uno de los sitios de muestreo, los resultados se presentan en función del

orden numérico que se les dio a cada sitio de muestreo iniciando desde aguas arriba y terminando aguas debajo de la subcuenca los lugares son: (1) San Carlos, (2) Río Tepetitlán, (3) Río Calchahuatlenco, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (6) Jilotepec, (7) Río Atexcaco, (8) Los Encinos, (9) Buena vista, (10) Río Zempoala, (11) Río Zarco, (12) Chacal. Según (Ortiz, 2000) los principales efectos que puede ocasionar el agua en las propiedades de los suelos y en el desarrollo de los cultivos agrícolas, se ven desde tres puntos de vista; salinidad, originado por la acumulación progresiva de sales provenientes de agua de riego; sodicidad, derivado de la presencia en el agua de una alta cantidad de sodio en comparación con otros cationes como el calcio y el magnesio, ocasionando alcalinidad y baja permeabilidad en el suelo; toxicidad, que se ocasiona en las plantas cuando estas absorben en gran cantidad los iones provenientes del agua, lo cual puede ocasionarles un mal desarrollo o incluso la muerte del cultivo. En el cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos en la época de verano, donde los elementos analizados se representan en miliequivalentes por litro (meq/l).

**Cuadro 1 resultados de análisis de elementos determinados para la calidad química del agua del río apulco en la época de verano**

| Nº de Muestreo | C.E micro | pH   | Ca meq/l | Na meq/l | K meq/l | Mg meq/l | CO <sub>3</sub> meq/l | HCO <sub>3</sub> meq/l | SO <sub>4</sub> meq/l | Cl meq/l | B meq/l | meq/l |
|----------------|-----------|------|----------|----------|---------|----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------|---------|-------|
| 1              | 250       | 7.52 | 1.098    | 1.000    | 0.130   | 0.543    | 0                     | 3.86                   | 0.728                 | 6.0      | 0.5     |       |
| 2              | 205       | 7.07 | 1.098    | 0.783    | 0.153   | 0.535    | 0                     | 2.64                   | 0.154                 | 9.0      | 0.4     |       |
| 3              | 200       | 5.65 | 0.050    | 0.391    | 0.077   | 0.263    | 0                     | 1.01                   | 0.514                 | 11.0     | 0.3     |       |
| 4              | 209       | 7.85 | 0.948    | 0.826    | 0.128   | 0.255    | 0                     | 2.84                   | 0.694                 | 9.0      | 0.2     |       |
| 5              | 133       | 7.20 | 0.250    | 0.739    | 0.130   | 0.271    | 0                     | 2.84                   | 1.011                 | 7.0      | 0.4     |       |
| 6              | 131       | 5.51 | 2.046    | 0.174    | 0.107   | 0.239    | 0                     | 1.62                   | 3.067                 | 5.0      | 0.1     |       |
| 7              | 146       | 6.34 | 1.647    | 0.348    | 0.102   | 0.230    | 0                     | 1.22                   | 0.506                 | 4.0      | 2.7     |       |
| 8              | 125       | 4.31 | 0.549    | 0.652    | 0.107   | 0.255    | 0                     | 1.32                   | 1.568                 | 7.0      | 0.1     |       |
| 9              | 136       | 6.73 | 0.549    | 0.652    | 0.110   | 0.280    | 0                     | 2.03                   | 0.685                 | 8.0      | 2.7     |       |
| 10             | 184       | 6.37 | 1.048    | 0.391    | 0.054   | 0.263    | 0                     | 2.54                   | 0.180                 | 5.0      | 0.6     |       |
| 11             | 139       | 7.50 | 0.499    | 0.609    | 0.113   | 0.263    | 0                     | 1.83                   | 0.600                 | 5.0      | 0.5     |       |
| 12             | 156       | 7.82 | 0.499    | 1.087    | 0.153   | 0.296    | 0                     | 2.03                   | 0.146                 | 21.0     | 0.3     |       |

La calidad química ambiental del agua tiende siempre a cambiar por la diferentes estaciones del año, pero las estaciones en las cuales se puede encontrar resultados congruentes es en la época de verano y otoño, ya que en las demás épocas como por ejemplo en primavera hay muchos cambios por las altas temperaturas del medio ambiente.

En el cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos en la época de otoño donde se observan los elementos principales que se analizaron, los resultados se representan en miliequivalentes por litro (meq/l) en los 12 sitios de muestreo.

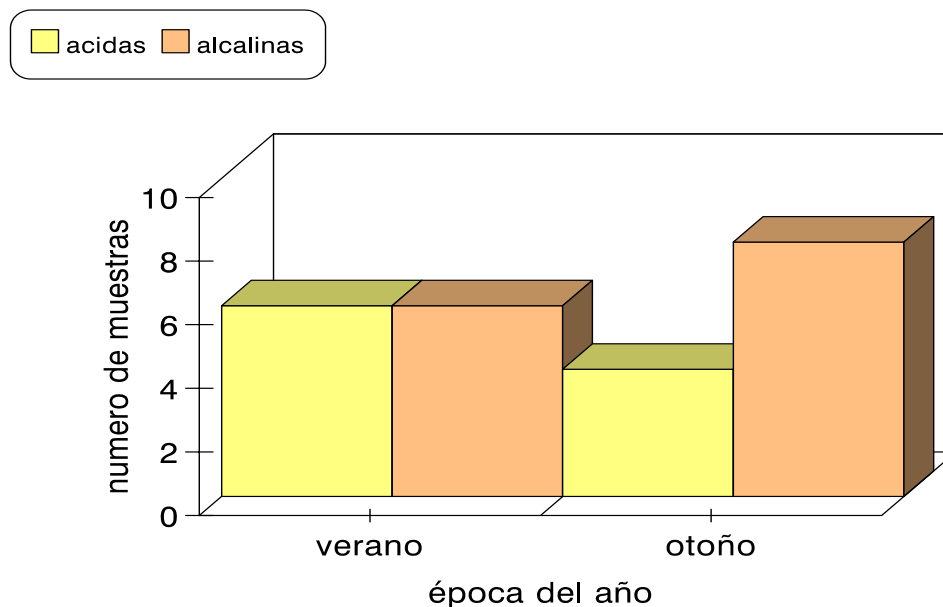
**Cuadro 2 Resultados de análisis de elementos para determinados para la calidad química del agua del Río Apulco en la época de otoño**

| Nº de Muestreo | C.E micro | pH   | Ca meq/l | Na meq/l | K meq/l | Mg meq/l | CO <sub>3</sub> meq/l | HCO <sub>3</sub> meq/l | SO <sub>4</sub> meq/l | Cl meq/l | B meq/l | meq/l |
|----------------|-----------|------|----------|----------|---------|----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------|---------|-------|
| 1              | 155       | 7.00 | 1.098    | 0.304    | 0.051   | 0.642    | 0                     | 2.44                   | 0.720                 | 4.0      | 0.5     |       |
| 2              | 174       | 7.20 | 0.200    | 2.262    | 0.059   | 0.773    | 0                     | 17.15                  | 0.351                 | 10.0     | 0.4     |       |
| 3              | 83        | 6.85 | 0.699    | 0.522    | 0.090   | 0.403    | 0                     | 1.93                   | 0.069                 | 3.0      | 0.3     |       |

|    |     |      |       |       |       |       |   |      |       |     |     |
|----|-----|------|-------|-------|-------|-------|---|------|-------|-----|-----|
| 4  | 146 | 7.15 | 1.098 | 0.522 | 0.077 | 0.271 | 0 | 2.54 | 0.960 | 6.0 | 0.2 |
| 5  | 136 | 8.32 | 1.048 | 0.435 | 0.077 | 0.304 | 0 | 2.23 | 2.493 | 3.0 | 0.4 |
| 6  | 80  | 5.76 | 0.349 | 0.478 | 0.077 | 0.543 | 0 | 1.01 | 3.556 | 6.0 | 0.1 |
| 7  | 186 | 7.92 | 1.048 | 0.391 | 0.077 | 0.288 | 0 | 2.84 | 0.565 | 9.0 | 2.7 |
| 8  | 184 | 4.31 | 0.549 | 0.652 | 0.107 | 0.255 | 0 | 1.32 | 1.568 | 7.0 | 0.1 |
| 9  | 102 | 7.24 | 0.998 | 0.435 | 0.079 | 0.346 | 0 | 1.52 | 6.392 | 5.0 | 2.7 |
| 10 | 166 | 7.95 | 1.048 | 0.348 | 0.051 | 0.271 | 0 | 2.64 | 0.805 | 6.0 | 0.6 |
| 11 | 107 | 7.37 | 0.749 | 0.435 | 0.077 | 0.469 | 0 | 1.42 | 2.211 | 8.0 | 0.5 |
| 12 | 156 | 6.54 | 1.048 | 0.435 | 0.064 | 0.239 | 0 | 2.23 | 0.308 | 6.0 | 0.3 |

### Potencial hidrogeno (pH)

La calidad de agua de riego se ve afectada por muchos factores del medio ambiente, según (Coras, 1989) para tener una buena calidad de agua se tiene que tomar en cuenta el pH que es un parámetro esencial para conocer como se encuentra la calidad del agua ácida o alcalina, la acidez del agua se da por la poca presencia de los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio, pero si hay agua que es alcalina se tiene la presencia elevada de calcio magnesio, sodio, y potasio, ya que también la alcalinidad del agua es causada por la presencia de los aniones sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. Las propiedades ácidas de una disolución se incrementa a medida que aumenta la proporción de ion hidrogeno o hidronio, su concentración podrá establecer la medida de acidez o viceversa a la alcalinidad, por eso es el fin de conocer que pH se tiene en nuestra agua para no afectar a nuestro suelo o cultivo, si se tiene un pH por debajo de siete se tiene que las aguas son ácidas y si se tiene un pH arriba de siete las aguas son alcalinas. En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos en las dos épocas del año en verano y otoño, en el cual los resultados indican que se tiene seis puntos de muestreo que son alcalinos y los otro seis son ácidos en la época de verano a diferencia de los resultados obtenidos en la época de otoño ya que ocho puntos de muestreo son alcalinos y solo cuatro son ácidos, la diferencia que se encuentra es que en la época de verano existe menos agitación de las aguas y arrastres de los elementos, los cuales se encuentran concentrados, y en la época de otoño, son más intensos los agitamientos por las torrenciales lluvias habiendo más arrastres de los elementos elevando más su concentración.



**Figura 4 Resultados obtenidos de pH en las muestras de aguas del Rio Apulco en las épocas del año verano y otoño.**

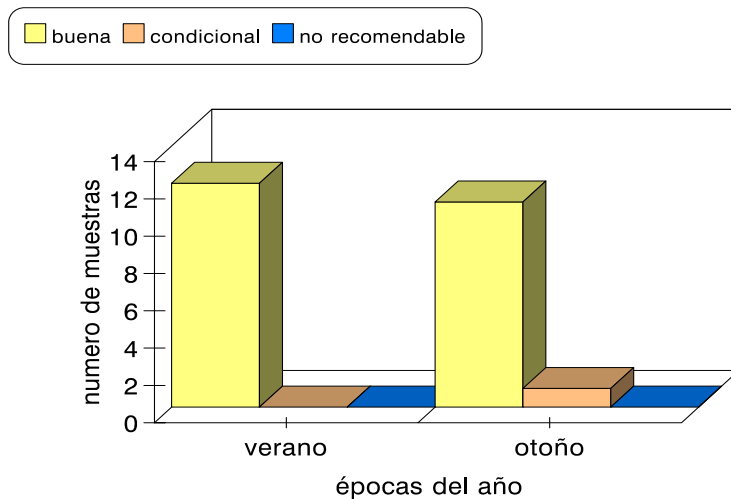
Se observa que en la época de verano las seis muestras que son ácidas están por debajo de un pH de 7.0 que pertenecen a los sitios de muestreo (3) Rio Calcahualtenco (6) Jilotepec (7) Rio Atexcaco (8) Los Encinos (9) Buena Vista (10) Rio Zempoala, y las que son alcalinas pertenecen a los sitios de muestreo (1) San Carlos (2) Rio Tepetitlan (4) Topictacta (5) Cortinas de la Presa (11) Zarco (12) Chacal, ya que estas tienen un pH superior a siete, como ya se mencionó anteriormente la gran diferencia se muestra en la época de otoño, ya que esta tiene 4 sitios de muestreo que son ácidos, pertenecientes a los puntos de muestreo que son (3) Rio Calcahualtenco (6) Jilotepec (8) Los Encinos (12) Chacal y las que son alcalinas son ocho los sitios de muestreo (1) San Carlos (2) Rio Tepetitlan (4) Topictacta (5) Cortinas de la Presa (7) Cortinas de la Presa (9) Buena Vista (10) Rio Zempoala (11) Zarco, con este tipo de pH que se observa en las dos épocas del año se puede decir que no es dañino para los cultivos ya que no existe una alta acidez ni como una alta alcalinidad como se puede observar en los resultados de cada sitio de muestreo en el cuadro 1 y 2 de acuerdo a la metodología de (Coras, 1989) en las dos épocas del año. Con este tipo de pH se pueden cultivar, hortalizas, ornamentales y frutales ya que son cultivos que requieren un pH ni muy ácidos y ni muy alcalinos.

#### Clasificación por Salinidad

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua de riego. La conductividad eléctrica (CE) es una de las más usadas, en tanto que el total de sólidos disueltos (TDS) lo es en menor proporción. La reducción del crecimiento de los cultivos por la salinidad es causada por el potencial osmótico (PO) ya que reduce la capacidad de las raíces de las plantas a extraer agua del suelo. La disponibilidad del agua en el suelo está relacionada a la suma del potencial métrico y potencial osmótico. El daño por sales vía foliar puede ocurrir en el riego por aspersión, éste daño depende de la salinidad del agua, sensibilidad del cultivo, frecuencia de aspersión y de factores medioambientales (temperatura, humedad relativa, luz, etc.) y se divide en dos fase salinidad efectiva y salinidad potencial (Aguilar, 2001).

### Salinidad efectiva

Este índice estima el peligro que puede producir las sales solubles del agua de riego al formar parte de la solución del suelo, ya que las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos y sulfatos son más fáciles de precipitarse que las sales de cloruro de calcio, magnesio, sodio o sulfatos de magnesio y calcio, lo cual representan la llamada salinidad efectiva del agua, para determinar la salinidad efectiva se siguió la metodología de (Ortiz, 2000) o también de acuerdo a (Coras, 1989) Atendiendo al problema que representa clasificar a las aguas, tomando en cuenta que algunas de las sales que las componen se precipitaran al ponerse en contacto el agua con el suelo. Muchas aguas especialmente en las zonas áridas, presentan grandes cantidades de sales poco solubles de calcio y magnesio en solución, las cuales tienden a precipitarse en el suelo. Suponiendo que los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, y sulfato de calcio se precipitan, la salinidad promedio de las aguas pueden reducirse a la mitad, y las sales que permanecen en solución, como las sales de sodio, los cloruros de calcio, magnesio y sulfato de magnesio, representa la llamada salinidad efectiva (SE) del agua. En la figura 5 se muestra los resultados obtenidos en las dos épocas del año en el cual se analizaron las doce muestras o puntos de muestreos representados en miliequivalentes por litro (meq/l).



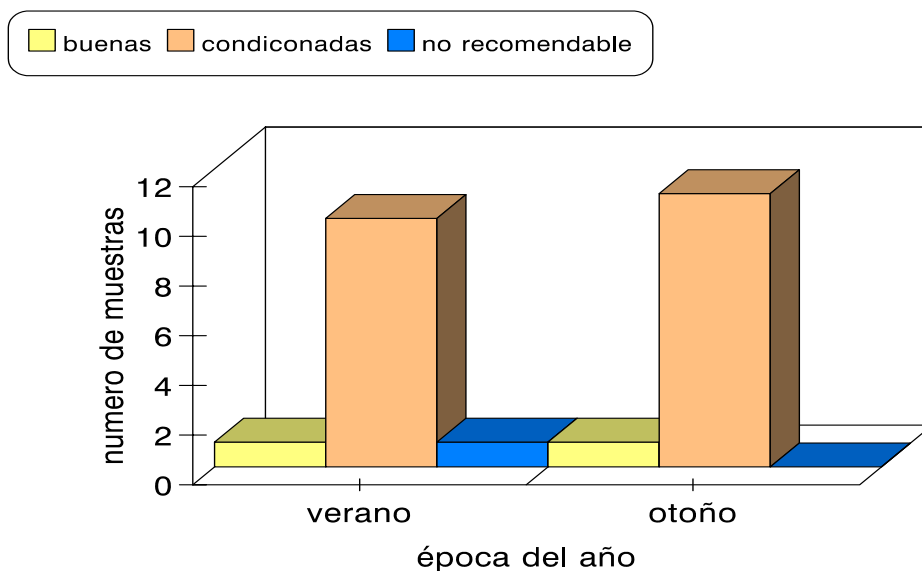
**Figura 5 Resultados obtenidos de salinidad efectiva en los doce puntos de muestreo del Rio Apulco en las dos épocas del año verano y otoño.**

La salinidad que se encuentra en el agua es de gran importancia ya que si se tiene gran cantidad de cationes disueltos en el agua, va afectar a el suelo como a la planta los criterios de clasificación para la salinidad efectiva son aguas de buena calidad si tienen menos de 3 meq/l, aguas condicionadas son las que tiene de 3 a 15 meq/l y aguas no recomendables son las que tienen más de 15 meq/l siguiendo la metodología de (Ortiz, 2000) los resultado que se han obtenido en los sitios de muestreo en aguas todas se encuentran de buena calidad (1) San Carlos (2) Rio Tepetitlan (3) Rio Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (6) Jilotepec, (7) Rio Atexcaco, (8) Los Encinos, (9) Buena Vista, (10) Rio Zempoala, (11) Rio Zarco, (12) Chacal, esto es en base a la época de verano, y a diferencia en la época de otoño también se tuvo casi su totalidad de los sitio de muestreo en buena calidad (1) San Carlos (3) Rio Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (6) Jilotepec, (7) Rio Atexcaco, (8) Los Encinos, (9) Buena Vista, (10) Rio Zempoala, (11) Rio Zarco, (12) Chacal, solo el sitio de

muestreo (2) Rio Tepetitlan es condicionada pero ninguno de los sitios de muestreo en las dos épocas del año se encuentran en aguas no recomendable.

Salinidad potencial

El criterio de salinidad efectiva supone que tendrá lugar la precipitación los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, pero es probable que parte de los carbonatos que quedan en solución se precipiten con calcio provenientes del complejo de intercambio cationico del suelo, aspecto que no es tomado en cuenta por el criterio de salinidad efectiva para eso se determina la salinidad potencial (Ortiz, 2000). Este índice determina cantidad de cloros y sulfatos que pueden ser perjudiciales para los cultivos, debido al incremento de la presión osmótica de la solución del suelo. Los cloruros y sulfatos son sales que quedan en solución, cuando la humedad aprovechable es menor del 50%. En la figura 6 se muestra los resultados obtenidos de la salinidad potencial en las dos épocas del año se representa en meq/l.



**Figura 6 Resultados de salinidad potencial en el agua del Rio Apulco en las dos épocas del año verano y otoño.**

La importancia de conocer la salinidad potencial en el agua de riego es conociendo los criterios de clasificación en el agua que son: aguas de buena calidad si tienen menos de 3 meq/l, aguas condicionadas son las que tienen de 3 a 15 meq/l y aguas no recomendables son las que tienen más de 15 meq/l siguiendo la metodología de (Ortiz, 2000), los resultados obtenidos se tiene que el 99 % de las muestras se encuentran como aguas condicionadas para riego para las dos épocas del año, algunas son buenas y no recomendable, en la época de verano se tiene que el sitio de muestreo (3) Rio Calcahualtenco son aguas de buena calidad, las demás muestras entran en aguas condicionadas que son los puntos (1) San Carlos, (2) Rio Tepetitlan, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (6) Jilotepec, (7) Rio Atexcaco, (8) Los Encinos, (9) Buena Vista, (10) Rio Zempoala, (11) Rio Zarco, ya que solo una muestra entra en aguas no recomendables y es la muestra (12) Chacal esto son los resultados para esta época, y para la época de otoño se tiene que igualmente una muestra está en aguas de buena calidad que es el sitio de muestreo (3) Rio Calcahualtenco y las otras entran en aguas condicionadas como son (1) San Carlos (2) Rio Tepetitlan, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (6) Jilotepec, (7) Rio Atexcaco, (8) Los Encinos, (9) Buena Vista, (10) Rio Zempoala, (11) Rio Zarco, (12) Chacal, y ningún sitio de muestreo está en aguas no recomendables, aunque como ya se ha mencionado

que iba a ver diferencia en las dos épocas habiendo mas afectación en la de otoño, se muestra aquí que en verano una muestras salió en aguas no recomendables.

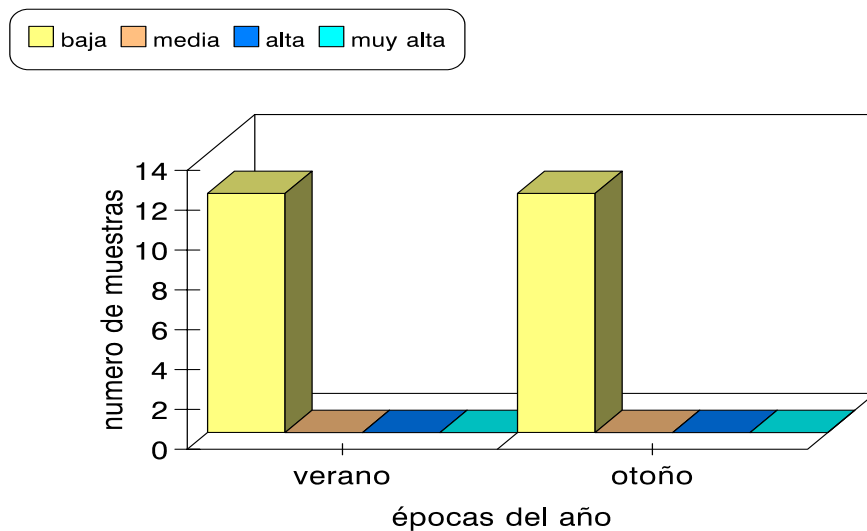
**Clasificación por Sodicidad**

Las aguas sódicas representa una serie de problemas para los cultivo agrícola, ya que un alto contenido de sodio intercambiable (más de un 15 %, en general) provoca una dispersión coloidal que se traduce en una disminución drástica en la permeabilidad del suelo, se generan condiciones adversas para el desarrollo de los cultivos al presentarse condiciones de inundación y anaerobiosis, y estas condiciones se combina con un elevada alcalinidad.

La recuperación de los suelos sódicos por la aplicación de aguas de mala calidad es más difícil y costosa que la de los suelos salinos, ya que mientras estos requieren solamente de lavados, aquellos necesitan de la aplicación de mejoradores. Por este motivo, es muy importante determinar la capacidad modificadora de las aguas de riego, y para estos existen también una serie de criterios, que se describen en seguida (Ortiz, 2000).

**Relación de absorción de sodio (RAS)**

Es un índice útil para caracterizar el grado de sodicidad o con relación a su concentración ion sodio. En la figura 7 se muestra los resultados obtenidos en base a la relación de absorción de sodio en las muestras de las dos épocas del año verano y otoño.



**Figura 7 Resultados de la relación de absorción de sodio de las muestras de agua del Rio Apulco en las dos épocas del año.**

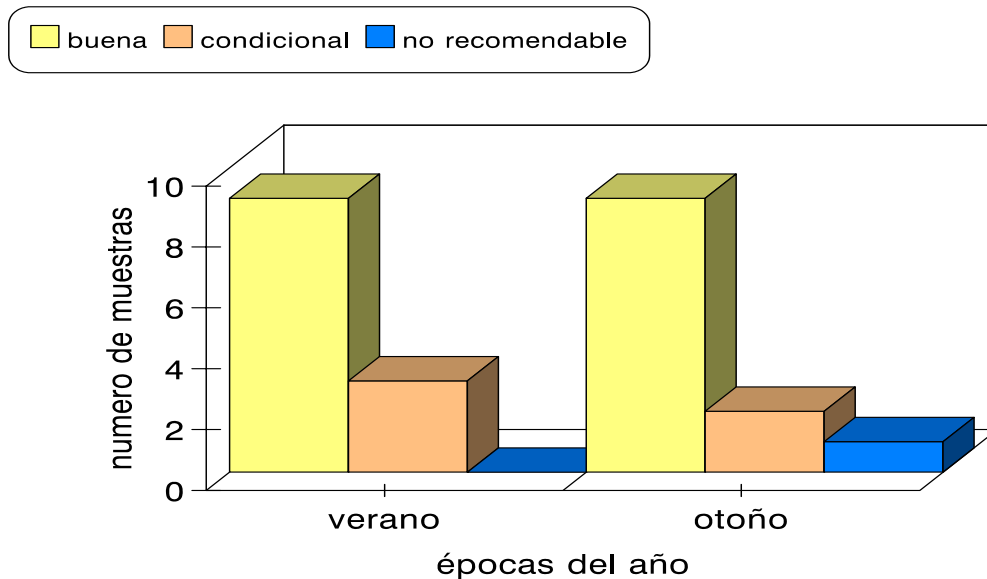
La relación absorción de sodio nos da a conocer que hay aguas con bajo nivel que son las que tenga menos de 10 meq/l, las de medio nivel son las de 10 a 18 meq/l, las de alto nivel son las de 18 a 26 meq/l y muy alto nivel son las de más de 26 meq/l de relación de absorción de sodio (RAS) según la metodología de (Coras, 1989). En los resultados se puede apreciar que en las dos épocas del año verano y otoño se tiene que los 12 sitios de muestreo que son: (1) San Carlos (2) Rio Tepetitlan (3) Rio Calchahuatenco, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (6) Jilotepec, (7) Rio Atexcaco, (8) Los Encinos, (9) Buena Vista, (10) Rio Zempoala, (11) Rio Zarco, (12) Chacal, se encuentran con baja nivel de relación de absorción de sodio, en las dos épocas lo cual esto quiere decir que nuestro suelo no puede ser afectado por el ion sodio, ya



que este ion puede tener muchas consecuencias afectado a su estructura del suelo y al crecimiento de la planta.

### Carbonato de sodio residual (CSR)

En las aguas destinadas para riego, si el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el calcio y el magnesio, a medida que van aumentando estos aniones producen la defloculación del suelo. En la figura 8 se muestra los resultados obtenidos de carbonato de sodio residual en las dos épocas del año verano y otoño.

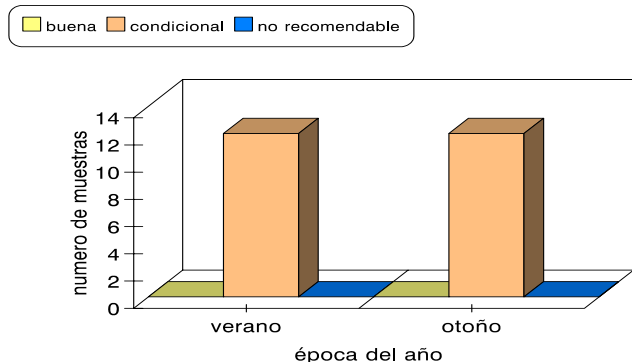


**Figura 8 Resultados obtenidos de carbonatos de sodio residual en la muestras de agua en las dos épocas del año verano y otoño.**

En el carbonato de sodio residual se tiene tres criterios de clasificación que son aguas de buena calidad las que tengan menos de 1.25 meq/l, aguas condicionadas son las que tengan de 1.25 a 2.5 meq/l y aguas no recomendables son las que tenga más de 2.5 meq/l según la metodología de (Ortiz, 2000). De acuerdo a estas clasificaciones ya mencionadas para el carbonato de sodio residual se tiene que los resultados del agua se encuentran entre buenas y condicionadas para riego, teniendo en la época de verano que los sitios de muestreo : (2) Rio Tepetitlan (3) Rio Calcahualtenco, (6) Jilotepec, (7) Rio Atexcaco, (8) Los Encinos, (9) Buena Vista, (10) Rio Zempoala, (11) Rio Zarco, (12) Chacal, son aguas de buena calidad y las muestras : (1) San Carlos, (4) topictacta, (5) cortinas de la presa son aguas condicionadas, a diferencia de los resultados obtenidos en la época de otoño se tiene que los sitios de muestreo: (1) San Carlos, (3) Rio Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa (6) Jilotepec, (8) Los Encinos, (9) Buena Vista (11) Rio Zarco, (12) son aguas de buena calidad mientras que las muestras (7) Rio Atexcaco, (10) Rio Zempoala, se clasifican como aguas condicionadas, y teniendo en esta época un sitio de muestreo el (2) río tepetitlan que son aguas no recomendables.

### Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

Es el peligro de desplazamiento del calcio y el magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio empieza cuando el contenido de sodio representa más del 50% de los cationes disueltos. En la figura 9 se muestra los resultados obtenidos del porcentaje de sodio intercambiable en las dos épocas del año.



**Figura 9 Resultados de porcentaje de sodio intercambiable en las muestras de agua del Río Apulco en las dos épocas del año verano y otoño.**

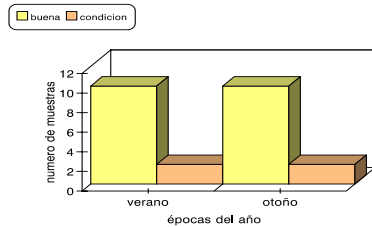
El porcentaje de sodio intercambiable según (Ortiz, 2000), debe ser menos del 50% en el agua para tener una agua de buena calidad pero si se tiene más del 50% hasta un 100% se tiene aguas condicionadas, y si se tiene más del 100% se tiene aguas no recomendables, en base a la metodología mencionada se clasifico los resultados obtenidos del sitio de estudio que se tiene que en las dos épocas del año verano y otoño hay presencia de más del 50% y menos del 100% de porcentaje de sodio intercambiable clasificando los sitios de muestreos: (1) San Carlos, (2) Río Tepetitlán, (3) Río Calchahuatlenco, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (6) Jilotepec, (7) Río Atexcaco, (8) Los Encinos, (9) Buena Vista, (10) Río Zempoala, (11) Río Zarco, (12) Chacal, como aguas condicionadas para riego en base a su clasificación por sodicidad.

### Clasificación por Toxicidad

Los problemas de toxicidad están referidos a los constituyentes (iones) en el suelo o agua que pueden ser tomados y acumulados por las plantas hasta concentraciones altas, causando daño a los cultivos o baja en su rendimiento. El grado del daño depende de la asimilación y la sensibilidad del cultivo. Por ejemplo, árboles frutales u ornamentales leñosos generalmente son más sensibles el cloro (Cl), sodio (Na) y Boro (B) que muchas plantas anuales. El riego por aspersión por otro lado, en cultivos sensibles puede complicar aún más el problema de toxicidad por absorción de sodio y cloro a través de las hojas. (Aguilar, 2001).

### Boro (B)

No es común la presencia de altos niveles de boro en algunas aguas, el boro es un elemento esencial para el desarrollo vegetal pero es tomado en pequeñas cantidades, lo cual cantidades mayores pueden ocasionar toxicidad en la planta. En la figura 10 se muestra los resultados obtenidos de boro en las aguas del río apulco en las dos épocas del año.



**Figura 10 Resultados obtenidos de boro en las muestras de agua del Rio Apulco en las dos épocas del año verano y otoño.**

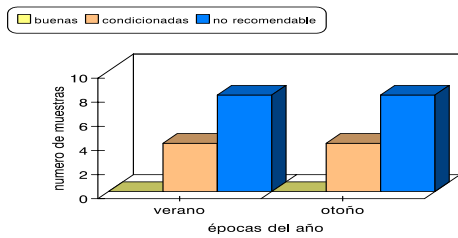
El boro como ya se ha mencionado anteriormente no se presenta en alta cantidad en el agua para eso se clasifica en el siguiente criterio según (Coras, 1989). agua de buena calidad en boro son las que tengan menos de 0.3 meq/l, aguas condicionadas son las que tengan 0.7 a 4.0 meq/l y aguas no recomendables son las que tengan más de 4.0 meq/l. los resultados obtenidos en la época de verano se tiene que los sitios de muestreo: (1) San Carlos, (2) Rio Tepetitlán, (3) Rio Calcahuatlenco, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (6) Jilotepec, (8) Los Encinos, (10) Rio Zempoala, (11) Rio Zarco, (12) Chacal, sean aguas de buena calidad mientras que los sitios de muestreo: (7) Rio Atexcaco, (9) Buena Vista son aguas condicionadas, en esta época no hay ningún sitio de muestreo que este en el nivel de aguas no recomendables, y para la época de otoño se tiene que las muestras: (1) San Carlos, (2) Rio Tepetitlán, (3) Rio Calcahuatlenco, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (6) Jilotepec, (8) Los Encinos, (10) Rio Zempoala, (11) Rio Zarco, (12) Chacal, sean aguas de buena calidad mientras que los sitios de muestreo: (7) Rio Atexcaco, (9) Buena Vista son aguas condicionadas, se observa que en las dos épocas del año no hay diferencia en cuanto a los resultados ya que como sea mencionado que es muy difícil que se encuentre este elemento en altas proporciones aun habiendo cambios de temperatura y clima. De acuerdo a esto existen cultivos que son sensibles, semitolerantes, tolerantes y muy tolerantes al elemento boro como se muestra en el cuadro 3 cultivos tolerantes a boro.

**Cuadro 3 tolerancia relativa en los cultivos a la presencia de boro en las aguas para riego**

| SENSIBLES        | SEMI- TOLERANTES | TOLERANTES          |
|------------------|------------------|---------------------|
| 1 ppm – 3 ppm    | 2 ppm – 4 ppm    | 4 ppm – 2 ppm       |
| Nuez encarcelada | papa             | espárrago           |
| Nogal            | algodón          | palma datilera      |
| Fríjol navy      | jitomate         | remolacha azucarera |
| Ciruelo          | rábano           | remolacha forrajera |
| Peral            | chícharo         | betabel             |
| Manzano          | olivo            | alfalfa             |
| Vid              | cebada           | fríjol              |
| Algodón kadota   | trigo            | cebolla             |
| Cerezo           | maíz             | nabo                |
| Durazno          | sorgo            | col                 |
| Chabacano        | avena            | lechuga             |
| Zarzamora        | calabaza         | zanahoria           |
| Naranja          | aguacate         |                     |
| Toronja          | limón            |                     |
| Cloro            |                  |                     |

El ion cloro es muy similar al sodio aunque el cloro es un ion mas móvil y esto lo hace mas toxico para muchos cultivos, ya que entra más fácilmente a la planta. Los problemas de

toxicidad que hay por exceso de cloro son necrosis o clorosis en las hojas. En la figura 11 se presentan los resultados obtenidos de cloro en las muestras, su valor es meq/l.



**Figura 11 Resultados obtenidos de cloro en las muestras de agua del rio apulco en las dos épocas del año verano y otoño**

La concentración del cloro en nuestras muestras son muy visibles en la figura 11, por esa razón se siguió la metodología de (Coras, 1989), que dice que una agua de buena calidad es aquella que tiene menos de 1.0 meq/l, mientras tanto que una agua condicionada esta en los rangos de 1.0 a 5.0 meq/l, y una agua no recomendable es aquella que tiene más de 5 meq/l. como se puede observar en los resultados se tiene que solo los sitios de muestreo (6) Jilotepec, (7) Rio Atexcaco, (10) Rio Zempoala, (11) Zarco están clasificadas como aguas condicionadas, mientras que los sitios de muestreo: (1) San Carlos, (2) Rio Tepetitlán, (3) Rio Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) Cortinas de la Presa, (8) Los Encinos, (9) Buena Vista, (12) Chacal, son aguas no recomendables esto es para la temporada de verano, los resultados obtenidos en otoño son similares donde las muestras (1) San Carlos, (3) Rio Calcahualtenco, (5) Cortinas de Presa, (9) Buena Vista son las que se clasifican en aguas condicionadas y las que se clasifican como aguas no recomendables son los sitios de muestreo: (2) Rio Tepetitlán, (4) Topictacta, (6) Jilotepec, (7) Rio Atexcaco, (8) Los Encinos, (10) Rio Zempoala, (11) Rio Zarco, (12) Chacal, ya que estas tiene más del 5 meq/l. en base a la concentración de cloro se determinar que no se puede cultivar alguna planta que no sea tolerante a cloro, los únicos cultivos que son tolerantes a mas de 5 meq/l son los cítricos como pueden ser la naranja, limón, frutales de hueso, aguacate, naranjo dulce, naranjo agrio y la vid sin semilla ya que estos cultivos son tolerantes al cloro hasta un 25 meq/l..

En el cuadro 4 se muestra los cultivos tolerantes a cloro ya que es un electo que no debe estar presente en las aguas porque puede causar mucho daño en el cultivo.

**Cuadro 4 tolerancias de algunos cultivos a la concentración de cloro en el agua de riego**

| Cultivos          | concentración de cloruros en meq/l |
|-------------------|------------------------------------|
| Mandarina         | 25                                 |
| Limonero          | 15                                 |
| Naranja agria     | 15                                 |
| Naranjo dulce     | 10                                 |
| Frutales de hueso | 7 - 25                             |
| Aguacate          | 5 - 8                              |
| Vid sin semilla   | 25                                 |
| Vid rosa negra    | 10                                 |
| Zarzamora         | 10                                 |
| Frambuesa         | 5                                  |
| Fresa larssen     | 8                                  |
| Fresa shasta      | 5                                  |

## Conclusiones

El análisis regional para el ordenamiento territorial es posible a través del estudio integral de las variables socioeconómicas y ambientales de las cuencas hidrológicas por sus características de homogeneidad por la existencia objetiva de las regiones como espacios territoriales que comparten historia, cultura y condiciones ambientales, agroclimáticas, geopolíticas y culturales.

El análisis de la información documental y de campo, permite contar con una base de datos para la planeación del desarrollo regional, ecoregional y local para favorecer la toma de decisiones en el uso, aprovechamiento racional y manejo sostenible de los recursos naturales de la subcuenca hidrológica del Río Apulco.

## Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por el apoyo para el desarrollo de este proyecto de investigación.

A la Unidad Académica de Ingeniería Agrohidráulica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por el apoyo para la presentación y publicación que sirve de apoyo a los cursos de desarrollo rural, extensión agrícola y representa un acercamiento eurístico al conocimiento holístico para el manejo de cuencas hidrológicas.

## Bibliografía

- Aguilar, R. M. 2001. Análisis de agua, determinación de sólidos disueltos, sales disueltas en aguas naturales y residuales. In; Normas Oficiales Mexicanas Primera edición, México D. F. 170 p.
- INEGI. 2000. Síntesis Geográfica del estado de Puebla. 1ª edición. México. pp: 27-70.
- INEGI. 2000. Síntesis Geográfica del Estado de Puebla. Aguascalientes. México
- INIFAP. 1997. Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícolas y Pecuarias. In: Guía para la Asistencia Técnica Agrícola. Tercera edición. México. pp: 11-14.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2002.
- Monsalve, S. G. 2000. Cuencas hidrológicas. In: Hidrológica en la ingeniería. Segunda edición. Colombia. pp: 31-55.
- Nájera Aguilar, Patricia (1999). Geografía, México: FCE.
- Ortiz, O. M. 2000. Criterio para la clasificación de las aguas de riego. In: Calidad de las aguas de río. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo México pp: 12-49.
- Secretaría del medio Ambiente y Recursos Naturales 2005. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. México. <http://www.semarnat.gob.mx>
- Tamayo, Jorge L. (1998). Geografía Moderna de México, México Trillas