

01084



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

LA APTITUD TERRITORIAL EN EL NOROESTE  
DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA: RETOS Y  
OPORTUNIDADES DE PLANEACION REGIONAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A:

FRANCISCO RAUL VENEGAS CARDOSO

DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSE LOPEZ GARCIA



DIVISION DE  
ESTUDIOS DE POSGRADO

MEXICO, D. F.

2005

m345031



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo recibido para realizar mis estudios de Doctorado.

A la Facultad de Arquitectura, por haberme permitido utilizar las instalaciones y por todo el apoyo logístico que me brindó para la realización de este trabajo de tesis.

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado, de la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica, por haberme otorgado la Beca PROMEP Clave **P/PROMEP UABC-2000-09**, para realizar estudios de Doctorado.

Al Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI) por el apoyo económico recibido en la última fase para la defensa de mi trabajo de tesis

Al Dr. José López García por haberse comprometido en la dirección de este trabajo de tesis y por todo el tiempo dedicado a la realización del mismo.

Al Dr. Lorenzo Vázquez Selem, por sus siempre atinadas e invaluables sugerencias para la mejoría de este documento.

Al Dr. Omar Moncada Maya por su apoyo para poder ser aceptado en el Doctorado y sus atinadas sugerencias en la revisión del manuscrito.

A los tres les estoy infinitamente agradecido.

A todos los ejidatarios del Valle de Ojos Negros del poblado de Real del Castillo Nuevo por todo el apoyo que me brindaron sin el cual no hubiese sido posible realizar el intenso trabajo de campo, además de compartir sus experiencias y gran conocimiento que tienen sobre su entorno el cual fue determinante para lograr los objetivos plantados en esta tesis.

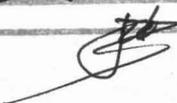
Y por último a todos mis compañeros de trabajo, en especial a la Dra. Rosa Imelda Rojas Caldelas por sus sugerencias, consejos y apoyos durante la realización de la tesis.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Francisco Raúl

Venezas Cardoso

FECHA: 1 de Junio 2005

FIRMA: 

## DEDICATORIA

A toda mi familia, Alicia mi esposa y compañera que ha sabido comprender y apoya los esfuerzos y carencias a que nos hemos enfrentado para llegar a esta meta.

A Citlalli, quien llevo para darnos el valor y coraje para seguir adelante.

A Tonathiu, quien nos ha iluminado con su fuerza y energía para alcanzar las metas propuestas.

Y por último a Raúl Ikar que con su fuerza y rebeldía nos ha enseñado a no sucumbir ante los embates de la vida para salir adelante.

A todos ellos va dedicado este trabajo ya que fueron mi inspiración y motivo para llegar a esta meta.

# LA APTITUD TERRITORIAL EN EL NOROESTE DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA: RETOS Y OPORTUNIDADES DE PLANEACIÓN REGIONAL

## INDICE

RESUMEN .....	3
<b>I INTRODUCCIÓN</b> .....	5
I.1 Problemática regional.....	5
I.2 Justificación.....	7
I.3 Objetivo General .....	7
I.4 Hipótesis.....	8
<b>II ANTECEDENTES</b> .....	9
II.1 El Recurso Suelo en el Contexto de la Planeación Regional .....	9
II.1.2 ¿Qué es la Planeación Regional? .....	11
II.1.3 Planeación ambiental .....	14
II.2 Uso del Suelo en Ambientes Mediterráneos. ....	17
II.2.1 Desertificación en ecosistemas mediterráneos.....	17
II.2.2 Paleoclimatología y civilización en el ecosistema mediterráneo.....	19
II.2.3 Uso del suelo y degradación de la tierra en el ecosistema mediterráneo de Norteamérica .....	21
II.2.4 Uso del suelo y degradación de la tierra en el ambiente mediterráneo en Baja California.....	22
II.3 Concepto de Tierra su Evaluación y Aptitud territorial.....	24
II.3.1 La planeación de los usos de la tierra .....	25
II.3.2 Origen del concepto evaluación de la tierra.....	30
II.3.3 Aportes de la FAO en la Evaluación de la Tierra .....	35
II.3.4 Tendencias actuales en la evaluación de la tierra .....	39
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	44
III.1 Materiales analógicos.....	44
III.2 Materiales digitales.....	44
III.3 Metodología.....	45
<b>IV CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA</b> .....	53
IV.1 Localización Geográfica y Factores Ambientales .....	53
IV.2 Geología regional.....	53
IV.3 Fisiografía .....	58
IV.4 Comunidades bióticas.....	58
<b>V GEOMORFOLOGÍA Y GEOPEDOLOGÍA</b> .....	62
V.1 Interpretación geomorfológica.....	62
V.2 Método geopedológico (Zinck, 1988).....	64
V.3 Discusión .....	87
<b>VI. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA</b> .....	95
VI.1 Clima tipo mediterráneo en Baja California.....	96
VI.2 Ciclos recurrentes de sequía y humedad.....	100
VI.3 El Niño/Oscilación del Sur y sus efectos en el Noroeste de Baja California ....	101
VI.4 La Oscilación Decadal del Pacífico y su relación con periodos recurrentes de sequía y precipitación.....	103
VI. 5 Impactos regionales.....	105
VI.6 ENOS, PDO, ciclos sequía y humedad recurrentes y paleoclimatología .....	108

VI.7. Discusión .....	111
<b>VII EVALUACIÓN DE LA TIERRA</b> .....	<b>115</b>
VII.1 Zonas agroclimáticas .....	115
VII.2 Procedimiento para la definición espacial y temporal de las zonas agroclimáticas (ZAC).....	119
VII.3 Utilización de ALES, para definir la aptitud territorial de las 11 unidades cartográficas en el valle de Ojos Negros.....	125
VII.4 Discusión .....	132
<b>VIII. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA EN EL ESTADO EN FUNCIÓN DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO</b> .....	<b>139</b>
VIII.1 Recursos hídricos y edáficos disponibles y planeación .....	142
VIII.2 Recursos hídricos disponibles .....	143
VIII.3 Calidad y cantidad del recurso suelo en el estado.....	149
VIII.4 Estado actual del sector primario en Baja California.....	151
VIII.5 Discusión .....	158
<b>IX. CONCLUSIÓN GENERAL</b> .....	<b>159</b>
<b>X BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>164</b>
<b>XI ANEXOS</b> .....	<b>183</b>
Descripción de perfiles .....	183

## RESUMEN

El noroeste de Baja California con un ecosistema mediterráneo, único en México, es la región con mayor crecimiento y desarrollo en el estado. En las últimas décadas esta región casi triplicó su población ya que pasó de 870,000 habitantes en 1970 a 2.1 millones en 1995 con una tasa de crecimiento del 3.4, y para el 2003 se incrementó al 4.5 %, más del doble de la media nacional. Para mantener esta actividad económica se ha tenido que hacer un intenso uso de dos de los recursos más limitantes, suelo y agua, ambos en serios peligros de contaminación, degradación y agotamiento. Por estos motivos el objetivo central de esta tesis es: obtener la aptitud territorial del valle de Ojos Negros, Municipio de Ensenada, B.C. a través del levantamiento geopedológico como el principal insumo en la elaboración de planes y programas de ordenamiento ecológico del territorio. Se obtuvo una interpretación geomorfológica y geopedológica con la definición de cuatro paisajes, sometiéndolos a dos esquemas de evaluación de tierras; una zonificación agroclimática y la utilización de un programa de árbol de decisiones para evaluación de tierras (ALES), y a través de estos dos métodos se definió la aptitud territorial física y económica de las unidades cartográficas utilizadas en agricultura de riego y temporal. Se concluye que la estrategia utilizada para obtener la aptitud física y económica del territorio debe ser contemplada en la planeación regional y ser el insumo básico en la elaboración de los planes de ordenamiento ecológico del territorio.

Palabras claves: Geopedología, ordenamiento territorial, evaluación de la tierra

## **ABSTRACT**

The Baja California northwest with a mediterranean ecosystem, unique in Mexico is the region with highest growth and development in the state. The last decades this region has triplicated its population from 870,000 in 1970 to 2.1 millions in 1995, with a rate of 3.4 % and to 2003 increased to 4.5 %, two times than double of the national average. In order to support the high rate of economy it has been necessary to make an intense use of the two most scarce resources in the region: soil and water, both in serious danger by pollution, degradation and exhaustion. Therefore the main objective of the thesis is; to obtain the land suitability of the Ojos Negros valley, Ensenada, B.C., through the application of a geopedologic survey as a main input to prepare plans and programs of land use planning. A geomorphologic and geopedologic interpretation with four landscapes and 16 cartographic units were obtained. These units were subject of analysis in two land evaluation methods, an agroclimatic zonification, and the utilization of a tree decision program for land evaluation (ALES). With the use of these two methods, the physical and economic land suitability of the cartographic units that are used in irrigation and rainfed agriculture were defined. As a conclusion the strategy developed in this thesis to obtain the land evaluation must be used in regional planning as the main source to prepare plans for land use planning.

**Key words:** Geopedology, land use planning, land evaluation

## **I INTRODUCCIÓN**

De acuerdo a la tendencia del crecimiento poblacional, se estima que para el año 2030 dos de cada tres personas vivirá en una zona urbana (Zwingle, 2002). Asimismo este crecimiento demográfico es el principal impulsor del crecimiento urbano, ya que la población demanda bienes y servicios y el estado es quien debe proporcionarlos a través de la elaboración de planes y programas para proporcionar servicios con un mínimo de calidad, de lo contrario se agudizan o aceleran procesos de degradación y contaminación del medio ambiente, de los recursos suelo y agua, se incrementa la deforestación y se tornan más severos los procesos de erosión (Secomski, 1985 y Jimenez, 1996).

Indudablemente que para el desarrollo de todas estas actividades productivas y los servicios que la sociedad demanda se utilizan en mayor medida dos recursos; agua y suelo, ambos estratégicos y finitos y en serios problemas de degradación, contaminación, agotamiento y sobreexplotación por la gran demanda de la población y todas sus actividades productivas, provocando una presión cada vez mayor sobre estos recursos, suscitando la competencia y los conflictos entre los diferentes usos y regiones (UN, 1997).

Esta tendencia de incremento poblacional, agotamiento de los recursos naturales y los cada vez más impactantes problemas de contaminación y degradación del medio ambiente, no escapa a ningún país o región de la tierra.

### **I.1 Problemática regional**

En este sentido en las tres últimas décadas, la región noroeste del estado de Baja California (B.C.), casi triplicó su población ya que pasó de 870,000 habitantes a

2,112,000, con una tasa de crecimiento del 3.4, la más alta del país y una migración neta del 38.4 % del total de su población, la segunda entidad que atrae más migrantes después de Quintana Roo y para el 2000, la tasa de crecimiento poblacional alcanzó 4.15, la más alta de país (INEGI, 1998 y 2001).

Este incremento poblacional se dio por un impulso del Gobierno Federal hacia un proceso de industrialización de la frontera norte, por ejemplo en 1985 en B.C. se tenían registradas 307 maquiladoras, en 1996 se incrementó a 793, la más alta del país, pasando a ocupar el primer lugar de este tipo de empresas a nivel nacional con un 33 % del total (INEGI, 1998 y Gobierno del Estado de Baja California 1994).

Esta gran actividad industrial y concentración poblacional se está dando principalmente en una de las dos zonas urbano-regionales que el Plan Estatal de Desarrollo Urbano del Estado de Baja California (1994), definen como; la zona costa, integrada por el corredor Tecate-Tijuana-Rosarito-Ensenada, localizado en la vertiente del Pacífico.

La característica principal de esta región, no tiene fuentes de agua permanentes que satisfaga las necesidades de los diferentes sectores de la economía. Sus principales acuíferos están reportados como contaminados por intrusión salina o sobreexplotados; clima de tipo mediterráneo, lluvias de invierno entre los 200 a 400 mm de precipitación anual, con una gran variabilidad respecto a la media, verano seco y cálido, temperaturas medias anuales entre los 16<sup>o</sup> C a 18<sup>o</sup> C (CNA, 1995).

Asimismo en esta región los problemas de erosión hídrica son intensos, Sosa (1989), dice que la carga de sedimentos de las cuencas que drenan al Pacífico es del orden de 17 Ton/Ha/año, debido principalmente por la escasa cobertura vegetal de las comunidades nativas, la actividad agropecuaria, el escaso desarrollo de los suelos y

por los periodos recurrentes de sequía e inundaciones perfectamente correlacionadas con los eventos de El Niño/Oscilación del Sur.

### **I.2 Justificación**

Estos problema aunados a procesos de metropolización que esta dando en las cuatro ciudades de zona costa Tecate, Tijuana, Playas de Rosarito y Ensenada, concentrando el 60 % de la población urbana en el estado, provocado por una reconversión de los usos del suelo, que prácticamente estan desapareciendo los pequeños valles agrícolas, ya sea por agotamiento de sus acuíferos, por problemas de desertificación y por la eliminación de la cubierta vegetal nativa e inducida (Rojas y Corona, 2004).

Estos son algunos problemas ambientales y degradación de la tierra provocados por el gran incremento poblacional, inadecuados usos del suelo y por decisiones políticas mal tomadas, como la autorización de plantas regasificadoras en suelos agrícolas altamente productivos y que estan deteriorando los recursos naturales en el estado sin tener una visión integral de esa problemática, debido principalmente a que los instrumentos normativos y jurídicos, adolecen de criterios científicos para la definición de la aptitud territorial como el principal insumo en la elaboración de los planes de ordenamiento ecológico del territorio.

### **I.3 Objetivo General**

Sobre la base de la interpretación geomorfológica y del levantamiento geopedológico, obtener la aptitud territorial del valle de Ojos Negros Municipio de Ensenada, B.C., como el principal insumo en la elaboración de planes y programas de ordenamiento ecológico del territorio.

#### **Objetivos parciales:**

Hacer una interpretación geomorfológica y geopedológica de los procesos que han influenciado el desarrollo de los paisajes y los suelos en el valle de Ojos Negros.

Obtener la zonificación agroclimática de la cuenca de Arroyo Guadalupe, como una alternativa viable en la práctica de una agricultura de temporal.

Obtener la evaluación de la tierra y su aptitud física y económica, como una de las estrategias en que se sustente el cuidado y manejo del suelo y agua para la práctica de una agricultura sustentable.

Proponer alternativas viables de cambios de uso del suelo, en función de la aptitud territorial, sus características físicas, disponibilidad de agua, y la participación de los actores locales como una estrategia de planeación regional y ordenamiento del territorio.

#### **1.4 Hipótesis**

La utilización del levantamiento geopedológico, que tiene su base en la geomorfología permite conocer el origen, los procesos y la dinámica que han conformado los suelos, esto permite una mejor aproximación en la evaluación de la aptitud territorial, la cual debe ser el insumo básico en los planes de ordenamiento territorial, que redundara en una mejor planificación de los diferentes usos del suelo en el marco del desarrollo sustentable.

## **II ANTECEDENTES**

En este capítulo se hace una revisión bibliográfica que sustente los conceptos de: planeación regional; uso del suelo en los ambientes mediterráneos, procesos de desertificación natural y antrópica, evaluación de la tierra y tendencias actuales de evaluación de la tierra.

### **II.1 El Recurso Suelo en el Contexto de la Planeación Regional**

Para el desarrollo de todas las actividades productivas de la sociedad se utilizan básicamente dos recursos: agua y suelo, ambos estratégicos y finitos y en serios problemas de degradación, contaminación, agotamiento y sobreexplotación por la gran demanda de las actividades productivas, agricultura, ganadería, silvicultura, vida silvestre, turismo, conservación, industria y el desarrollo urbano.

En la actualidad la sociedad en su conjunto demanda mayor superficie para estos tipos de usos ya que la tasa de crecimiento poblacional sigue en aumento consecuentemente demanda mayor cantidad de estos recursos (FAO, 1993b).

De acuerdo a las proyecciones del crecimiento poblacional hecha por la Organización de las Naciones Unidas (2001), (ONU) dice que en el año 2000 se alcanzó una población de 6.9 billones de habitantes, con una tasa de crecimiento del 1.2 % y las proyecciones a futuro afortunadamente se esperan con un aumento mínimo de la población tanto en los países desarrollados como subdesarrollados.

Para nuestro país se espera que la tasa de crecimiento poblacional disminuya de 1.42 al 2005 a .025 para el 2050 siguiendo la misma tendencia en el ámbito mundial.

No obstante que estas proyecciones son bastante alentadoras ya que no se prevén grandes incrementos de la población, los conflictos por los diferentes usos de suelo

serán más agudos debido a que ambos recursos agua y suelo a la fecha no hay forma de incrementarlos, son finitos pero si es posible establecer políticas regionales de planeación para el uso adecuado de la tierra y el agua.

Hills et al. (1970) dicen que el desarrollo de cualquier región está en estrecha relación con los recursos disponibles tanto naturales como humanos, para ello es necesario conocer e inventariar los recursos existentes y su capacidad de explotación bajo esquemas que permitan un uso racional y acordes al tipo de desarrollo, basándonos en su vocación o aptitud para después elaborar los planes de como se tienen que utilizar dichos recursos.

De acuerdo a la AGENDA 21 (2000), Capítulo 10.1 dice que se debe de entender a la tierra como una entidad física en términos de sus recursos naturales, el suelo, los minerales, el agua y la biota y que para un óptimo uso de la tierra se requiere de un enfoque integral de la planeación y gestión del medio físico y el uso de la tierra y que solamente a través de estos enfoques se pueden reducir al mínimo los conflictos y obtener un equilibrio más eficiente para vincular el desarrollo social y económico con la protección de medio ambiente.

Por lo que respecta a la Food Agriculture Organization (FAO) (1993b), dice que la planificación del uso de la tierra es un concepto que se ha ido desarrollando conforme se fueron detectando problemas de degradación, contaminación y pérdida de grandes superficies de suelo por erosión, aunado a inadecuadas prácticas de manejo en agricultura, eliminación de la cubierta vegetal y contaminación del agua y suelo.

Esta degradación del medio ambiente o de los ecosistemas trae como consecuencias pobreza y marginación (WCED, 1987), además promueve la destrucción de la sociedad

y es el último recurso de riqueza en donde construimos nuestra civilización (Jimenez, 1996).

### **II.1.2 ¿Qué es la Planeación Regional?**

La planeación debe ser entendida como un proceso dinámico que se coordina e integra con su ejecución y que la planeación para ser operativa requiere de la participación de tres niveles, macro-planeación, micro-planeación y la planeación regional y que el planificador debe participar en todos los niveles de ejecución de la misma ya que sólo así se pueden detectar y corregir sobre la marcha los problemas surgidos en la instrumentación de acciones (Weitz, 1986).

Papandreou (1981), dice que la planeación es un proceso de la toma de decisiones y que se compone de tres elementos distintivos: articulación de metas, determinación de estados sociales factibles y adopción de políticas para la realización de metas sociales, Lefebvre (1981), dice que la planeación se ocupa de los problemas de la organización social y en consecuencia es intrínsecamente normativa.

La planeación se hace y se ejerce a todos los niveles; individuos, empresas, grandes corporaciones y por supuesto el estado o sector público. Es decir el gobierno central de cualquier país es el responsable de elaborar la planeación y que para el caso de la planeación del uso de la tierra se entiende que son las acciones que el sector público o gobierno debe de elaborar y realizar para regular el uso de la tierra y el agua que la sociedad en su conjunto demanda y utiliza para el desarrollo de todas sus actividades productivas. Por su parte Selman (2000), dice; la planeación es una determinada actividad genérica en previsión del futuro.

La FAO (1993b), dice que la planeación del uso de la tierra es una estimación sistemática del potencial del agua y la tierra, así como alternativas para el uso de la misma y las condiciones económico y social en orden de seleccionar y adaptar las mejores opciones para su uso.

El propósito central de la planeación del uso de la tierra es reunir las condiciones indispensables para satisfacer las necesidades de la población asegurando salvaguardar estos recursos para el futuro, incluso la planificación del uso de la tierra propone los criterios para evitar conflictos entre los diferentes usos rurales y urbanos y la expansión industrial indicando cuales tierras son más propicias para cierto tipo de uso (FAO, 1993).

Weitz (1986), dice que la planeación regional puede servir como una unidad funcional que coordine el desarrollo de los productores locales con proceso de la planeación nacional es decir la agricultura, la industria y los servicios en su conjunto.

Por ejemplo, si dentro del esquema de la planeación nacional se requiere limitar la producción de algún o algunos cultivos en donde los productores no tienen cultivos alternos, se les debe de ofrecer alternativas de empleo en la industria o en los servicios, los cuales también deberán ser planeados.

Weitz (1986), llama a este proceso, enlazar la macro-planeación con la micro planeación entre la agricultura, la industria y los servicios y que a largo plazo la única solución para mantener la actividad en los tres sectores que mantienen la economía de una región. Este mismo autor hace referencia que en algunos países altamente industrializados, las grandes industrias instalan pequeñas plantas manufactureras en lugar de una megaplanta.

Esto se consigue en donde coincida el nivel de planeación nacional, regional y local para decidir las actividades económicas que sean complementarias unas con otras en lugar de ser antagónicas. La integración de estos tres niveles de planeación es lo que garantiza un adecuado uso de la tierra.

Lefebber (1985), dice que la planeación regional es la motivación del desarrollo social y económico en una forma que armonice el resultado final con los propósitos del desarrollo nacional por tanto la planeación regional tiene un carácter normativo y que puede tener una gran influencia que altere significativamente la economía, la estructura social y modo de producción de la región o regiones circunvecinas. Como es el caso de control del agua de una gran cuenca hidrográfica para la generación de energía eléctrica, funcionamiento de distritos de riego y abastecimiento a las zonas urbanas.

Cumberland, (1981) dice que una planeación eficiente del desarrollo regional debe realizarse no solo proyecto por proyecto, también se debe de realizar en escalas lo suficiente pequeñas que abarquen grandes o extensas áreas que tomen en cuenta cuencas hidrográficas enteras y grandes regiones naturales relacionadas entre sí.

Además indica el mismo autor, de que los planes que elaboren los responsables de la planeación contemplen costos de deterioro o contaminación que se genere con la implantación de las diferentes actividades productivas ya sean industriales o agroindustriales.

Asimismo que a la región se le debe de concebir como un todo complejo, en lo económico, social y físico-geográfico ya que siempre nos vamos a encontrar con regiones económicas para fines de planeación.

Las regiones son transformadas por la acción del hombre por tanto adquieren una connotación económica debido a que dentro de la gama de actividades que en la región se desarrollan, tienden hacia una especialización

### **II.1.3 Planeación ambiental**

Es un hecho que el crecimiento demográfico es el principal impulsor de los procesos de desarrollo ya que la población demanda bienes y servicios y el estado es quien debe proporcionarlos a través de la elaboración de planes y programas para proporcionar servicios con un mínimo de calidad de lo contrario se agudizan o aceleran procesos de degradación y contaminación de los recursos suelo y agua, deforestación y procesos de erosión aunado a la marginación (Secomski, 1985 y Jimenez, 1996).

En la década de los setentas, a raíz de la Conferencia Internacional sobre Medio Ambiente que se realizó en Estocolmo en 1972, se expone ante este foro los problemas ambientales a los que se enfrentaban los países desarrollados y en desarrollo. Nuestro país como integrante de la comunidad mundial asume compromisos de proteger el medio ambiente y sienta las bases para instrumentar políticas a nivel nacional sobre cuidado y protección del medio ambiente (Graber, 1989).

En 1976 la Organización Internacional de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultural (UNESCO por sus siglas en inglés) crea el Programa El Hombre y la Biosfera (MAB), que promueve la cooperación internacional de investigación ecológica y establece el Sistema Mundial de reservas de la Biosfera.

En 1987 la Comisión Bruntland trajo a colación el concepto de Desarrollo Sustentable como una forma de utilizar los recursos existentes para satisfacer las necesidades de la

población a nivel mundial sin comprometer los recursos de las generaciones futuras (WCED, 1987).

En 1992 el Programa del Medio Ambiente de Naciones Unidas (UNEP), junto con el International Soil Reference and Information Center (ISRIC) apoya al Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD) para realizar estudios sobre el estado global de la degradación del suelo a escala mundial.

También en 1992 en la reunión de Declaración de Río, Cumbre por la Tierra, se fortalece el concepto del Desarrollo Sustentable, además se establece una Agenda (Agenda 21), con una serie de compromisos que todas las naciones firmantes se comprometen a llevar a cabo en sus respectivos países.

La Agenda 21, como también se le conoce a esta reunión establece 40 puntos en los cuales se plantea una problemática y los objetivos y metas a los que se debe de llegar para minimizar o para revertir el origen de dichos problemas.

Así en el Capítulo 10.3 dice “Los recursos terrestres se utilizan con una diversidad de fines interrelacionados que pueden competir entre sí; en consecuencia, conviene planear y ordenar todos los usos en forma integral. La integración debería hacerse a dos niveles, considerando, por un lado, todos los factores ambientales, sociales y económicos (como, por ejemplo, las repercusiones de los diversos sectores económicos y sociales sobre el medio ambiente y los recursos naturales) y, por otro, todos los componentes del medio ambiente y los recursos conjuntamente (a saber, el aire, el agua, la biota, la tierra, los recursos naturales y geológicos).”

En el Capítulo 10.14 dice “Los gobiernos al nivel que corresponda, en colaboración con la comunidad científica nacional e internacional y con el apoyo de las organizaciones

nacionales e internacionales competentes, deberían promover y apoyar la investigación adecuada al medio local sobre el sistema de recursos de tierras y las consecuencias para el desarrollo sostenible y las prácticas de ordenación. Se debería dar prioridad, según procediera, a

- a. La evaluación de la capacidad potencial de producción de las tierras y de las funciones del ecosistema;
- b. Las interacciones ecosistémicas y las interacciones de los recursos terrestres y los sistemas sociales, económicos y ambientales;
- c. La determinación de indicadores de sostenibilidad aplicables a los recursos de tierras, teniendo en cuenta los factores ambientales, económicos, sociales, culturales y políticos”.

## **II.2 Uso del Suelo en Ambientes Mediterráneos.**

En este subcapítulo, se hace una revisión de la bibliografía disponible de la ocupación del ambiente mediterráneo desde el inicio de las primeras civilizaciones y como éstas tuvieron que enfrentar los problemas de la recurrencia de periodos secos y húmedos y como han influido en los procesos de la desertificación.

### **II.2.1 Desertificación en ecosistemas mediterráneos**

El uso de la tierra en el ecosistema mediterráneo en Europa y Medio Oriente se ha presentado desde las primeras etapas de las civilizaciones humanas al grado que la cubierta vegetal original prácticamente ya no existe debido a la continua ocupación desde el Holoceno Medio en la Edad Bronce. La arqueología ha aportado gran cantidad de datos sobre los primeros asentamientos en este éste ecosistemas (Neil et al. 2001; Bintliff, 2002; Dregne, 2002).

Bintliff (2002), ha estudiado la ocupación del mediterráneo utilizando métodos y técnicas de la arqueología e identifica periodos recurrentes de inundaciones y sequías, así como diferentes periodos de acumulación de sedimentos por aluvionamiento y que la ocupación de tierras para la agricultura y los asentamientos podría estar relacionados con la enorme variabilidad climática, durante diferentes periodos. Asimismo identifica diferentes periodos de asentamientos y abandono desde el Holoceno medio hasta épocas de ocupación de los griegos (MEDALUS I, 1992).

Debido a esta temprana ocupación, la vegetación actual refleja fuertemente una intensa actividad humana al menos desde la Edad de Bronce, el paisaje presenta una severa erosión con cárcavas profundas. Hay abundante evidencia que debido a cambios económicos y políticos de esas épocas estas tierras continuamente han sido

abandonadas y ocupadas con lo cual el paisaje se ha estado continuamente transformando (MEDALUS I, 1992).

Esas sociedades antiguas de alguna forma trataron de revertir la degradación de la tierra, para ello desarrollaron medios para detener las erosión mediante la construcción de terrazas, como en Irán (Farshad y Zinck, 1998), Jordania (Abu-Zreig et al. 2000) y España (Van Wesemael et al. 1998), esos antiguos pobladores desarrollaron sistemas para la cosecha de agua, mediante los cuales trataron de revertir las drásticas condiciones de sequía o escasez de agua a que estaban sujetos.

No obstante el desarrollo de diversas técnicas para revertir la erosión y mantener la humedad en el suelo, el paisaje ha experimentado una pérdida de su cubierta vegetal, debida más que nada a una intensa ocupación. A esta situación de degradación de la tierra por la ocupación del hombre es lo que se conoce como desertificación (Dregne, 2002; Dodson, 2001; UNCCED, 2003).

Este intenso proceso de degradación da como resultado la creación de un programa de investigación llamado Mediterranean Desertification Land Use (MEDALUS) mediante el cual se propone identificar, entender y mitigar los efectos de la desertificación en el sur de Europa (Thornes, 1991; Fiona, 1995; Dunjó et al. 2003).

La degradación de tierras hacia la desertificación es el resultado de un mal manejo de los recursos naturales por una excesiva presión por el hombre hacia la apertura de tierras para la agricultura y por un gran incremento de las tierras hacia la ganadería. Esto ha conducido que la resiliencia de la tierra haya rebasado su capacidad de autorecuperarse (Le Houérou, 2002).

Esta degradación de la tierra también llamada desertificación se ha presentado desde hace algunos miles de años en varias regiones del mundo, como ha sucedido en África, Asia, y la cuenca del Mediterráneo en Europa. En América del Norte, la degradación inició por lo menos desde hace dos siglos y en Australia desde hace 170 años. (Dregne, 2002, y Dodson, 2001).

Durante los últimos 5000 años, el clima en el mediterráneo se ha vuelto más seco, con un consecuente incremento en el riesgo de erosión del suelo. La actividad humana durante este periodo ha significado un factor negativo en la inestabilidad del suelo.

### **II.2.2 Paleoclimatología y civilización en el ecosistema mediterráneo**

Respecto a las características climáticas que imperaron en los tiempos de estas antiguas civilizaciones, ha habido infinidad de trabajos sobre la gran variabilidad climática que se ha registrado desde el gran cambio climático del Pleistoceno al Holoceno.

Se tiene bien documentado con datos proxy la forma de cómo ha evolucionado este cambio climático en lo que se conoce como la Cuenca del Mediterráneo en Europa.

Robertset al. (2001) analizan las características de las comunidades vegetales y el clima en las cinco regiones en donde se establecen ecosistemas tipo mediterráneo; Sudáfrica; Sur y Oeste de Australia; Cuenca del Mediterráneo y a lo largo de las Costas de California y Chile Central. Todas esta cinco regiones se establecen entre los 35° de latitud Norte y Sur. Las floras de todos los sitios son muy semejantes en su fisonomía y ecología, con hojas esclerófilas altamente susceptibles a incendiarse.

Los datos que ha aportado la palinología sobre las floras de estas cinco regiones, muestran ciertas diferencias respecto a la sucesión de algunos elementos del matorral esclerófilo, indicando que si bien se está de acuerdo en un cambio climático global del

Pleistoceno al Holoceno, la composición florística estudiada a través del polen muestra ciertas diferencias entre las cinco regiones, indicando significativos cambios climáticos. Por ejemplo en la Isla de Creta e Israel, que en la actualidad presentan un verano seco, se identificó polen que sugiere que a principios del Holoceno el verano era húmedo y lluvioso. Asimismo estos datos proxy en las muestras de polen analizadas, sugieren una fuerte tendencia en el cambio florístico influenciada por la actividad humana más que por el cambio climático (Roberts et al. 2001).

Los cambios en el paisaje fueron profundos por la intensa deforestación de las tierras para ser incorporadas a la agricultura, y a la ganadería con un intenso sobrepastoreo y la madera era usada para la construcción y como combustible (Williams et al. 1998). Estos mismos autores dicen que a estos cambios climáticos y sus efectos en el paisaje influenciados por la humanidad, hay que asociarlos con causas externas como la teoría de Milankovitch.

Mann et al. (2000) en una reconstrucción paleoclimática en los hemisferios norte y sur, utilizando redes neuronales de datos proxy, combinado con algunos pocos datos de instrumentos modernos, la reconstrucción temporal y espacial de eventos de El Niño/Oscilación del Sur, datos anuales, decadales y multidecadales, así como los efectos de eventos de volcanismo, reconstruye las diferentes fases de calentamientos y enfriamientos de los últimos 6 siglos y dicen que el incremento de temperaturas en el último siglo se puede deber a una probable influencia humana.

Los datos proxy revelan que en los últimos 30 años de 1961 a 1991, la temperatura se incrementó en el Hemisferio Norte en 0.2° C, el periodo más caliente en los últimos

1000 años, ya que se tiene documentado que en la Edad Media se presentó un periodo caliente, con un incremento de  $0.1^{\circ}\text{C}$  (Crowley, 2000 y Jones et al. 2001).

No obstante que ya se tiene un amplio conocimiento sobre la variabilidad climática, se necesitan una mayor cantidad de datos proxy, como los aportado por los ecosistemas de coral y los sedimentos marinos para conocer el comportamiento de las temperaturas, en otros casos se necesitan más réplicas de los datos proxy ya procesados ya que una gran cantidad de ambientes están cambiando rápidamente, es decir se están destruyendo o reduciendo los elementos que muestren esa gran variabilidad climática (Jones et al. 2001).

### **II.2.3 Uso del suelo y degradación de la tierra en el ecosistema mediterráneo de Norteamérica**

Respecto a estudios sobre el cambio climático del Pleistoceno al Holoceno en Norteamérica, también se tiene bien documentado con datos proxy, pero ha diferencia de lo ocurrido en la Cuenca de Mediterráneo respecto a una temprana ocupación del hombre, en Norteamérica ha sido diferente. Keeley (2002), dice que esta intensa ocupación se inició en la costa oeste y centro de California posiblemente en los inicios del Holoceno. Este autor aporta datos de posibles densidades de los antiguos pobladores de Norteamérica y afirma que aunque estos grupos no eran agricultores ni practicaban la ganadería como sucedió en la Cuenca del Mediterráneo, si tuvo consecuencias en el cambio de la composición florística del chaparral a través de la provocación de la quema de estas comunidades vegetales. Este autor no indica que estas tierras posteriormente fueron ocupadas por esos antiguos pobladores ya que eran principalmente cazadores recolectores.

En un punto de vista diferente al de Keeley sobre la degradación del ambiente mediterráneo en California, Larson (1994) hace una reconstrucción de las características climáticas a partir del inicio del periodo misional en la Alta California. Este autor no hace ninguna referencia a cambios drásticos en el paisaje por los nativos norteamericanos antes de la llegada de los primeros colonizadores europeos.

#### **II.2.4 Uso del suelo y degradación de la tierra en el ambiente mediterráneo en Baja California**

Respecto a la ocupación humana en Baja California, se tiene bastante información de la historia antigua de la península de Baja California, desde las primeras exploraciones de los españoles quienes consideraban a la península inicialmente una isla. Es posible que uno de los investigadores que más ha aportado la respecto es Miguel León Portilla, mediante una serie de publicaciones que hablan de la historiografía de las Californias (León-Portilla, 2000). Infortunadamente este prolífico historiador poco habla de los recursos que utilizaban los antiguos y nuevos pobladores de la península.

Uno de los pocos trabajos que aborda este tema es Minnich y Franco-Vizcaino (1998), quienes hicieron una reconstrucción de las comunidades vegetales en el mediterráneo de Baja California utilizando las crónicas de los exploradores y misioneros españoles y a través de esta información reconstruyen las posibles comunidades vegetales, así como los posibles eventos de incendios y vientos Santa Ana que vivieron los primeros pobladores europeos.

Otro trabajo que aporta gran cantidad de información respecto a las actividades agrícolas y ganaderas, así como las características climatológicas que se practicaban a fines del siglo XIX y principios el siglo XX fue Henderson (1964). Este autor describe y

analiza con bastante exactitud los escasos datos que se tenían para esas fechas de las condiciones que tuvieron que enfrentar los productores debido a recurrentes periodos sequía e inundaciones que en la actualidad se sabe están asociados a eventos de la Oscilación Decadal del Pacífico y El Niño/Oscilación del Sur. (Ver Capítulo VI. 3)

A la fecha no se tiene un inventario de tierras en proceso de degradación o desertificación, para el ambiente mediterráneo de Baja California, solamente se tiene registrado un posible evento de desertificación que se está presentado en San Quintín, valle agrícola de la zona costa del Pacífico a 250 km. de la ciudad de Tijuana, B.C. En este lugar se localiza un importante valle agrícola que para ser cultivado, depende en su totalidad de la extracción de aguas de acuíferos costeros, los cuales a la fecha están sobreexplotados con una alta intrusión salina de entre 2000 a 6000 ppm, al grado que varios campos agrícolas han sido abandonadas por los altos contenidos de sales que presenta el suelo, lo que se podría considerar como un proceso hacia la degradación de la tierra (CNA, 1995 y Venegas et al. 1997).

### **II.3 Concepto de Tierra su Evaluación y Aptitud territorial**

En la actualidad la demanda por el uso de la tierra para diferentes propósitos se ha incrementado por diversos motivos, uno de ellos, el aumento poblacional ya que para el año 2000 la población mundial alcanzó los 6.9 billones de habitantes con una tasa de crecimiento anual de 1.2 (ONU, 2001), y que este incremento se manifiesta más en países en desarrollo que en los desarrollados, debido a que en los primeros existe una gran presión por los recursos existentes debido que dependen en su totalidad de los recursos de la tierra para producir alimentos, obtener combustibles para el crecimiento de su economía, tierra disponible para la urbanización, recreación, conservación y todos los posibles usos que la sociedad necesita ya que la demanda siempre es mayor que los recursos disponibles para generar empleo y tener un buen nivel de vida (FAO, 1993; Agenda 21 Cap.10; OMAFRA, 1997; UN, 1997).

De acuerdo a la Agenda 21 (2000), La tierra se define como una entidad física, en términos de su topografía y naturaleza espacial; si se adopta una visión integral más amplia, incluye además los recursos naturales: los suelos, los minerales, el agua y la biota, estos componentes están organizados en ecosistemas que proporcionan una variedad de servicios indispensables para mantener la integridad de los sistemas sustentadores de la vida y la capacidad productiva del medio ambiente. Zonneveld (1979), dice que el concepto de tierra es sinónimo de Geobiocenosis y que la dinámica que soporta la geobiocenosis es el ecosistema.

La FAO (1976), define a la tierra como: el medio físico que incluye al clima, relieve, suelos, hidrología y la vegetación, además extiende su potencial para el uso de la tierra, incluyendo las actividades pasadas y presentes, las tierras ganadas al mar, así

como las tierras donde se eliminó la vegetación y todos sus resultados negativos, pero no incluye los aspectos económicos ni sociales. Por tanto la tierra debe ser considerada como un concepto más amplio que el suelo o un terreno *per se* (Rossiter, 2000).

Otra versión más reciente de la FAO (2001), es: “la tierra es una área de la superficie del globo terrestre que se puede delinear, abarcando todos los atributos de la biosfera inmediatamente por encima y por debajo de su superficie, incluyendo el clima en la zona cercana a la superficie, el suelo y las formas del terreno, la superficie hidrológica-incluyendo lagos poco profundos, ríos, humedales y pantanos, las capas sedimentarias cercanas a la superficie y las reservas de agua subterráneas asociadas a las mismas, las poblaciones de la flora y la fauna, las formas de colonización de la población humana y los resultados físicos de la actividad humana anterior y actual, terrazas, estructuras para reserva o drenaje de aguas, caminos, construcciones etc.”

En este mismo documento se da una amplia explicación de las múltiples funciones de la tierra (FAO, 2001).

La tierra es un recurso finito, mientras que los recursos naturales que la sustentan pueden variar con el tiempo y según las condiciones de su estado y los usos que se le asignen, conjuntamente con las crecientes necesidades humanas y el aumento de las actividades económicas provocan una presión cada vez mayor sobre los recursos de la tierra, suscitando la competencia y los conflictos entre los diferentes usos (UN, 1997).

### **II.3.1 La planeación de los usos de la tierra**

La decisión sobre el uso de la tierra ha sido una preocupación desde los inicios de la sociedad humana, los cambios en el uso de la tierra en el pasado fueron graduales y

las decisiones se tomaban por separado o aisladas unas de otras. Conforme la humanidad se expandió y se volvió más compleja se ha tenido la necesidad de empezar a planificar los usos de la tierra debido a que se empezó a manifestar mucha presión sobre una misma porción de la misma para ser utilizada para diferentes propósitos (FAO, 1976).

En el Capítulo II.1 se hace un análisis más extenso de la importancia que tiene la planeación en el uso de la tierra y que de acuerdo a la Agenda 21, es la principal estrategia que se debe de utilizar para asegurar el desarrollo sustentable para la utilización de los recursos existentes.

Bajo esta premisa un enfoque integrado de la planificación, con la gestión del medio físico y del uso de la tierra es una forma eminentemente práctica y lógica de mantener la productividad de la tierra, es decir analizando todos los usos de la tierra de manera integrada, se pueden reducir al mínimo los conflictos, obtener un equilibrio más eficaz y se puede vincular el desarrollo social y económico con la protección y el mejoramiento del medio ambiente, contribuyendo así a lograr los objetivos del desarrollo sostenible.

La esencia de este enfoque integrado consiste en coordinar las actividades sectoriales de planificación y gestión relacionadas con los diversos aspectos de la utilización y los recursos de la tierra (Agenda 21 Capítulo. 10).

En la actualidad los estudios para la asignación de los diferentes usos de la tierra, está sustentada en criterios científicos apoyados tanto en las ciencias de la tierra como en la aplicación de una serie de criterios que establece cada gobierno para definir los usos y en donde emplazarlos con el propósito de evitar conflictos entre los diferentes sectores, así como sus relaciones con otras actividades de acuerdo a calidad y cantidad de los

recursos naturales disponibles de tal forma que permita una mayor armonía entre las actividades productivas y la sociedad para evitar el deterioro, agotamiento y contaminación por ende a una baja en la calidad de vida de la población que irremediablemente será afectada por las malas decisiones que se hagan sobre los usos de la tierra (Lee y Kemp, 1997).

A la fecha la planificación de la tierra se practica tanto en países desarrollados como en los ahora llamados economías emergentes como una forma de solucionar los conflictos que surgen por usos que no son compatibles. La FAO (1993), dice que la planificación del uso de la tierra es un concepto que se ha ido desarrollando conforme se fueron detectando problemas de degradación, contaminación y pérdida de grandes superficies de suelo por erosión, contaminación o tierras ocupadas por los asentamientos humanos, aunadas a inadecuadas prácticas de manejo en agricultura, la eliminación de la cubierta vegetal y contaminación del agua y del suelo a tal grado que para 1997 se estimó que unas 300 millones de Has alrededor del mundo estaban severamente degradadas y que 1.2 billones equivalentes al 10 % de la superficie cubierta con vegetación está moderadamente degradada (UN, 1997).

Tomando en consideración lo antes expuesto, la evaluación de la tierra es solamente una parte de la planificación de la tierra (FAO, 1976), y que ésta evaluación surge como una respuesta por la gran presión del uso que se tiene en la actualidad al grado que ha provocado severos cambios, la mayoría de ellos negativos y en algunos casos irreversibles debido a los usos que en ella se practican, aunados a los cambios que la tierra por si misma presenta, como una respuesta a la presencia de los procesos

exógenos y endógenos que siempre están interactuando sobre el medio ambiente (FAO, 1976).

Por tanto siendo la evaluación de la tierra una parte de la planeación del uso de la tierra, ambas constituyen dos actividades concomitantes, las cuales se deben de llevar a cabo de forma secuencial, es decir hacer primero la evaluación y después planificar. De esta forma será posible tomar decisiones para el emplazamiento de los diferentes usos que la sociedad actual demanda como; localización de tierras de utilidad pública, uso agrícola, áreas comerciales, residenciales e industriales conservación de la vida silvestre y todos los demás usos que se requieran. Lo adecuado para cada sitio dependiendo de las relaciones de ese sitio con otras características del medio ambiente. De aquí que la tarea de la localización para hacer una decisión razonable, es un amplio campo donde diferentes aproximaciones resuelven diferentes problemas (Lee y Kemp, 1997).

Dentro de este contexto surgen otros conceptos como calidad de la tierra, la cual ha sido una preocupación de la Food and Agriculture Organization (FAO) desde su fundación en 1945, y para la década de los 70s, algunos países industrializados, como Estados Unidos, (Klingebiel y Montgomery, 1961), Canada (McTavish, 1998) e Inglaterra (Bibby y Mackney, 1969), habían desarrollado sistemas de clasificación de capacidad de uso del suelo y evaluación de la tierra, sin embargo la estandarización y evaluación de los resultados era difícil, sobre todo en los países subdesarrollados por la falta de información y de estaciones experimentales (FAO, 1996).

Ante este gran reto el Instituto Internacional para el Mejoramiento del Suelo, se coordinó con la FAO para desarrollar un proyecto conjunto cuyo resultado fue la

publicación del documento *A Framework for Land Evaluation* (1976), que sería la base para evaluar las condiciones en las cuales se encontraba el recurso suelo y poder aplicar medidas que tendieran a revertir serios problemas de degradación, contaminación y erosión.

En los años precedentes a ésta publicación, la FAO publicó varios documentos de trabajo (FAO, 1983 y 1985), que fueron aplicados por varios países y se comenzaron a generar experiencias de la aplicación de estos trabajos, el resultado, la preparación y publicación de un documento para la planeación del uso de la tierra "*Guidelines for land use planning* (1993)".

Antes de la publicación de este último documento de la FAO (1993), surgieron iniciativas para el estudio y evaluación de la degradación de la tierra por parte del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Este organismo en cooperación con la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (ISRIC) y la FAO crearon un programa llamado *Global of Assessment of the Status of the Human-Induce Soil Degradation* (GLASOD). El resultado de este programa de cooperación se presentó en el 14<sup>th</sup> Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo en Kioto en agosto de 1990 (Oldeman, et al. 1991).

Durante más de dos décadas previas a la publicación éstos documentos, los conceptos de: tierra, evaluación de la tierra, utilización de los tipos de tierra, calidad de la tierra, clasificación de la calidad de la tierra, aptitud de la tierra y procedimientos para la utilización de la tierra, fueron ampliamente discutidos y especificados, sin embargo en algunos círculos académicos el concepto de calidad de la tierra entendida como salud de la misma, fue ampliamente discutida. Precisamente estas discusiones promovieron

a una reunión que concluyó en la elaboración y publicación de, Los Indicadores de la Calidad de la Tierra y su Uso para la Agricultura Sostenible y el Desarrollo Rural (FAO, 1996).

### **II.3.2 Origen del concepto evaluación de la tierra**

Posiblemente las primeras aproximaciones formales y sistemáticas sobre evaluación de la tierra desde el punto de vista puramente físico, tuvieron su origen en los Estados Unidos de Norteamérica. En 1928 el científico de suelos H.H. Bennet a quien también se le conoce como El padre de la Conservación del Suelo publicó un libro "Soil Erosion, a National Menace, (citado por Helms, 1999).

Este científico del suelo ya manifestaba una gran preocupación por la pérdida del suelo por procesos de erosión y degradación en los Estados Unidos de Norteamérica. Preocupación que más tarde fue confirmada por los intensos procesos de erosión eólica que se presentaron en ese país en la década de los años treinta.

Se podría decir que lo que motivó el inicio de la evaluación de la tierra comenzó por la presencia de los drásticos eventos conocidos como "Dust Bowl", los cuales están ampliamente documentados como hechos históricos, efemérides, arte pictográfico, música, etc.

Este tipo de fenómenos se presentó en la década de los años treinta, en la región conocida como Great Plains, en los Estados Unidos de Norteamérica, cuando a raíz de la gran demanda y altos precios del trigo a nivel internacional, los agricultores norteamericanos comenzaron a cultivar una mayor cantidad de superficie, para ello tuvieron que eliminar la cubierta vegetal de las praderas, para incrementar sensiblemente el área cultivable.

Una consecuencia de este irracional incremento de la superficie cultivada, provocó la caída de los precios, por la gran producción que inundó el mercado y muchas tierras se abandonaron sin ser cosechadas, a esto se le anexó un periodo de sequía que inicio en 1932 y se prolongó por varios años a tal grado que dos tercios de la superficie de los Estados Unidos de Norteamérica sufrió intensos procesos de erosión eólica provocando lo que ahora se conoce como dust bowl, producto de la deforestación y roturación del suelo antes cubierto con praderas que evitaba que el viento levantara las partículas sueltas del suelo y provocar graves procesos de erosión eólica.

En la actualidad existe una gran cantidad de documentos que narran estos sucesos (Helms, 1992).

Estos grandes acontecimientos que ocurrieron en los Estados Unidos en esa década motivaron al Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) a instalar una gran red de estaciones de monitoreo de la erosión, eólica e hídrica. Para 1956 existían 700 parcelas experimentales y 500 cuencas bajo estudio que proporcionaron gran cantidad de información para desarrollar inicialmente lo que se conoce como Land Capability Clasificación (Klingebiel and Montgomery 1961), y que sirvieron más tarde para desarrollar la Ecuación Universal de pérdida de suelo, (USLE, por sus siglas en inglés Universal Soil Loss Erosion), desarrollada por Wischmeier y Smith en 1958.

En la Clasificación de la capacidad de la tierra (LCC) desarrollada por Klingebiel y Montgomery se propone 8 clases, que no han cambiado sustancialmente. Las clases se asignan de acuerdo a características físicas principalmente, como profundidad, textura, pedregosidad, permeabilidad, pendiente, drenaje, riesgo de erosión.

La primera clase no presenta ninguna restricción, las tres siguientes clases se pueden utilizar para la producción agrícola pero con ciertas restricciones, las tres siguientes presentan serias restricciones para este uso pero pueden ser utilizadas en forestería, ganadería y la última clase solamente para conservación por presentar serias restricciones de todo tipo.

Cada clase tiene subclases a excepción de la primera que no presenta ninguna restricción. (Klingebiel y Montgomery, 1961 y Helms, 1992).

En Inglaterra la han modificado reduciendo de ocho clases a siete, Bibby y Mackney (1969)

En la década de los sesenta, otro documento que marcó un parte aguas en el concepto de evaluación de la tierra, fue el libro publicado por Stewart (1968), quien coordinó un simposio llamado precisamente Land Evaluation, en el cual se exponen infinidad de trabajos, fruto de las experiencias que a esa fecha se habían desarrollado.

En esta reunión, Mabbutt (1968), señala que desde el siglo pasado se habían propuesto diferentes métodos para la evaluación de la tierra y que estos se pueden agrupar en tres grandes enfoques; genético, paisajístico y paramétrico.

El enfoque genético se desarrollo en el siglo XIX y trata de establecer las relaciones de las formaciones geológicas con las comunidades vegetales dando como resultado las llamadas regiones naturales.

El enfoque paisajístico o morfológico, se desarrolló en la década de los años treinta, el cual recibió un fuerte apoyo de la fotografía aérea. A diferencia de las regiones naturales que eran grandes extensiones, este enfoque define áreas más pequeñas ya que la fotografía aérea permite tener una mayor precisión en la delimitación de

unidades homogéneas.

El tercer enfoque, el paramétrico, es el más reciente y es totalmente cuantitativo ya que utiliza modelos de elevación de terreno e imágenes de satélite y se puede manipular con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Ortiz y Cuanalo, 1978).

Otros autores como Cendrero (1989), mencionan que todos los diferentes métodos que existen para hacer la evaluación de la tierra, se pueden agrupar en dos; Analíticos y sintéticos.

Los métodos analíticos consideran a la superficie de la tierra como resultado de la agrupación de una serie de elementos del medio ambiente, los cuales se representan con mapas temáticos como geología, clima y así sucesivamente, los cuales son evaluados en forma separada y después por medio de la sobreposición cartográfica se obtiene un mapa síntesis. El mejor representante de esta clase de métodos es McHarg (1992).

Los métodos sintéticos difieren sustancialmente de los analíticos ya que consideran a la superficie de la tierra como el resultado de los procesos naturales de la evolución de la tierra, dando como resultado el paisaje actual. Es el resultado de procesos dinámicos no estáticos. (Cendrero, 1989; Howard y Mitchell, 1980; Ortiz y Cuanalo, 1978; Forman y Godron, 1986; y Zinck, 1988).

Rossiter, (2000) hace una revisión de lo que hasta estas fechas se había hecho sobre los métodos y técnicas aplicados al estudio del suelo. Analiza los enfoques sintético y analítico y dice que no se puede utilizar un solo enfoque, en algún momento ambos se utilizan.

Mendoza y Bocco (1997) hacen una discusión sobre el estado del arte que guarda la

evaluación de la tierra, principalmente para nuestro país, solamente que estos autores se basan en aspectos físicos, dándole menor importancia a los aspectos económicos y sociales, se basan en el concepto de regionalización geomorfológica y consideran que esta regionalización es la que se debe utilizar para una correcta evaluación de la tierra, su análisis es puramente físico y están totalmente a favor de los métodos sintéticos.

Sin duda alguna que dentro de los métodos sintéticos, el geopedológico desarrollado por el Dr. Alfred Zinck (1988), es uno de los que más hace énfasis en la dinámica de los procesos geomorfológicos, desde una perspectiva regional, hasta el nivel de polipedón. Este método tiene la gran virtud de conjugar los conceptos dinámicos de la geomorfología, con los métodos y técnicas del levantamiento de suelos y su clasificación taxonómica de acuerdo al Soil Taxonomy.

El método está organizado en una estructura jerárquica de menor a mayor complejidad y comprende seis niveles en el siguiente orden:

**Geoestructura.** En este nivel se caracteriza una estructura geológica específica, su edad, naturaleza de las rocas y sus relaciones con las placas tectónicas. Se representa a escalas pequeñas de 1:1, 000,000

**Ambiente morfogenético.** Caracterizado por un amplio tipo de medio biofísico, originado y controlado por la geodinámica, la cual puede ser estructural, acumulativa, erosional, etc. Se representa a escalas pequeñas a medias, 1:500,000; 1:250,000

**Paisaje.** Grandes porciones de tierra caracterizadas por una repetición de relieves similares o disimilares. Se representan a escalas medias 1:50,000

**Relieve/modelado.** Está determinado por una combinación de topografía y estructura geológica por ejemplo cuesta, horst, dique, etc., o moldeada por condiciones

específicas morfoclimáticas o procesos morfogenéticos como glacis, terrazas deltas, etc. Se representan a escalas medias a grandes 1:50,000 y 1:20,000

Litología/facies. Se refiere a la naturaleza petrográfica de las rocas duras, por ejemplo; gneiss, calizas, etc., o naturaleza y origen de formaciones no consolidadas como aluviones, periglaciares, lacustre etc.

Forma del terreno o de la tierra. Se representa por tipos de geofomas de forma conspicua y caracterizada por una combinación de geometría y geodinámica.

Hasta aquí se han analizando diferentes enfoques de como ha evolucionado el concepto de evaluación de la tierra desde la perspectiva puramente física, basada en el recurso suelo.

### **II.3.3 Aportes de la FAO en la Evaluación de la Tierra**

Paralelos a estos enfoques de evaluación de la tierra con énfasis en sus características físicas, la FAO, desarrolló otros enfoques que contemplan aspectos de la ciencia del suelo, la climatología y agronomía; las zonas agroclimáticas y zonas agroecológicas (FAO, 1978 y 1993a).

Las zonas agroclimáticas han sido utilizadas en países en donde gran parte de la producción agrícola depende de la cantidad de agua de lluvia, dando como resultado la aplicación de una metodología que involucra datos disponibles de las estaciones climatológicas, selección de cultivos que sean capaces de crecer con mínimos volúmenes de lluvia de acuerdo a los registros de la precipitación media anual de cada región, cálculo de la evapotranspiración potencial, así como la cantidad de agua almacenada en el suelo después de las lluvias.

Este enfoque requiere de la utilización de los sistemas de información geográfica (SIG) y a través de modelos empíricos de regresión lineal, datos de las estaciones

climatológicas y modelos digitales de elevación del terreno, se hacen interpolaciones para definir espacial y temporalmente las zonas susceptibles de ser cultivadas con un mínimo de precipitación media de la estación lluviosa.

Otro gran aporte lo fue sin lugar a dudas el documento base de la FAO (1976) *A Framework for Land Evaluation*, es el que ha marcado la pauta sobre el cual otros investigadores han desarrollado propuestas de evaluación de la tierra. A continuación se definen conceptos que fueron utilizados por los científicos del suelo para el desarrollo de programas de cómputo que permitieron hacer más eficiente y cuantitativa la evaluación de la tierra, debido a que tiene la capacidad de manipular grandes volúmenes de información.

Los conceptos que la FAO (1976) define son:

**Evaluación de la tierra.** Está relacionada con el comportamiento de la tierra cuando es usada para propósitos específicos. Involucra la ejecución e interpretación de los estudios de clima, suelos, vegetación y otros aspectos de la tierra, de los requerimientos y de formas alternativas de uso. Puede ser considerada por su actividad presente, cambios en el uso de la tierra, en su estructura física y química, aunados a los cambios que se presentan por procesos naturales. Asimismo la evaluación de la tierra, toma en consideración la economía de las actividades propuestas, las consecuencias sociales que deriven de esos usos en la región y las consecuencias benéficas o adversas que provoquen al medio ambiente.

**Aptitud territorial o aptitud de la tierra.** Se refiere a lo adecuado o aptitud de un tipo de tierra para un uso específico. Se establecen cuatro clases de aptitud:

Clase 1, no presenta ninguna restricción para ser utilizada para un uso específico;

Clase 2, presenta alguna restricción;

Clase 3, restricciones más severas pero aún es factible su uso y;

Clase 4, presenta todo tipo de restricciones, tanto técnicas como económica para ser utilizadas bajo los usos actuales.

La definición de estos niveles de aptitud territorial o aptitud de la tierra, son lo que se deben de considerar en los planes y programas de ordenamiento del territorio.

**Categorías de la aptitud de la tierra:** Se refiere a un nivel de calidad dentro de lo apto o adecuado para cada tipo de tierra. La FAO propone cuatro categorías, en orden jerárquico son; Orden, Clase, Subclase y Unidad.

**Tipo de Utilización de la tierra (TUT):** Se refiere a una clase de tierra descrita o definida con alto grado de detalle para el mejor uso que sea posible asignarle o soportar. En cada evaluación de tierras, el analista debe escoger la combinación apta, considerando los objetivos y recursos de la evaluación.

La mayoría de las evaluaciones de tierra realizadas hasta la fecha bajo el marco general de la FAO (1976) se pueden clasificar como: (1) no espacial; (2) concepto estático de los recursos naturales y el contexto socioeconómico; (3) concepto estático de la aptitud de tierras; (4) basada en Cualidades de la Tierra; (5) aptitud expresada por restricciones físicas; (6) TUT homogéneos; (7) escala 1:20 000 a 250 000 con una área mínima de decisión de 4 a 250 ha, (8) aptitud de una sola área a la vez; (9) semicuantitativo; (10) empírico; (11) y a nivel de polipédón (Rossiter, 1996).

En cambio, lo ideal sería: un concepto espacial, lo dinámico de los recursos, concepto dinámico de la aptitud, la aptitud también expresada por la utilidad económica, aptitud

de áreas geográficamente relacionadas (o sea evaluación holística), lo más cuantitativo posible en función a los datos y experiencias disponibles (Rossiter, 1996a).

Para hacer una evaluación de la tierra y ser representada en un mapa a una escala definida se proponen tres niveles de aproximación; de reconocimiento, el cual es nivel de país o región, con escalas pequeñas de trabajo; semidetallado a nivel regional y escalas medias de trabajo y el detallado a nivel de proyecto, escalas grandes de edición de los mapas que muestren los diferentes tipo de TUT. Asimismo se tienen dos niveles de evaluación que se denominan cualitativo y cuantitativos (FAO, 1976).

En el primer nivel solamente se hace una adecuada evaluación de las características físicas de la tierra, mientras que la segunda se hace una evaluación económica y social de las actividades que se pretenden desarrollar, por ejemplo se pueden comparar dos actividades como la agricultura y la forestería, o dos sistemas de producción agrícola, los costos tanto económicos y sociales que tendrán que desarrollar él, o los proyectos que se hayan considerado (FAO, 1976).

Esta información deberá ser entregada a los responsables de definir o instrumentar los planes o proyectos para el país, región o localidad, es decir pasa a un nivel de planeación del uso de la tierra.

Después de algunas décadas de experiencia desde las primeras clasificaciones sistemáticas de tierras (Klingebiel y Montgomery 1961), y quince años después de la célebre publicación de la FAO sobre evaluación de la tierra (1976) y los Boletines que le precedieron (FAO, 1985; 1993a y 1993b). Rossiter (1996) dice que es pertinente hacer una evaluación de las mismas, o sea destacar los éxitos, aclarar los problemas, y mirar hacia los retos del futuro, de tal forma que la práctica de la evaluación de tierras

no se quede atrás de la necesidad de los usuarios de la tierra o planificadores del uso de la misma.

Otros autores hacen su propia interpretación de evaluación de la tierra, por ejemplo, van Diepen et al. (1991) define a la evaluación de la tierra como "todo método para explicar o predecir el potencial de uso de la tierra".

La planificación del uso de la tierra pretende mostrar una base lógica de lo que la tierra puede ofrecer al usuario, es decir, la evaluación es una herramienta para la planificación estratégica, ya que predice su comportamiento bajo usos determinados, en términos de beneficios, costos, y efectos ambientales (FAO, 1993), de aquí se deduce que sin usuarios que utilicen los resultados de estudios de evaluación de tierras, no tiene sentido realizarlos (Rossiter, 1996a).

### **II.3.4 Tendencias actuales en la evaluación de la tierra**

Una vez definida y discutida la gran aportación que ha hecho la FAO sobre el concepto de Evaluación de la tierra, otros científicos del suelo propusieron nuevos enfoques basados en el desarrollo de la informática para desarrollar sistemas de cómputo, los cuales tienen la capacidad de manejar una gran cantidad de información tanto cualitativa como cuantitativa en la evaluación de la tierra (Rossiter et al. 1995).

En este subcapítulo se analizan diferentes métodos y programas para hacer la evaluación de la tierra, casi todos ellos manifiestan una gran influencia del documento base de la FAO, (1976) A Framework for Land Evaluation, debido a la necesidad de hacer que la evaluaciones de la tierra física y económica sean cada vez más cuantitativas.

#### **Automatic Land Evaluation System (ALES)**

Un grupo de científicos del suelo del Departamento de Suelos, Cultivos y Ciencias

Atmosféricas de la Universidad de Cornell, empezaron a desarrollar un sistema de árbol de decisiones para la evaluación de tierras (Rossiter et al. 1995).

El encargado de dicho proyecto fue el Dr. D. Rossiter que en 1987 empieza a desarrollar un programa llamado Automatic Land Evaluation System (ALES) Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras (Rossiter et al. 1995).

Este sistema automatizado se propuso como objetivo hacer que los estudios de suelos y otros recursos asociados al concepto de tierra fueran más útiles para los responsables de tomar las decisiones sobre el uso de la tierra, pretendiendo ser el instrumento indispensable para la toma de decisiones por los responsables de la planificación del uso de la tierra.

A diferencia de otros sistemas que a esa fechas se habían desarrollado para áreas muy específicas y no eran aplicables a otras regiones, el mas notable se llamó LECS, (Rossiter et al. 1995), utilizado en Indonesia pero que solamente era aplicable para esa región, a diferencia de ALES se puede aplicar en cualquier lugar, en cualquier país desarrollado o subdesarrollado y las entidades evaluadas por el sistema son la unidades cartográficas es decir, se puede utilizar tanto a nivel regional o de reconocimiento o a nivel de proyecto de una parcela (Rossiter et al. 1995).

El esquema básico para el desarrollo de este sistema fue el documento base de la FAO (1976), A Framework for Land Evaluation y adopta los mismos niveles de aptitud tanto física como económica que la FAO propone.

El sistema está organizado en siete partes: (Rossiter et al. 1995)

1.- Un esquema para una base de conocimientos que describa los usos propuestos en términos físicos y económicos;

- 2.- Un esquema de base de datos que describa las áreas que estan siendo evaluadas;
- 3.- Un mecanismo de inferencia que relacione los dos anteriores. Con este mecanismo se calcula tanto la aptitud física como la aptitud económica de un grupo de unidades cartográficas, definidas un grupo de unidades de usos de la tierra propuestos;
- 4.- Facilidad de explicación que permite al que construye los modelos, entenderlos y afinarlos;
- 5.- Un modo de consulta que permite al usuario ocasional buscar información de cada uno de los usos de la tierra en forma sistemática;
- 6.- Un generador de informes (en la pantalla, en una impresora o en un archivo de disco, y
- 7.- Un módulo para importar/ exportar el cual permite el intercambio de datos con bases de datos externas, sistemas de información geográfico y hojas de cálculo. Este incluye una fase que se conecta con los Sistema de Información Geográfico (SIG).

ALES no es un sistema de información geográfico ya que no despliega mapas, pero puede aceptar archivos provenientes de éste y reclasificarlos.

Siguiendo con la secuencia de sistemas para la toma de decisiones, en la misma década que se desarrolló ALES, también se desarrollaron otros sistemas como Land Evaluation and Site Assessement Model (LESA).

Este sistema fue desarrollado y utilizado por el Natural Resources Conservation Service (NRCS) para evaluar las demandas de tierra aptas para la agricultura sobre las tierras no utilizadas para ese uso. El sistema se utiliza en todo el territorio de los Estados Unidos para la protección de las tierras dedicadas al cultivo. (LESA, 1997)

El sistema está integrado por seis componentes:

Los dos primeros se basan en las características físicas de la tierra, los cuatro siguientes se refieren: al tamaño del proyecto a evaluar; la disponibilidad del recurso agua; las tierras agrícolas y las no agrícolas circundantes a las que se van a evaluar.

Este sistema al igual que ALES, no es un sistema de información geográfico, aunque toma información de un SIG, para su manipulación se utilizan hojas de cálculo, utilizando una ponderación de 100 puntos para las tierras aptas y 0 puntos a las no deseables para ser utilizadas en agricultura.

Otro sistema de toma de decisiones se desarrolló en España en la década de los noventa, lo llamaron MicroLEIS. Sistema Integrado para la Transferencia de Datos y Evaluación Agro-ecológica de Tierras El sistema MicroLEIS es un software interactivo con información detallada para cualquier interesado en la investigación, planificación o enseñanza sobre el uso y manejo de los recursos naturales, con especial referencia a los suelos de regiones mediterráneas. Este sistema proporciona una herramienta ideal para la ordenación correcta y la interpretación práctica de datos sobre el uso y manejo de los suelos agrícolas (De la Rosa, 1992).

Sin duda el sistema que más trascendencia ha tenido es ALES, esta preferencia ha obligado a hacer críticas y comentarios de las bondades que ofrece el mismo.

Rossiter (1996b), hace una revisión y crítica los diferentes sistemas dando una amplia explicación de los enfoques, bondades y ventajas que representa la utilización de los sistemas que a esa fecha se habían propuesto.

En este trabajo Rossiter, propone la unificación de los diferentes enfoques y sistemas de evaluación de la tierra, para ello hace un análisis y discusión de los enfoques y tendencias de los diferentes sistemas hasta esa fecha propuestos.

Por último en la década de los noventa, con el gran desarrollo de la computación, la tecnología satelital y los sistemas de información geográfica (SIG), se ha avanzado enormemente en la aplicación de los métodos paramétricos y sintéticos no obstante que autores como Rossiter (1996b, 2000), hace una crítica a lo paramétrico y sintético para hacer la evaluación de los recursos naturales en forma rápida y precisa.

### **III MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron diferentes materiales, que se pueden agrupar en dos clases: analógicos y digitales, así como instrumentos de precisión tanto en campo como en gabinete.

#### **III.1 Materiales analógicos**

Los materiales analógicos provienen de la información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI):

Cartas Topográficas H11B13; I11D83 y H11B12. Escala 1:50,000

Fotografía aérea escala 1:70,000 de 1973 pancromática INEGI

Carta Geológica de Gastil et al. (1975). Escala 1:250,000

Carta de aguas superficiales y subterráneas escala 1:250,000 H11-2 y H11-3 INEGI

#### **III.2 Materiales digitales**

Modelos digitales de elevación de terreno (MDE) escala 1:50,000, INEGI, archivos H11B13; I11D83; I11D82 Y H11B12.

Cartografía Oficial digital del Estado de Baja California escala 1:50,000, producida por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Estado de Baja California, Datum NAD 27.

Imágenes de satélite IRS, del 16 de abril de 1997, en cuatro bandas, dos en visible y dos en infrarrojo cercano y medio, tamaño de píxel 20x20 metros.

Otros equipos y aparatos utilizados en gabinete y en campo fueron:

Un GPS Modelo Magellan 4000XL, con un margen de error de 12 metros;

Cartas de Color Munsell,

Una barrena pedológica de acero inoxidable para la delimitación de unidades geopedológicas y

Un estereoscopio de bolsillo Lietz 8179 Sokkihsa 3X.

En gabinete se utilizó un Estereoscopio de espejos Karl Zeis 2X y 8X.

Para la captura de la información analógica convertirla a formato digital tipo vector, se utilizó AUTOCAD 2000, posteriormente se exportó como DXF, para ser editados en MapInfo Versión 6. De ahí se volvió a exportar con extensión .mif hacia IDRISI Versión 32.2

Todos los demás archivo formato vector y raster capturados y manipulados en otras plataformas como AUTOCAD 2000 y MapInfo Versión 6 se manipularon en IDRISI Versión 32.2.

Por último los archivos generados en IDRISI, en formato vector y raster se exportaron con extensión BMP y/o TIFF, para ser editado en COREL DRAW Versión 9.

### **III.3 Metodología**

La planeación es el instrumento mediante la cual se coordinan esfuerzos de diferentes disciplinas, todas con el propósito de generar criterios que sirvan para proponer acciones que tengan como objetivo establecer políticas públicas para el cuidado, manejo, aprovechamiento y conservación de los recursos con los que cuenta una región sometida a un proceso de planeación regional.

Bajo esta premisa, en esta tesis se desarrolló una estrategia de investigación que contempla métodos de disciplinas de las ciencias de la tierra, socioeconómicas y computacionales.

A continuación se describen por separado los métodos y técnicas utilizados en cada una de estas disciplinas y su relación entre cada una de ellas.

### **De las Ciencias de la tierra**

La interpretación geomorfológica se hizo utilizando fotografía aérea en pancromático escala 1:70,000 de 1973; la geología de Gastil et al. (1975) y la cartografía geológica del mismo autor escala 1:250,000.

Método geopedológico (Zinck, 1988): sobre la base de la interpretación geomorfológica, se hizo el levantamiento geopedológico hasta el cuarto nivel Relieve/modelado.

Para la caracterización y definición de los dos primeros niveles taxonómicos; Geoestructura y Ambiente morfogenético, se utilizó la geología de Gastil et al. (1975) y la cartografía escala 1:250,000 de los mismos autores.

Para la definición del tercer nivel jerárquico en el método de Zinck paisaje geomorfológico, se utilizaron fotografías aéreas en pancromático, escalas 1:70,000 y 1:75,000, de 1973 y 1993 respectivamente. Modelos digitales de elevación de terreno del INEGI, escala 1:50,000 archivos H11B13, I11D83, I11D82 y H11B12, una imagen de satélite multiespectral IRS, de 1997 y tamaño de píxel de 20 metros.

El cuarto nivel taxonómico Relieve/modelado, se delimitó a través de fotointerpretación de la fotografía aérea escala 1:70,000, recorridos de campo y un posicionador satelitario.

### **Descripción de perfiles en campo:**

La localización de los perfiles se hizo con la ayuda del vuelo aerofotográfico escala 1:70,000, recorridos de campo y posicionador satelitario. En la descripción del sitio y el

muestreo de los perfiles en campo, se utilizó el Manual del United States Department of Agriculture (Schoeneberger et al., 1998, Field Book for Describing and Sampling Soils). Se exploraron y describieron 25 perfiles, a los cuales se les evaluó en campo, color en húmedo y en seco con la Tablas de Color Munsell, reacción a materia orgánica y nódulos de manganeso con peróxido de hidrógeno al 5 % y reacción a carbonatos con HCl 1N.

A los perfiles muestreados en campo, se les practicaron exámenes de laboratorio para determinar: textura por medio del método de Bouyoucos, previa digestión de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno al 5 %; pH relación 2:1 Cloruro de potasio; conductividad eléctrica en pasta de saturación y evaluación del extracto por medio del Puente de Winston; materia orgánica por digestión húmeda con dicromato de potasio. Para el cálculo de la capacidad de intercambio catiónico, se utilizó la fórmula  $C.C.I. = \Sigma \text{cationes} \times 100 / \% \text{ saturación de bases}$ ; bases intercambiables mediante extracto de saturación para determinar porcentaje de sodio intercambiable y relación de absorción de sodio.

Para la clasificación taxonómica de los suelos, se utilizó el (Key to Soil Taxonomy 1994).

Otra técnica utilizada durante el levantamiento geopedológico, fue la toma de muestras inalteradas para la preparación de láminas delgadas, las cuales fueron de gran utilidad para definir la presencia de suelos poligenéticos, así como los procesos que los formaron.

Las muestras de suelo colectadas, tenían que estar inalteradas y orientadas de acuerdo a su posición en el perfil de cada horizonte identificado. Una vez en laboratorio

se secaron al aire para su deshidratación con acetona, posteriormente impregnadas con resina sintética (Vespatol y endurecedor. Cristal MC40), para la preparación de láminas delgadas y posterior estudio de micromorfología y presencia de suelos poligenéticos.

Las láminas delgadas, se analizaron en microscopio petrográfico haciendo la descripción e interpretación de acuerdo a la propuesta de Bullock et al. (1985).

### **De las Ciencias Computacionales y Socioeconómicas**

En esta segunda estrategia se utilizaron diferentes métodos de las ciencias computacionales y socioeconómicas para la evaluación de la tierra y las tendencias socioeconómicas del sector primario (agricultura y ganadería principalmente) en función de los recursos disponibles; suelo, agua y población.

En la evaluación de la tierra, se utilizaron dos esquemas de la FAO (1976 y 1978). La primera (FAO, 1976) proporciona una evaluación física y económica de las unidades cartográficas y la segunda una zonificación agroclimática (FAO, 1978).

Para la definición espacial y temporal de las zonas agroclimáticas (ZAC) se utilizaron las bases de datos de las estaciones climatológicas del área a ser evaluada. En este caso fue la cuenca del Arroyo Guadalupe, en donde se localiza el valle de Ojos Negros, también se utilizaron los modelos digitales de elevación de terreno, escala 1:50,000 del INEGI.

Un problema a resolver en este enfoque fue el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP). Este problema se presenta porque la mayoría de las estaciones climatológicas del país y del estado de Baja California en particular, sólo capturan las temperaturas mínimas y máximas y las precipitaciones promedio del día. No se

capturan la precipitación horaria; cuando más la precipitación máxima en 24 horas, tampoco mide la radiación solar; velocidad de viento ni humedad relativa, que son algunas de las variables climatológicas que se requieren para el cálculo de la ETP. Este cálculo se hizo mediante la propuesta de Gómez (1999) quien propone el método de Papadakis para la cuantificación de la ETP, a través de la siguiente fórmula:

$$ETP = 5.625 (ea_{max} - ed),$$

donde  $ea_{max}$  es igual a la presión de vapor a saturación que corresponde a la temperatura máxima promedio,  $ed$  es igual a Presión de vapor actual. Este valor no se proporciona en los reportes meteorológicos, pero puede ser calculado a partir de la humedad relativa y la temperatura.

$$ed = ea \cdot t_{media} * HR_{media}/100$$

En esta tesis el cálculo de la presión de vapor se resolvió utilizando un modelo empírico desarrollado por Tejeda (1994) en ambiente MS DOS, mediante el cual es factible el cálculo del comportamiento horario de variables meteorológicas a partir de datos mensuales. Este modelo empírico permite simular valores de variables climatológicas que no son capturadas por las estaciones convencionales.

Una vez capturadas las otras variables climatológicas, se calculó la presión de vapor lo que permitió calcular la ETP utilizando el método de Papadakis para cada una de las estaciones climatológicas (siete en total). Para ello se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG, IDRISI Versión 32.2). La interpolación de las variables climatológicas se hizo mediante modelos de regresión simple y la utilización de modelos digitales de elevación del terreno (MDET).

Dentro del SIG se utilizaron los módulos de funciones algebraicas, estadísticos de regresión simple para construir modelos empíricos, permitiendo el cálculo y representación espacial y temporal de las siguientes variables: temperaturas: medias, mínimas y máximas anuales, precipitaciones medias anuales y las ETPs por temporada de lluvias (Noviembre-Abril) en todo el gradiente altitudinal. Esto permitió la definición de las zonas agroclimáticas y su representación espacial y temporal, utilizando el módulo CROSSTAB (IDRISI 32.2).

Para el desarrollo de la segunda estrategia en la evaluación de la tierra, se utilizó como base el método desarrollado por la FAO (A Framework for Land Evaluation, 1976), y el software ALES, (Automatic Land Evaluation System) Versión V4.65.

Para alimentar ALES, se utilizaron las unidades cartográficas de los suelos estudiados, así como las bases de datos de los análisis físicos y químicos, los insumos y costos de producción de los cultivos.

La otra gran vertiente se refiere a un análisis temporal de la evolución de la población económicamente activa y del producto interno bruto desde la década de los años cincuenta hasta el 2001, de la región de clima mediterráneo en donde se ubica la zona de estudio. Para ello se analizó la disponibilidad de los recursos naturales agua y suelo que sostienen la actividad económica del sector primario; agricultura y ganadería principalmente.

El análisis del estado que guarda el recurso agua en el estado, se hizo a través de la única fuente oficial, la Comisión Nacional del Agua, (CNA). Los documentos base fueron; Programa Estatal Hidráulico 1995-2000 y Programa Hidráulico de la Comisión Nacional del Agua 2002-2003. Fuera de estas fuentes no se localizaron estudios

referentes al status del recurso agua tanto superficial como subterránea.

Se analizó la disponibilidad de agua superficial o de escurrimientos en base a los datos de precipitación, haciendo énfasis en la gran variabilidad climática que existe en la región noroeste y su relación con los fenómenos meteorológicos de El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés). También se hizo lo mismo para las aguas subterráneas, se proporcionan datos del status que guardan todos los acuíferos costeros e intermontanos y el déficit que existe del volumen total.

Con relación al recurso suelo, se utilizaron los datos que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha capturado y actualizado de toda la superficie agrícola de la zona costa que es susceptible de cultivarse, ya sea como agricultura de riego o de temporal. Los cultivos utilizados en cada uno de los ciclos de siembra, las áreas cultivables, valor de la producción, los jornales utilizados en cada ciclo, los altibajos de la producción agropecuaria y su relación con los periodos recurrentes de sequía y humedad (ENOS y PDO).

Para el análisis del producto interno bruto (PIB) se utilizaron los datos de la Secretaría de Fomento Agropecuario del Gobierno Estatal, así como la base de datos del Banco de Información Estadística (BIE) del INEGI, desde 1993 al 2001.

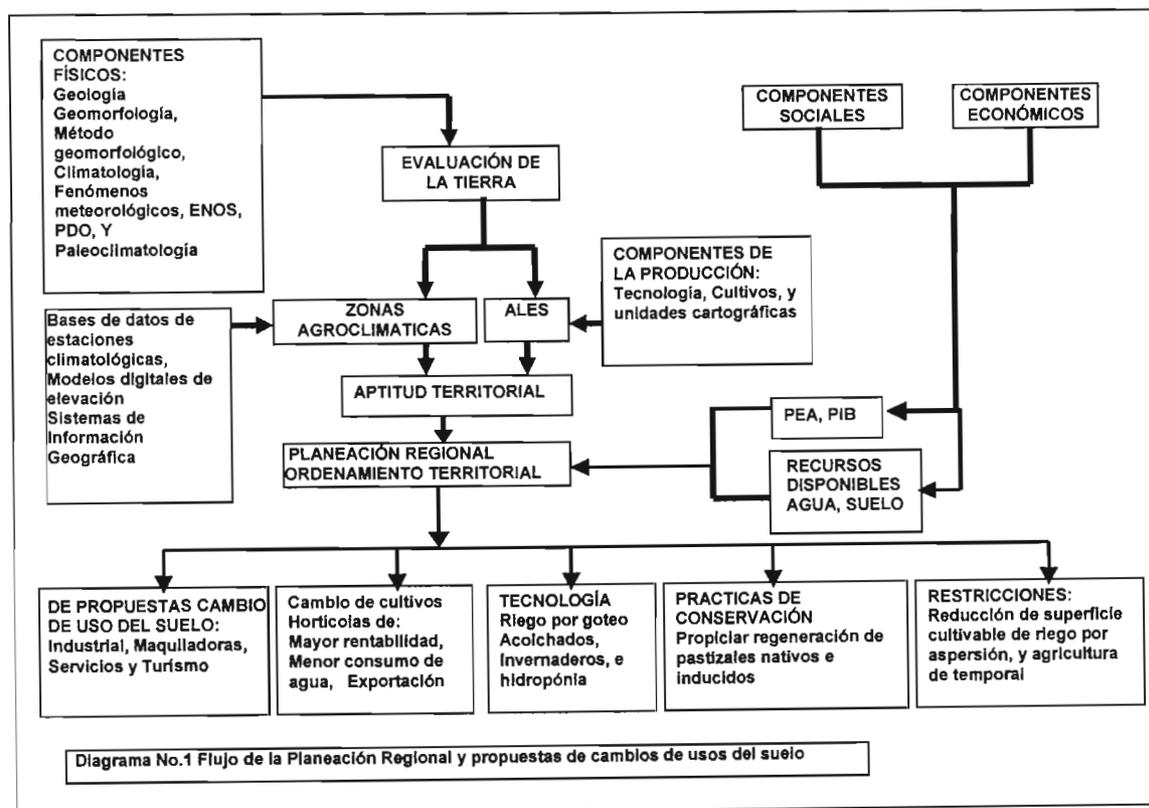
Una vez que se tuvieron estos datos, se analizó la población económicamente activa (PEA), desde la década de los años cincuenta, hasta el 2001. Asimismo la evolución del Producto interno Bruto (PIB), para el mismo periodo. Estos datos se analizaron para conocer la participación del sector primario (agricultura y ganadería básicamente) y

analizar el comportamiento del PIB y la PEA a escala estatal con los otros sectores de la economía; la industria y los servicios.

Los resultados de este trabajo de tesis se presentan de la siguiente forma:

Capítulo IV. Localización geográfica y factores ambientales; Capítulo V. Geomorfología y pedología; Capítulo VI. Características climatológicas; Capítulo VII. Evaluación de la tierra. Capítulo VIII. Actividades productivas en función de recursos agua y suelo y IX Discusión General.

El Diagrama No. 1, muestra la secuencia metodológica que se siguió para alcanzar los objetivos propuestos.



## **IV CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA**

### **IV.1 Localización Geográfica y Factores Ambientales**

El valle de Ojos Negros está localizado en el estado de Baja California, México, aproximadamente a 40 km al Este de Ensenada. Se llega a este valle por la carretera interestatal No. 3, Ensenada-San Felipe.

El principal arroyo es El Barbón que drena hacia el valle y éste a su vez es tributario del Arroyo Guadalupe, el cual drena hacia el Océano Pacífico en el lugar conocido como La Misión de San Miguel Arcángel aproximadamente a 50 km al norte de Ensenada, con coordenadas UTM X min. 555968; X max. 589944; Y min. 3516593 y Y max. 3548048 en NAD 27 (Coordenadas geográficas aproximadas  $31^{\circ} 52'$  y  $31^{\circ} 57'$  Latitud Norte y  $116^{\circ} 12'$  y  $116^{\circ} 19'$  Longitud Oeste). (Fig. No.1)

Presenta un clima semiárido, tipo mediterráneo, régimen de lluvias de invierno y verano seco, oscilación térmica extrema. La clasificación climática de Köppen, modificada por García (1981), es BSh(s)(e'), temperatura media anual  $18.7^{\circ}$  C. con máximas y mínimas extremas de  $52.8^{\circ}$  C y  $-14^{\circ}$ C, precipitación media anual 253 mm, y evapotranspiración potencial de 600 mm.

### **IV.2 Geología regional**

Respecto a su geología, el valle de Ojos Negros es una depresión de origen tectónico post miocénico, se formó por la caída de bloque debido a fuerzas de tensión entre dos fallas. Está rodeado de rocas prebatolíticas sometidas a un intenso metamorfismo regional que dieron origen a esquistos y gneiss, rocas ígneas intrusivas como tonalita, granodiorita, gabro y un complejo enjambre de diques de metarriolita, aplita y pegmatita

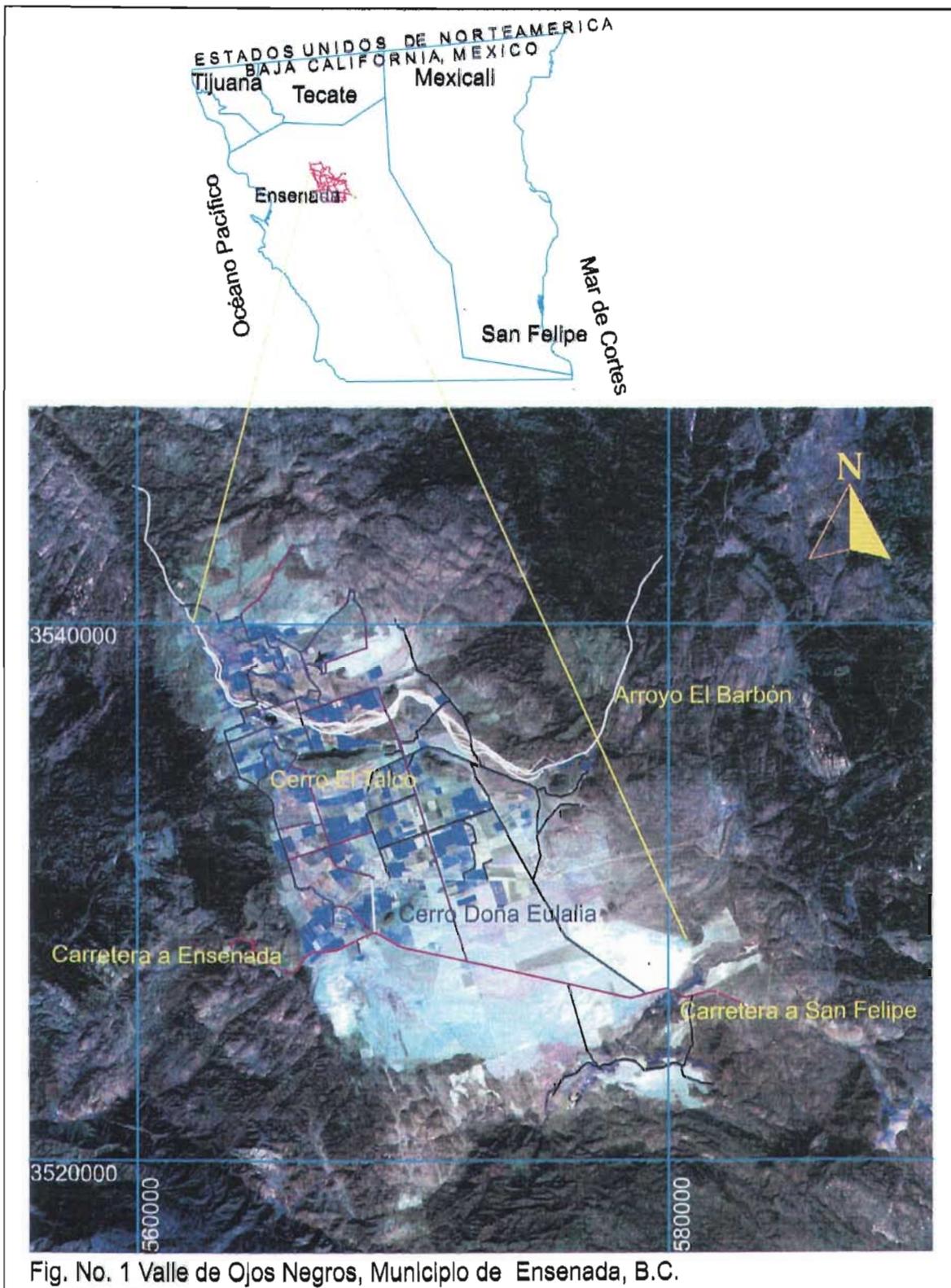


Fig. No. 1 Valle de Ojos Negros, Municipio de Ensenada, B.C.

Todas estas características dan origen a la estructura conocida como Bloque Ensenada (Gastil et al. 1975).

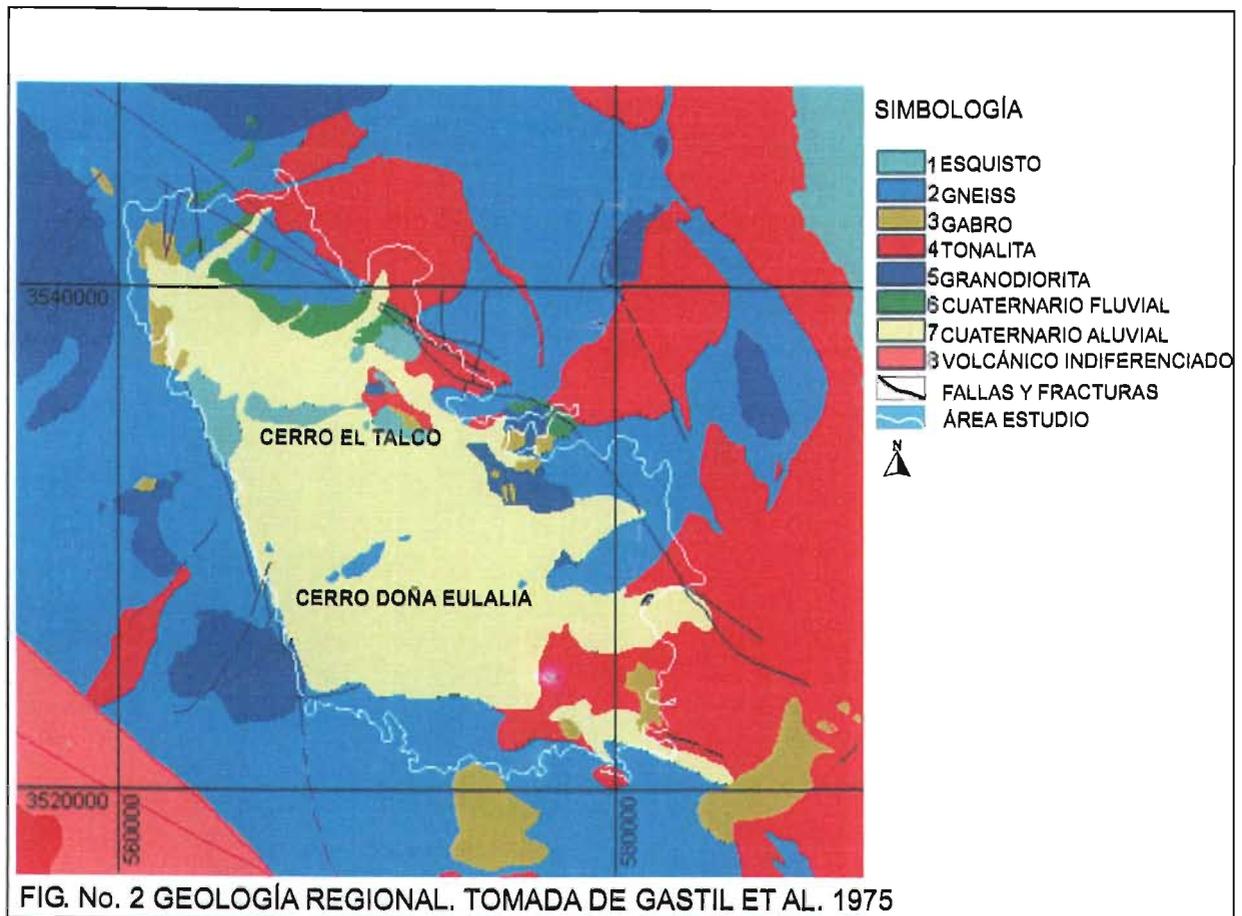
La estructura principal en el área es una falla de desplazamiento vertical con dirección NO-SE, forma un escarpe de aproximadamente 200 m de altura situada al O del valle. Una segunda falla localizada al NE del valle tiene una dirección aproximada NO-SE y se conecta con la primera falla al N. (Fig. No. 2)

Existen otras pequeñas fallas producto de las fuerzas de tensión de las dos primeras, éstas a su vez fueron provocadas por una estructura mayor, al sur del valle conocida como la falla de Agua Blanca con un rumbo O-E (Weege, 1976; Hatch, 1987).

La presencia de rocas metamórficas como el gneiss y los esquistos manifiestan un intenso metamorfismo regional. Los esquistos y gneiss provienen de rocas pellicas y parentales con metamorfismo regional y de contacto por varios eventos plutónico termales.

Los gneiss forman un cuerpo de 2.5 Km de largo, que se levanta 90 metros por encima del piso del valle en la porción sur-central llamada Cerro Doña Eulalia y se le conoce como inselberg, tiene una dirección SSW-NNE.

Respecto a los esquistos éstos son de tres tipos, el primero presenta una gradación entre albita-epidotita, facies de hornfels a facies de esquistos verdosos, éstos últimos forman la mayoría del escarpe de falla en el lado W, también se localizan al S y a lo largo de la porción central, así como al N y NE.



El segundo tipo de esquistos es un talco esquistos, producto de una alteración hidrotermal del primer esquistos. Este talco esquistos, forma una sierra de 100 metros de altitud y 5 km de largo en la porción norte del valle, conocido como cerro El Talco, también forma varios pequeños cerros sobre el lado NW con una dirección Este-Oeste. El tercer tipo de esquistos se presenta en un piedemonte en la parte NE del valle proviene de un tipo de roca sedimentaria débilmente metamorfoseada, la cual todavía muestra en muchos lugares las bandas de depósito de la roca parental de la cual proviene.

Además de estas rocas de origen metamórfico, en el valle se localizan cuatro tipos de rocas, todas ellas pertenecientes a la familia de los granitoides. La más antigua tonalita,

la cual forma pequeños cerros o colinas de alrededor de 50 metros de altura en la porción S al centro, también forma la mayoría de pequeños cerros en la porción SE y al NE del valle; en general la tonalita muestra un intenso intemperismo.

El segundo tipo de roca es la granodiorita, la cual se intrusionó después que la tonalita, este tipo de roca forma parte del escarpe de falla en el SE, también se localiza como una pequeña sierra con varios cerros en la porción E al centro del valle, y al NE.

El tercer tipo de roca ígnea, son los diques, de los cuales hay de tres tipos: (1) de metarriolita, (2) aplitas y (3) pegmatitas.

Los diques de metarriolita forman un impresionante enjambre hacia el lado NE del valle y al W a lo largo del escarpe de falla. Estos diques se localizan en otras partes del valle como diques sencillos o en pequeños grupos. Este enjambre de diques de metarriolita presenta una dirección N-S y son de edad Mesozoico.

Los diques de aplita y pegmatita se encuentran en todas direcciones y se intrusionaron posteriormente, pero durante el Mesozoico. Algunos diques son muy largos de más de 15 km de longitud y de más de 13 metros de ancho. Los diques de metarriolita son más comunes que los de aplita y estos a su vez son más comunes que los de pegmatita.

El cuarto tipo de roca ígnea es el gabro, el cual al parecer se intrusionó más tarde, formando tres cuerpos los cuales se alzan alrededor de 250 metros del piso del valle con una longitud mayor de 3 km en la porción SE del valle. Este tipo de roca se presenta en cuatro pequeños cerros y cinco diques con una dirección  $20^{\circ}$  grados NW, estos diques son verticales y se localizan hacia el Este y centro del valle y como pequeños cuerpos hacia el NW. Los gabros son fácilmente distinguibles en el campo por su color oscuro.

Al intenso periodo de intrusiones de los eventos descritos le siguió un periodo de intenso fallamiento provocando el fenómeno de la subsidencia o la caída del bloque que formó el valle. Las fuerzas que provocaron la formación del graben fueron probablemente causadas por las fuerzas de tensión por la presencia de la falla de Agua Blanca, la mayor falla al N del Estado de Baja California, que se localiza justo unos 30 Km. al sur del valle y de edad Terciario. (Gastil et al. 1975; Weege, 1976 y Hatch, 1987) Desde entonces el valle ha experimentado alteraciones hidrotermales de baja intensidad en las zonas de fractura de falla.

En épocas más recientes durante el Cuaternario, el valle ha experimentado otro tipo de intensos fenómenos, principalmente exógenos y ha recibido gran cantidad de sedimentos de origen aluvial, los cuales se sigue aportando hasta el presente.

### **IV.3 Fisiografía**

El valle de Ojos Negros está totalmente contenido dentro del área de la subcuenca del arroyo de Ojos Negros. Es una depresión natural rodeada de sierras de baja altitud con una superficie de 113 Km<sup>2</sup>. La elevación varía entre los 740 msnm, al Sur del valle y disminuye hasta los 665 m, en la salida del drenaje natural del arroyo El Barbón en el NO. La elevación media es de 700 msnm y las pendientes oscilan entre 0.0 al 4 % promedio, con una dirección E.-O y S-N. (Fig. No. 3)

### **IV.4 Comunidades bióticas**

En 1796, José Joaquín Arrillaga realizó un inventario de las especies vegetales presentes en el valle de Ojos Negros (Minnich y Franco-Vizcaino, 1998), indicando que

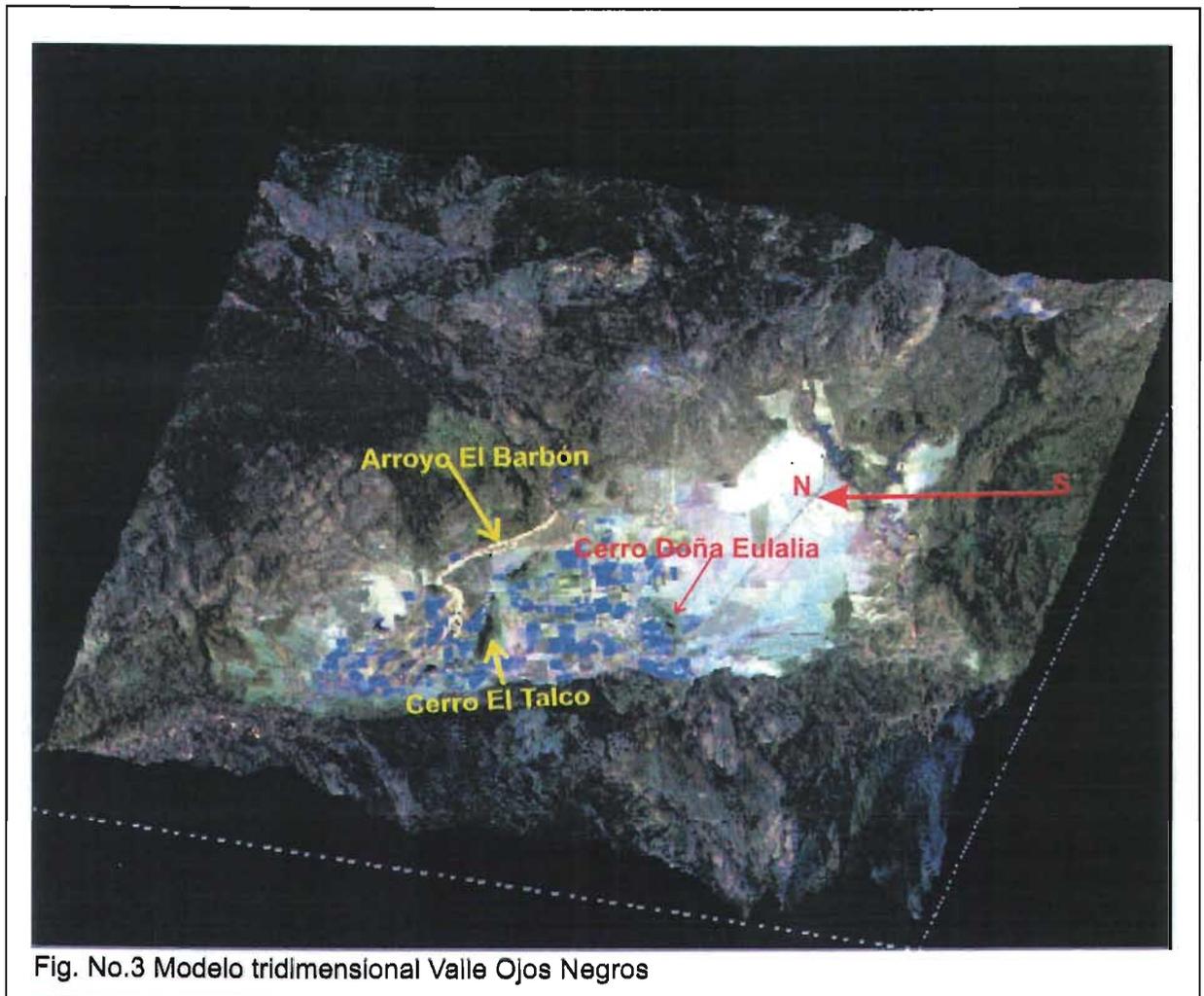


Fig. No.3 Modelo tridimensional Valle Ojos Negros

al noreste del valle existía un gran bosque de álamos, especie característica de los hábitats riparios. En su expedición por el valle de San Rafael, Arrillaga se impresionó por la abundancia de pastos altos y tules, Asimismo, indica que hacia el oeste del valle había un sumidero, aparentemente en referencia a las ciénagas que anteriormente existían en ese lugar. Descripción puntual que indicaba la presencia de cuerpos de agua o manto freático elevado.

Un mapa hecho por D. Raimundo en 1864 muestra la vegetación existente en Ojos Negros, comprobando los datos de Arrillaga (Minnich y Franco-Vizcaino, 1998). El

mapa indica la presencia de mezquite (*Prosopis glandulosa*) al noreste, así como humedales y el bosque de álamos (*Populus sp.*).

Nelson (1921, citado por Minnich y Franco-Vizcaino, 1998) da una descripción similar de la vegetación existente en el valle de Ojos Negros. Indica que el valle está cubierto por pastos y arbustos bajos y escasos y una mezcla de mezquites (*Prosopis glandulosa*), yucas (*Yucca schidigera*) y otras especies de zonas áridas. Actualmente estas áreas están cubiertas de pastos anuales introducidos como forraje, desplazando en gran parte la vegetación natural.

Una primera asociación florística la constituyen las especies riparias que abundan al extremo noreste del valle, tales como álamo (*Populus fremontii*), sauce (*Salix bonplandiana*), encino (*Quercus agrifolia*) y romerillo (*Baccharis glutinosa*). La vegetación contigua corresponde a chaparral de chamizo (*Adenostoma fasciculatum*) y huata (*Juniperus californica*).

Una segunda asociación comprende la porción mayor del arroyo El Barbón. Esta presenta especies riparias tales como *Baccharis glutinosa*, *Salix bonplandiana* y en forma aislada, algunos ejemplares de *Populus fremontii*. En esta zona no existe escurrimiento de agua superficial, salvo en grandes eventos de avenida y el cauce del arroyo se abre formando islas de vegetación.

Una tercera asociación se localiza en el extremo noroeste del valle, cerca de la boca del arroyo El Barbón. La vegetación es predominantemente chaparral de chamizo (*Adenostoma fasciculatum*), y la vegetación riparia está representada por especies de los géneros *Populus fremontii*, *Quercus agrifolia*, *Baccharis glutinosa* y *Artemisia*

*tridentata*. En los márgenes del arroyo se encuentran pastos de los géneros *Bromus sp.*  
Y *Eragrostis spicata*.

En la actualidad existen solamente dos ciénegas o humedales, están localizadas hacia el extremo noroeste del valle. Las especies propias de esta condición son *Juncus sp.*, *Typha dominguensis* y *Anemopsis californica*.

El chaparral se encuentra en las laderas que rodean al valle. Se presenta en altitudes que van desde los 100 hasta los 1300 msnm. (Delgadillo, 1992). Hacia la Sierra Juárez, al este del valle, se encuentran los bosques de coníferas. Algunas especies de chaparral que se presentan en la zona son jojoba (*Simmondsia chinensis*), canutillo (*Ephedra californica*), huata (*Juniperus californica*), chamizo (*Adenostoma fasciculatum*), valeriana (*Erigeron fasciculatum*), mezquite (*Prosopis juliflora*), palmilla (*Yucca schidigera*), y biznaga (*Ferocactus acanthodes*, *F. penninsularis*).

## **V GEOMORFOLOGÍA Y GEOPEDOLOGÍA**

En este capítulo se presentan y analizan los principales resultados de este trabajo.

En primer lugar se hizo una revisión e interpretación geomorfológica, posteriormente se utilizó el método geopedológico (Zinck, 1988) para definir los paisajes y las formas del relieve sobre las cuales se exploraron, analizaron y muestrearon los perfiles de suelos en el valle de Ojos Negros.

Debido a que durante el análisis y la interpretación de los procesos que se identificaron en el área de estudio, se tuvieron que preparar láminas delgadas y hacer análisis de micromorfología para definir la presencia de un proceso eólico antiguo o reciente y la presencia de suelos poligenéticos y la discusión sobre este capítulo

### **V.1 Interpretación geomorfológica**

Con base en los eventos de metamorfismo durante el Mesozoico que formaron el tipo de rocas, provocaron intrusión de diques, asimismo el intenso fallamiento contribuyó a formación del Golfo de California y el graben de Ojos Negros.

Esta subsidencia que se presentó durante el Mioceno-Plioceno, le continuaron otro tipo de eventos en la transición hacia el Pleistoceno con los periodos glaciares e interglaciares, así como procesos que se sucedieron con el cambio climático del Pleistoceno al Holoceno. Asimismo, durante todo este lapso se manifiestan intensos periodos de erosión y que han contribuido a la evolución del Valle de Ojos Negros.

En la actualidad esta dinámica se presenta parcialmente, metamorfismo de baja intensidad, procesos de erosión hídrica y el más reciente, erosión eólica, aunado a un incremento de temperaturas y la intensa actividad humana que ha provocado un grave desequilibrio hidrológico, continúan transformando el valle.

Respecto a la subsidencia, la caída del bloque no fue uniforme ya que en el extremo SO sobresalen varias estructuras, principalmente diques de metarriolita con dirección S-N. Actualmente están parcialmente cubiertas por arenas con proceso eólico reciente, mezcladas con minerales primarios producto del intemperismo de los diques. (Fig. No. 3)

En esta misma porción S pero hacia el E no se observan diques, posiblemente están cubiertos por el aluvión antiguo que ha estado nivelando el valle. Es una zona de depósitos recientes de origen aluvial y eólico que sobreyace a una facie aluvial antigua. Esta porción Sur presenta alturas máximas de 736 metros sobre el nivel del mar y hacia el N disminuyen hasta casi los 650 m.

Dentro de este gradiente altitudinal sobresalen estructuras llamadas inselbergs o montañas isla, la más prominente se localizan en la porción S y centro del valle, con dirección SO-NE, mide aproximadamente 2.5 Km. La roca principal es gneiss y localmente se conoce como Cerro Doña Eulalia. (Fig. No. 1, 2 y 3)

En el piedemonte de este cerro se desarrollan suelos rojos arcillosos mezclados con gravas angulosas de diferente diámetro en todo el perfil.

Aproximadamente a 5 km al N de este cerro se localiza otro inselberg, estructura cuya roca principal es talco-esquisto, de edad mesozoica, formada por proceso hidrotermal y altura máxima de 790 metros con dirección O-E, conocida como Cerro El Talco, tiene una longitud de 4 km. También en el piedemonte de este cerro se desarrollan suelos rojos arcillosos. (Ver Fig. No. 1 y 3)

En medio de estas dos estructuras (Cerro Doña Eulalia y el Talco) se localiza la fosa tectónica, la cual se ha estado nivelando por la acción de la erosión, el transporte y

depósito de los detritos hacia las partes bajas cuyas edades van desde el Terciario hasta el Holoceno. Estos detritos derivados principalmente de rocas graníticas se encuentran empacados en una matriz de limos y arcillas heredadas, con espesor máximo de 238 metros (Gastil et al. 1975; Weege, 1976; Beltrán, 1997). (Fig. No. 2)

El transporte y depósito de estos materiales en la depresión y el tiempo transcurrido ha propiciado la conformación de diferentes ambientes geomorfológicos, y que de acuerdo a su posición en el relieve se distinguen; bajadas, abanicos aluviales, planicies de acumulación de sedimentos aluviales, cauce fluvial, terrazas aluviales y estructuras residuales o montes islas.

La presencia de estas geoformas y su relación con el tipo de rocas y su grado de intemperismo han permitido la formación de suelos que van desde; arcillosos fuertemente desarrollados ricos en sodio, los rojos arcillosos muy desarrollados, ambos con horizontes Bt, suelos con muy pobre desarrollo pedogenético de origen aluvial presencia de materiales bien clasificados, otros suelos con gran cantidad de materiales mal clasificados en una matriz arcillosa y presencia de hierro amorfo, hasta suelos con un buen desarrollo pedogenético que han sido recurrentemente erosionados en los piedemonte que rodean al valle y depositados en las planicies de acumulación, dando origen a suelos poligenéticos y suelos con texturas medias a gruesas, hidromórficos y régimen de humedad xérico.

## **V.2 Método geopedológico (Zinck, 1988)**

En esta subcapítulo se presentan los resultados del levantamiento geopedológico hasta el cuarto nivel del método geopedológico de Zinck en el siguiente orden; geoestructura, ambiente morfogenético, paisaje y relieve/modelado. (Ver Tabla No.1)

## **Geoestructura**

La geoestructura principal es el batolito peninsular de edad mesozoico, caracterizado por un intenso fallamiento que finalmente provocó el desprendimiento de la península de Baja California del macizo continental y que en la actualidad presenta una tasa de desplazamiento de 5 cm al año (Elders et al. 1972).

La intensa actividad volcánica y el marcado fallamiento con la presencia de una gran estructura principal, la Falla de San Andrés, seguida de otras estructuras de menor dimensión la Falla de Agua Blanca con rumbo O-E, provocaron la caída del bloque que formó el graben de Ojos Negros.

## **Ambiente Morforogenético**

A los eventos en el Cretácico tardío le continuaron intensos periodos de erosión fluvial desde el Terciario y que en la actualidad se siguen presentando. El transporte de los detritos por movimientos gravitatorios e hídricos, así como la formación de arcillas derivados de rocas graníticas y metamórficas como esquistos, talco-esquisto y gneiss, y su transporte y depósito hacia las zonas bajas, han conformado ambientes erosivos, acumulativos y residuales mixtos, coluvio-aluviales.

En el presente, esta región continua presentando parcialmente la misma dinámica, ambientes de denudación y depósito provenientes de las partes altas de las sierras y estructuras circundantes, así como la erosión y degradación de perfiles fuertemente desarrollados posiblemente durante los periodos interglaciares del Cuaternario.

En la actualidad el Barbón, principal arroyo de la región que se localiza al N del cerro el Talco, deposita gran parte de su carga de sedimentos en la planicie de nivelación. Por lo general son gravas y arenas medias y finas de origen granítico, salvo cuando la

precipitación excede en mucho la media puede transportar bloques de diferente diámetro mal clasificados.

### **Paisajes**

Zinck (1988) dice que los niveles taxonómicos de; paisaje, relieve/modelado y geofoma (landform), están sujetos a incluir vocablos de otros autores. No obstante al poner en práctica esta sugerencia empiezan a surgir dudas e incongruencias, debido a que la nomenclatura que sugieren otros autores no está en el mismo nivel taxonómico, lo que dificulta ser congruente con un sistema de clasificación de estos tres niveles taxonómicos. Por ejemplo, combinar el sistema propuesto por Zinck, con el propuesto por Field Book for Describing and Sampling Soils, (Schoeneberger et al. 1998) surgen discrepancias referentes al uso de vocablos que no son aplicados a un mismo nivel taxonómico.

Bajo esta consideración se presenta una revisión que diferentes autores hacen referente a la utilización e incongruencias del uso de vocablos principalmente en el nivel taxonómico de paisaje en el método de Zinck, sobre; pedimento, glacis de erosión y piedemonte. En el mismo sentido la utilización de vocablos como; pediplano, peniplano, proceso de peniplanación y superficies planas.

### **Pedimento, piedemonte, glacis**

Un problema recurrente que se tiene respecto a la clasificación del tercer nivel taxonómico de paisaje, es la utilización de los vocablos pedimento, glacis y piedemonte. Esta discusión se inicia desde las descripciones de Gilber en 1877 (citado por Dohrenwend, 1994; Zhiju et al. 1999 y Phillips, 2002).

Lugo (1989) define al pedimento como una “superficie nivelada y débilmente inclinada (3-5 °) en la base de las elevaciones montañosas algunas veces cubiertas por capas finas de materiales no consolidados que con frecuencia se disponen de una superficie irregular escalonada con relictos de denudación y barrancos”.

Otros autores dicen que los pedimentos son las superficies de rocas duras al pie de la montaña que se continúan erosionando y que se conectan a la montaña a través de una ruptura de pendiente que se conoce como knick (nick) y hacia la base de la montaña se conecta de una forma poco notoria con una zona de acumulación de los detritos, formando un glacís aluvial al cual denominan bajada (Ternier y Ternier, 1960).

Los materiales que poco a poco se van acumulando en el nivel de base de la montaña van a conformar una forma aplanada del paisaje formando un pediplano en el cual puede haber formas del relieve antiguo como inselberg y monadnocks.

Un pedimento es un índice de estabilidad de la estructura que tiene un tiempo de duración relativamente largo, el cual es interrumpido por el cambio de nivel por un levantamiento tectónico o un cambio climático (Ternier y Ternier, 1960).

En lo que sí se ha llegado a un acuerdo, el pedimento se desarrolla sobre rocas duras a diferencia del glacís que se desarrolla sobre rocas blandas esquistosas, conglomerados y materiales de origen marino (Ternier y Ternier, 1960; Dohrenwend, 1994, y Obelander, 1997).

Ternier y Ternier (1960) prefieren utilizar el vocablo francés glacís, en lugar de pedimento para definir el mismo tipo de paisaje que se desarrolla bajo un clima árido o semiárido al pie de la montaña por erosión. Lugo (1989) define al glacís como una

“superficie inclinada de 1 a 5°, en sección transversal recta o ligeramente cóncava y con escasa disección vertical y erosión planar”.

Asimismo otros autores prefieren utilizar el vocablo piedemonte a la transición de las sierras y el nivel de base o el valle, no indican que corresponde al mismo nivel taxonómico, tampoco lo logran diferenciar claramente del pedimento. (Dohrenwend, 1994; Bourne y Twidale, 1998). Lugo (1989) define al piedemonte, como una “superficie marginal a las montañas de las que se distingue por una pendiente y alturas considerablemente menores” dice que existen varios términos que definen tipos específicos de piedemonte: Bajada, glacís, pedestal de las montañas y pedimento. García y Lugo (2004) dicen que el piedemonte, se presenta como un cambio brusco de la pendiente de una ladera montañosa hacia su base y pasa a un plano inclinado constituido por los materiales arrancados de las laderas por la acción de la gravedad, el agua, el viento, el hielo, y los depositan en el pie de la ladera.

Tomando en cuenta la definición de Lugo (1989) y García y Lugo (2004) en esta tesis se utilizó el vocablo piedemonte debido a que es el que menos dificultades o incongruencias presenta para la definición del tercer nivel taxonómico de paisaje. Asimismo, este piedemonte se subdivide dependiendo del proceso que lo formó, por erosión, por acumulación y mixto, por los materiales presentes y la condición climática actual.

### **Peniplano, pediplano y superficies planas**

Otro gran problema con el uso de estos vocablos que se presta a confusión es que varios autores lo usan indistintamente para una misma condición climática y el mismo

proceso, nivelación del relieve, a este proceso se le denomina indistintamente peniplanación.

De acuerdo con la definición de Lugo (1989) el peniplano es una estructura con débil desarrollo de lomas, en algunas partes casi plana, estructura erosiva que se forma por predominio absoluto de los procesos exógenos sobre los endógenos como resultado final de un gran ciclo de erosión. Esta definición es totalmente apegada al modelo de ciclo de erosión de Davis del cual más adelante se hará referencia.

El mismo autor define al pediplano, como una superficie nivelada ligeramente inclinada entre 3° a 5°. Es un paisaje de acumulación por acción de los arroyos que depositan su carga de sedimentos hasta llegar a la estabilización de la pendiente a través de una peniplanación, el cual es el último estadio que precede al pedimento.

Las diferencias que se pueden establecer principalmente entre peniplano y pediplano son; la magnitud, edad y proceso. Mientras que para el primero se dice que es una forma muy antigua de gran extensión y es el ciclo final de erosión, el pediplano se forma por erosión, se desarrolla bajo una condición climática de aridez o semiáridéz, a diferencia del peniplano que se desarrolla bajo el dominio de climas mucho más húmedos. Ambos corresponden a niveles taxonómicos equivalentes, desarrollados bajo diferentes condiciones climáticas. Ternier y Ternier (1960) dicen que un pediplano semeja una planicie pero conserva los rasgos característicos del relieve del cual ha evolucionado, por tanto presenta un aspecto de ondulamiento.

Bognar (2001) revisa lo que él considera las cinco teorías más recurrentes utilizadas por los geomorfólogos; Davis, 1899; Penck, 1924; Markov, 1948; Gerasimov y Meshcheriakov, 1970 y King, 1962 (todos citados por Bognar, 2001) Este autor critica el

modelo del ciclo de erosión de Davis, lo contrasta con los otros autores ya que de acuerdo con Davis, el peniplano es el último estadio de la evolución del paisaje, lo cual casi todos los autores están de acuerdo, pero en lo que no coinciden es en la forma en que se llega a este último estadio de la nivelación ya que el peniplano puede evolucionar si se presentan otros procesos como subsidencia, isostasia o tectonismo (Phillips, 2002). Este autor dice que el peniplano es uno de muchos posibles estadios o modos de la evolución del paisaje.

El grado de confusión con la utilización de diversos nombres para el mismo nivel taxonómico de paisaje, ha propiciado que algunos autores hayan propuesto diferentes vocablos como; peneplains, pediplains, panplains, etchplains, exhumed plains, paleoplains y planicies de nivel de base (Baker, 1986 y Zhiju et al. 1999). Phillips (2002) sugiere que para evitar discrepancias en la utilización de un vocablo sería preferible denominar a estas estructuras como superficies planas, aplanadas o planicies de nivel de base, que es una tendencia en algunos autores y se refiere a todas las formas del paisaje con un dominio del proceso de acumulación, sin dejar de presentar procesos de erosión

En el valle de Ojos Negros se identificaron cuatro tipos de paisajes; Lomeríos, Piedemonte, Planicie de nivel de base y Valle fluvial. (Fig. 4 Paisajes, Fig. No 5 Mapa Geopedológico y Tabla No. 1 Leyenda Geopedológica)

### **Lomeríos**

Son relieves que conectan a las sierras o montañas con el piedemonte, su característica principal es denudativa, aportadoras de derrubios y detritos a los piedemontes, planicies de nivel de base y valles fluviales. Los lomeríos se localizan

alrededor de la fosa tectónica, con la exposición de materiales, metamórficos, gneiss, esquisto y diques metarriolíticos, todos ellos muy intemperizados. Las estructuras o relictos más prominentes dentro de los lomeríos son los inselbergs. En la porción sur hay lomeríos en forma de crestas longitudinales formadas por diques de metarriolita y crestas residuales sobre granitos y gneiss en el extremo oeste. (Fig. No. 5)

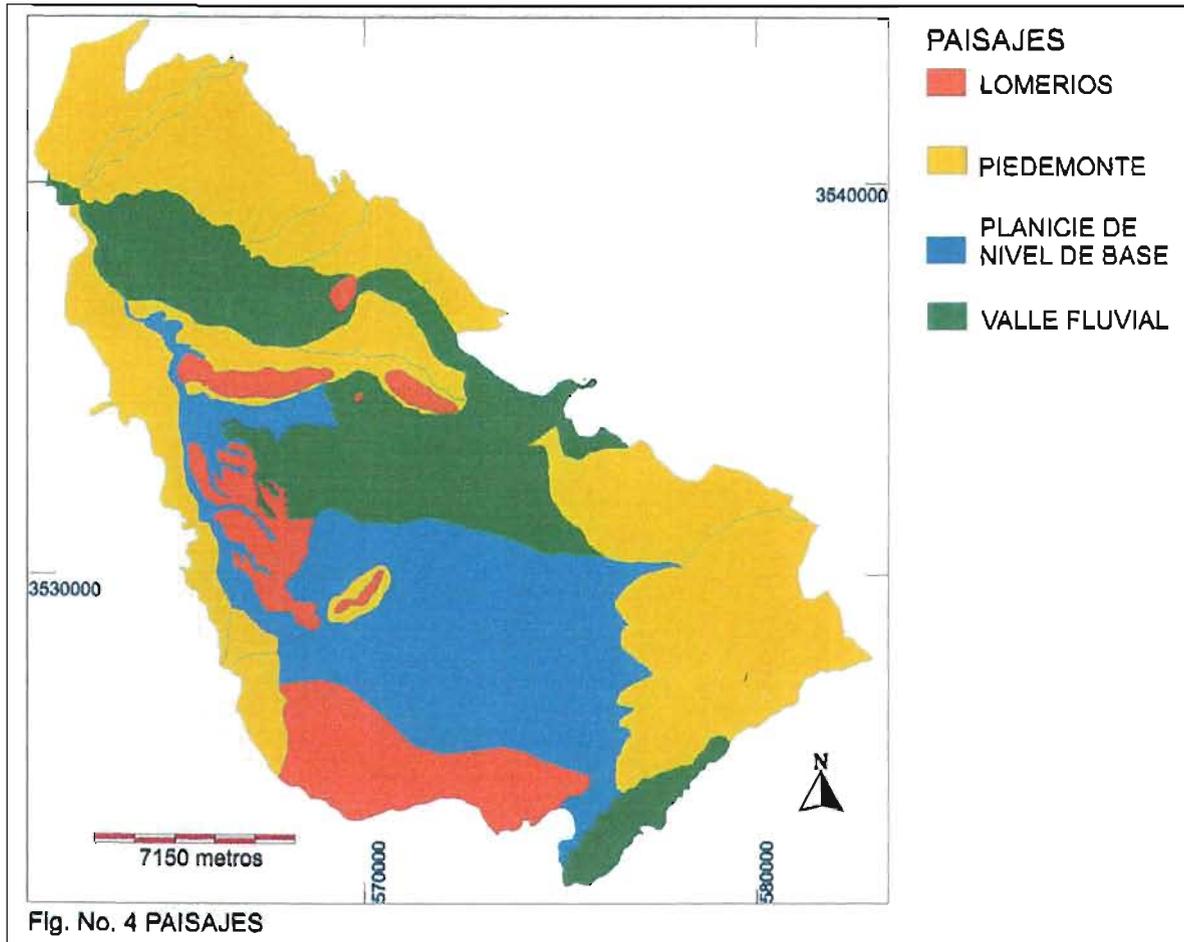
Se distinguen tres unidades de relieve en este paisaje.

**A. Inselberg de esquisto gneiss y gabro.** Estas unidades no presentan desarrollo de un perfil pedogenético, solamente depósitos someros producto del intemperismo. Son unidades sin suelo, denominados como misceláneos rocosos. Este relieve constantemente está produciendo detritos y derrubios hacia el piedemonte. Las estructuras más prominentes de los inselbergs son los cerros; Doña Eulalia y el Talco, ambos con escasa cubierta vegetal y fácilmente erosionables. Los otros pequeños cerros de gabro y gneiss, presentan las mismas características, escasa cubierta vegetal, altamente intemperizados y aportadores de detritos hacia las partes bajas. (Fig. No. 5 y 6-A)

**B. Crestas longitudinales.** Se localizan al SO del valle formando lomeríos sobre diques de metarriolita, altamente intemperizados, produciendo depósitos arenosos, los cuales se han mezclado con materiales finos con procesos eólicos recientes, formando suelos con un pobre desarrollo pedogenético característicos de zonas áridas y semiáridas con una asociación de suelos Xerorthents - Xeropsamments. (Fig. No. 5 y 6-A)

GEOESTRUCTURA	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	PAISAJE	RELIEVE/MODELADO	LITOLOGÍA	SUELOS	SUPERFICIE EN HA.
GEOESTRUCTURA	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	LOMERIOS	INSELBERGS A	ESQUISTOS, GNEISS Y GABRO	MISCELÁNEO* ROCOSO	455
			CRESTAS LONGITUDINALES B	DIQUES DE METARRIOLITA	XERORTHENTS- XEROPSAMMENTS	1627
			CRESTAS RESIDUALES C	GRANITO Y GNEISS	XEROCHREPTS- XEROPSAMMENTS	673
		PIEDEMONTE	GLACIS DE EROSIÓN D-a	GNEISS Y TONALITA	XERORTHENTS- XEROPSAMMENTS	2477
			GLACIS DE EROSIÓN D-b	GNEISS Y CUATERNARIO EÓLICO	XEROPSAMMENTS- XERORTHENTS	339
			GLACIS DE EROSIÓN D-c	TONALITA Y GABRO	XERORTHENTS- XEROPSAMMENTS	1047
			GLACIS DE EROSIÓN D-d	GNEISS- GRANODIORITA Y GABRO	XERORTHENTS- XEROPSAMMENTS	4025
			ABANICO ALUVIAL DE INSELBERG E	GNEISS-ESQUISTO- TALCO ESQUISTO	RHODOXERALFS- XEROCHREPTS	672
			ABANICO ALUVIAL F-a	GNEISS- GRANODIORITA	XEROCHREPTS- XEROPSAMMENTS	1084
			ABANICO ALUVIAL F-b	DIQUES DE METARRIOLITA- CUATERNARIO ALUVIAL	XEROPSAMMENTS- XERORTHENTS	300
			ABANICO ALUVIAL F-c	DEPÓSITOS DETRÍTICOS DE ORIGEN GRANÍTICO	NATRIXERALFS	127
		PLANICIE DE NIVEL DE BASE	LLANURA FLUVIAL- LACUSTRE G	DEPÓSITOS ALUVIALES Y LACUSTRES	XEROCHREPTS- XEROFUVENTS	1635
			LLANURA FLUVIAL- EÓLICA H	DEPÓSITOS ALUVIALES Y EÓLICOS	XERARENTS- HAPLOXERALFS	3836
		VALLE FLUVIAL	TERRAZAS ALUVIALES I	DEPÓSITOS ALUVIALES	XEROPSAMMENTS- XERORTHENTS	4152
			LLANERA DE INUNDACIÓN J	DEPÓSITOS ALUVIALES	FLUVAQUENTS	476
CAUCE FLUVIAL K	DEPÓSITOS ALUVIALES		MISCELÁNEO GRAVOS-ARENOSO *	502		

TABLA No. 1 LEYENDA MORFOPEDEOLÓGICA, VALLE DE OJOS NEGROS \*UNIDADES SIN SUELO



**C. Crestas residuales.** Se componen de lomeríos bajos, de forma convexa y altura no mayor de 20 metros, pendiente entre 2 y 5%. Presentan gran cantidad de materiales altamente intemperizados de origen granítico, texturas medias a gruesas, con abundantes de micas, colores pardos amarillentos, pobres en materia orgánica, epipedón ócrico, bastante duros, profundos, pobre reacción al HCl, los horizontes subsuperficiales no presentan signos de desarrollo pedogenético. Están representados por la asociación de suelos Xerochrepts-Xerorthents. Las zonas bajas de estos lomeríos presentan características fluvénticas.

Aquí se exploraron los perfiles 4 y 5, presentan epipedon ócrico, texturas medias a gruesas, sin horizontes B bien formados, pero invariablemente la presencia de horizontes BA y BC, reacción ligera o sin reacción al HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Se clasifican como Dystric Xeropsamment. (Fig. No.5-C y 6-C)

### **Piedemonte**

Este paisaje agrupa a los relieves al pie de las elevaciones con procesos de erosión, acumulación y mixtos. Los materiales estudiados muestran gran heterogeneidad en los procesos pedogenéticos. Se han identificado procesos antiguos posiblemente desde el Plioceno, hasta los recientes a partir del cambio climático de Pleistoceno al Holoceno.

En general son suelos que se localizan en pendientes entre 5 y 10%, la mayoría de los materiales son metamórficos del Mesozoico, volcánico indiferenciado, granitos, gneiss, esquistos y diques de gabro.

De acuerdo con los materiales sobre los que han evolucionado, se separan 3 tipos de piedemonte, aquellos desarrollados en la base de los inselbergs, muy angostos como resultado de un retroceso erosivo. Los piedemonte ubicados al norte al pie de una falla y formados a partir del arrastre de aluviones de esquistos y tonalita en una posición depresiva, posiblemente por basculamiento tectónico. Y por último los piedemontes en la porción oeste en la base de la falla principal, dando origen a relieves en forma de abanicos con aluvión proveniente de esquistos y gneiss.

Los perfiles estudiados en este paisaje manifiestan una gran complejidad en su desarrollo pedogenético. Los hay desde los que presentan texturas muy arcillosas, fuertemente desarrollados con horizontes Bt nátrico, sobre derrubios y detritos graníticos de edad posiblemente Plioceno-Pleistoceno. Otros perfiles profundos sobre

gneiss y esquistos con horizontes Bt rojos, muy desarrollados presencia de arcilla de neoformación, posible edad del Pleistoceno, hasta perfiles con incipiente desarrollo pedogenético, texturas gruesas en una matriz con gran cantidad de cantos rodados, mal clasificados, arcillas heredadas, hierro amorfo y poco profundos, proceso dominante coluvio-aluvial. Edad posible Pleistoceno-Holoceno.

En este paisaje se definen 3 relieves: glacis de erosión, abanico aluvial de inselberg y abanico aluvial.

**D. Glacis de erosión.** Es la unidad más ampliamente distribuida en la zona en estudio, cubre 7889 ha y se ubica en la porción N y E de la zona en estudio, iniciando en la base de las elevaciones que circundan el graben. Se separan 4 subunidades con cierto rango de variación. Los suelos de esta unidad se ubicaron en la asociación Xerorthents - Xeropsamments. (Fig. No. 5 D-a y 6-D)

a. – Este glacis de erosión se localiza al N del valle y del arroyo El Barbón, sobre el piedemonte de las elevaciones que delimitan al valle hacia el N, separado de la base de la sierra por la segunda falla dirección SE-NO. Este relieve es bastante heterogéneo, caracterizado por un intenso proceso de erosión hídrica, con la presencia de canalillos de regular profundidad, sin llegar a cárcavas, gran cantidad cantos rodados de diferentes diámetros, mal clasificados, en una matriz de arenas y limos, hierro amorfo, colores pardos rojizos a rojos. (Fig. No. 5 D-a y 6-D)

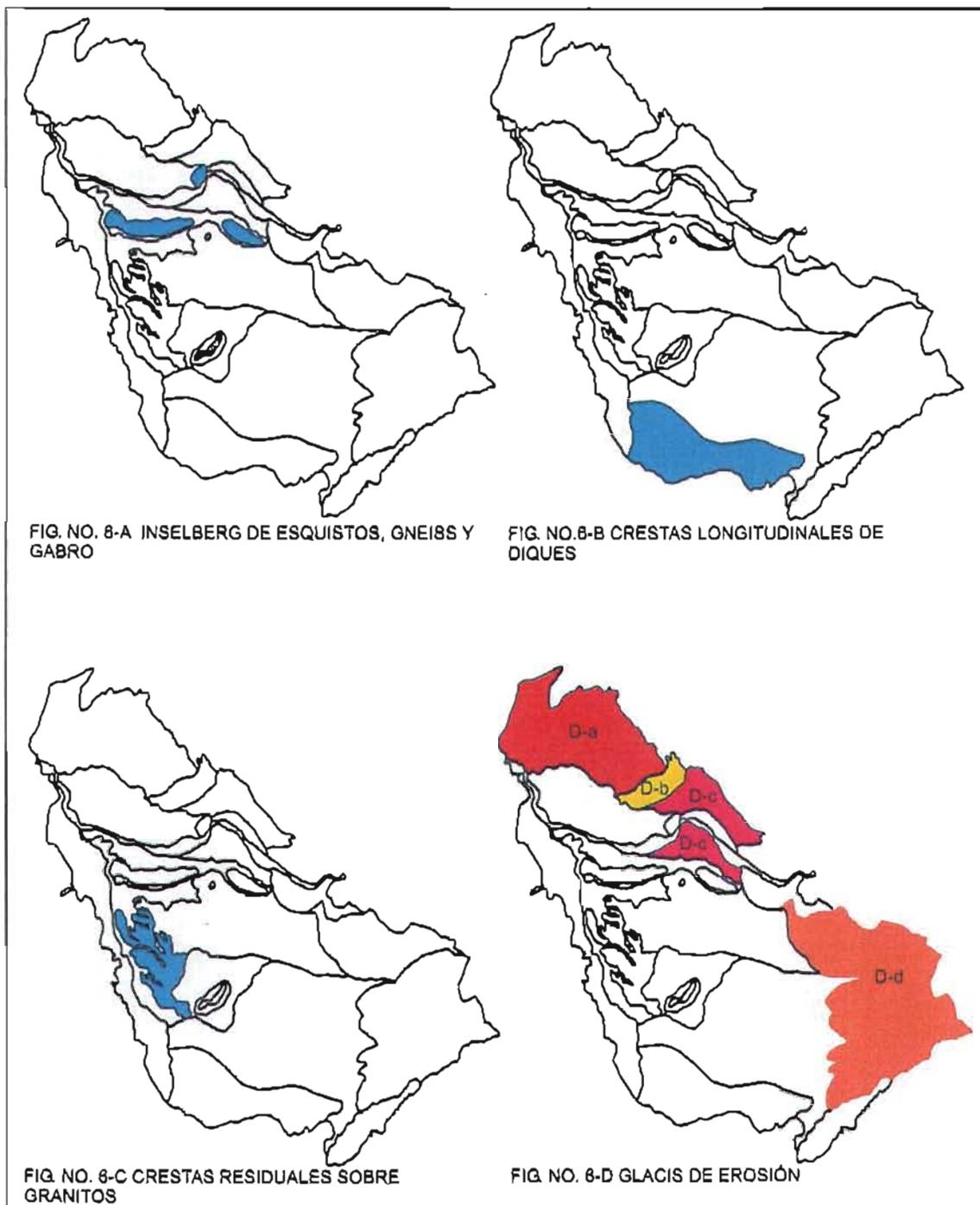
b. – El segundo glacis de erosión, igualmente con características heterogéneas. En la actualidad este relieve presenta un proceso acumulativo de origen eólico, muy intenso sobre esquistos, esta dinámica se manifiesta por la presencia de remolinos provocando inestabilidad de la capa límite de la atmósfera, fenómeno muy local que ha promovido

el transporte, redistribución y depósito de partículas del orden de los limos y arenas finas sobre este relieve. (Fig. No. 5 D-b y 6-D)

c. – El tercer glacis de erosión sobre esquistos y tonalita se localiza hacia el E del valle, limitado por la segunda falla más importante, dirección SE-NO, sepultado parcialmente por terrazas aluviales y el arroyo El Barbón. Este relieve vuelve a emerger al sur del arroyo. Presenta materiales altamente intemperizados, rango de pendientes del 3 al 5%, muy someros, sin ningún rasgo de desarrollo del perfil. (Fig. No. 5 D-c y 6-D)

d. – El último glacis de erosión se localizada al SE del valle. La forma de este relieve aún conserva algunos rasgos de un antiguo abanico aluvial bastante degradado que aportó la mayor parte de los materiales que nivelaron el graben localizado entre los cerros El Talco y Doña Eulalia, así como en la porción Sur. En este relieve se manifiesta la presencia de materiales altamente intemperizados de granodioritas, tonalita, gneiss y gabro, suelos poco o nada desarrollados, colores grises claros, texturas arenosas, epipedon ócrico, muy someros. Posiblemente durante el Pleistoceno, sobre este relieve se formaron cíclicamente perfiles con horizontes Bt rojos, los cuales recurrentemente fueron erosionados por intensos periodos de aluvionamiento durante los periodos interglaciares y depositados en la planicie de nivel de base. (Fig. No. 5 D-d y 6-D)





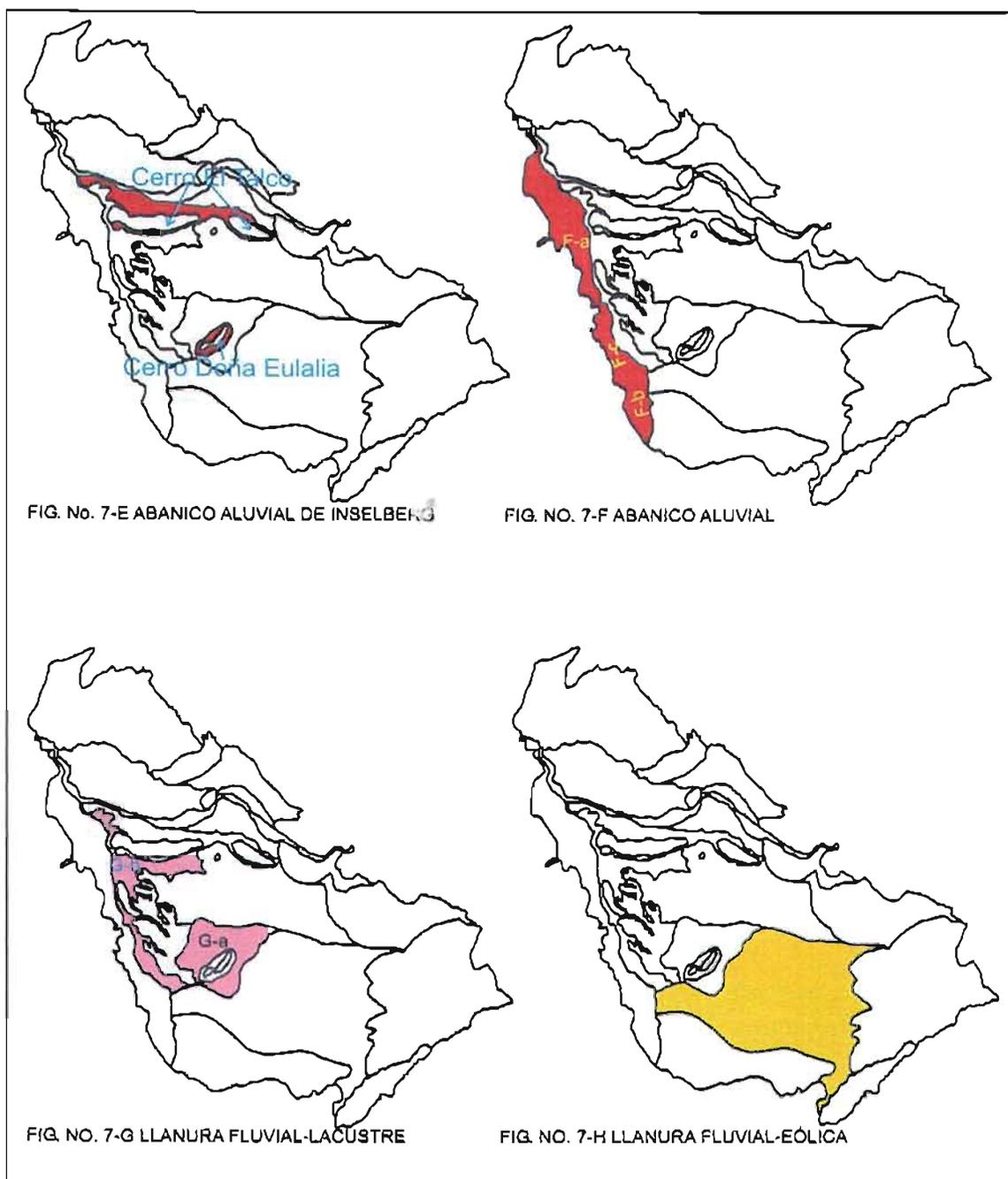
**E. Abanico aluvial del inselberg.** Estos suelos se han desarrollado principalmente en los abanicos formados en los piedemontes de los cerros Doña Eulalia, el Talco y las sierras de origen metamórfico, gneiss, esquistos y talco-esquistos. Los suelos presentan

un horizonte Bt rojo y mezclado con detritos de diferente diámetro, angulosos y poco intemperizados, inmersos en una matriz arcillosa, constituyendo la asociación Rhodoxeralfs-Xerochrepts. En el piedemonte del cerro Doña Eulalia se exploró el perfil No. 10, el cual presenta un epipedón ócrico, el horizonte A ha sido decapitado, presenta un buen desarrollo pedogenético, horizonte Bt rojo, color 10R4/6 en seco y 10R4/4 en húmedo, presencia de materiales angulosos y poco intemperizados inmersos en una matriz arcillosa pendientes del 2 al 5%. Se clasifica como Typic Rhodoxeralf. (Fig. No. 5 E y 7-E)

**F. Abanicos aluviales.** Se localiza al Oeste del valle, en la base del escarpe de la falla principal, dirección N-S. Los aportes provienen principalmente de gneiss y en menor porcentaje de esquistos y gabros, originando materiales coluvio-aluviales. En este relieve se exploraron y muestrearon los perfiles 2, 8 y 11 y se estableció la asociación de Xerochrepts-Xeropsamments-Xerorthents-Natrixeralfs.

Se distinguen tres tipos de relieve de acuerdo con los materiales y procesos pedogenéticos. (Fig. No. 5 F y 7-F)

a.- El primer abanico aluvial intermedio se desarrolló en la base del escarpe de la falla principal, al oeste del valle, con dirección N-S. Este relieve presenta una dinámica de acumulación por gravedad y denudación por erosión hídrica, en el solum presenta gran cantidad de materiales angulosos poco intemperizados, pendiente 2 al 5%. Suelos someros con epipedón ócrico, pobre desarrollo pedogenético, escasa materia orgánica ligeramente integrada al epipedón, muy duro y pobre reacción al HCl 1 N. En esta unidad se exploró el perfil No. 2 Typic Xerochrept. (Fig. No. 5-F y 7-F. Perfil No.2)



b.- El segundo abanico reciente se formó sobre gneiss y diques de metarriolita. Presenta un proceso acumulativo por gravedad y denudativo por erosión hídrica muy intenso y en la actualidad acreción eólica que ha favorecido la formación de los

Xeropsamments. En este relieve se exploró el perfil No. 8, el cual se localiza sobre la carretera que conecta al Puerto de Ensenada con San Felipe. Presenta materiales altamente intemperizados, pendientes del 3 al 5%, de forma cóncavo-convexa, epipedón ócrico, bajos contenidos de materia orgánica, texturas gruesas, migajones arenosos, desarrollo pedogenético muy incipiente, profundo, sin reacción al HCl (Perfil 8 Dystric Xerorthent). (Fig. No. 5-F-b y -7-F)

c.- Por último, sobre abanicos aluviales antiguos posiblemente del Plioceno-Pleistoceno a partir de materiales detríticos de origen granítico, evolucionó un perfil con muy buen desarrollo pedogenético, profundos con horizontes Bt y posiblemente pertenecientes a los Rhodoxeralfs, pero debido al cambio climático del Pleistoceno al Holoceno, se establece una condición de semiáridez, escasa precipitación y aumento de temperaturas produciendo un grave desequilibrio del régimen hidrológico. Esta condición del cambio climático pudo haber tenido una fuerte influencia en el horizonte argílico siendo embebido o invadido por sales solubles lo que se traduce a una destrucción o interrupción de la iluviación de las arcillas. Esto posiblemente provocó la evolución de los Rhodoxeralfs a los Natrixeralfs. (Perfil 11 Typic Natrixeralf).

En este relieve se exploró el perfil No. 11. Perfil muy desarrollado, con epipedón ócrico, horizonte Bt nátrico (Bt<sub>nk</sub>), profundo, estructura poliédrica muy desarrollada, grietas bastante visibles, alto contenido de sodio intercambiable, colores grises claros a grises verdosos, manifestando que había un drenaje deficiente y características gley, presencia de motas de óxidos e hidróxidos de hierro a una profundidad 55-200 cm, no presenta reacción al HCl en casi todos los horizontes, sin reacción o muy ligera al peróxido de hidrógeno, salvo en los horizontes más profundos, posible presencia de

nódulos de óxido de manganeso y finalmente con el aumento de las temperaturas, se incrementó sensiblemente la tasa de evapotranspiración y por ende la acumulación de sales y sodio intercambiable, dando lugar al perfil que tenemos en la actualidad.

Este perfil se clasifica como Typic Natrixeralf. (Fig. No. 5-F-c y 7-F)

### **Planicie de nivel de base**

En este paisaje se agrupan las planicies sujetas a inundación, presentando una dinámica de acumulación, a través del depósito de materiales de origen aluvial y eólico. Los perfiles estudiados manifiestan edades posiblemente desde el cambio climático del Pleistoceno al Holoceno, caracterizados por ser profundos, ligeramente desarrollados sobreyaciendo a facies antiguas de depósitos del Pleistoceno, mostrando intensos periodos de aluvionamiento. Asimismo, en la actualidad se presenta acumulación y redistribución de materiales eólicos, debido al marcado cambio hidrológico e incremento de la sequía en toda la región. En este relieve se definen dos llanuras: fluvial-lacustre y fluvial-eólica.

**G. Llanura Fluvial - lacustre.** Está caracterizada por dos extensas llanuras, una rodeando al cerro Doña Eulalia (Inselberg), y que al parecer el gneiss de este inselberg no ha tenido influencia sobre su pedogénesis y la otra es una llanura alargada dirección N-S. Está representada por la asociación de los Xerofluvents - Xerochrepts, con características fluvénticas la primera llanura y ácuicas la segunda llanura.

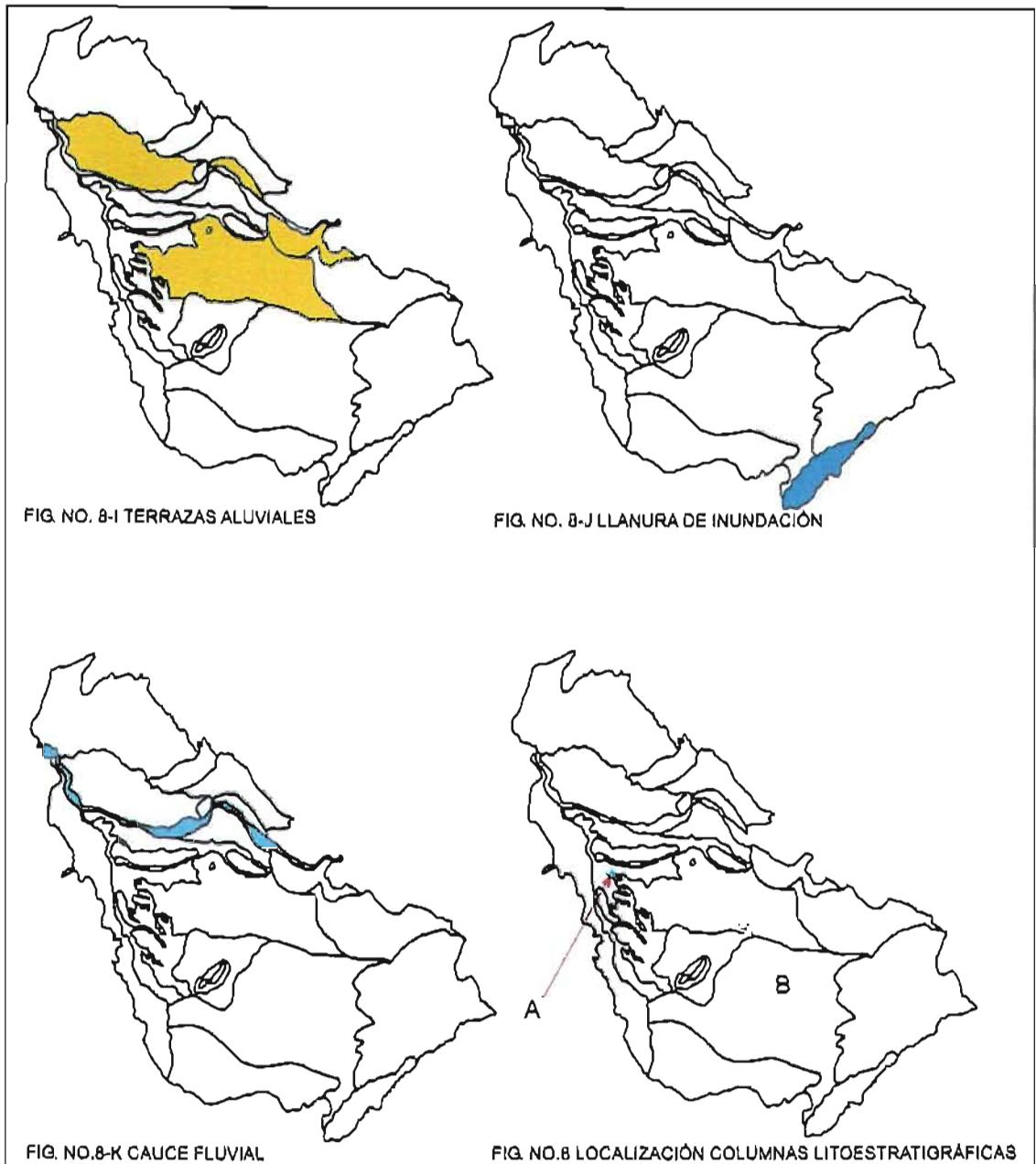
a- La primera llanura presenta suelos profundos, colores pardos amarillentos, pardos y pardos oscuros, con motas de óxidos e hidróxidos de hierro, texturas medias de migajónes arcillosos a migajónes arenosos. (Perfil 1 Dystric Fluventic Xerochrept). (Fig. No. 5-G-a y 7-G-a)

b- La segunda llanura se ha desarrollado sobre materiales de origen lacustre, localizada sobre una depresión que formó la falla principal, con rumbo N-S, drenaje deficiente, con un cuerpo de agua pequeño, somero, angosto de aproximadamente 100 metros de ancho y de forma longitudinal, el cual se ha desecado por completo por el grave desbalance hidrológico que ha experimentado el valle en los últimos 40 años, dejando al descubierto un perfil profundo con densidades aparentes en todos los horizontes menores de  $1 \text{ g/cm}^3$ . Aquí se exploraron dos perfiles, No. 3 y 9.

La mayor parte de los horizontes presentan colores claros en seco 2.5Y8/1, texturas medias a finas, epipedón ócrico con rasgos de mólico, color en húmedo 2.5Y3/1, presenta incipientes características de álbico posiblemente cálcico, fuerte reacción al HCl en todos los horizontes.

Es posible que la presencia de carbonatos y bicarbonatos secundarios en éste perfil se deba a la concentración *in situ* de estas sales por las altas tasas de evapotranspiración (Perfil 3 Mollic Xerofluvent). (Fig. No. 5-G y 7-G-b)

El perfil No. 9 se localiza al sur del cerro el Talco sobre la misma depresión que el perfil anterior. Estos suelos presentan un horizonte cámbico Bkw, con cierta influencia de álbico, color en seco 6/2 a 8/1 y en húmedo de 4/2 y 6/2, texturas medias, reacción fuerte al peróxido de hidrógeno en la capa superficial y ausencia de reacción en los horizontes subyacentes, reacción fuerte a muy fuerte al HCl en todos los horizontes, y a partir de los 125 cm de profundidad presencia de horizonte gley, color en húmedo Gley1 3/10Y En la actualidad ha sido drenada por cambio en el régimen hidrológico, pero aún conserva características ácuicas. Se clasifica como Aquic Xerochrept.



**H. Llanura Fluvial - eólica.** Estos suelos presentan gran complejidad en los procesos que los han formado, debido a un intenso proceso de aluvionamiento posiblemente del Pleistoceno que ha continuado en el Holoceno, dando origen a suelos poligenéticos. En

esta unidad se encontró una asociación Xerarents-Haploxeraifs (perfiles 13 Psammentic Haploxeraif y 14 Alfic Xerarent).

Estos perfiles fueron muestreados para preparar láminas delgadas y se confirmó con la micromorfología el origen poligenético, procesos coluvio-aluviales. La mayor parte de los materiales son de origen granítico, fracturados con fisuras de desprendimiento de minerales primarios, subangulares y semiredondeados, en una matriz arcillosa.

Estos materiales de aluvión, son los que han estado nivelando la fosa tectónica y han sepultado total o parcialmente estructuras residuales de granitos, diques y gneiss, conformando un ambiente de acumulación intenso, pendientes que van de 0 al 5%, de forma cóncavo-convexa. Recientemente se registran procesos eólicos muy intensos y locales.

En el examen de las láminas delgadas se observa la presencia de arcilla iluvial, indicando estabilidad del paisaje, asimismo un mayor porcentaje arcillas heredadas, que son evidencia de intensos procesos de aluvionamiento. Los horizontes AB, Bt y BtC, sobreyacen a horizontes C, con marcadas discontinuidades edáficas, bajos contenidos de materia orgánica, ligera reacción al HCl, presencia de materiales primarios altamente intemperizados, así como hierro amorfo inmersos en una matriz de arcillas heredadas y de neoformación.

Los perfiles estudiados: Perfil 13, presenta el siguiente orden de los horizontes y las siguientes discontinuidades pedológicas, (ApB > Bt > BtC > 2BtC > 3C > 4CB), se clasifica como Psammentic Haploxeraifs y el perfil 14 con la siguiente secuencia de arreglo de los horizontes (1C > 2C > 3Cw > 4CBt > 5C1 > 5C2 > CBkcb). Se clasifica como Alfic Xerarents. (Fig. No. 5-H y 7-H)

## Valle fluvial

En este paisaje se agrupan todas las geofformas originadas por procesos fluviales, en la cual sobresale el cauce o lecho de arroyo seco por donde corre agua únicamente durante el temporal de lluvias. Se reconocieron llanuras de inundación y terrazas fluviales. Los materiales producto del transporte y acreción, están poco intemperizados, presencia de cantos rodados mal clasificados, así como texturas gruesas, colores grises, con dominancia de detritos de origen granítico. El arroyo El Barbón es la principal corriente hídrica que ha depositado estos materiales y ha dado origen a este valle. Aquí se distinguen tres unidades: terrazas aluviales, llanura de inundación y cauce fluvial. (Fig. No. 5-K y 8-I, J y K)

**I. Terrazas aluviales.** El proceso dominante es acumulativo aluvial intenso, con aluviones antiguos y recientes que sobreyacen a facies antiguas de aluvión del Pleistoceno. Forman suelos profundos, con texturas arenosas, colores grises claros, sin desarrollo de horizontes de diagnóstico y sin reacción al peróxido de hidrógeno ni al HCl, lo que indica que constantemente se están aportando nuevos materiales de aluvión muy poco intemperizados, dando origen a terrazas aluviales que son constantemente renovadas. Los suelos quedan en la asociación Xeropsamments-Xerorthents

La característica principal de esta unidad, planicie aluvial ligeramente ondulada con pendientes entre el 0 al 2 %. Los suelos presentan epipedón ócrico, escasa cantidad de materia orgánica, sin presencia de carbonatos, muy duro, gravas angulosas y semiredondeadas en casi todo el perfil, ninguno de los horizontes subyacentes presenta un desarrollo pedogenético (Perfil 12 Dystric Xerorthent). Esta unidad

presenta una gran variabilidad respecto a su profundidad, algunas áreas son relativamente profundas, otras son someras, asimismo áreas que presentan capas de acumulación de aluvi3n, muy reciente de hasta 60 cm, depositadas durante dos eventos de El Ni3o, 1983-84 y 1992-93. (Fig. No. 5-I y 8-1)

**J. Llanura de inundaci3n.** Se localiza al extremo sur del valle, presenta aportes de materiales de origen fluvial, caracter3sticas gley, ocupa una peque3a 3rea confinada y limitada por esquisto y diques de metamiolita. En esta unidad se explor3 el perfil 6 (Mollic fluvaquent), con un epiped3n 3crico, pobre desarrollo pedogen3tico y a partir del segundo horizonte marcada influencia gley (Gley1 7/5GY, en seco y Gley1 7/5GY en h3medo) y horizontes C, (Aez > Cgez1 > Cgez2 > Cgz1 > Cgz2). Texturas medias, fuerte reacci3n al HCl, n3dulos de manganeso en horizontes m3s profundos y presencia de gran cantidad de minerales primarios incluyendo micas poco alteradas. Queda representada por la asociaci3n de los Fluvaquents - Xerorthents. (Fig. No. 7-J y 8-J)

**K. Cauce fluvial.** Es el cauce principal del arroyo El Barb3n, no se distingue suelo, 3nicamente dep3sitos de aluvi3n con gran heterogeneidad en los materiales, dominando los de origen gran3fico, colores grises claros, los cuales constantemente se est3n acumulando, formando terrazas nuevas, o incrementando la altura de las ya existentes. A esta unidad se le consider3 como miscel3neo pedregoso, sin suelo. (Fig. No. 7-K y 8-K)

### V.3 Discusi3n

Indudablemente que los suelos estudiados en el valle de Ojos Negros, presentan una serie de interrogantes respecto a su g3nesis, tiempo de desarrollo y los procesos

ocurridos durante su formación. La historia geológica del valle, indica edad post—miocénica o plioceno temprano. El Plioceno cubre un lapso entre 5.3 a 1.8 millones de años (Williams et al. 1998). Durante todo este tiempo las condiciones climáticas fueron de temperaturas más altas y menor precipitación que el presente. A diferencia del Pleistoceno que inició hace 1.8 millones y terminó aproximadamente hace 10,000 años, el cual fue mucho más húmedo, con periodos glaciares e interglaciares de larga duración permitiendo estabilidad del paisaje y gran influencia en los procesos pedogenéticos.

Williams et al. (1998) hace referencia a tres eventos con altas precipitaciones durante el Pleistoceno con intervalos de 125-115 ka años, (ka = a miles de años), 80-60 ka y 40-30 ka, antes del presente. Estos lapsos corresponden a periodos interglaciares, con estabilidad del paisaje y posiblemente permitió el desarrollo de perfiles rojos arcillosos y que algunos de ellos han sido cíclicamente erosionados.

El análisis de las bitácoras de empresas perforadoras para la valoración del acuífero y extracción de agua para riego, ha generado diversas columnas litoestratigráficas en diferentes partes del graben.

Estas bitácoras muestran grandes contrastes de los materiales dependiendo de la ubicación de la perforación, pero invariablemente todas las columnas muestran intensos periodos de erosión, transporte y depósito de materiales muy heterogéneos tanto en su origen como el estado de alteración que presentaban cuando fueron depositados.

Aquí se va a hacer referencia a dos columnas, ambas muy contrastantes respecto a los materiales depositados (Fernández, E. 2001 Comunicación personal). (Fig. No. 8 Localización columnas litoestratigráficas)

La Tabla No 2, muestra dos columnas litoestratigráficas: A y B. La columna A, situada en la unidad cartográfica G, relativamente muy cerca del perfil No. 9, corresponde a una depresión limitada al N, por el cerro El Talco y al O, por la falla principal que provocó la formación del graben. La columna B, situada al SE del valle, en la unidad cartográfica H. (Fig. No. 5-G)

En la columna A se observa una clara secuencia de acumulación de arcillas y gravas metamórficas y granitos, intercalándose estratos con mayor presencia de arcilla, otros con gravas o arenas en una matriz arcillosa, colores amarillentos, pardos, pardos rojizos, rojos y verdosos.

La presencia de arcillas verdosas en esta columna (condición gley) a diferentes profundidades: de 2 a 4, de 6 a 8, y de 20 a 22 metros, indica que esta era una zona de depósito, la cual en la actualidad esta sujeta a inundación. Asimismo esto se confirma con la presencia del perfil 9 (Aquic Xerochrpts), con características gley a una profundidad de 125 cm, el cual se localiza en la misma parcela en donde se hizo este corte litoestratigráfico.

El depósito de estas arcillas en esta zona podría corresponder a los periodos glaciares e interglaciares del Pleistoceno y tal vez asociadas a la presencia de suelos poligenéticos (Fedoroff, 1997). García y Santos (1997) dicen que los suelos rojos del mediterráneo en España se han desarrollado sobre diferentes materiales, como arenas

del Cuaternario, y gravas sobre arcillas y areniscas del Terciario. Esta secuencia es la

Profundidad en metros Columna A	Materiales	Profundidad en metros Columna B	Materiales
0.00-2.00	Limos con arena fina	00.00-2.00	Arcilla con arena fina
2.00-4.00	Arcilla color verdoso, con arena fina	2.00-8.00	Arena fina
4.00-6.00	Arcilla café claro	8.00-10.00	Arena grano medio
6.00-8.00	Arcilla verdosa	10.00-14.00	Arena gruesa
8.00-10.00	Arena gruesa de tipo granítico, con gravillas	14.00-30.00	Arena de grano medio
10.00-14.00	Arcilla café claro	30.00-45.00	Arena grano grueso
14.00-16.00	Arena gruesa de tipo granítico con arcilla	45.00-48.00	Arena grano medio
16.00-20.00	Arcilla café claro con poca arena	48.00-51.00	Arena grano grueso
20.00-22.00	Arcilla verdosa con poca arena	51.00-80.00	Gravas y gravillas empacadas con arcilla
22.00-24.00	Arena gruesa a media de tipo granítico con arcilla		
24.00-40.00	Arena gruesa a media de tipo granítico, con pocas gravillas		
40.00-44.00	Arcilla café rojiza		
44.00-46.00	Arena de tipo polimíctico gruesa a media, con gravas y arcilla		
46.00-50.00	Arcilla café claro, con poca arena		
50.00-54.00	Arena café rojiza con arena media gruesa de tipo metamórfico		
54.00-56.00	Arcilla café claro		
56.00-66.00	Arcilla café rojiza		
66.00-70.00	Gravas con arena empacada en arcilla café rojiza		

Tabla No.2 Columnas litoestratigráficas, Valle de Ojos Negros

que se presenta en esta columna litoestratigráfica.

Yassoglou et al. (1997) al estudiar suelos rojos en Grecia, encuentran ciclos claros de formación de arcillas rojas, sometidas a intensos periodos de erosión, remoción y acumulación en las parte bajas, y una estabilidad del paisaje. La edad que señalan para estos materiales es Plioceno-Pleistoceno. La presencia de arcillas pardo-rojizas a

rojas en diferentes profundidades indica estabilidad del paisaje y la posible formación de perfiles rojos arcillosos que posteriormente fueron erosionados y depositados en esta zona.

La columna litoestratigráfica B, situado al Este del valle, muestra una secuencia de acumulación de estratos de gravas y arenas gruesas y medias de origen granítico, hasta una profundidad de 80 metros. Ningún estrato hace referencia a la presencia de arcillas, salvo el primero y último estrato a una profundidad de 0-2 y 80 metros.

Precisamente la ubicación de este corte litoestratigráfico corresponde con la localización muy cercana de los perfiles 13 y 14, de origen poligenético, con presencia de horizontes C, arcilla heredada, hierro amorfo cuantificado como hierro cristalino promedio 1.3 %, restos de horizontes Bt, materiales retrabajados o fisurados. Los minerales primarios muestran fracturas e intensos procesos de aluvionamiento, indicando que la historia antigua desde el Plioceno, Pleistoceno y Holoceno se sigue presentando a la fecha.

La ausencia de minerales arcillosos se puede deber a que los materiales depositados al Este del valle, en mayor porcentaje provienen de rocas graníticas de las partes altas de la sierra de Juárez y que cuando fueron removidos por intensos procesos coluvio-aluviales, gran parte de estos materiales estaban pobremente intemperizados. Asimismo la presencia de aluviones modernos y antiguos en las planicies aluviales al sur y norte del arroyo el Barbón, nuevamente indica la intensa dinámica a la que ha estado sujeta toda la región desde el Plioceno. Hugget (1998) hace referencia a depósitos de aluviones del Cuaternario.

Respecto a la presencia de perfiles profundos sobre materiales graníticos con minerales primarios poco alterados y sin la presencia de horizontes subyacentes de diagnóstico, se puede deber a que éstos materiales son muy resistentes al intemperismo. Birkeland (1999), dice que los granitos presentan siete niveles de intemperismo y el nivel 7 es el que manifiesta un alto grado de intemperismo. Los perfiles 4 y 5 desarrollados sobre granitos posiblemente se ubican en la clase 5, moderadamente intemperizados, consecuentemente no han tenido tiempo suficiente de formar horizontes de diagnóstico.

Por otra parte los cambios experimentados en el paisaje debidos al cambio climático del Pleistoceno al Holoceno tornándose el ambiente más seco, con incremento de las temperaturas y menor precipitación, promovieron la presencia de un clima semiárido, con un verano seco, altas tasas de evapotranspiración y la adaptación de las comunidades vegetales del mediterráneo a esta condición climática. Esta condición climática actual ha promovido un proceso que se está presentando con mayor intensidad sobre todo en la porción S del valle, el desarrollo incipiente de perfiles con materiales de origen eólico.

Éste proceso relativamente reciente, se manifiesta sobre el paisaje de planicie de nivelación de base, en la unidad cartográfica H. Son superficies casi planas con pendientes suaves entre 2 al 5 %, en algunas áreas un poco mayor. (Ver Fig. No. 5-H) Asimismo una pequeña porción en el piedemonte de las sierras del N, presenta la misma dinámica de acumulación a los descritos al S del valle. Estos materiales se están depositando sobre esquistos. (Ver Fig. No. 5-D-b)

La presencia de estos materiales eólicos, se puede deber a eventos de tipo meteorológico. El proceso inicia con la denudación de los granitos altamente intemperizados en la parte alta de la sierra y depositados en las partes bajas por efecto de la escorrentía en la época de lluvias en la base de los piedemontes de las sierras circundantes.

Estos materiales del orden de arenas finas y limos, al deshidratarse en la época de sequía pueden ser transportados y redistribuidos por efectos de las corrientes de aire a través de un fenómeno conocido como vientos de montaña, de escala local. Estos sistemas locales de viento son fríos y densos provenientes de las partes altas de la sierra, descienden hacia el fondo del valle y se les conoce como vientos catabáticos (Oke, 2000). Al llegar al piso del valle, el cual presenta temperaturas más altas y la masa de aire más ligera, empieza a ser desplazado por el drenaje de las masas de aires fríos y densos, provocando flujos verticales en forma cíclica.

Esto sucede siempre y cuando el piso del valle fuese completamente plano, situación que no sucede ya que éste presenta topografía irregular por la gran cantidad de estructuras como de diques cubiertos por materiales coluvio-aluviales, con pendientes desde 2 al 10 %. A éste relieve en meteorología se le conoce como rugosidad provocando inestabilidad en la capa superficial caracterizándose por intensa turbulencia a pequeña escala (Oke, 2000).

Estas turbulencias o remolinos, son los responsables del movimiento, transporte y redistribución de materiales medios y finos del orden de arenas finas y limos.

El análisis de láminas delgadas de los perfiles 13 y 14, no indica la presencia de materiales pulidos y con estrías, criterio suficiente para eliminar la posibilidad de la

presencia de proceso eólico antiguo. Esto nos indica que es un proceso muy reciente y que puede tener su explicación en un drástico desbalance hidrológico, conjuntamente como la eliminación de la vegetación nativa por practicas agrícolas, ganadería extensiva o incendios forestales quedando los suelos totalmente desnudos, provocando una disminución en el contenido de la materia orgánica dejando sueltas las partículas, las cuales están sujetas a deflación y acumulación eólica en épocas muy recientes.

## **VI. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA**

Una de las premisas que se deben de tomar en cuenta para una adecuada administración de los recursos hídricos es el estudio y conocimiento del ciclo hidrológico, que se presenta en la biosfera. Éste es un sistema activo que tiene variabilidad natural y forzada (antropogénica), y donde los diversos subsistemas de que se compone, responden con respuesta rápida, como es el caso del calentamiento y enfriamiento diurnos de la superficie terrestre, otros con respuesta lenta, como es el caso de los flujos marinos.

Por otro lado, la dinámica de la atmósfera, y su retroalimentación con el océano, es vital para los procesos que suceden, tanto a corto plazo (un día a siete días), como en el mediano y largo plazo (de una semana a varios años), hasta períodos seculares (cientos de años), en cualquier punto del globo terráqueo.

Sobre la base de estos argumentos, en éste apartado se presenta una síntesis de los principales sistemas atmosféricos que dan lugar al tiempo y al clima en el noroeste del estado de Baja California y se discuten los factores que influyen sobre éste, para contar con criterios que permitan prever las acciones a realizar en el caso de la permanencia del patrón de la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP siglas en español) (Pacific Decadal Oscillation PDO, siglas en inglés) y su relación con el fenómeno de El Niño.

Asimismo la información generada en este capítulo se utilizó en el capítulo VII Evaluación de la Tierra, para desarrollar la propuesta de zonas agroclimáticas como una estrategia de dar certeza a la agricultura de temporal en toda la región.

### **VI.1 Clima tipo mediterráneo en Baja California**

La circulación de los vientos en la región explica en lo general el comportamiento de variables meteorológicas como las temperaturas y precipitación que se presentan en la región noroeste del estado de Baja California.

La presencia de una celda subtropical de alta presión semipermanente, conocida como Celda Hawaiana (Orme and Orme, 1998), que se localiza entre los 25° y 40° Latitud Norte, provoca que los vientos sean secos y calientes, ocasionando cielos mayormente despejados, escasa precipitación, generando climas áridos o semiáridos. Este sistema, aunado a la alta tasa de radiación solar en el verano, ocasiona que en la costa oeste de Baja California y en valles interiores las temperaturas puedan alcanzar los 40 °C.

Por el contrario en el invierno, esta celda de alta presión se contrae y se debilita, permitiendo que sistemas frontales penetren a la región. Estos vientos son fríos y húmedos, provenientes del Golfo de Alaska y oeste de Norteamérica, provocando intensas precipitaciones con un comportamiento y variabilidad espacial muy errática.

Asimismo, las temperaturas disminuyen sensiblemente, provocando nevadas en el barlovento en las sierras de San Pedro Mártir y Juárez e incluso, en algunas ocasiones, estas nevadas pueden presentarse en el sotavento de dichas sierras en alturas inferiores a los 1000 msnm.

Miranda (1987) hace referencia a otro importante aporte de precipitación, el cual es influenciado por sistemas ciclónicos provenientes de latitudes más bajas, del sur de la región intertropical, los cuales vienen cargados de humedad y temperaturas más cálidas. Este tipo de evento se presenta principalmente en verano, aunque también en invierno, asociado a la presencia de El Niño, consecuentemente se pueden presentar

intensas lluvias en cortos periodos de tiempo, la mayoría de ellas devastadoras. Por ejemplo, durante los eventos de El Niño de 1982-1983 y 1992-1993, se precipitaron en Ensenada 557.7 mm y 441.6 mm, respectivamente, que si se comparan con el promedio anual de 266.1 mm, se representa una fuerte anomalía positiva durante el periodo de lluvias que corresponde de noviembre a abril. Tecate presenta un promedio anual de lluvia de 338.6 mm, en esos mismos eventos se tuvieron intensas precipitaciones, totalizando 713.2 mm (El Niño 1982-1983), y 855.0 mm (El Niño 1992-1993).

Cuando se presentan los sistemas ciclónicos y El Niño de manera separada, ya sea en verano o invierno y chocan con las costas, se producen intensas lluvias torrenciales provocando una alta escorrentía, con pocas posibilidades de infiltración, causando severas inundaciones en las partes bajas o cercanas a las costas. Estos intensos eventos de precipitación arrastran y depositan gran cantidad de sedimentos; asimismo el gran volumen de precipitación en cortos periodos de tiempo es un importante factor de erosión en los suelos. Aunado a la escasa cubierta de la vegetación nativa, posiblemente sea la mayor causa que los suelos de toda la región presenten signos visibles de erosión, ya sea por escaso desarrollo pedogenético o porque los horizontes superficiales son constantemente removidos.

Otra característica importante de las condiciones climáticas de ésta región es la presencia de una neblina casi permanente durante todo el verano introduciendo un volumen importante de humedad al suelo. Este fenómeno característico de ésta región, se produce debido a que las aguas superficiales de la corriente fría de California presentan temperaturas más calientes hasta en 5° C, en los límites del sur de California

y norte de Baja California, en contraste con las temperaturas más frías de esta misma corriente hacia el norte.

Por otro lado, las masas de aire húmedo provenientes del Pacífico occidental, presentan temperatura más calientes que la corriente fría de California sobre la cual circulan. Al arribar tanto la corriente fría de California, como la masa de aire húmedo a las zonas costeras forman bancos de neblina (Rojo, 1985) que se introducen al interior de la península varios kilómetros, subiendo por el barlovento de las sierras, alcanzando alturas arriba de los 400 msnm. A mayor altitud para esta región no se ha observado esta característica de acuerdo a las imágenes de satélite NOAA-AVHRR que se reciben en el Instituto de Ingeniería de la UABC, Campus Mexicali. Meentemeyer, et al. (2001); Meentemeyer y Moody (2002), también reportan que la neblina es atrapada entre los límites de las zonas costeras y las sierras a una altitud de 400 msnm.

Respecto a la dirección dominante de los vientos se tiene que generalmente son noroeste-sureste, lo que obedece a la celda de alta presión antes mencionada.

Otro fenómeno meteorológico que se presenta en la región, son los ciclones tropicales que se producen a más bajas latitudes y que migran hacia latitudes más altas. Conforme avanzan hacia el norte, disminuyen su contenido de humedad sin provocar generalmente grandes precipitaciones en la costa noroeste de Baja California. (Rojo, 1985). Este mismo autor dice que estos meteoros, al pasar por aguas oceánicas como la corriente fría de California, pierden mucha de su energía o calor latente por evaporación, resultando baja precipitación en latitudes más altas.

Sin embargo, habría que recordar al ciclón tropical Nora, en el año de 1997, ocasionó abundantes lluvias en esa zona, lo cual implica que, si bien son fenómenos no muy frecuentes en la región, pueden llegar a impactar fuertemente la zona.

Otro patrón de vientos que tiene una fuerte influencia a escala regional, es la presencia de los llamados vientos Santa Ana. Estos vientos han sido reportados desde las primeras exploraciones de los españoles por la región que incluso les llegaron a llamar los Vientos del Diablo por su velocidad, secos y calientes (Moore, 1958).

El origen de estos vientos es provocado por la alta presión que se presenta sobre lo que se conoce como Great Basin, localizada en los estados de Nevada, California y Utah. En los últimos periodos del Pleistoceno-Holoceno hace 12000 años, esta región estuvo cubierta por extensos y profundos lagos. En la actualidad estos antiguos lagos están secos y sometidos a un régimen de aridez (Thompson y Anderson, 1997).

Los vientos Santa Ana secos y calientes, con una dirección NE-SO, presentan un flujo hacia la zona costera, la cual presenta una baja presión atmosférica induciendo su patrón de desplazamiento. Consecuentemente por las áreas sobre las que se desplazan provocan deshidratación de las comunidades de chaparral las cuales son altamente susceptibles a incendiarse, además que estas comunidades vegetales presentan una tasa alta de ignición cuando han acumulado suficiente material combustible. Asimismo estos vientos extraen la escasa humedad del suelo, siendo un factor más de la propagación de los incendios.

Cuando se presentan estas dos condiciones: vientos Santa Ana y tasa alta de material combustible, representan un gran agente de expansión de los incendios devastando extensas áreas sobre todo en California y al norte de Baja California (Minnich, 1987).

Keeley y Fotheringham (2001), dicen que estos vientos no inducen la propagación del fuego del chaparral hacia el sur de California y noroeste de Baja California, ya que no alcanzan altas velocidades, por lo que no tienen la capacidad de propagar el fuego en grandes extensiones como sucede hacia el norte de California, en donde sí ayudan a propagar y magnificar los incendios forestales en las comunidades de chaparral ya que llegan a alcanzar velocidades de más de 100 km/h.

Estas características a las que se ha hecho referencia, son las que definen un clima tipo mediterráneo. A continuación se define el tipo climático específico para nuestra zona de estudio.

Dadas estas condiciones climatológicas, García (1981) define para esta región un clima BS, tipo mediterráneo que se establece a partir del paralelo 30° N, única y exclusivamente para el noroeste de Baja California, desde el sur de la Sierra de San Pedro Mártir y continúa hasta el paralelo 40° en California (Orme and Orme, 1998).

Como ejemplo de la magnitud de algunas variables meteorológicas que se presentan en un clima tipo mediterráneo se puede ver la siguiente tabla, que corresponde a la estación climatológica de Ensenada. (Tabla No. 3)

## **VI.2 Ciclos recurrentes de sequía y humedad**

En los párrafos arriba descritos, se expusieron las características sinópticas que dan origen al clima de la región del noroeste, pero aun faltan por definir otros patrones que son los responsables de periodos de sequía y humedad que tiene gran influencia en la economía de toda la región noroeste de Baja California.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Tmax	19.0	19.4	19.8	20.7	21.8	22.8	24.7	25.8	25.6	24.1	22.3	19.7	22.2
Tmin	7.3	8.0	9.0	10.5	12.5	14.2	16.2	17.3	15.9	13.0	9.8	7.8	11.8
Tmed	13.1	13.7	14.4	15.8	17.1	18.5	20.5	21.6	20.7	18.6	16.1	13.7	17.0
Hum rel	80	78	79	81	82	83	83	83	83	82	78	78	81
Prec med	52.7	64.1	48.3	24.3	4.4	1.5	0.9	1.6	4.3	11.4	23.3	42.9	289.7

Tabla. No. 3, Fuente: Subgerencia Regional Técnica de la Comisión Nacional del Agua, Jefatura de Proyectos Meteorológicos, 2002. Los datos de captura corresponden desde 1923 al 2001

Tabla No. 3 Donde; Tmax es temperatura máxima media en ° C; Tmin es temperatura mínima media en °C; Tmed es temperatura media en ° C; Hum rel es humedad relativa media en %; Prec med es precipitación media.

### VI.3 El Niño/Oscilación del Sur y sus efectos en el Noroeste de Baja California

Escapa a los fines de esta tesis explicar el origen de El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), ya que existe una gran cantidad de literatura que aborda ampliamente ese fenómeno. Indudablemente que una de las fuentes más confiables y documentadas, es la National Oceanic Atmospheric Administration de los Estados Unidos (NOAA, 2002). Aquí únicamente se hace referencia a las graves repercusiones que se presentan con la precipitación de grandes volúmenes de lluvia en cortos periodos de tiempo y sus efectos en la economía de la región.

La NOAA (2002) con los satélites meteorológicos ha estado monitoreando la evolución del calentamiento de las aguas oceánicas que finalmente se traduce en eventos de ENOS.

El desarrollo de la tecnología satelital ha permitido observar, detectar y estudiar el origen de ese calentamiento de las aguas oceánicas superficiales, ya que antes de 1980 poco se conocía de este fenómeno, pero sí se conocían sus efectos y para la

región que nos ocupa se tiene registradas fuertes precipitaciones en 1977, 1982, 1984, 1987, 1993 y la última en 1997.

Sin embargo, no todo ha sido destrucción, en los valles agrícolas tanto costeros como intermontanos se presentan cierto nivel de recarga de los acuíferos, aunque la mayor parte del agua de lluvia sigue su curso normal al mar. Se renueva parcialmente la fertilidad de los suelos en zonas bajas con el aporte de sedimentos en las planicies costeras, pero por otro lado las partes altas de la sierra se ven sujetas a un intenso proceso de erosión hídrica, siendo la causa principal que a la gran mayoría de los suelos han perdido el horizonte superficial.

Posterior a cada uno de estos eventos, la actividad agropecuaria sobre toda la ganadería extensiva, se intensifica, ya que la humedad residual en el suelo promueve el desarrollo de especies forrajeras, los acuíferos elevan su nivel estático y los agricultores expanden sus fronteras agrícolas y obtienen buena producción de cultivos de temporal en invierno y durante el verano se tiene mayor capacidad de extraer mayores volúmenes de agua del subsuelo.

Los productores locales relacionan bastante bien la magnitud de estos eventos con un incremento en los beneficios que les ha aportado, sobre todo a los ganaderos, ya que ellos son los que más resienten o se benefician de la abundante precipitación que se presenta durante estos eventos de lluvias extraordinarias.

Se hace referencia a este tipo de eventos ya que precisamente la gente de esta región, principalmente los que dependen de las actividades del campo, tiene presente estos eventos de lluvias extraordinarias con mucha precisión. Siempre están confiando en que éstos se presenten, para resarcir su deteriorada economía cuando no hay lluvias

suficientes para el rebrote de las especies forrajeras de la vegetación nativa y se tenga la posibilidad de soportar la carga animal; poder obtener cosecha de los cultivos de temporal y los pozos profundos tengan a posibilidad de recargarse debido a que casi todos los acuíferos han disminuido sensiblemente su nivel estático, siendo más costoso el bombeo con menor volumen de extracción de agua sin alcanzar a regar la superficie que suelen hacer cuando se presentan eventos de ENOS.

La Comisión Nacional del Agua (CNA), que es el organismo público del estado que se encarga de administrar los recursos hídricos existentes, ha estado evaluado los acuíferos de todo el estado de Baja California. Uno de ellos, localizado en el poblado de Ojos Negros a una altitud de 700 msnm, de 1974 a 1995, ha disminuido su nivel estático en 7.5 metros lo que representa un volumen de 37.1 millones de metros cúbicos de la reserva de dicho acuífero. La misma situación se presenta en los demás acuíferos de la región (CNA, 1995 y 1997).

#### **VI.4 La Oscilación Decadal del Pacífico y su relación con periodos recurrentes de sequía y precipitación**

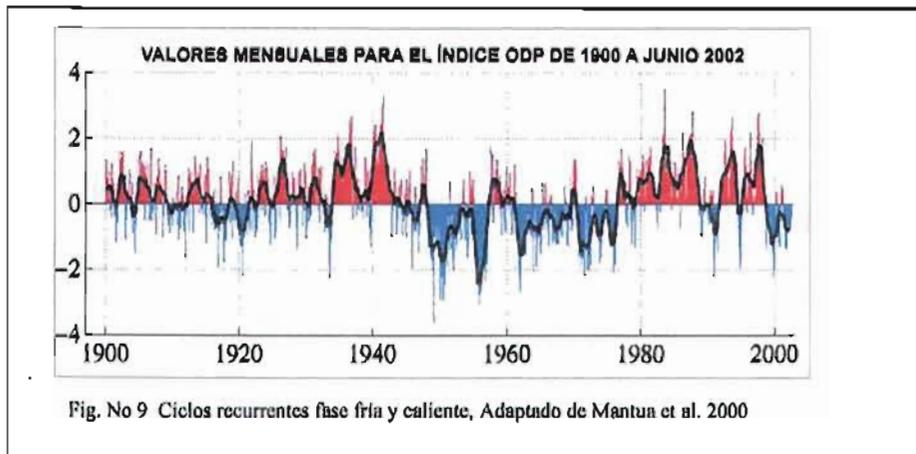
En fechas más recientes Hare y sus colegas, al estudiar la baja de las poblaciones de salmón en el mar de Alaska, encontraron que estaba relacionada con un evento que se denominó Oscilación Decadal del Pacífico (Pacific Decadal Oscillation, PDO siglas en inglés) (Hare y Francis, 1995; Mantua et al. 1997).

Estos científicos dicen que la PDO tiene un patrón muy parecido al ENOS, pero mientras la PDO tiene periodos de recurrencia aproximadamente entre 20 a 30 años, ENOS persiste entre 6 a 18 meses.

Con el lanzamiento en 1992 del satélite franco-americano TOPEX/POSEIDON, se pudo comprobar que las observaciones de Hare y sus colegas eran correctas, ya que este satélite tiene la capacidad de evaluar el nivel medio del océano, sus temperaturas a nivel de superficie y la dinámica de las corrientes marinas lo que permitió establecer modelos del comportamiento de lo que ahora se conoce como Oscilación Decadal del Pacífico (<http://topex-www.jpl.nasa.gov/mission/topex.html>).

Mantua et al. (1997) mencionan que esta anomalía se caracteriza por presentar dos fases; una caliente que corresponde a periodos de entre 20 a 30 años durante los cuales en la costa oeste de Norteamérica, incluyendo a Baja California las precipitaciones son arriba de la media y que los eventos de ENOS, cuando se presentan estando en plena actividad la fase caliente son intensos, provocando lluvias intensas, muy arriba de la media y causando graves daños por inundaciones y deslaves en toda la zona costera.

Por el contrario cuando se activa lo que llaman la fase fría (con igual lapso de tiempo que la fase caliente), se correlaciona con un déficit en las precipitaciones por abajo de la media anual, no obstante que se presenten eventos de ENOS. Mantua et al. (1997) presentan una relación de eventos que otros científicos anteriormente habían detectado sin poder explicar su origen. Estos autores al procesar información mediante series de tiempo de varias estaciones climatológicas con un espectro de 100 años, detectan bastante bien los ciclos de fase caliente que se presentaron durante los periodos de 1925 a 1946 y de 1977 a 1999 y los ciclos de fase fría; 1896 a 1924 y de 1947 a 1976. La siguiente gráfica muestra los periodos fríos y calientes desde 1900 a junio del 2002. (Fig. No.9)



Los colores en colores rojos indican los periodos húmedos que corresponden a precipitaciones arriba de la media y los colores azules indican precipitación abajo de la media anual. Los valores positivos y negativos están dados en desviaciones estándar.

### VI. 5 Impactos regionales

Un grupo de investigadores que trabajo durante 4 años (1997-2002) en el valle de Ojos Negros, elaboró y levantó una encuesta entre los productores locales para conocer los posibles eventos anómalos que ellos han logrado percibir para tratar de correlacionarlos con los periodos de intensas lluvias y periodos de sequía que ha causado enormes pérdidas sobre todo a los ganaderos que en la actualidad están perdiendo gran parte de sus hatos ganaderos por una sequía que lleva casi tres años de haberse iniciado.

Esta encuesta demuestra que los ganaderos tienen bien presente lo que correspondería a la fase caliente de la PDO y que inicia desde 1977 y termina en 1997, con el último evento de ENOS que tuvo cierta intensidad; por ejemplo, en el invierno 1997-1998, la ciudad de Ensenada tuvo una precipitación de 546.7 mm, en los meses de noviembre a mayo, superior al promedio que es de 250 mm, y una vez terminada la

fase caliente, el invierno de 1998-1999 la precipitación fue de 103 mm, para el 2000 la precipitación fue de 158 mm y 2001 281mm.

Para el valle de Ojos Negros la precipitación media anual de 1948 a 1976 fue de 189 mm, correspondiente a la llamada fase fría con déficit de precipitación y de 1977 a 1998 fue de 318 mm, durante la fase caliente con eventos de precipitación muy por arriba de la media. (Tablas 4 y 5)

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PANUAL
1948						0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0	18.0	
1949	122.0	21.0	27.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	17.0	12.0	44.5	244.5
1950	26.0	9.5	26.0	6.0	7.0	0.0	5.5	0.0	2.5	0.0	10.0	1.0	93.5
1951	56.2	16.0	26.5	71.2	1.5	0.0	5.5	9.2	0.0	3.2	38.6	116.2	344.1
1952	53.5	32.0	110.0	24.2	0.0	0.0	4.0	0.0	0.5	0.0	90.0	49.5	363.7
1953	2.0	30.0	31.5	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5	1.0	93.0
1954	107.5	22.2	109.5	2.0	0.0	0.0	12.5	0.0	4.2	0.0	0.0	11.0	268.9
1955	71.1	1.0	1.5	7.5	8.1	0.0	9.6	10.5	0.0	0.0	0.0	17.5	126.8
1956	12.0	12.0	0.0	25.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	0.0	4.5	66.5
1957	172.5	14.0	2.1	16.5	6.5	14.5	0.0	6.4	0.0	26.8	12.3	8.5	280.1
1958	5.0	56.4	121.1	70.2	7.5	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	5.5	0.0	270.7
1959	24.8	63.6	0.0	3.0	0.6	5.0	0.5	1.0	0.4	12.0	11.0	22.0	143.9
1960	41.5	20.0	6.0	13.1	5.5	1.0	18.0	0.0	28.0	0.0	22.5	9.0	164.6
1961	33.0	5.0	30.0	2.0	0.0	0.0	16.0	3.0	0.0	12.0	12.0	43.2	156.2
1962	57.0	67.0	22.5	0.0	2.0	2.0	7.0	0.0	0.0	8.0	0.0	16.5	182.0
1963	10.5	10.0	16.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.5	14.5	11.0	44.5	13.0	143.5
1964	28.0	0.0	43.5	3.5	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	25.5	16.5	130.0
1965	28.0	0.0	43.5	3.5	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	25.5	16.5	130.0
1966	36.0	39.0	13.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	26.5	67.0	183.0
1967	16.5	0.0	6.5	38.0	0.0	0.0	4.0	58.0	0.0	0.0	60.5	99.0	282.5
1968	7.5	13.5	30.5	19.5	1.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	130.0
1969	80.0	70.0	20.0			0.0	0.0	0.0	0.0		10.0	2.0	
1970	0.0	46.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5	0.0	4.0	17.5	51.5	147.5
1971	5.5	14.5	2.5	18.5	3.5	0.0	0.0	20.0	0.0	15.5	0.0	45.5	125.5
1972	0.0	1.0	0.0	1.0	4.0	3.5	0.0	5.0	0.0	40.0	36.0	33.5	124.0
1973	31.0	57.5	83.7	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	55.0	2.5	235.7
1974	68.7	5.0	37.5	1.0	0.0	0.0	0.0	8.5	3.5	33.5	5.5	26.5	189.7
1975	6.5	15.5	65.5	50.0	0.0		5.5	6.0	12.0	1.0	28.5	5.0	195.5
1976	0.0	61.0	32.0	35.5	1.0	0.0	15.0	0.0	73.0	12.0	33.0	30.0	292.5
PRMENS	39.4	25.1	32.9	16.5	2.4	0.9	4.3	5.4	4.8	8.4	20.6	27.9	189.2

Tabla No. 4 Fase fría Estación climatológica Ojos Negros. Fuente Comisión Nacional del Agua.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PANUAL
1977	43.0	6.0	60.0	6.0	9.0	0.0	1.0	100.0	0.0	12.0	0.0	82.0	319.0
1978	136.0	99.5	90.0	18.5	0.0	0.0	4.0	0.0	7.0	6.0	76.0	82.5	519.5
1979	165.9	17.7	95.8	1.0	9.0	0.0	0.0	0.0	5.5	6.0	14.0	15.5	330.4
1980	173.0	190.0	67.5	19.0	3.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	459.5
1981	40.0	44.0	88.0	22.8	0.0	0.0	6.0	8.0	19.0	1.0	37.0	4.0	269.8
1982	75.0	45.7	73.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	7.5	3.0	97.8	66.5	381.3
1983	40.0	76.0	157.9	51.0	0.0	0.0	0.0	82.5	39.0	6.5	45.8	41.0	539.7
1984	19.6	0.4	0.0	13.8	0.0	0.0	12.5	7.0	3.6	0.2	21.2	94.9	173.2
1985	17.9	35.7	19.4	3.4	0.0	0.0	4.3	0.0	15.0	16.7	67.5	16.5	196.4
1986	9.3	45.6	91.1	3.0	0.0	0.0	2.6	3.5	6.8	9.2	8.3	18.5	197.9
1987	39.3	72.9	49.8	9.0	3.2								
1988				47.0	2.0	0.0	21.5	19.0	0.0	0.0	6.0	19.0	
1989	19.3	5.5	22.8	1.5	2.1	0.0	0.0	0.0	1.5	4.4	0.2	5.1	62.4
1990	63.1	39.1	22.2	8.4	3.3	3.2	0.0	23.8	2.0	0.0	9.3	29.6	204.0
1991	36.5	32.5	150.2	59.2	0.2	0.0	42.6	0.0					
1992							0.0	32.8	4.5	22.0	3.0	103.3	
1993	238.5	138.8	20.0	0.0	3.1	3.5	0.0	2.0	0.0	5.0	21.7	11.0	443.6
1994	19.4	88.0	45.3	18.5	0.0	0.0							
1995	145.4	21.3	89.9	32.0	14.9	5.5	0.0	0.0	22.7	0.0	7.8	16.9	356.4
1996	19.7	45.5	38.5	0.0	0.0								
PRMENS	72.3	55.8	65.6	16.5	2.6	0.7	5.6	17.1	8.4	5.8	26.0	38.3	318.1

Tabla 5. Fase caliente. Estación climatológica Ojos Negros. Fuente Comisión Nacional del Agua

El inicio de otra sequía a partir del invierno de 1999, ha obligado a los ganaderos a vender o sacrificar gran parte de su hatos, mientras que los productores agrícolas que utilizan tierras de temporal con cultivos de invierno, no han tenido cosecha a partir de esas fechas ya que las lluvias de invierno no han alcanzado la media anual, salvo en el 2001 (CNA, 2002).

Otros investigadores han hecho inferencias estadísticas con los escasos datos de las estaciones climatológicas y se ha encontrado que en un periodo de registro de 40 años en la mayoría de las estaciones capturadas y analizadas se marcan bastante bien, ciclos de sequía y humedad o fases frías o calientes en rangos de 25 años, es decir de 1950 a 1976 se presentó un periodo de sequía prolongada y que de 1977 a 1998 se

manifestó un periodo de humedad que corresponde con los eventos que los ejidatarios han registrado de intensas lluvias (Zúñiga, 2002) y que además se correlacionan con la anomalía de la PDO.

Estos reportes de investigaciones tanto empíricas como cuantitativas, nos indican que para la región noroeste de Baja California se espera una sequía prolongada de más de 20 años, ya que de acuerdo a la tendencia analizada, la fase fría se inició en el invierno de 1999.

#### **VI.6 ENOS, PDO, ciclos sequía y humedad recurrentes y paleoclimatología**

Otras fuentes de información que nos demuestran que estas anomalías meteorológicas a escala planetaria de los eventos de ENOS y PDO, son recurrentes en los periodos descritos, son los estudios que científicos de otros países han realizado, sobre eventos de la sequía.

El problema es sumamente grave al grado que está catalogado como uno de los cinco grandes problemas ambientales a nivel mundial (UN, 2002).

Mediante el estudio de los procesos que provocan la sequía se ha logrado entender que no es nuevo ni provocado únicamente por actividades antropogénicas, más bien es un proceso que se remonta al cambio climático del Pleistoceno al Holoceno (Adams, 2002; Williams et al. 1998).

El evento más grave que se conoce en la actualidad por su magnitud y trascendencia fue el llamado "dust bowl", que se presentó en las planicies centrales conocidas como Great Plains (Grandes Planicies) de los Estados Unidos y que abarcó más de dos tercios de su territorio, producto de la eliminación de la cubierta vegetal y roturación del

suelo, antes cubierta con praderas altas que evitaba que el viento levantara las partículas sueltas del suelo y provocara graves procesos de erosión eólica.

En la actualidad existe una gran cantidad de documentos que narran estos impactantes eventos que obligaron a millones de norteamericanos a migrar a la costa oeste en busca de mejores oportunidades (NOAA, 2000 y Woodhouse et al. 2002).

El análisis de este gran desastre en los Estados Unidos de Norteamérica que se ha repetido en fechas más recientes (1956 y 1984) y al parecer se está ante un nuevo dust bowl (Sieger, 2002) motivando a los científicos a estudiar a mayor profundidad las causas que lo provocaron.

Larson (1994) utilizando reconstrucción de datos históricos de los misioneros y los primeros pobladores en California, detecta una serie de eventos de sequías e inundaciones recurrentes, asimismo hace una reconstrucción utilizando datos proxy y a través de técnicas estadísticas de regresiones y series de tiempo, establece los periodos de sequías e inundaciones que narran los primeros colonizadores de California.

Biondi et al. (2001) utilizando datos proxy de la dendrocronología reconstruyen los periodos cíclicos de la PDO desde 1661 al 1992, para ello analizan los datos obtenidos del *Pinus jeffreyi* pinácea que crece en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California. Estos autores dicen que la evaluación de los datos proxy de la dendrocronología es la que mejor ajusta a periodos recurrentes de sequía y humedad en ciclos de 22 años. (Fig. No. 10)

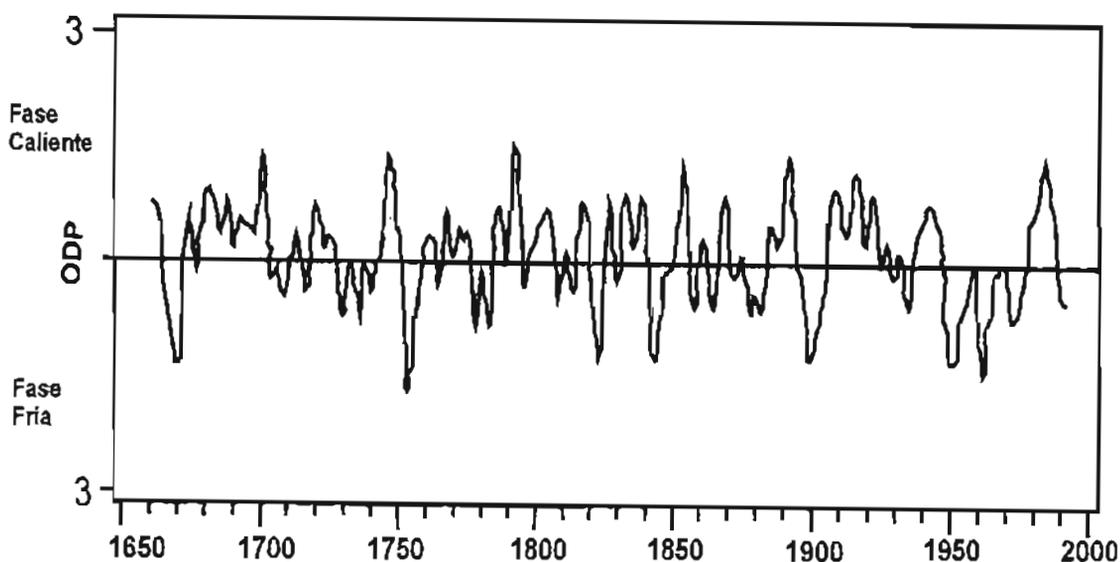


Fig. No. 10 Reconstrucción de periodos recurrentes de fases frías y calientes, en base a datos proxy de la dendrocronología, para el Noroeste de Norteamérica, incluyendo a Baja California. Fuente: Tomada y adaptada de Biondi et al. (2001).

deMenocal (2001) al hacer una revisión de eventos pasados de sequía, menciona que éstos han sido recurrentes desde el inicio del Holoceno hace aproximadamente 11,500 años. Este mismo autor a través de datos dendrocronológicos identifica con bastante precisión diferentes periodos de sequía y dice que de 1572 a 1593 se presentó en el Suroeste de Norteamérica una Gran Sequía que duró aproximadamente 22 años. Shen y Tabios (1995) al hacer una reconstrucción dendrocronológica en la cuenca del río Sacramento en California detectan también el año de 1580 la presencia de una gran sequía, y en 1930 la más reciente.

Clark et al. (2002) mencionan periodos recurrentes de sequía en los Estados Unidos de Norteamérica; estos autores a través de análisis de sedimentos reconstruyen eventos de sequía en el Holoceno Medio hace 6000 años.

Adams (2002) y Williams et al. (1998) hacen una revisión de las condiciones ambientales; incremento de temperaturas, disminución de la precipitación e inestabilidad climática de los diferentes periodos de la transición del Pleistoceno al Holoceno. Todos estos datos proxy nos indican que en la región noroeste de Norteamérica incluyendo el noroeste de la Baja California la fase fría está activa y que de ser cierta la tendencia de la información disponible, debemos esperar un promedio de 22 años de lluvias por abajo de la media no obstante la presencia de eventos de ENOS. Por este motivo es absolutamente urgente establecer estrategias que mitiguen en lo posible los drásticos efectos de la sequía que inició a partir del invierno de 1999.

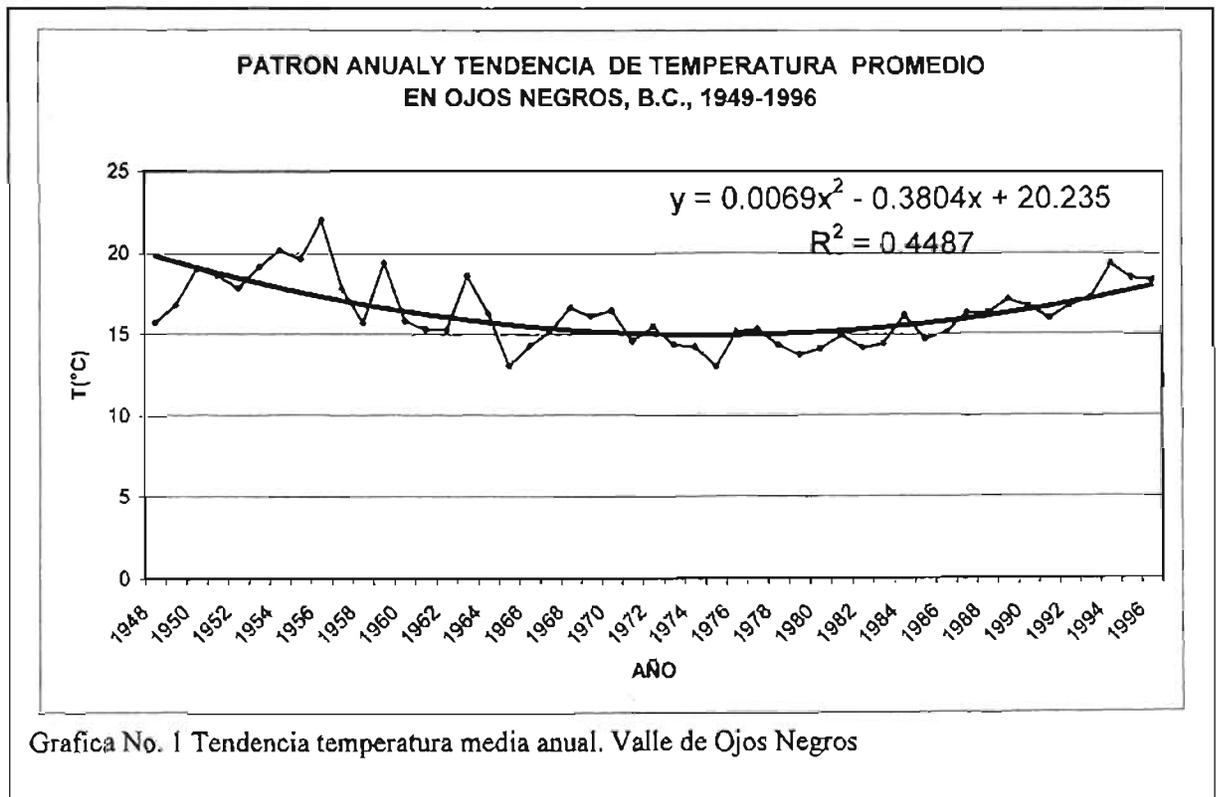
#### **VI.7. Discusión**

Respecto a la tendencia de las variables climatológicas, al hacer una revisión bibliográfica y análisis de la información disponible de las características climatológicas y paleoclimatológicas, ha permitido definir un patrón del comportamiento de la cantidad y la distribución errática de la precipitación. Si tomamos en cuenta que durante la fase fría de la PDO (1948-1976), la media anual acumulada para la estación climatológica del valle de Ojos Negros fue de tan solo 189 mm, contra la media anual acumulada de todo el periodo de registro fue de 253 mm se observa una anomalía negativa. Se espera que la siguiente fase fría la cual se supone iniciara en 1999, tenga esta misma tendencia.

En relación a las temperaturas parecen presentar una distribución más consistente a través de las diferentes épocas del año y en periodos a mediano y largo plazo, pero no implica que no haya habido incrementos en la media anual. Esto se puede deber al escaso periodo de registro de la mayoría de las estaciones climatológicas (40 años). Al

efectuar un análisis de regresión lineal para la estación climatológica de Ojos Negros, ( $y = 0.0069x^2 - 0.3804x + 20.235$ ), se observa en la **b** una ligera tendencia de un incremento de **0.3804**, es decir 3 décimas de grado lo que permite inferir una tendencia de un incremento de las temperaturas. (Ver grafica No. 1)

Esta tendencia se puede explicar de la siguiente forma. Al observar la gráfica desde 1948 a 1975, la curva sigue un patrón descendente, pero de 1976 a 1996, se observa un patrón ascendente, es decir sigue la misma tendencia de las fases frías y calientes de la PDO, por lo tanto se podría esperar que de 1999 en adelante pudiera revertir la tendencia hacia un incremento de las temperaturas promedios anuales. A menor precipitación se presenta un incremento de la temperatura y a mayor precipitación una disminución de las temperaturas.



Ercan (1999) y Ponce et al. (2001) al realizar estudios del comportamiento de las variables climatológicas en la Sierra de Juárez incluyendo al valle de Ojos Negros, dicen que se observa un patrón decreciente de la temperatura máxima promedio pero también una tendencia de incremento anual de la temperatura mínima absoluta. Asimismo estos autores indican que se está presentando un proceso de incremento de la humedad relativa debido a la exagerada extracción de las aguas subterráneas del acuífero, pero lo que estos autores no analizaron, es que el incremento de la humedad relativa posiblemente tiene su origen a un incremento de la precipitación por la presencia de la fase caliente de la PDO (de 1976 a 1998) más que a la extracción del agua subterránea.

Otros autores al hacer referencia al incremento de las temperaturas a escala planetaria, dicen que en los últimos 100 años las temperaturas han experimentado un incremento de 0.5° C, (Le Houérou, 2002) suficiente para que la tasa de ETP se incremente significativamente por déficit de precipitación, y una tendencia hacia la desertificación por inadecuadas prácticas agrícolas. Crowley, (2000) y Jones et al. (2001) mencionan que en los últimos 30 años de 1961 a 1991, la temperatura se incrementó en el Hemisferio Norte en 0.2° C, el más caliente en los últimos 1000 años.

Es obvio que el área de estudio de esta tesis no escapa a esta característica, ya que la información analizada muestra tendencias hacia un proceso de desertificación, como esta sucediendo en la porción sur de valle de Ojos Negros, en donde se observa una alta reflectividad del suelo debido a que se la ha eliminado por completo la cubierta vegetal (Ver Figuras; 1, 2 y 4; Unidad cartográfica H).

Otros valles agrícolas al sur del Puerto de Ensenada están en proceso de

desertificación, básicamente por dos razones; exceso de sales en agua de riego y sobreexplotación de los acuíferos que permitían la agricultura en estos valles. Asimismo otro fenómeno recurrente y que incide en el proceso de desertificación, son los incendios forestales en Baja California. A la fecha se ha demostrado que los incendios forestales en Baja California presentan un patrón de quemas de áreas pequeñas a diferencia del patrón que se presenta en California que ha llegado a devastar extensas áreas (Keely, 2002; Minnich, 1987 y Minnich y Franco-Vizcaino, 1998).

Esto ha provocado y sigue promoviendo la erosión hídrica del suelo. Una vez que se presenta un incendio y le continúa el periodo de lluvias sin importar el volumen de precipitación, los suelos están descubiertos y sin ninguna protección por la combustión de la escasa materia orgánica que ayude a retener las partículas del suelo.

Conjuntamente con los incendios forestales, la eliminación de la cubierta vegetal por la práctica de una ganadería extensiva y de baja eficiencia (se ha estimado un índice de coeficiente de agostadero de 32 Ha por carga animal para el ecosistema mediterráneo COTECOCA, sin fecha), están incidiendo fuertemente en la pérdida de la capa del suelo y la retención e infiltración del agua hacia los acuíferos.

## **VII EVALUACIÓN DE LA TIERRA**

En este capítulo se utilizaron dos estrategias de evaluación de la tierra. La primera; se refiere a la definición de las zonas agroclimáticas (ZAC) estrategias de la FAO (1978) para asegurar la viabilidad de la agricultura de temporal en regiones donde la falta de infraestructura hidráulica, la variabilidad y déficit de la lluvia limitan este tipo de agricultura bajo el marco del desarrollo sustentable. Es una evaluación puramente física que esta sustentada en la capacidad que tiene el suelo para almacenar agua una vez terminado el periodo de lluvias.

La segunda estrategia se desarrolló a través de un programa de árbol de decisiones, Automatic Land Evaluation System (ALES). En el capítulo II.3.4 se hizo una amplia descripción de las características y bondades de este programa y la importancia que tiene en evaluaciones cuantitativas del sector agropecuario para la toma de decisiones sobre los usos actuales de la tierra a escala regional, ejidal o parcelaria.

Se utilizó ALES para evaluar cuantitativamente los aspectos físicos y económicos de las 11 unidades cartográficas previamente definidas para el valle de Ojos Negros. (Ver Tabla 1, Leyenda geopedológica y Fig. No. 5 Mapa Geopedológico).

### **VII.1 Zonas agroclimáticas**

Para el desarrollo de este sistema de evaluación de la tierra desarrollada por la FAO (1978) es absolutamente indispensable contar con la información capturada por las estaciones climatológicas de la región bajo estudio

A nivel de todo el país un problema recurrente que se presenta en la elaboración de estudios agrometeorológicos, es precisamente esa falta de información climática tanto a escalas temporales reducidas, por ejemplo valores horarios, así como a escalas

espaciales adecuadas, como el monitoreo a meso y microescala, limitando la posibilidad de efectuar estudios confiables en amplias zonas de nuestro territorio.

El Colegio de Postgraduados (CP) es de las pocas instituciones a escala nacional que se ha preocupado por desarrollar este campo. En 1990 esta institución realizó un estudio cuyo objetivo fue el de generar mapas de zonificación agroecológica en cuatro estados de la República Mexicana para la agricultura de temporal (Tijerina et al. 1990).

Anterior a este gran esfuerzo del CP, Ortiz (1989) evaluó el potencial agroclimático en el estado de Hidalgo con el cálculo de varios índices agroclimáticos: probabilidades de lluvia, período libre de heladas y unidades térmicas acumuladas. Campos Aranda

(1989) realizó una serie de estimaciones agroclimáticas para el estado de San Luis Potosí como son las evapotranspiraciones potenciales mensuales por los criterios de Papadakis, Hargreaves y Turk, conjuntamente con los balances hídrico-edafológicos.

Sánchez et al. (1989) describen el procedimiento para la generación de clasificaciones agroclimáticas propuesta por la FAO (1978). Ortiz (1988) realizó una delimitación climática de áreas homogéneas en la zona centro de México usando análisis de conglomerados con el propósito de mostrar que una clasificación realizada de esta manera puede ayudar a desarrollar un mejor potencial de variedades seleccionadas para un óptimo rendimiento. Berzoza (1993) realizó una zonificación agroclimática del cultivo de la cebolla en algunas zonas de la República Mexicana.

Por lo que respecta a nivel mundial la UNESCO a través de la FAO impulso la creación de Zonas Agroclimáticas (ZAC) apoyando trabajos de investigación en el África subtropical cuando en la década de los setentas se presentó una grave y prolongada sequía provocando serios daños a la agricultura, consecuentemente a la población y a

su economía, el resultado de estos trabajos fue el desarrollo de un sistema de evaluación de tierras, la creación de las zonas agroecológicas (ZAE) (FAO, 1978 y Kassan et al. 1991).

En la década de los noventa la FAO apoyó el desarrollo de Talleres de trabajo con expertos en evaluación de tierras con el propósito de asegurar la producción de alimentos bajo la óptica de la sustentabilidad. Para 1997 se habían desarrollado dos reuniones, la primera tuvo lugar en 1991 y la segunda en 1997 (Soil Bulletin 73).

Respecto a otros trabajos desarrollados siguiendo este tipo de enfoque y la metodología desarrollada por la FAO; Badini et al. (1997) han aplicado el concepto de ZAC, para localizar las mejores zonas con un buen balance de humedad en el suelo para la producción de gramíneas bajo condiciones de temporal, además definen el Índice de Aridez y el Índice de Stress.

Cunillera y Llasat (1997) utilizando imágenes satelitales AVHRR-NOAA, técnicas de análisis multivariado, análisis de componentes principales, el índice de Papadakis para el cálculo de la EPT, y una red de 107 estaciones climatológicas en la región de Cataluña en España, hacen una definición espacial y temporal de zonas agroclimáticas. Hasta aquí se ha hecho referencia a la importancia que tiene el desarrollo de métodos y técnicas de evaluación de la tierra concretamente a las ZAC. Asimismo en párrafos anteriores se hizo referencia a la falta de información de las variables meteorológicas y climatológicas en nuestro país. La misma situación se presenta en el estado de Baja California. El estado cuenta con una red de 120 estaciones climatológicas, de las cuales varias están fuera de servicio con periodos amplios de falta de datos,

desperfectos en los equipos, series de datos incompletas y mala distribución de las mismas.

Desde 1995 la Comisión Nacional del Agua (CNA) ha emprendido un programa de rehabilitación de las estaciones climatológicas en el estado, no hacen referencia a la instalación de nuevas estaciones en áreas que en la actualidad no están cubiertas, como las cuencas intermedias de las sierras de Juárez y San Pedro Mártir, estas y otras zonas carecen en lo absoluto de información meteorológica.

Este tipo de información es absolutamente indispensable para conocer con bastante precisión el comportamiento de variables como temperatura para definir los rangos de periodos libre de heladas, o las temperaturas óptimas bajo las cuales los cultivos pueden germinar, crecer o llegar a la floración o fructificación. El resultado del análisis de estas variables es la determinación de zonas o divisiones climáticas (Ortiz-Solorio, 1982, Tijerina et al. 1990 y Gómez, 1999).

Uno de los problemas a resolver para la definición de las ZAC, fue el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP). Esta variable se debe de obtener utilizando la información que capturan las estaciones climatológicas. Para su estimación existen varios métodos (Penman, 1948; Thornthwaite, 1948), Penman es el más confiable, pero también el más complejo para ser utilizado, debido a que se requieren variables que la mayoría de las estaciones convencionales no capturan, p.e. radiación neta y velocidad de viento.

Ante la falta y deficiencia de variables meteorológicas para el cálculo de la ETP, Gómez (1999) propone el método de Papadakis para estimar la EPT, el cual utiliza datos de temperaturas máximas promedio; temperaturas mínimas promedio; promedio de

temperaturas más bajas; precipitación y presión de vapor. Esta última variable no la capturan las estaciones climatológicas convencionales. Para resolver este problema Gómez, proporciona una tabla para el cálculo de la presión de vapor (humedad relativa) con lo cual es factible obtener la ETP.

Por otro lado Tejeda (1994) desarrolló un modelo empírico que permite el cálculo del comportamiento horario de variables meteorológicas a partir de datos mensuales, y simular valores horarios, medios mensuales de temperatura ambiente y humedad relativa horaria media mensual a partir de las medias extremas.

Con la utilización de los métodos de Tejeda (1994) para el cálculo de la humedad relativa y de Gómez (1999), es factible el cálculo de la ETP por el método de Papadakis.

## **VII.2 Procedimiento para la definición espacial y temporal de las zonas agroclimáticas (ZAC)**

Para el desarrollo de este apartado, se retomó parcialmente la metodología utilizada por Tijerina et al. (1990) mediante la cual generaron cartografía escala 1:1,000,000 definiendo las zonas agroecológicas para la producción de ocho cultivos básicos de temporal en cuatro estados de la República Mexicana.

En esta tesis se retoma toda la primera parte de la metodología de Tijerina et al. (1990) que proponen en su trabajo (caracterización climática, generación de mapas de isotermas e isoyetas) pero en lugar de utilizar el método Thorntwaite, para el cálculo de la ETP, en esta tesis, se utilizó el método de Papadakis (citado por Gómez, 1999), que es más preciso y confiable.

La modificación y aporte que aquí se propone, es el cálculo de la ETP por el método de Papadakis y la utilización de los SIG para la generación de las ZAC, que ofrecen la posibilidad del manejo de bases datos, como las variables climáticas permitiendo hacer inferencia estadística utilizando modelos de regresión lineal, funciones algebraicas y modelos predictivos mediante el uso de funciones booleanas principalmente **AND**. El manejo de las variables climatológicas con la utilización de los SIG, permite generar cartografía mostrando las interacciones de las diferentes variables con mayor precisión y rapidez que la forma tradicional.

Inicialmente se capturan las variables climatológicas, temperaturas medias semestrales de la estación lluviosa, así como las precipitaciones para la misma estación de lluvias.

Una vez capturadas estas variables se procede a calcular la humedad relativa mediante el modelo de Tejeda (1994). Obtenido este valor se procede al cálculo de la

Altitud de las estaciones climatológicas en msnm	Precipitación en mm estación húmeda	Temperaturas medias en °C, estación húmeda	ETP en mm estación húmeda
1350	431	8.55	348.78
712	205	13.18	686.0
1000	248	11.87	450.0
13	251	13.87	558.29
351	274	13.13	594.88
170	314	14.62	508.64
410	245	14.43	470.05

Tabla No. 10 Datos de temperaturas medias semestrales; precipitaciones medias semestrales y evapotranspiraciones potenciales medias semestrales, todos los datos son para la estación lluviosa. Fuente: Subgerencia Regional Técnica de la Comisión Nacional del Agua, Jefatura de Proyectos Meteorológicos, 2002.

ETP por el método de Papadakis, de acuerdo a lo propuesto por Gómez (1999). La Tabla No. 10 muestra los datos capturados; precipitación media de la estación lluviosa (para el caso de nuestra región comprende de noviembre a abril), temperatura media semestral de la estación húmeda y el valor de la ETP para cada una de las estaciones

climatológicas capturadas, así como la altitud a la que se localiza cada una de las siete estaciones climatológicas utilizadas.

Es importante enfatizar que los datos de temperaturas, precipitaciones y ETPs, se obtuvieron únicamente para el periodo de la época fría lluviosa (noviembre-abril), ya que también en el trabajo elaborado por Tijerina et al. (1990) hacen esa separación aunque las épocas de secas y lluvias son diferentes.

Para la obtención espacial y temporal de las ZAC, se utilizó el SIG IDRISI V. 32.2, así como los MDET escala 1:250,000 del INEGI (30° a 31° Latitud N y 115° a 117° Longitud. W)

- a. En el módulo EDIT del SIG IDRISI, se capturaron; inicialmente las altitudes a las que se localizan las estaciones climatológicas de la Cuenca del Arroyo Guadalupe.
- b. Lo mismo se hizo para la precipitación y temperatura.

Los archivos capturados en el módulo EDIT del SIG, se utilizaron para generar tres modelos de regresión lineal para cada una de las variables temperatura, precipitación y ETP. El primer modelo fue correr el archivo de altitud a la cual se le define como la variable independiente contra temperatura como variable dependiente. Las temperaturas, precipitaciones y ETPs, para la región en estudio, se comportan en función de la altitud. A mayor altitud mayor precipitación (relación directa) a mayor altitud, menor temperatura (relación inversa) y a mayor altitud menor ETP (relación inversa)

El resultado de la regresión lineal de los tres modelos se presentan en la Tabla No. 11

La fórmula del modelo de regresión lineal, es la recta ( $Y = a + bx$ ) en donde  $a$  intercepta

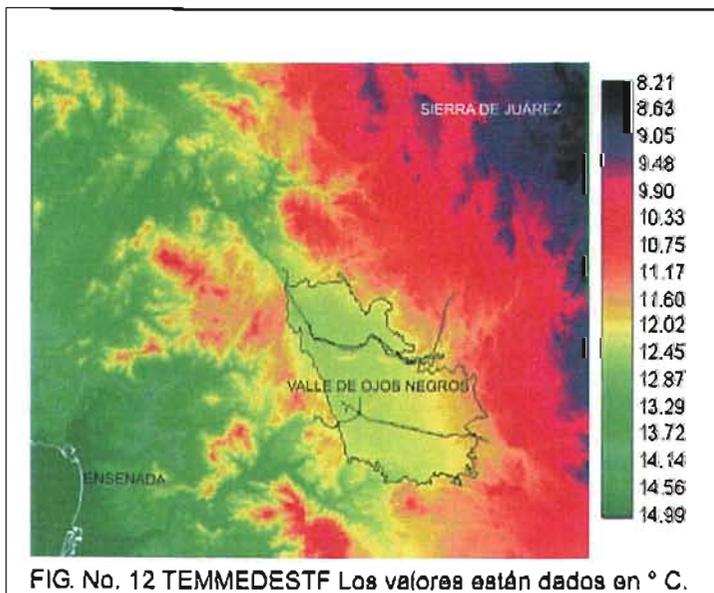
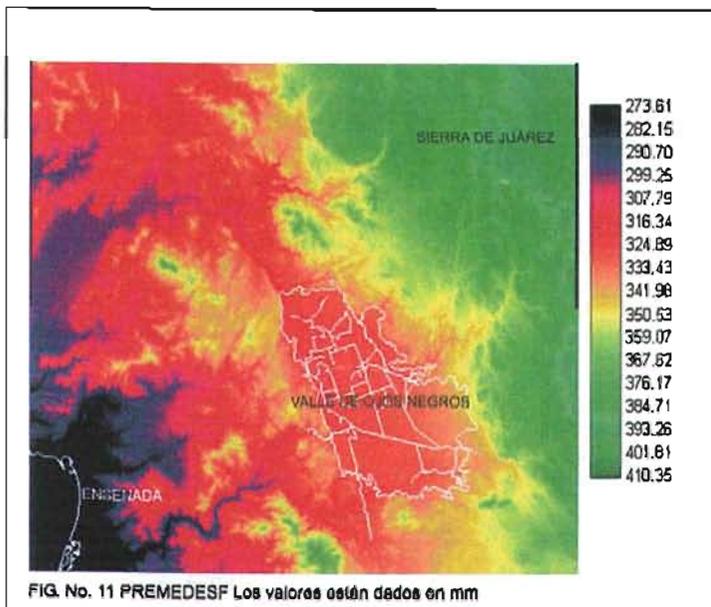
TEMPERATURAS $Y = 14.988047 + -0.003803 \cdot X$	Coefficiente de correlación $r = -0.864805$
PRECIPITACIÓN $Y = 236.080992 + 0.077587 \cdot X$	Coefficiente de correlación $r = 0.49974$
ETP $Y = 571.3136617 + -0.094346 \cdot X$	Coefficiente de correlación $r = -0.407969$

Tabla No. 11 Modelos obtenidos mediante el Módulo REGRESS (regresión simple)

a la pendiente  $b$ , la  $x$  es la variable independiente y la  $y$  es la variable dependiente. Los valores de la Tabla No. 11 de la regresión lineal, se utilizan de la siguiente forma: el valor de  $b$ , que para la temperatura es  $-0.003803$ , se multiplica con un modelo digital de elevación de terreno, utilizando el módulo SCALAR. El resultado es un archivo temporal, al cual una vez más se le aplica el módulo SCALAR para sumar a cada píxel el valor de  $a$ , que para el caso de las temperaturas es de  $14.988047$ . El resultado es un archivo raster que muestra la distribución espacial y temporal de la temperatura en cualquier punto del gradiente altitudinal.

Para la obtención de la distribución espacial y temporal de la precipitación y ETP, se hizo exactamente lo mismo. En este punto ya se tenía toda la información indispensable para generar las ZAC de la Cuenca del Arroyo Guadalupe.

A los archivos obtenidos en el paso anterior se les denominó PREMEDES (Precipitación semestral estación fría, Fig. No. 11) TEMMEDEST (temperaturas medias semestrales estación fría, Fig. No. 12) y la ETPMEDES (evapotranspiración potencial estación fría. (Fig. No. 13).

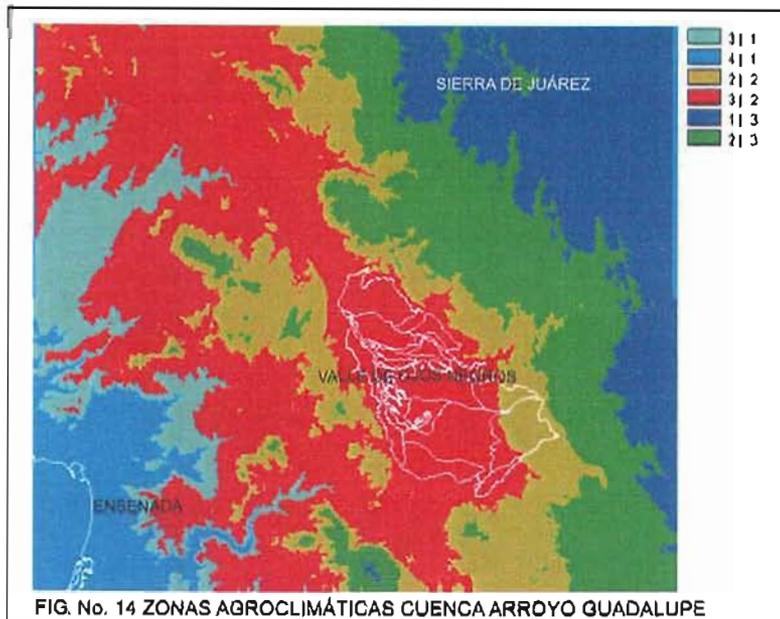
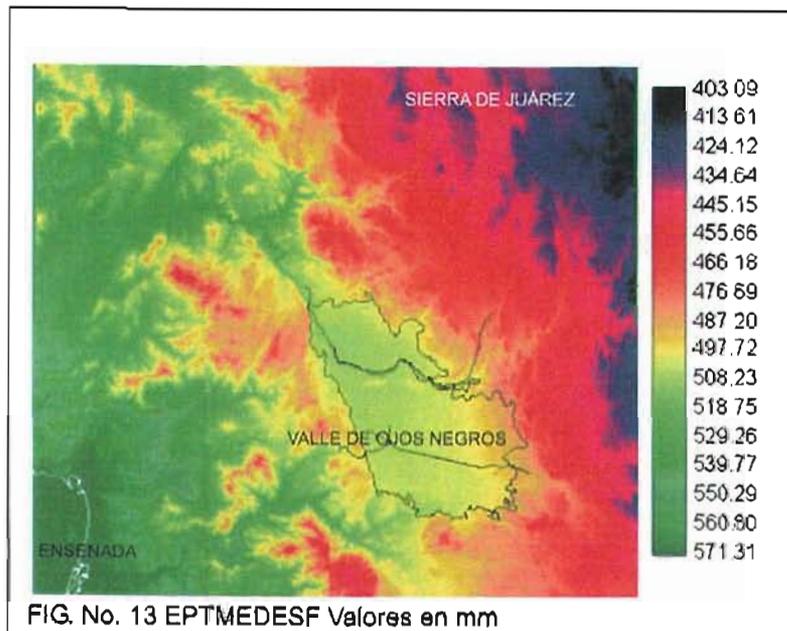


En un siguiente paso el archivo de precipitación PREMEDESTF, se dividió contra ETPMEDESTF, utilizando el módulo OVERLAY y operación algebraica de división.

Esta operación genera un archivo raster que se interpreta como un balance de humedad residual del suelo, llamado también Índice de aridez ( $P/ETP$  Le Houérou, 1996; Williams y Balling, 1996). Este archivo de balance de humedad residual genera píxeles con rangos de valor de 0.0 hasta > de 1.

Los archivos generados de humedad residual y de temperaturas se reclasifican, utilizando el módulo RECLASS, para obtener rangos de clases de humedad residual y temperaturas

Por último los archivos resultantes de reclasificar humedad y temperaturas se cruzan utilizando el módulo CROSSTAB, el cual es una función booleana AND, dando como

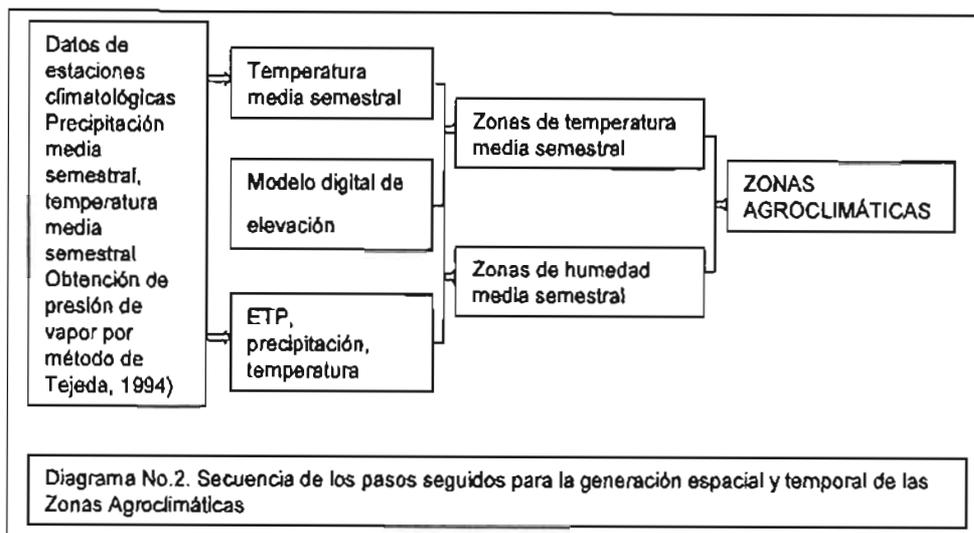


resultado las zonas agroclimáticas, (Fig. No. 14) con una leyenda que genera dos columnas. Los valores pares que sean semejantes, tendrán un buen balance de humedad ejemplo: la clase tres presenta valores pares de 2||2,

indicando que todos los pixeles que cubre esta clase (color amarillo), tendrán un buen balance de humedad permitiendo que una vez que ha terminado el ciclo de lluvias de invierno, el suelo ha almacenado suficiente

humedad para asegurar que el cultivo pueda llegar a su madurez fisiológica.

Por el contrario los valores pares que no son iguales, ejemplo 3||1, 4||1, 3||2, y así sucesivamente no son susceptibles de ser utilizadas para agricultura de temporal.



El Diagrama No. 2 muestra la secuencia que se siguió para obtener las ZACs del Arroyo Guadalupe.

### VII.3 Utilización de ALES, para definir la aptitud territorial de las 11 unidades cartográficas en el valle de Ojos Negros.

Para la alimentación y construcción del modelo se utilizaron tres tipos de datos:

- a). Encuesta levantada a los productores locales de las actividades que ellos realizan en los dos ciclos de siembra de riego y temporal.
- b) También se utilizaron datos de los paquetes tecnológicos que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 1998) ha desarrollado para los 47 cultivos de riego y temporal que se siembran en la zona costa con ecosistema mediterráneo. Para el caso que nos ocupa se utilizó el paquete tecnológico de cebollín bajo riego. Cultivo de exportación con una amplia rentabilidad, que de aquí en adelante le llamaremos tipo de utilización de tierra a evaluar (TUT).
- c). información referente a las características físicas y químicas de los suelos de 11 unidades cartográficas y datos de laboratorio cuya tabla se incluye en el anexo 1.

El programa ofrece la posibilidad de ingresar los datos desde el teclado, o a través de bases de datos en archivos ASCII, hojas de cálculo, formatos Dbase y Excel.

En este trabajo la información que solicita el programa se introdujeron directamente desde el teclado, a través del cual se capturaron todos datos de los requisitos de uso de la tierra, los insumos que requiere un determinado cultivo (en este caso fue cebollín de exportación TUT evaluada), las características de uso de la tierra (Tablas 6 y 7) y la tasa de retorno. Este último dato es de suma importancia ya que mediante el cual se hace todo el cálculo económico y que finalmente es lo que el productor debe de conocer para decidir las mejoras tecnológicas que requiere para incrementar la producción, y una mayor rentabilidad por hectárea. Bajo estos criterios el productor tiene la capacidad de definir si una parcela o una unidad cartográfica tiene una determinada aptitud para el cultivo que se está evaluando de acuerdo a las cuatro clases de aptitud que define la FAO (1976).

Los datos del paquete tecnológico del INIFAP que se introdujeron se concentran en la Tabla 6. Paquete tecnológico para el cebollín de exportación bajo riego.

La tasa de retorno que se utilizó fue del 25 %, la cual es acorde a la tasa de interés que cobra el banco en estas fechas para un préstamo de avío o para cultivos de ciclos cortos o anuales.

Otro dato importante que solicita el programa para hacer el cálculo, es la producción óptima o media sobre la que se desea se haga la evaluación. Para este caso el INIFAP, dice que este cultivo presenta un rango que va desde 13 a 35 toneladas por hectárea, pero que 16 toneladas es la producción óptima para la región. Este nivel de producción fue el que se introdujo y es acorde a los rangos de producción que se obtiene en el valle de Ojos Negros que van de 16 a 19 ton/ha. (Encuesta a productores, en el valle de Ojos Negros)

PAQUETE TECNOLÓGICO CULTIVO CEBOLLÍN BAJO RIEGO					
Preparación del suelo	Siembra	Labores culturales	Control de plagas y enfermedades	Cosecha	Asistencia técnica
Barbecho Rastro Surcado Empareje	Semilla Siembra Fertilizante Riegos Costo de agua Cinta de goteo Instalación de cinta	Cultivo Deshierbes Aporque	Herbicidas Insecticidas Fungicidas Aplicaciones	Extracción	Asistencia técnica
Costo por hectárea \$1,737.00 (En pesos)	Costo por hectárea \$15,549.00	Costo por hectárea \$2,922.00	Costo por hectárea \$2,774.00	Costo por hectárea \$4,800.00	Costo por hectárea \$ 1,389.00

Tabla 6. Paquetes tecnológicos para el área de influencia del Campo Experimental Zona Costa Zona Costa de Ensenada. Fuente INIFAP (1998) y Delegación Ensenada de la SAGARPA.

Una vez capturados todos los datos de las tablas 6 y 7 y de las 11 unidades de las 16 unidades cartográficas de la Tabla 1 del Mapa Geopedológico, se construyeron los árboles de decisión, que son la esencia del programa.

En la Tabla 8, se presentan los resultados de los diferentes niveles de clases y subclases de aptitud física y los niveles de aptitud económica para la TUT evaluada (cebollín bajo riego) para las 11 unidades cartográficas evaluadas.

Acorde al esquema de la FAO (1976) la clase 1 de aptitud física, no presenta ningún tipo de restricción para ser utilizada para cualquier TUT; la clase 2, presenta ciertas

REQUISITOS DE USO DE LA TIERRA	LISTA DE PRODUCTOS	LISTA DE INSUMOS†	LISTA Y DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA TIERRA.*
Disponibilidad de agua para riego	Cebollín de exportación TUT	Aporque	Cantidad de agua
Fertilidad natural		Asistencia técnica	Conductividad eléctrica
Humedad disponible		Barbecho	Grupo de relieve
Mecanización		Costo de agua	Profundidad efectiva
Riesgo de erosión		Cinta de goteo	Pendiente
Riesgo de inundación		Instalación cinta de goteo	Salinidad
Salinización		Control de plagas y enfermedades	Textura del suelo
Temperatura		Cosecha	Zona de vida
		Cultivo	
		Deshierbe	
		Empareje	
		Fertilizante	
		Labores culturales	
		Rastreo	
		Riegos	
		Semilla	
		Siembra	
		Surcado	

Tabla No. 7. Datos que solicita ALES, para construir los árboles de decisión.

† Los datos de esta columna tienen un costo de operación, el cual está en la Tabla No. 6 del Paquete tecnológico del cebollín bajo riego.

\* Los datos que se introdujeron a ALES de esta columna fueron tomados de la base de datos de las 11 Unidades cartográficas resultado del levantamiento geopedológico al que se hizo referencia en el capítulo V.

restricciones para ser utilizada para una determinada TUT; La clase 3 marginalmente para cualquier TUT. La clase 4 indica que las unidades cartográficas que obtuvieron ese valor, presentan serias restricciones de aptitud física para la TUT evaluada.

Los otros tipos de evaluación que genera ALES son; subclases de aptitud física y clases de aptitud económica. Las subclases de aptitud física muestran cual o cuales son las restricciones específicas que presenta una unidad cartográfica para la TUT

evaluada. Ejemplo la unidad cartográfica J, Llanura de inundación con una evaluación de subclase de aptitud física **4 sal**, indica que el suelo tiene serias restricciones y riesgo de salinización con el cultivo de cebollín bajo riego que fue evaluada. (Tabla No. 8)

Bajo esta premisa las unidades cartográficas H (Llanura fluvial eólica), e I (Terrazas aluviales), son las que tiene la mejor aptitud física para el TUT utilizado sin ninguna limitación, asimismo la unidad cartográfica C (Crestas residuales) obtiene un valor de **2**, indicando que presenta una aptitud media.

El otro tipo de evaluación que efectúa ALES, es la clase de aptitud económica del cultivo. Siendo consecuente con el esquema de la FAO, ALES también genera cinco clases de aptitud económica; **S1** aptitud alta, **S2** aptitud media y **S3** aptitud marginal.

**N1** indica que bajo las condiciones actuales de sus características físicas, no es apta y **N2**, indica que esta clase de aptitud económica es permanentemente no apta para la TUT evaluada. Además esta clase de aptitud económica proporciona cuatro tipos de evaluaciones: valor presente neto, tasa interna de retorno, relación beneficio/costo y margen bruto.

La Tabla No. 8, muestra los valores de las unidades cartográficas **C**, **H** e **I**, que obtienen un valor de **S3**, indicando que desde el punto de vista económico son marginalmente aptas para la TUT evaluada.

Las unidades cartográficas con valores de aptitud de **N1** y **N2** prácticamente no son aptas para la TUT evaluada.

La última columna de la Tabla No 8, relación beneficio/costo que es una de las cuatro subclases económicas, muestra que las unidades cartográficas **C**, **H** e **I**, obtienen

valores de relación beneficio/costo de **0.81** indicando que económicamente son marginalmente aptas para la TUT evaluada, no obstante lo deseable sería obtener un valor de relación beneficio/costo mayor de 1. Por último las unidades cartográficas que obtuvieron valores de **4** de aptitud física y valores **N1** y **N2** de aptitud económica y valor de relación beneficio/costo mayor de 1. Por último las unidades cartográficas que obtuvieron valores de **4** de aptitud física y valores **N1** y **N2** de aptitud económica y relación beneficio/costo igual a cero (0) no tienen ninguna aptitud para ser utilizadas con la TUT evaluada, indicando que el productor siempre tendrá pérdidas en cada ciclo agrícola.

Una vez que se ha hecho la evaluación, el programa proporciona una serie de datos, que justifican, los resultados de las clases de aptitud física, así como de la relación beneficio/costo, tasa interna de retorno, margen bruto, etc. Asimismo para cada valor obtenido, el programa siempre presenta la opción a través de la cual se le pueda preguntar **¿porque de un determinado valor?** Esto permite tanto al evaluador como al productor mostrar en que parte del ciclo de cultivo se tienen o presentan restricciones para obtener un óptimo rendimiento y a la vez permite en ese menú modificar valores de requisitos o cualidades de la tierra, la tasa interna de retorno y poder recalcular todo el modelo, esto permite a ambos; productor y técnico tener la posibilidad de obtener mejores rendimientos para el ciclo agrícola y TUT evaluadas.

MATRIZ RESULTANTE PARA EL TUT CEBOLLIN DE EXPORTACIÓN BAJO RIEGO			
Unidad cartográfica	Clase y Subclase Aptitud física de la tierra para el TUT evaluada	Clase de aptitud económica	Relación Beneficio/costo
A	4 dar = Significa que esta unidad cartográfica presenta la más baja aptitud para ser utilizada para esa TUT. dar es igual baja o nula disponibilidad de aguas para el riego	N2= Permanentemente no apta	0= No se obtiene ningún beneficio
B	3 re/mc = alto riesgo de erosión por pendiente y mc mecanización impracticable por pendiente	N1= Actualmente no apta	0= No se obtiene ningún beneficio
C	2 mc/re/sal = La aptitud es buena permitiendo mecanización, riesgo medio de erosión por pendiente y riesgo medio de salinización por textura	S3 Marginalmente apta	.81=, Beneficio positivo
D	3 re/mc = alto riesgo de erosión y mecanización impracticable por pendiente y profundidad.	N1= Actualmente no apta	0= No se obtiene ningún beneficio
E	4 sal = Alto riesgo por salinidad	N2= Permanentemente no apta	0 = No se obtiene ningún beneficio
F	4 sal = Alto riesgo por salinidad	N2= Permanentemente no apta	0= No se obtiene ningún beneficio
G	4 sal = Alto riesgo por salinidad	N2= Permanentemente no apta	0= No se obtiene ningún beneficio
H	1 = Aptitud alta para el TUT evaluada, no presenta ningún tipo de restricción	S3 Marginalmente apta	.81 = Beneficio positivo
I	1 = Aptitud alta para el TUT evaluada, no presenta ningún tipo de restricción	S3 Marginalmente apta	.81 = Beneficio marginal
J	4 sal = Alto riesgo por salinidad	N2= Permanentemente no apta	0= No se obtiene ningún beneficio
K	No fue evaluada. El programa no evalúa, parcela o unidades cartográficas que no tienen ninguna posibilidad de ser utilizadas para cualquier TUT.	N2= Permanentemente no apta	? No pudo ser evaluado

Tabla No. 8. Resultados de la evaluación a través de ALES, de las 11 unidades cartográficas del valle de Ojos Negros

Esta pregunta se respondió modificando la TUT evaluada (cebollín de riego). Los cambios que se hicieron a este cultivo fue la tasa de retorno incrementándose al 30 %, los demás datos de la TUT fueron exactamente los mismos. El resultado fue que las

clases y subclases de aptitud física no se modificaron, pero las subclases de aptitud económica sí sufrieron un cambio bastante notorio ya que las unidades cartográficas C e I que eran marginalmente aptas, con la tasa de retorno del 30 % ninguna de las dos es apta, todas las unidades obtienen una aptitud de N2., permanentemente no apta.

Asimismo la relación beneficio/costo que para las unidades cartográficas C, H e I fue de .81, con esta nueva tasa ninguna obtiene un valor, es decir los costos de producción son muy altos y los niveles de producción y costo de venta no alcanzan a producir beneficios para el productor.

#### **VII.4 Discusión**

Indiscutiblemente que el aporte de la FAO con la creación de las zonas agroclimáticas como una de las propuestas de evaluación de la tierra, ha permitido tener certeza en la práctica de la agricultura de temporal en los países en desarrollo, como es el caso de nuestro país, en donde casi la mitad de nuestro territorio presenta climas áridos y semiáridos con un comportamiento errático de la precipitación. Esta situación es la que se presenta en la zona costera de Baja California, la única en el estado en donde se practica la agricultura de temporal.

En relación con el potencial que ofrece la tecnología satelital, conjuntamente con la utilización de toda la información climatológica y meteorológica a la que se ha hecho referencia, así como los métodos y técnicas utilizados para el cálculo de las ZAC, en el área de influencia de la zona de estudio, es decir la Cuenca del Arroyo Guadalupe (Ver. Fig. No. 13), se observa que el área agrícola que corresponde al valle de Ojos Negros, no es una zona que mantenga un buen nivel de humedad residual en el suelo después

que ha terminado la temporada de lluvias de tal forma que permita soportar la práctica de una agricultura de temporal.

Esto es bastante palpable cuando se observan los datos de superficie cultivada en el temporal. Durante los años de 1996 al 2000, se cultivaron 14066 Ha y solamente se cosecharon 8056 Ha, es decir el 57 %. Esto explica en parte que el valle de Ojos Negros no muestre un buen balance de humedad residual, como se observa en la Fig. No. 13, el valle obtiene una relación de 3|2, no apto para agricultura de temporal. Esto se debe de interpretar como una anomalía negativa, la ETP calculada fue de 686 mm mientras que la precipitación para el mismo periodo evaluado fue de tan solo 205 mm.

Los datos arriba analizados permiten inferir el inicio de un periodo de sequía a partir de 1999, esto obliga a las autoridades del sector agropecuario a establecer políticas de planeación regional que contemplen alternativas tecnológicas para hacer más eficiente la escasa precipitación que se espera para los próximos 18 años.

Las estrategias que aquí se proponen para tratar en lo posible mitigar esta situación son; reducción de áreas dedicados a la agricultura de temporal y de riego, sustituir los cultivos forrajeros con altos consumos de agua por los que tengan bajos consumos, como leguminosas nativas, propiciar la regeneración de pastizales nativos e inducidos con el propósito de reducir las superficies dedicadas a la agricultura de temporal y proteger de la erosión esta clase de suelos, incrementar el nivel tecnológico agrícola en cultivos de exportación y con alta rentabilidad y por último la propuesta de cambios de uso del suelo de las parcelas que después de una evaluación de la tierra obtengan valores bajos de aptitud física y económica y sean susceptibles de cambios de uso del suelo hacia actividades del sector de los servicios como ecoturísticas, o el sector

industrial con la instalación de empresas maquiladoras que absorban parcial o totalmente la mano de obra que no va a ser ocupada en el sector primario.

En relación a la otra propuesta de evaluación de la tierra, la utilización de ALES, indiscutiblemente que una de las grandes ventajas, es que tiene capacidad de generar una evaluación económica de la rentabilidad de los cultivos, aspecto que en nuestro país es aun deficiente.

La utilización de ALES ha sido bastante exitosa en comparación de otros programas sobre evaluación de la tierra al grado que en algunos países prácticamente lo han adoptado como una herramienta cuantitativa en la evaluación de tierras como parte de los insumos para la elaboración de sus planes y programas regionales.

El Asian Development Bank (2002) ha financiado proyectos de evaluación de tierras en Indonesia en donde se ha utilizado ALES como la herramienta básica en la evaluación de la actividad agrícola para el desarrollo de las estrategias de planeación y manejo de los recursos de las 18 provincias de Indonesia. Shepande (2002) utilizó ALES, en la planeación agrícola de una región de Kenia.

En América Latina en una cuenca hidrológica compartida entre Brasil y Uruguay, se estableció un Programa Asociado de Gestión de Crecientes (2002) entre las cuencas de los ríos Cuareim/Quarai. En este programa se decidió utilizar a ALES, para la evaluación biofísica de 800.000 ha. Aranda et al, (2000) utilizaron ALES para evaluar las características del cultivar de olivo en una región de Granada, España y crearon un sistema de consulta que lo llaman difuso porque la información capturada no es muy puntual, aun así consideran que la utilidad de esta base de datos es gran importancia para la toma de decisiones. Segrera et al. (2003) propusieron en Cuba un Sistema de

Soporte de Decisiones para optimizar el cultivo de caña, el sistema integra a los SIG, modelos de decisión multicriterio y como un programa de evaluación de la tierra a ALES.

Davidson (2002) hace una revisión del gran desarrollo que ha experimentado la propuesta de evaluación de la tierra desde la mitad del siglo anterior y hace referencia al gran aporte que experimentó este tema con la publicación del documento base de la FAO en 1976 y posteriormente el desarrollo de ALES sobre la propuesta de la FAO, lo que permite hacer una evaluación cuantitativa de la tierra para un mejor manejo de las áreas dedicadas a la agricultura.

En Marruecos Loukili et al. (2000) realizaron un estudio geomorfológico con el propósito de establecer programas de ordenamiento de la tierra. Posteriormente sobre la base del estudio geomorfológico, propusieron estrategias de evaluación de la tierra, para ello utilizaron dos de los métodos que se desarrollaron en el siglo anterior; Land Capability Classification System del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, y para la evaluación económica de la tierra utilizaron ALES. Toda esta información fue manipulada con un SIG.

Otro aspecto sumamente importante que se debe de considerar en la utilización de ALES, es que previo a la construcción de los árboles de decisión, se requiere de levantar una encuesta a los productores de acuerdo a los requisitos solicitados por el software.

Este tipo de información es un punto central de la evaluación debido a que tanto los productores como técnicos deben de diseñar, preparar y solucionar los problemas que representa el manejo de un determinado TUT, de esta forma se tendría una alta

probabilidad de obtener altos rendimientos y beneficios a los productores evitando problemas de erosión, agotamiento de la fertilidad natural, corregir problemas de acidez o ensalitramiento y mejorar sustancialmente la producción de la o las parcelas evaluadas.

De los resultados obtenidos en esta tesis con la utilización de ALES, saltan a la vista dos puntos; las unidades cartográficas H e I, obtiene un valor de 1 referente a la aptitud física, es decir que estas dos unidades cartográficas, no presentan ninguna restricción desde el punto de vista físico, pero cuando se observa el valor de aptitud económica, estas unidades obtienen un valor de **S3** marginalmente apta y una relación **beneficio/costo de 0.83**, se infiere que una unidad cartográfica puede ser físicamente apta, pero económicamente no es rentable, lo que implicaría que se tendrían que revisar los costos de producción.

Se considera que esta es una de las grandes ventajas de ALES, ya que permite revisar la evaluación, modificar los árboles de decisión o todo el modelo de tal forma que la relación **beneficio/costo** siempre sea mayor que 1.

Aun así en caso de que la TUT evaluada obtenga valores de 4 de aptitud física no implica que esa misma unida cartográfica al ser evaluada para otra TUT, pudiera modificar su valor de aptitud, p.e. un cultivo que es muy susceptible a la salinidad, no puede ser cultivado en parcelas con conductividad eléctrica mayor de 8 mmhos/cm, pero otros cultivos que sean resistentes a esa salinidad, tendrían bastante éxito en ese tipo de parcelas.

Esto implica que para conocer la aptitud de cada una de las unidades cartográficas, deberán ser evaluados cada uno de los más de 40 cultivos que el INIFAP tiene

registrados para la zona costa. En esta tesis se hizo la evaluación del mismo cultivo modificando solamente la tasa interna de retorno.

Asimismo la posibilidad de darle otro uso a un grupo de parcelas que después de ser evaluadas para diferentes TUTs, obtengan un valor de 4 de aptitud física, y aun después de modificar el modelo y los árboles de decisión, continúen con el mismo valor de aptitud, entonces se tendrían criterios suficientemente sólidos para decidir un cambio de usos del suelo.

En este capítulo se ha hecho referencia a dos de los esquemas de evaluación que de tierras que la FAO, ha desarrollado para apoyar la agricultura en países, como el nuestro que adolecen de infraestructura hidráulica, desarrollos tecnológicos, presentan gran variabilidad climática e insuficientes datos agrometeorológicos y que mediante el uso de las estrategias aquí desarrolladas, pueden ser salvadas muchas de estas deficiencias.

En ese sentido la regionalización agroclimática únicamente hace énfasis en áreas en donde la precipitación y la ETP, muestran la siguiente relación; la  $P < ETP$ , áreas no aptas para agricultura de temporal. Y relación  $P = 0, > ETP$ , áreas susceptibles de utilizarse en cultivos forrajeros como cebada, trigo y avena, que requieren en general una precipitación igual o mayor de 250 mm.

Es obvio que el valle de Ojos Negros mantiene un fuerte déficit de la  $P$  vs  $ETP$ , consecuentemente ninguna de las 16 unidades cartográficas obtenidas del levantamiento geopedológico presenta buenas condiciones para ser utilizadas en agricultura de temporal, salvo cuando la precipitación esperada rebase la media anual y

que por lo general corresponden a una anomalía positiva provocada casi siempre por eventos de ENOS.

Por otro lado, áreas en donde la  $P > ETP$ , no toda la superficie se supondría ser apta para el desarrollo de cultivos de temporal, ya que solamente algún porcentaje tendría posibilidades reales de ser utilizada para este tipo de agricultura, es decir se debería de tener el estudio geopedológico para conocer las unidades cartográficas y el área susceptible de ser utilizada en agricultura de temporal y saber con mayor precisión los requerimientos de los diferentes cultivos, como el tipo de suelos en que mejor se desarrolla un determinado cultivo, lámina mínima de riego y otras variables agroclimáticas y agroecológicas que la FAO ha definido para una gran cantidad de cultivos de temporal que se han desarrollado para ser cultivados en ecosistemas mediterráneos, con el propósito de asegurar en la medida de lo posible alcancen su madures fisiológica.

A manera de conclusión, se puede decir que el método geopedológico y la zonificación agroclimática son métodos de evaluación de la aptitud territorial estrictamente físicas, faltando el componente de evaluación económica, la cual se logra a través de ALES.

Sobre la base de este análisis se concluye que una estrategia como la expuesta en esta tesis, es decir realizar el levantamiento geopedológico para definir unidades cartográficas, obtener una regionalización agroclimática y posteriormente la evaluación económica, se tiene como resultado la aptitud territorial física y económica la cual debe de ser el insumo básico para incorporarse a los planes de ordenamiento regional del territorio.

## **VIII. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA EN EL ESTADO EN FUNCIÓN DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO**

En este apartado se analizó la ocupación histórica y la actividad económica en Baja California, de tal forma que nos permitió entender y establecer principalmente la tendencia de las actividades del sector primario en la utilización de los dos recursos más limitantes y estratégicos de la zona costa en el estado de Baja California, el agua y el suelo.

Desgraciadamente existe poca información que permita establecer desde cuando empezó la actividad económica en el estado. Minnich y Franco-Vizcaino (1998) dicen que durante el siglo XIX, ya había una intensa ocupación y explotación de los recursos por una actividad minera en lo que anteriormente se conocía como la Alta California, lo que ahora es el estado de California. Por el contrario, la Baja California permanecía poco alterada y la agricultura no se había practicado hasta antes de 1880.

Henderson (1964) hace una revisión de las actividades productivas del sector primario, la agricultura y la ganadería, desde inicios del siglo XX hasta la década de los sesenta. Este autor analiza la escasa información que se tenía para esas fechas sobre los recursos que sustentaron la actividad agropecuaria, y menciona que durante la década de los cincuenta tanto la agricultura como la ganadería eran la principal actividad económica del estado y que ésta se pudo haber dado por la gran demanda de alimentos que se presentó después de haber terminado al Segunda Guerra Mundial.

En este mismo trabajo también se hace referencia a algunos datos de precipitación y temperatura desde 1926 a 1956, haciendo mención a años muy secos. Por ejemplo en 1926 la precipitación para zona costa (Ensenada) fue de 350 mm, (la media anual a

datos del 2002 es de 261 mm, CNA, 2002) siendo un año muy húmedo. En 1953 la precipitación para el mismo lugar fue de tan sólo 86 mm, la más baja que ha registrado a la fecha esa ciudad y correlaciona bastante bien con el establecimiento de la fase fría de la PDO.

Respecto a las temperaturas más altas registradas en la región y principalmente en el Valle de Ojos Negros, en 1954 y 1969, se registró una temperatura de 53° C, la más alta registrada a la fecha, y que al menos hubo 11 años (1949-1959) en que las temperaturas estuvieron siempre arriba 35° C (CNA, 2002).

Para esas fechas no se conocían en lo absoluto los fenómenos de El Niño/Oscilación del Sur y mucho menos de la Oscilación Decadal del Pacífico (ver Capítulo VI.3), que explican en la actualidad las precipitaciones y temperaturas tanto por arriba y debajo de la media anual.

García (1987) en un análisis de la actividad económica del estado a partir de la década de los cincuenta hasta los ochenta, dice que en 1950 el Producto Interno Bruto (PIB) en el agro fue de 17.6 % y para 1980 disminuyó a tan solo un 10 %. Este autor no precisa las causas de ese descenso de más del 7 % del PIB. Esta tendencia de la disminución del PIB en el sector agropecuario se ha seguido manteniendo. En 1996 el PIB de este sector disminuyó a tan solo 3.1 % y para 1999 volvió a caer a un 2.99% (SEFOA, 2003).

Asimismo este autor menciona que en la década de los cincuenta, en el sector del agro la población económicamente activa (PEA), en el municipio de Ensenada (zona costa) era de 34,567 experimentando un incremento de casi el 100 % en una década (1960), pero en las dos décadas siguientes 1970 a 1980 disminuyó sensiblemente a niveles de

1950, es decir 38,180. La PEA estatal en el sector primario en 1960 era del 32 %, en 1990 la PEA empleada por el agro en el estado (incluye zona costa y valle), fue de 58,584, el 3.5 % y en el 2000 cayó a 57,558, equivalente al 2.3 % (SEFOA, 2003), indicando una disminución de la actividad en el sector que se podría explicar bajo dos supuestos: cambio tecnológico ó déficit de precipitación ó ambos.

García (1987), hace referencia a posible déficit en la precipitación y de ahí la disminución del PIB agrícola en la economía del estado. No obstante le da más peso al cambio tecnológico en la agricultura, argumentando que se requiere de menos jornales para producir la misma cantidad de tierra. Pero lo que no explica este autor, es la disminución del PIB agrícola de la región, lo que indica que hubo una disminución en volumen de la producción y que el cambio tecnológico debería mostrar la situación opuesta, es decir un incremento sensible en el volumen de la producción. Este autor tampoco explica la sensible baja de la actividad ganadera en el estado, lo único que dice es que podría corresponder a una posible disminución de la precipitación principalmente durante el periodo comprendido de 1950 a 1980.

Otros trabajos al analizar las economías de Baja California y California a partir de la década de los ochenta, hacen referencia que la agricultura en el estado había alcanzado un alto nivel de tecnificación y la producción agrícola iba presentando un perfil hacia la exportación, pero para mantener su productividad intensificó el volumen de extracción del agua subterránea. Pero nuevamente la ganadería seguía experimentando altibajos debido a diversos factores, entre ellos altas temperaturas y sobre todo escasa precipitación (Ramírez y Castillo 1985).

Asimismo a partir de la década de los ochenta el PIB se cargó totalmente hacia el sector terciario, es decir la economía de la región presenta una fuerte inclinación al sector de los servicios, apoyados por programas de industrialización, consecuentemente la población del estado se ha ido transformando de rural a urbana (Castillo, 1986).

Lugo (2002), hace una comparación de la competitividad que tiene la producción de hortalizas a nivel país y región e indica que Baja California ocupa el segundo lugar después de Sinaloa en la producción y exportación de hortalizas hacia los Estados Unidos de Norteamérica, y contribuye con un 30 % de los productos de exportación, principalmente hacia el mercado californiano. Esto permite mantener un superávit en la balanza comercial de Baja California, pero asimismo, esta autora hace referencia a un posible problema que va a enfrentar la producción agrícola en la región, la escasez de agua y suelo.

Como se podrá observar, la intensidad de las actividades económicas del sector primario, han influido negativamente en el régimen hidrológico de la región. Todo ello aunado a la gran variabilidad de la precipitación y los ciclos recurrentes de sequías y precipitaciones, condiciona fuertemente las actividades económicas del sector primario de toda la región.

### **VIII.1 Recursos hídricos y edáficos disponibles y planeación**

En México la agricultura consume el 85 % del agua disponible (Velasco, 1999) esto nos indica la baja eficiencia en los sistemas de irrigación, no obstante que en la región norte de nuestro país, la agricultura se ha tecnificado a partir de la década de los ochenta ya que gran parte de la producción agrícola es de exportación (Ramírez y Castillo, 1985).

Barker et al. (2000) dicen que de 1965 a 1995 en México se ha estancado la producción de granos, inversamente la producción de hortalizas y frutas se ha incrementado en una proporción de hasta 10 veces en el mismo periodo de treinta años y que en los últimos 5 años (1990-1995) el valor de la exportación fue de 1000 a 1500 millones de dólares, mucho más alto que el valor de la importación de los cereales. De ahí que la explotación de los acuíferos se haya incrementado y que gran cantidad de acuíferos sobre todo en el noroeste del país estén sobreexplotados.

Velasco (1999) dice que el mayor porcentaje de la población y las actividades económicas se concentran en las tierras secas de nuestro país. Las tierras áridas y semiáridas concentran el 76 % de la población, 90 % de las áreas irrigadas y 70 % de la industria. Asimismo dice que en esta región se recibe un poco menos del 40 % de la precipitación total, consecuentemente el problema de la sobreexplotación de los acuíferos se incrementa considerablemente, así como la contaminación y la intrusión salina como esta sucediendo en el noroeste del país.

Por lo que respecta a Baja California en la vertiente del Pacífico, la cantidad de agua es muy limitada (Ver Capítulo IV.3.1 y siguiente apartado), no existen arroyos o ríos permanentes, salvo en el Valle de Mexicali, que es irrigado por el río Colorado, el cual tiene casi toda su cuenca de captación en los Estados Unidos de Norteamérica.

### **VIII.2 Recursos hídricos disponibles**

A continuación se hace referencia de volúmenes disponibles de aguas superficiales y subterráneas en el estado con datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 1995 y 2002).

La mayor disponibilidad natural del agua se concentra en el valle de Mexicali, en donde las demandas del recurso son elevadas por existir un Distrito de Riego con una superficie irrigable de 197,074 ha. En contraparte, la zona de la costa del Estado cuenta con recursos limitados y demanda mayores volúmenes, debido a que la región es la de mayor crecimiento económico del estado. Este desequilibrio se agrava con los niveles crecientes de contaminación de origen doméstico, industrial y agrícola en particular el Río Nuevo en Mexicali y el arroyo Alamar en Tijuana, además la disponibilidad de agua subterránea se ha reducido por la sobreexplotación de los acuíferos principalmente en el Municipio de Ensenada.

NOMBRE DE LA CUENCA	ÁREA DE LA CUENCA EN Km <sup>2</sup>	VOLUMEN Mm <sup>3</sup>	
		E.M.A	A.M.A
RÍO COLORADO	5932.16	1850.23	1850.23
ARROYO HUATAMOTE	2495.4	3.3	0.0
ARROYO TIJUANA	3223.05	67.3	47.03
ARROYO GUADALUPE	2398.0	29.14	1.8
ARROYO ENSENADA	758.0	3.9	3.15
ARROYO SAN CARLOS-LAS ANIMAS	865.2	33.3	0.4
ARROYO SANTO TOMAS	960.3	13.8	0.2
ARROYO SAN VICENTE	1935.8	28.5	0.97
ARROYO SAN RAFAEL	1338.4	30.77	0.1
ARROYO SAN TELMO	925.3	16.42	0.1
ARROYO SANTO DOMINGO	1648.7	44.49	0.48
ARROYOS LA ESCOPETA-NUEVA YORK-AGUA CHIQUITA	946.0	10.6	0.1
ARROYO SAN SIMON	1930.0	25.7	0.2
ARROYO EL ROSARIO	2612.61	25.2	0.19
OTROS ARROYOS		12.0	0.45
TOTAL EN EL ESTADO		2192.85	1905.06

Tabla 8 Fuente CNA. 1995. E.M.A = Escurrimiento medio anual, A.M.A= Aprovechamiento medio anual

Los recursos acuíferos subterráneos están siendo sobreexplotados en muchas de las zonas de aprovechamiento, generándose problemas de intrusión salina en algunos de ellos. Más de la mitad del territorio estatal está vedada a la extracción.

Como ya se ha hecho referencia en Capítulo VI.1, las lluvias en el estado son escasas y los escurrimientos vírgenes también. La principal aportación de aguas

superficiales en el estado es la del Río Colorado y que a través de un Tratado de Aguas entre México y los Estados Unidos de Norteamérica firmado en 1942, a nuestro país se le asignan 1,850.23 Mm<sup>3</sup>.

Referente a la zona costa, el principal escurrimiento lo proporciona el Río Tijuana, con un volumen promedio anual de 67.3 Mm<sup>3</sup>, le siguen en importancia el Arroyo Guadalupe con 29.14 Mm<sup>3</sup>, San Vicente, 26.50 Mm<sup>3</sup>, San Simón 25.70 Mm<sup>3</sup>, San Carlos 10.34 Mm<sup>3</sup>, Las Animas 22.96 Mm<sup>3</sup>, El Rosario 25.20 Mm<sup>3</sup> y Santo Domingo con 44.49 Mm<sup>3</sup>. Equivalentes a 251.63 Millones de m<sup>3</sup> (Mm<sup>3</sup>)

El resto de los arroyos en el Estado proporcionan un volumen importante, para un total del escurrimiento virgen de 260.3 Mm<sup>3</sup> anuales en el Estado. En la Tabla 8, se muestran los principales escurrimientos en el estado.

Desgraciadamente no se tienen suficientes datos respecto a la captura de las variables climáticas ya que éstas iniciaron a partir de 1948 (CNA, 1995, 2002), con la instalación de una red de 120 estaciones climatológicas en todo el estado, las cuales en la actualidad funcionan con bastantes deficiencias, equipos en mal estado, varios periodos sin la toma de los datos y la mayoría de las estaciones únicamente capturan precipitación y temperaturas mínimas y máximas y en el peor de los casos estaciones fuera de servicio.

Referente a las aguas subterráneas, en el estado existen 48 zonas acuíferas, con una recarga media anual de 988.70 Mm<sup>3</sup> y una extracción de 1,049.00 Mm<sup>3</sup> que sumados a los volúmenes del acuífero de la Mesa Arenosa de San Luis Río Colorado Sonora con recarga de 150.00 Mm<sup>3</sup> y extracción de 102.00 Mm<sup>3</sup> da un déficit total al Estado de 12.30 Mm<sup>3</sup> es decir, que si no fuera por la aportación de los pozos de la Mesa Arenosa

de San Luis Río Colorado, Son., Baja California presentaría un mayor déficit de 60.30 Mm<sup>3</sup>.

Prácticamente todos los valles con posibilidades de producción acuífera en el Estado, se encuentran en explotación, ya sea en condiciones de equilibrio ó sobreexplotados, tal es el caso de los acuíferos de Maneadero, con una recarga de 19.00 Mm<sup>3</sup> y extracción de 39.00

ACUIFERO	RECARGA Mm <sup>3</sup>	EXTRACCIÓN Mm <sup>3</sup>	DISPONIBILIDAD Mm <sup>3</sup>	CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS
1 RIO COLORADO	700.00	735.00	( 35.00 )	SOBRE-EXPLOTADO
2 MESA ARENOSA ( SON. )	150.00	102.00	98.00	SUB-EXPLOTADO
3 LAGUNA SALADA	16.50	14.00	2.50	SUB-EXPLOTADO
4 VALLE CHICO	12.00	12.00	0.00	SUB-EXPLOTADO
5 SAN FELIPE	6.00	3.50	2.50	EQUILIBRIO
6 VALLE DE LA TRINIDAD	23.00	30.00	( 7.00 )	SOBRE-EXPLOTADO
7 REAL DEL CASTILLO	6.00	6.40	( 0.40 )	SOBRE-EXPLOTADO
8 OJOS NEGROS	11.50	17.70	( 6.20 )	SOBRE-EXPLOTADO
9 GUADALUPE	18.00	21.00	( 3.00 )	EQUILIBRIO
10 LA MISION	7.00	7.00	0.00	EQUILIBRIO
11 TIJUANA	24.80	24.00	0.80	EQUILIBRIO
12 ENSENADA	3.00	3.60	( 0.60 )	EQUILIBRIO
13 MANEADERO	19.00	39.00	( 20.00 )	SOBRE-EXPLOTADO
14 SAN VICENTE	8.00	7.50	0.50	EQUILIBRIO
15 SAN RAFAEL	7.00	7.00	0.00	EQUILIBRIO
16 SAN TELMO	6.00	6.00	0.00	EQUILIBRIO
17 CAMALU	3.50	4.50	( 1.00 )	SOBRE-EXPLOTADO
18 SANTO DOMINGO	28.70	28.60	0.10	EQUILIBRIO
19 SAN QUINTIN	20.00	28.00	( 8.00 )	SOBRE-EXPLOTADO
20 SAN SIMON	13.00	13.50	( 0.50 )	SOBRE-EXPLOTADO
21 EL ROSARIO	3.00	3.00	0.00	EQUILIBRIO
OTROS ACUIFEROS ( 28 )	106.50	26.90	79.60	
<b>TOTAL</b>	<b>1,138.70</b>	<b>1,151.00</b>	<b>( 12.30 )</b>	

Tabla 9 Principales acuíferos y condiciones geohidrológicas Fuente: CNA, (1995)

Mm<sup>3</sup>; Tijuana 24.80 Mm<sup>3</sup> y extracción de 24.00 Mm<sup>3</sup>; La Trinidad con 23.00 Mm<sup>3</sup> y extracción de 30.00 Mm<sup>3</sup> y San Quintín con 20.00 y 28.00 Mm<sup>3</sup> de recarga y extracción respectivamente, corriéndose el riesgo de agotarlos en caso de incrementarse las extracciones.

Tabla 10 Volúmenes totales de recarga y extracción

	RECARGA Mm <sup>3</sup>	EXTRACCIÓN Mm <sup>3</sup>	DEFICIT Mm <sup>3</sup>
TOTAL	1,138.7	1,151.0	-12.3

Fuente: CNA, (1995)

En total Baja California tiene una disponibilidad de recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos de 3,581.35 Mm<sup>3</sup>,

es decir de acuerdo a datos de CNA (1995 y 2002), existe un superávit de agua principalmente en el centro y sur del estado, mientras que en el norte y principalmente en zona costa la tendencia es absolutamente opuesta, ya que si bien se tiene un excedente en escurrimientos vírgenes, esta disponibilidad esta fuertemente influenciada por la gran variabilidad en la precipitación. Consecuentemente esa disponibilidad esta sujeta a la cantidad de lluvia que precipite en cada temporada.

Respecto a la disponibilidad de agua de los acuíferos, la historia es completamente diferente, debido que para la zona costa desde Tijuana hasta San Simón, es la zona de mayor crecimiento económico y poblacional en el estado, se presenta un déficit por sobreexplotación de los acuíferos de 12.3 Mm<sup>3</sup> y la tendencia es que durante los próximos 18 años, la precipitación medial anual para la zona costa disminuya a una media de 210 mm, contra lo que se tiene como media anual de 260 mm.

De seguir esta tendencia de déficit de precipitación y continuar sobreexplotados los acuíferos, la viabilidad de crecimiento de zona costa estará en serio peligro de colapsarse debido a que como se ha observado toda esta región no cuenta con recursos hídricos suficientes para mantener el crecimiento económico que ha observado en los últimos 30 años, sobre todo el sector agropecuario en zona costa que esta totalmente sujeta a la cantidad y disponibilidad de agua tanto de lluvia y el agua de los acuíferos, pero como ya se indicó en párrafos más arriba, todos los acuíferos de

zona costa están sobreexplotados, contaminados por salinidad y por intrusión salina, llegándose a presentar concentraciones salinas en los acuíferos, consecuentemente los suelos estén en proceso de contaminación, degradación y desertificación, por los altos contenidos de sales que provienen del agua de riego.

La CNA (1997), al estar estudiando los niveles piezométricos del acuífero de Ojos Negros, indica que de 1974 a 1997 se ha presentado una disminución de 0.32 metros promedio anual, es decir 7.5 metros, durante ese periodo, equivalente a un volumen de 37.1 Mm<sup>3</sup> de la reserva almacenada. Nuevamente se hace énfasis que el periodo húmedo de la PDO, se presentó de 1977 a 1998 y precisamente durante este periodo el acuífero se abatió en 7.5 metros. Dada esta situación de una sobreexplotación de los acuíferos, la situación se torna más crítica aún y debido a que no existe una red de mediciones hidrográficas que estén evaluando la escurrimiento que se presenta en los arroyos intermitentes en toda la zona costa, salvo la que se tiene en el Arroyo Alamar, afluente del río Tijuana. (CNA, 1995)

Bajo estas condiciones de captura de datos de las variables climatológicas es difícil proponer esquemas de planeación de los recursos hídricos disponibles anualmente sobre la base de los promedios de precipitación y escurrimiento. Debido a esta situación es difícil conocer con cierta precisión las tasas de recarga de los escasos acuíferos en la región, además que la mayoría están declarados como sobreexplotados y los que se localizan en zonas costeras están contaminados por intrusión salina (CNA, 1995).

### VIII.3 Calidad y cantidad del recurso suelo en el estado

La superficie total del estado de Baja California es de 70,113.00 Km<sup>2</sup>. La superficie dedicada a la agricultura en todo el estado es de aproximadamente 260,388.00 ha, equivalentes al 3.7 % de la superficie total del estado. (Tabla 11)

Valles agrícolas	Superficie Temporal Ha	Superficie Riego Ha	%
Valle de Mexicali	_____	197,000 .00	2.85 %
Zona Costa	40,376.00	23012.00	0.9 %
Total de superficie cultivada Estado	40,376.00	237,376.00	3.7 %

Tabla 11. Superficie cultivada en el Estado de Baja California

El área cultivada de temporal y riego en zona costa, siempre va a estar sujeta a la disponibilidad de agua de lluvia y la incierta recarga de los acuíferos. Por ejemplo, el área cultivada para el ciclo agrícola otoño-invierno (temporal, O-I), de 1995-96 fue de 37,951.00 Has, y en el ciclo primavera-verano (P-V) de 1996-96, fue de 6,682.00 Has de superficie dedicada a agricultura de temporal de las 44,633.00 Has, equivalente a un 0.63 % del total de la superficie del estado.

En cambio para otros ciclos agrícolas se reportan diferentes áreas cultivables tanto para agricultura de temporal como de riego, ejemplo para los ciclos O-I 1993-94 y P-V 1994-94 se reportan 28,385 Has bajo riego, y para los mismos ciclos en condiciones de temporal se reportan 35,003 has.

Como se podrá observar las superficies cultivables tanto de riego como temporal dependen de la cantidad de agua de lluvia, y de la recarga de los acuíferos, los cuales como ya se ha hecho referencia, están en serios problemas de sobreexplotación y contaminación por intrusión salina.

Gran parte de esta tierra cultivable de temporal y de riego se reparte en 8 valles agrícolas, tres de ellos costeros; Maneadero, San Vicente y San Quintín. Los otros valles son intermontanos; Valle de Tijuana, Tecate, Guadalupe, Ojos Negros y Valle de la Trinidad.

La siguiente tabla muestra el porcentaje y superficie cultivable de los principales valles agrícolas en zona costa.

Tabla 12 Valles agrícolas en zona costa Baja California.

Nombre	Superficie cultivable Has	% de cada Valle
Valle de Tijuana	2,285.28	5.66
Tecate	2446.678	6.06
Guadalupe	5252.55	14.31
Ojos Negros	5741.46	14.22
Maneadero	4509.99	11.17
San Vicente	7925.80	19.63
La Trinidad	2475.04	6.13
San Quintín	9213.80	22.82
Total	40376.00 has.	100 %

Fuente: INIFAP (1993).

Todos estos valles agrícolas son altamente productivos, con acuíferos profundos permitiendo ser

cultivados durante el verano y que dependen totalmente de la precipitación para ser cultivados en el periodo de lluvias de otoño-invierno.

El área cultivada en el Valle de Mexicali, es de 197,074 has, equivalente al 2.8 % del total estatal, pero a diferencia de la zona costa, toda esta superficie es susceptible de ser cultivada bajo riego, por lo cual no está sujeta a la gran variabilidad de la precipitación de la zona costa. (Tabla 12)

#### VIII.4 Estado actual del sector primario en Baja California

En fechas más recientes, la Secretaría de Fomento Agropecuario, (SEFOA) dependiendo del Gobierno Estatal, ha capturado y puesto en disponibilidad la información estadística de la actividad agropecuaria, a partir de 1996 al 2001.

En la tabla 13 se muestran ciclos de siembra y cosecha de cultivos de temporal desde 1996 al 2000 en la zona costa, principalmente en el Municipio de Ensenada, que es el que depende totalmente de la precipitación pluvial para practicar una agricultura de temporal durante el ciclo Otoño-Invierno y parcialmente Primavera-verano.

Tabla 13 Ciclos de siembra y cosecha temporal 1996-2000

CICLOS	AÑO	SIEMBRA MILES DE HECTAREAS	COSECHA MILES DE HECTAREAS
PRIMAVERA-VERANO	1996	4351	125
	1997	1470	748
	1998	4111	4103
	1999	2496	2424
	2000	1638	656

Fuente SEFOA. 2003. <http://bajacalifornia.gob.mx/>

Sobre la base de estos datos se puede observar que durante el ciclo primavera-verano del año 2000, se presenta una fuerte baja entre la superficie sembrada y la cosechada, y que la única explicación es que en los ciclos de lluvia 1998-1999 y 1999-2000 la precipitación fue deficitaria.

Como se podrá observar, para los años 1999 y 2000, la precipitación siempre estuvo muy por abajo de la media anual, de esta forma se explica que de las 1638 Has sembradas solamente se cosecharon 656, casi un tercio de la superficie sembrada. Pero lo más sobresaliente es que la misma tendencia se observa en el ciclo correspondiente de 1996 y 1997, la superficie sembrada ha estado disminuyendo

paulatinamente, aún cuando para esas fechas hubo suficiente lluvia para llegar a la madurez fisiológica el cultivo. (Tabla No. 14)

Tabla 14 Registros de los últimos cinco años para cinco estaciones climatológicas de la zona costa.

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS Y AÑO REPORTADO	ENSENADA	OLIVARES MEXICANOS	SIERRA DE JUÁREZ	AGUA CALIENTE	EL PORVENIR
1996	194	372	172	187	441
1997	248	310	281	250	340
1998	469	604	509	369	572
1999	130	141	122	119	158
2000	158	128	172	159	196
PROMEDIO ANUAL EN mm	261	309	284	288	384

Fuente. CNA. 2002. Gerencia Regional de la Península de Baja California. Subgerencia Regional Técnica. Jefatura de Proyecto Meteorológico.

La explicación que se puede dar a este fenómeno, es que los acuíferos en que se sustenta la agricultura de riego están sobreexplotados, el espejo de agua es más profundo y a mucho mayor costo la extracción y no ha habido suficiente precipitación para su recarga.

La información analizada muestra una tendencia; la gran variabilidad climática respecto a la precipitación está jugando un papel determinante en la economía regional y que gracias a los apoyos del gobierno federal para la instalación de maquiladoras ha logrado contrarrestar el problema generado por desempleo en el agro.

Respecto a la población económicamente activa (PEA) en el estado ha experimenta un cambio muy drástico a partir de la década de los ochenta. La Tabla 15 muestra cómo se ha ido revirtiendo la ocupación en el estado y a la vez como el sector primario ha presentado altibajos, por ejemplo en 1960 la PEA, fue de 65,799, en las décadas siguiente de los setenta y ochenta, disminuye hasta en un 58 %, y para 1995 solamente

se incremente con 6 puntos porcentuales más que en 1960, pero en el total de la PEA para esas fechas únicamente alcanza un 10 % (García, 1987). Por lo tanto el sector agropecuario ha estado perdiendo participación en la economía del estado ya que los otros sectores se han visto ampliamente favorecidos. Por ejemplo en el sector terciario en la década de los sesenta, la PEA participaba con un 36 %; para 1995 este sector participó con un 52 % (CNA, 1995).

Tabla 15 Tendencia de la PEA de 1960 a 1995

ACTIVIDAD	1960	1970	1980	1990	1995
TOTAL	167,058	222,241	403,279	578,395	696,034
AGROPECUARIO	65,799	49,440	38,180	58,584	70,299
INDUSTRIAL	31,902	55,208	81,648	179,527	215,771
SERVICIOS	60,414	101,126	148,090	305,382	368,202
NO ESPECIFICADO	8,943	16,487	135,361	34,902	41,762

Fuente: CNA, 1995

Los datos en porcentaje del sector primario de 1960 a 1980 indican una baja sensible en la participación de la PEA a nivel estatal, aunque algunos autores (García, 1987; Ramírez y Castillo, 1985) dicen que esta baja se debió a un cambio tecnológico por ende una disminución de la PEA, pero en los dos siguientes periodos nuevamente vuelve a incrementar su participación, pero a niveles de 1960 (Tabla 15).

Como se mencionó en el Capítulo VI.3, el fenómeno de la PDO presenta dos fases bien marcadas: la fase fría que inició en 1950 y terminó en 1976, con precipitaciones en lo general abajo de la media, y de 1977 a 1998 se activó la fase caliente con precipitaciones extraordinarias muy por arriba de la media, que correlaciona bastante bien con los altibajos de la PEA en el sector primario.

Esto nos indica que la actividad en el sector disminuyó sensiblemente durante la fase fría de la PDO y que se vuelve a reactivar ligeramente durante la fase caliente debido a

que se empiezan a presentar excedentes de precipitación. No obstante que de 1980 a 1995, el sector muestra ligeros aumentos de la PEA, la tendencia indica disminución del recurso agua por la sobreexplotación de los mantos acuíferos y cada vez mayor presión sobre el recurso suelo.

PRODUCTO INTERNO BRUTO ESTRUCTURA POR SECTORES			
AÑO	SECTOR AGROPECUARIO %	SECTOR INDUSTRIAL %	SECTOR SERVICIOS %
1970	12.50	37.70	49.80
1975	8.33	28.35	63.32
1980	8.97	28.35	62.68
1985	8.73	27.62	63.65
1990	8.52	28.96	62.52
1991	7.61	28.97	63.42
1992	7.00	28.68	64.32
1993	6.50	28.38	65.12
1994	7.00	28.97	64.03
1995	7.05	28.84	64.11

Tabla 16. Importancia de cada sector en la economía del estado Fuente: CNA, 1995

La tabla 16 analiza la información del PIB, con datos tomados de la CNA (1995). En esta información se observa el PIB estatal desde 1970 a 1995, con una tendencia de disminución del sector primario, y desde 1975 prácticamente los diferentes

sectores de la economía habían permanecido estables.

Otra fuente de información proveniente del Banco de Información Económica (BIE) del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2003), (INEGI) muestra datos del PIB por entidad federativa y por sector desde 1993.

En este caso la Tabla 17 hace referencia a Baja California, mostrando la tendencia en la disminución del PIB. Estos datos confirman la tendencia en la baja del PIB.

PRODUCTO INTERNO BRUTO: AGROPECUARIO, SILVICULTURA Y PESCA. PARTICIPACIÓN PORCENTUAL	
PERIODO	Baja California
1993	1.63
1994	1.57
1995	1.89
1996	1.82
1997	2.00
1998	2.00
1999	1.97
2000	1.79
2001	1.67

Tabla 17 FUENTE: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. BIE. 2003

PIB. A Precios Corrientes, Valores Absolutos Por Gran División de Actividad Económica Agropecuario, Silvicultura y Pesca (Miles de Pesos a Precios Corrientes)	
PERIODO	Baja California
1993	1,187,284
1994	1,194,392
1995	1,688,439
1996	2,252,112
1997	3,011,693
1998	2,629,725
1999	2,915,890
2000	2,802,548
2001	2,655,097

Tabla 18 FUENTE: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. BIE. 2003

Asimismo en la Tabla 18, muestra datos del valor de la producción a precios corrientes en donde se observa que el valor de la producción se incrementó en 123.62 % de 1993 al 2001. En la misma tabla se indica que ese valor es a precios corrientes (afectados por el proceso inflacionario) pero hay que hacer notar que al inicio del sexenio 1995-2000, se presentó una fuerte devaluación del más del 100% (Pérez-López, 1996), de aquí se deduce que en el sector primario se está observándose una tendencia a perder competitividad en la economía del estado. Esto es más fácil observarlo en Tabla 19, en donde el PIB de 1993 al 2001, cae de 1.63 a 1.21.

Asimismo al analizar los datos del censo 2000 del INEGI (2001), muestra una tendencia más desfavorable de la PEA, hacia el sector agropecuario en el ámbito estatal y municipal. (Tabla 20)

PRODUCTO INTERNO BRUTO POR ENTIDAD FEDERATIVA	
Cifras Anuales del Periodo 1993-2001	
A Precios Corrientes	
Agropecuario, Silvicultura y Pesca	
Participación Porcentual	
PERIODO	Baja California
1993	1.63
1994	1.59
1995	1.84
1996	1.61
1997	1.89
1998	1.43
1999	1.50
2000	1.39
2001	1.21

Tabla 19 Población Estatal y por Municipios de la PEA dedicada al sector primario.  
FUENTE: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.

Respecto a la población zona costa, que incluye los municipios de Tijuana, Playas de Rosarito, Tecate y Ensenada, concentran el 69.26 % de la población total y Mexicali contribuye con el resto.

La relación de la PEA entre los dos municipios de mayor importancia en el sector primario. Ensenada con un 14.9 % de la población estatal contribuye con un 5.01 % de la PEA, mientras que Mexicali con 30.83 % de la población estatal, contribuye

solamente con el 3.83 de la PEA.

Esto es bastante significativo ya que en párrafos anteriores se observa que Mexicali tiene una superficie de 197,000 mil ha de tierra cultivable bajo riego, mientras que zona costa solamente concentra 23012 ha de tierra cultivable bajo riego y 44633 ha de tierras de temporal. Esto demuestra que la zona costa y en especial Ensenada, con tan solo el 10.5 % del total de área cultivable bajo riego, genera un mayor porcentaje de empleos en relación a su población total, pero para mantener su participación en la economía del estado prácticamente ha sobreexplotado, o ha contaminado todos sus mantos acuíferos (CNA.1995).

Municipios	Población Total Estatal y Municipal	PEA Sector primario Total	PEA Estatal en %	PEA por Municipio en %
Mexicali	764602	29344	1.18	3.83
Ensenada	370730	18586	0.74	5.01
Playas de Rosarito	63420	573	0.02	0.9
Tecate	77795	795	0.03	1.02
Tijuana	1210820	2004	0.08	0.17
Total Estado	2487367	51,302	2.05	

Tabla 20 Población Estatal y por Municipio de la PEA dedicada al sector primario.  
Fuente: INEGI Censo 2000

Con relación a pérdidas en el sector por los fenómenos hidrometeorológicos. A la fecha no existen datos precisos de parte de las autoridades respecto a pérdidas que ha registrado el sector, cuando se han presentado ya sea severas sequías o eventos extraordinarios de lluvia. La única información la proporciona la CNA, (1995), e indica que en el año de 1993, se caracterizó por la presencia de las lluvias extraordinarias, presentándose grandes avenidas en los principales escurrimientos como son el Río Tijuana, y los arroyos Alamar, Ensenada, San Carlos, Las Animas, Guadalupe, San Vicente, San Telmo, Santo Tomas, Santo Domingo, San Simón y El Rosario entre otros, provocando el derrumbe de puentes carreteros inundaciones en las partes bajas de las ciudades y pueblos ribereños, así como pérdidas de vidas humanas en la ciudad de Tijuana, considerándose como la avenida más catastrófica de los últimos años.

Respecto al déficit de precipitación, las pérdidas económicas que ha ocasionado en la agricultura y ganadería, han sido utilizadas como índices de intensidad de las sequías,

sin olvidar que la proliferación de los incendios forestales ocasiona graves daños por la pérdida de la cubierta vegetal, y la erosión del suelo. Los daños causados en los sectores antes mencionados durante el período de 1988-1995 fueron: 19,930 has de cultivo; 1,347 cabezas de ganado; 14,325 has forestales y más de 61 incendios forestales (CNA, 1995).

### **VIII.5 Discusión**

Ante este oscuro panorama del sector primario, principalmente la agricultura y la ganadería y los recursos naturales que la sustentan el agua y suelo, se deben de establecer políticas de cambios de uso del suelo, cambio de cultivos, disminución de las superficies cultivables de acuerdo a la disponibilidad de lluvia para cada temporada, ayudar a la tecnificación de los productores que tienen rezago en esta materia, reconversión de actividades que sean productivas, económicamente rentables y sean socialmente aceptables por el sector de la población que podría ser afectada.

Para ello se deben de tomar en cuenta las estrategias de evaluación de la tierra que en esta tesis se han expuesto y desarrollado, para contar con criterios sólidos para la decisión de continuar con los usos actuales, niveles de aprovechamiento y en su caso, proponer los posibles cambios de uso del suelo Solamente así sería factible ayudar a mitigar el serio problema de los déficit de agua que se espera habrá durante los siguientes 18 años, conjuntamente con la evaluación de las tasas de extracción del agua subterránea ya que se espera no habrá recarga durante el periodo antes mencionado.

## IX. CONCLUSIÓN GENERAL

La aptitud territorial o aptitud de uso de la tierra, es en la actualidad el concepto sobre el cual se han desarrollado una gran cantidad de estrategias para hacer más eficiente el uso de los recursos naturales en que se sustentan inicialmente las actividades encargadas de la producción de alimentos.

En base a esta premisa se considera que a través de los estudios y análisis de los procesos geomorfológicos que conformaron los paisajes actuales y la utilización del método geopedológico, es factible interpretar los procesos pedogenéticos que intervinieron para formar los suelos estudiados, y contar con las bases científicas y técnicas para un buen manejo, permitiendo establecer las medidas necesarias para evitar la degradación, contaminación y pérdida por erosión hídrica o eólica, conjuntamente a los recursos asociados a este, como es el caso del agua que es totalmente limitante para cualquier actividad que en la actualidad se practica en la región bajo estudio.

Este método también tiene la gran virtud de tener una excelente aproximación referente a la escala de trabajo, ya que permitió bajar de una escala media a una grande sin perder relación de un nivel taxonómico superior a uno inferior. Es decir el método tiene la bondad de examinar y analizar los procesos que influyeron en la génesis de los suelos en una determinada época y poder establecer relaciones con otras unidades de suelos que estén representados en una menor superficie de acuerdo a su posición en el paisaje.

No obstante de las bondades y alcances del método geopedológico, este presentó limitaciones cuando se examinaron suelos en donde se presumía, origen aluvial y

eólico antiguo. La solución fue hacer una interpretación micromorfológica y determinar la presencia de un proceso eólico moderno de algunos de los suelos estudiados. Podemos concluir que gracias al método geopedológico fue posible detectar la secuencia irregular de los horizontes y que el uso de la micromorfología permitió definir la presencia de suelos poligenéticos.

Si bien es cierto que estudiar a los suelos a través del método geopedológico y asignarles nombres acorde al Soil Taxonomy, el cual es un sistema de clasificación internacionalmente aceptado, no es suficiente para conocer la aptitud o posibilidades de uso de cada unidad cartográfica obtenida por este método. La solución fue someter a las unidades cartográficas a esquemas de evaluación de tierras que permitieron conocer la aptitud de cada unidad para ser utilizada bajo un determinado uso acorde a las características intrínsecas del suelo.

El resultado de este proceso fue obtener la aptitud física y económica de 11 de las 16 unidades cartográficas y generar el insumo básico para que las autoridades responsables de hacer la planeación cuenten con los criterios suficientes para la elaboración de planes y programas de ordenamiento de los usos del suelo y poder asignarles políticas de manejo y conservación para mantener su productividad.

La utilización del programa ALES, permitió conocer cuantitativamente la aptitud física y económica de las 11 unidades cartográficas para la TUT evaluada (cebollín bajo riego). Esto no implica que evaluar las 11 unidades cartográficas con otras TUTs no necesariamente obtendrán el mismo valor de aptitud, es decir una unidad cartográfica presenta determinadas características físicas y químicas que le permite soportar determinados cultivos, de esta forma otros cultivos podrían obtener diferentes

rendimientos dependiendo si requieren de suelos con pH ácidos o alcalinos, bien drenados o mal drenados, profundos o someros, texturas ligeras o pesadas. Dicho de otra forma, cada tipo de suelo presenta una determinada aptitud física y económica para una o varias TUTs, pero no es apto para todas la TUTs que se deseen cultivar.

La otra gran estrategia que aquí se desarrolló y se propone su implementación es la creación de las zonas agroclimáticas para apoyar la actividad de la agricultura de temporal, la cual depende en su totalidad de lo estocástico de la precipitación.

Bajo estas dos estrategias de evaluación de la tierra, se considera que a la fecha se tienen los conocimientos y criterios suficientes para privilegiar el uso de cultivos de ciclo corto como; cebollin, lechuga y brócoli entre otros. Estos cultivos son de exportación, utilizan tecnología agrícola de punta, riego por goteo por lo tanto hay un ahorro significativo de agua, con altos rendimientos de kg/ha, alto valor en el mercado y para su cultivo requieren de gran cantidad de jornales por hectárea por ejemplo, el cebollin utiliza al menos 50 jornales por hectárea, tomate de vara 55 jornales por hectárea, y cada jornal se paga a \$120.00 M.N. (Datos reales para 2004)

Esto se traduce a mantener empleo en las zonas rurales y extracción de menores volúmenes de agua de pozos profundos. Adicionalmente con la limitación de la superficie cultivada que deberá estar acorde a satisfacer la demanda del mercado más no a saturarlo. Para ello los diferentes niveles de gobierno estatal y federal deberán coordinarse con los productores locales y planear la cantidad de superficie a cultivar y la producción esperada y de esta forma tener asegurada su venta en el mercado californiano principalmente.

Respecto a los productores de leche o productores que poseen hatos ganaderos, y que para mantener su actividad dependen del cultivo de alfalfa como forraje principal, la cual se cultiva con altos consumos de agua que proviene en su totalidad de pozos profundos. La propuesta sería; sustituirla por especies de leguminosas nativas del Genero *Trifolium* sp. y *Lotus* sp. Estas especies son bastante resistentes a la sequía, están totalmente adaptadas a crecer con 200 a 250 mm de precipitación, prácticamente solo requieren riegos de auxilio en el verano y al parecer tiene una alta tasa de reconversión en proteína animal. El gran inconveniente, no se puede trillar o cortar por lo que el ganado tiene que ser llevado a las parcelas, de ahí que los ganaderos no están convencidos de cambiar a estas leguminosas nativas.

Referente a la agricultura de temporal más del 50 % de la superficie del valle es cultivada solamente durante el temporal debido a que dichas parcelas no tienen acceso a pozos profundos. La propuesta sería; cambios de uso del suelo hacia actividades más rentables para evitar que se roturen y se cultiven sin obtener producción, consecuentemente se podría evitar la erosión o degradación y procesos de desertificación, asimismo perdidas económicas a los productores que forzosamente requieren de créditos de avio para sembrar sus parcelas. Esta situación es la que se presenta en las más de 40,000 ha de agricultura de temporal de la zona costa.

Debido a una difícil situación generalizada para toda la zona costa por la tendencia de disminución de la precipitación para los próximos 18 años provocando incertidumbre en la práctica de la agricultura de temporal, la estrategia que aquí se propone se basa en el desarrollo de las zonas agroclimáticas que permita a los productores tener certidumbre de preparar o no sus parcelas para el cultivo de cebada. El INIFAP, ha

desarrollado para la región variedades de cebada que con un mínimo de 150 mm de precipitación, con la cual se puede llegar a producir forraje verde sin llegar a producir grano, lo que garantizaría tener una alta probabilidad de preparar las parcelas y obtener producción de forraje verde cuando la probabilidad de la lluvia esperada sea al menos de 150 mm.

Asimismo sería totalmente recomendable la utilización de ALES para la evaluación de la agricultura de temporal, conjuntamente con el desarrollo de las zonas agroclimáticas para contar con la posible superficie susceptible de cultivar en función con la probabilidad de lluvia esperada y la información de los rendimientos que se esperaría tener y la tasa de beneficio/costo que se podría obtener de la siembra de cada hectárea con cebada como cultivo de temporal.

## **X BIBLIOGRAFÍA**

**Abu-Zreig, M., M. Attam y N. Hamasha. 2000** Rainfall Harvesting Using Sand Ditches in Jordan. *Agri. Water Manage.* Vol. 46:2 183-192

**Adams, J. 2002.** North America during the last 150,000 years. In *Global land environments since last interglacial*. University of Rhode Island, USA [members.cox.net/queternary/nercNORTHAMERICA](http://members.cox.net/queternary/nercNORTHAMERICA)

**Adger, W.N., T. A. Benjaminsen, K. Brown y H. Svarstad. 2001.** Advancing a Political Ecology of Global Environmental Discourses. *Development and Change* Vol. 32 685-715

**Agenda 21. 2000.** Cumbre para la Tierra. Programa 21. Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Naciones Unidas Desarrollo Sustentable.

**Aranda V., J.M. Serrano, M. Soriano, M. Sánchez-Marañón, A. Vila y G.T. Delgado. 2000.** Un Sistema de Información y de Ayuda a la Decisión en el Ámbito del Olivar Granadino, Basado en la Lógica Difusa. *Edafología*. Vol. 7-2. pp 47-56.

**Asian Development Bank. 2002.** Second Land Resource Evaluation Planning and Project in Indonesia. (Loan 1099-INO).

**Badini, O., C.O. Stockle y E. H. Franz,. 1997.** Application of crop simulation modeling and GIS to agroclimatic assesement in Bukina Faso. *Agricultural Ecosystems & Environment*. Vol. 64:(3) 233-244

**Barbier, E. 1998.** The Economic Determinants of Land Degradations in Developing Countries. On the Edge of the Malthusian Precipice? Eds. D. J. Greenland, P.J. Gregory y P.H. Nye. The Royal Society CAB INTERNATIONAL UK. 31-39 pp.

**Barker, R., C.A. Scott, C. de Fraiture and U.A. Amarasinghe. 2000.** Global Water Shortages and Challenge Facing Mexico. Water resources Development. Vol. 16:4 pp. 525-542

**Baker, V.R. 1986.** Introduction: Regional Landforms Analysis. Geomorphology from Space a GLOBAL OVERVIEW OF REGIONAL LANDFORMS. In Nicholas M. Short, Sr. and Robert W. Blair, Jr. Eds. Designed for use by the remote sensing science and educational communities to study landforms and landscapes. [http://daac.gsfc.nasa.gov/DAAC\\_DOCS/geomorphology/GEO\\_1/GEO\\_CHAPTER\\_1.HT ML](http://daac.gsfc.nasa.gov/DAAC_DOCS/geomorphology/GEO_1/GEO_CHAPTER_1.HT ML)

**Beltrán, G. L. 1997.** Actualización Hidrogeológica del Valle Ojos Negros, Baja California. Comisión Nacional de Agua. Gerencia Regional de la Península de Baja California. Ensenada, B.C.

**Berzoza, M. 1993.** Zonificación Agroclimática del cultivo de la cebolla en algunas zonas de la República Mexicana. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillos, Mex.

**Bibby, J.S. y D. Mackney 1969** Land Use Capability Classification Technical Monograph 1 The Soil Survey and Land Research Centre, SSLRC.

**Bintliff, J. 2002.** Time, process and catastrophism in the study of Mediterranean alluvial history: a review. World Archaeology Vol. 33(3): 417–435

**Biondi, F., A. Gershunov y D.R. Cayan. 2001.** North Pacific Decadal Climate Variability since 1661. Amer. Meteor. Soc. Vol. 14 5-10

**Birkeland, P. W. 1999** Soils and geomorphology. Oxford University Press, N.Y.

**Bognar, A. 2001.** The Theory of Geomorphological Cycles of William Morris Davis. Geografski Zbornik. XLI 184-195.

**Bourne, J.A. and C.R. Twindale. 1998.** Pediments and Aluvial Fans: genesis and relationships in the western piedmont of the Flinders Ranges, South Australia. Australian Journal of Earth Sciences. Vol. 45 123-135.

**Bullock, P., N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops, T. Tursina y V. Babel. 1985.** Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, Wolverhampton, U.K.

**California Agricultural Land Evaluation and site Assessment Model LESA. 1997** Instruction Manual. California Department of Conservation Office of Land Conservation.

**Campos, A.S. 1989.** Primera Estimación del Potencial Agrícola del estado de San Luis Potosí. Memorias de la II Reunión Nacional de Agroclimatología. Chapingo, Mex,

**Castillo, V. 1986.** Desarrollo Regional y Frontera Norte. Configuración Regional 1960-1980. Cuadernos de Economía. Serie 2:1 Facultad de Economía-UABC. Tijuana, B.C.

**Cendrero, A. 1989.** Mapping and Evaluating of Coastal Areas for Planning. Ocean & Shoreline Management Vol. 12 427-462

**Clark, J.S., E.C. Grimm, J.J. Donovan, S.C. Fritz, Engstrom, D.R. y J.E. Almendinger. 2002.** Drought cycles and landscape responses to past aridity of the northern Great Plains, USA. Ecology Vol. 83:3 pp 595-602

**Comisión Nacional del Agua. 1995.** Plan Estatal Hidráulico 1995-2000. Subgerencia Técnica Regional. Gerencia Regional de la Península de Baja California.

- \_\_\_\_\_ **1997.** Actualización piezométrica del acuífero BC-08  
Ojos Negros, B.C. Gerencia Regional de la Península de Baja California. Subgerencia  
Regional Técnica. Aguas Subterráneas
- \_\_\_\_\_ **2002.** Subgerencia Regional Técnica, Jefatura de  
Proyectos Meteorológicos. Subgerencia Técnica Regional. Gerencia Regional de la  
Península de Baja California.
- \_\_\_\_\_ **2002.** Programa Hidráulico de la Comisión Nacional del  
Agua 2002-2003 Gerencia Regional de la Península de Baja California.
- Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes  
de Agostadero (COTECOCA). Sin fecha.** Secretaría de de Agricultura y recursos  
Hidráulicos. Brigada XI Baja California Norte. Ensenada, B.C.
- Consejo Estatal de Población, Baja California. 2003,** Gobierno del Estado de Baja  
California.
- Crowley, T. J. 2000.** Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years. Science.  
Vol. 289:5477 pp.270-278.
- Cumberland, J.H. 1981** La Planeación Regional y Ambiental una Perspectiva Social.  
En A. Kuklinski. Aspectos Sociales de la Política y de la Planeación Regional. Ed. FCE  
México D.F. 71-87
- Cunillera, J y M. Llasat. 1997.** Application of Remote Sensing and Multivariate  
Analysis to the Agroclimatic Characterization of a Mediterranean Region. Theor. Appl.  
Climatol. Vol. 58: 3-4 pp 197-208
- Davidson, D.A. 2002.** The Assessment of Land Resources: Achievements and New  
Challenges. Australian Geographical Studies. Vol. 40(2)109–128

- De la Rosa, J. A. Moreno J. Barros, F. Mayol and A. Rosales. 1992** . Agro-ecological Land Quality Evaluation System. User's Manual & Technical Description IRNAS, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas Sevilla, España. WWW MicroLEIS Pro&Eco module.
- Delgadillo, J. 1992. Florística y ecología de Baja California. Serie textos, UABC. Mexicali, B.C.
- deMenocal, P.B. 2001**. Cultural Responses to Climate Change During the Late Holoceno. *Science* Vol. 292:5517 pp 667-672
- Dodson, J.R. 2001**. Holocene vegetation change in the mediterranean-type climate regions of Australia. *The Holocene* 11:6 pp. 673–680.
- Dohrenwend, J.C. 1994**. Pediments in Arid Environments. In A.D. Abraham and A. J. Parsons. *Geomorphology of Deserts Environments*. Chapman & Hall. London. pp 321-353.
- Dregne, H.E. y N.T. Chou. 1992** Global desertification Dimension and Costs. In *Degradation in restoration of Arid Lands*. Lubbock: Texas Tech University. <http://www.ciesin.org/docs/002-186/002-htm>
- Dregne, H. E. 2002**. Land Degradation in the Drylands. *Arid Land Research & Management*. Vol. 16: 2, pp. 99-133.)
- Dunjó, G., G. Pardini y M. Gispert. 2003**. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain. *Catena* Vol. 52 1.pp. 23-38
- Elders, W.A., R.W. Rex, T. Meidav, P.T. Robinson y S. Biehler. 1972. Crustal Spreading in Southern California. *Science* Vol. 178:4056 15-34

**Ercan, S. 1999.** Sustainable mangement of water resources in the Ojos Negros valley, Baja California. Civil and Environmental Engineering Department, San Diego State University, San Diego, California.

**Eastman, J.R. IDRISI. A Grid Base Geographic Analysis System: Version 32.2.** Worcester, Massachusetts: Clark University Graduate School of Gegraphy

**Farshad, A. y J. Sinck. 1998.** Water Harvesting and Management in Semiarid Western Iran: A case study of the Hamada Region. *Water Int.* Vol. 23:3 146-154

**Fedoroff, N. 1997.** Clay illuviation in Red Mediterranean soils. *Catena* 28 171-189

Fernández, E. 2001 Comunicación personal, Secretaría de Fomento Agropecuario. Gob. Edo. de B. C.

**Fiona, Mc. W. 1995.** Lack of pastures new. *Geographical Magazine* Vol. 67:4, 1-18

**Food and Agriculture Organization of United Nations. 1976** Framework for Land Evaluation. *FAO Soils Bulletin* 32 Rome, Italy.

**Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1978.** Report on the Agro-ecological zones project. *World Soil Resources Report* 48, Vol. 1 Methodology and results for Africa. Rome: FAO xi 158 pp.

**Food and Agriculture Organization of United Nations. 1985.** Guidelines: land evaluation for irrigate agriculture. *Soils Bulletin* 55. FAO, Rome Italy.

**Food and Agriculture Organization of United Nations. 1993a.** Agro-ecological Assesements for National Planning: the example of Kenia. *FAO Soils Bulletin* 67, Rome Italy.

**Food and Agriculture Organization of United Nations.1993b** Guidelines for land use planning. *FAO Development series* 1, Rome Italy: 9 6 pp

**Food and Agriculture Organization of United Nations. 2001** Indicadores de la Calidad de la Tierra y su Uso para la Agricultura Sostenible y el Desarrollo FAO Boletín No. 5 de Tierras y Aguas WB. PNUMA, PNUD, 2001, Roma, Italy 210 p.

**Forman, R.T. y M. Godron 1986.** Landscape Ecology. Wiley N.Y. 619 pp.

**García A. M.T. y J. Lugo H. 2004.** El Relieve Mexicano en Mapas Topográficos. Serie Libros Núm. 5 Instituto de Geografía- Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.

**García, M.J. 1987.** Diagnóstico de largo plazo en la economía de Baja California, 1950-1980. Cuadernos de Economía. Serie 3:4 Facultad de Economía-UABC. Tijuana, B.C.

**García, E. 1981.** Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. I. de Geografía UNAM-CETENAL pp 252.

**García, M.J.M. y F. Santos F. 1997.** Relationship between the characteristics of Mediterranean Red soils and the age of the geomorphological surfaces in central-western Spain. Catena Vol. 28 231-245

**Gastil, R.G., R. P. Phillips y E. C. Allison. 1975.** Reconnaissance Geology of the State of Baja California. The Geological Society of America, Inc. Memoir 140

**Gómez, D. J.D. 1999.** Clasificación Climática de Papadakis. Con aplicaciones para México. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Mex. 111 pp.

**Graber, D.W. 1989.** Planeación del Uso del suelo y medio Ambiente en la Ciudad de México. En G. Garza (Comp.) Una Década de Planeación Urbano Regional en México. 1978-1988. El Colegio de México. México D.F. 327-346

**Hare, S.R. and R.C. Francis. 1995.** Climate Change and Salmon Production in the Northeast Pacific Ocean. In: R.J. Beamish [ed.] Ocean climate and northern fish populations. Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci. 121, pp. 357-372.

**Hatch, M.E. 1987.** Neotectonics of the Agua Blanca Fault, Valle de Agua Blanca, Baja California, México. In partial fulfillment of the requirements for the Degree Master of Science in Geological Sciences. S.D.S.U.

**Helms, D. 1992** The Development of the Land Capability Classification Readings in the History of the Soil Conservation Service, Washington, DC: Soil Conservation Service, pp. 60-73.

**Helldén, U. 1988.** Desertification Monitoring: Is the Desert Encroaching? Desertification Control Bulletin Vol. 17 8-12

**Henderson, D. A. 1964.** Agriculture and Livestock Raising in the Evolution of the Economy and Culture of the State of Baja California. Mexico. Tesis Ph Doctor. University of California, Los Angeles. CA.

**Hills, G., D.V. Love y D. S. Locate. 1970.** Developing a better environment. The Ontario Economic Council, Toronto

**Howard, J.A. y C.W. Mitchel 1980.** Phyto-Geomorphic Classification of the Landscape. Geoforum Vol. 11 85-106

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. 1998** Estadísticas del Medio Ambiente. INEGI. México.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI) 2003** Banco de Información Estadística BIE. Sistema de Cuentas Nacionales de México.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI) 2001.** Principales Resultados por Localidad. Baja California. XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (INIFAP). 1993.** Análisis de la Situación Agropecuaria y Forestal en el DDR 001 y su Relación con la Misión del Campo Experimental Costa de Ensenada. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental "Costa Ensenada". Ensenada, B. C.

\_\_\_\_\_ **1998.** Paquetes tecnológicos para el área de influencia del Campo Experimental "Costa de Ensenada". Publicación Técnica Num. 1. SAGAR/INIFAP. Centro de Investigación Regional del Noroeste Campo Experimental "Costa Ensenada.

**Jimenez, A. 1996.** Land Evaluation. Department of soil, Crop & Atmospheric Sciences Cornell University. <http://wwwscas.cit.cornell.edu/landeval.html>

**Jones, P.D., T.J Osborn y K.R Briffa. 2001.** The Evolution of Climate Over the Last Millennium. Science Vol. 292:5517 pp. 662-666.

**Kassan, A.H. van Velthuisen, H.T. Fisher, G.W. and Shah, M.M. 1991.** Agroecological land resources assesment for agricultural development planning: A case study of Kenia; Resources database and land productivity. Vol. Main Report & Vienna: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) . xi 196 pp

**Karas, J 2003.** Climate Change and the Mediterranean Region. Executive Summary <http://archive.greenpeace.org/~climate/science/reports/desertification.html>

- Keeley, J.E. y Fotheringham. 2001.** Historic Fire Regime in Southern California Shrublands. *Conservation Biology* Vol. 15:6 pp 1536-1548
- Keeley, J.E. 2002.** Native American impacts on fire regimes of the California coastal ranges. *Journal of Biogeography*, 29, 303–320
- Klingebiel, A.A. y P. H. Montgomery. 1961** Land Capability Classification, Agriculture Handbook No. 210. Washington, D.C. pp.21
- Lal, R. 1998.** Degradation and Resilience of Soils. In *Land Resources: On the Edge of the Malthusian Precipice?* Eds. D. J. Greenland, P.J. Gregory y P.H. Nye. The Royal Society CAB INTERNATIONAL UK.137-150
- Larson, D. O. 1994.** California Clima Reconstructions. *The Journal of Interdisciplinary History*. Vol. 25:2 pp. 225-230
- Lee, H, L. and Z. Kemp. 1997.** Towards a Multiple Placement Land Suitability Evaluation Framework In M.J. Kraak and M. Molenaar Eds., *Advances in GIS Research II* Taylor & Francis Ltd, London.
- Lefebver, L. 1981** Problemas Normativos y Aspectos sociales en el Análisis regional. En *Aspectos Sociales de la Política y de la Planeación Regional*. En A. Kuklinski. Ed. FCE. México D.F. 26-28.
- Lefebver, L. 1985.** Problemas Normativos e Institucionales de la Planificación Regional: Desarrollo Urbano y Rural. En A. Kuklinski (Comp.) *Desarrollo Polarizado y Políticas Regionales*. FCE. México, D.F. 188-198
- Le Houérou, H.N. 1996.** Clima change, drought and desertification. *Journal of Arid Environmental*. Vol. 34: 113-185.

- Le Houérou, H. N. 2002.** Man-Made Deserts: Desertization Processes and Threats. *Arid Land Research & Management*, Vol. 16:1 pp 1-36.
- León-Portilla, M. 2000.** La California Mexicana. Ensayos acerca de su historia. UNAM-UABC. México, D.F.
- Lugo, H.J. 1989.** Diccionario Geomorfológico. Con equivalentes de los términos de uso más común en alemán, francés, inglés y ruso. UNAM. México, D.F.
- Lugo, M. S. Y. 2002.** Agricultura de Exportación y Complementaridad Peninsular. *Comercio Exterior* Vol. 52:6 pp 694-699
- Loukili, M. M. Bock., P. Engels et L. Mathieu. 2000.** Approche géomorpho-pédologique et système d'information géographique (sig) pour la gestion des terres au Maroc. *Etude et gestion des sols*. Vol. 7-1 37-52
- Mabbutt, A. 1968.** Review on Concept of Land Classification: en A. Stewart (Ed.) *Land Evaluation*. Mc Millan Co. pp 11-28
- McHarg, I. 1992.** *Desing with nature*. Jhon Wiley & Sons. New York
- McTavish, J.G. 1998** Benchmarking with Delphi Expert Opinion Panels: The Regional Municipality of Ottawa-Carleton Land Evaluation and Area Review (OCLEAR) System for Agriculture MCIP RPP, Rural Planner, OMAFRA
- Mann, M.E., E. Gille, R. s. Bradly, M. K. Hughes, J. Overpeck, F. Keimig y W. Gross. 2000.** Global Temperature Patterns in Past Centuries: An Interactive Presentation. *Earth Interactions*. Vol. 4:4 29 pp.
- Mantua, N., S. R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace y R. C. Flores. 1997** A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society* Vol 78, p. 1069-1079

**Mantua, N.J. 2000.** The Pacific Decadal Oscillation (PDO)

<http://jisao.washington.edu/pdo/>

**MEDALUS I Final Report, Covering the Period 1 January 1991 to 31 December 1992**

**Mendoza, M.E. y G. Bocco 1997** La Regionalización Geomorfológica Como la Base Geográfica para el Ordenamiento del Territorio: Una revisión bibliográfica. (Manuscrito)

**Meentemeyer, R. K., A Moody and J. Franklin. 2001.** Landscape-scale patterns of shrub-species abundance in California chaparral. Vol. 156: 19–41

**Meentemeyer, R.K. y A. Moody. 2002.** Distribution of plant life history types in California chaparral: the role of topographically-determined drought severity. *J. Veg. Sci.* 13: 67-78

**Minnich, R.A. 1987.** Fire Behavior In Southern California Chaparral Before Fire Control: The Mount Wilson Burns at the Turn Century. *Annals of the Association Geographers.* Vol.77:4 599-618

**Minnich, R.A. and E. Franco V. 1998.** Land of Chamise and Pines. Historical Accounts and Current Status of Northern Baja California's Vegetation. University of California Publications. Botany Volume 80 University of California Press.

**Miranda, R. J. F. 1987.** Caracterización de zonas Climáticas Sinópticas en la Pennsula de Baja California. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC-Unidad Ensenada pp. 89

**Moore, B.B. 1958.** The Santa Ana Winds. *San Diego Historical Society Quaterly.* Vol. 4; No.1 1-3 *The Journal of San Diego History*

- National Oceanic Atmospheric Administration. 2000.** North American Drought: A Paleo Perspective. [http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/drought/drght\\_home.html](http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/drought/drght_home.html)
- Neil, R., M. E. Meadows and J. R. Dodson. 2001.** The history of mediterranean-type environments: climate, culture and landscape. *The Holocene* 11:6 pp. 631–634
- Niemeijer, D. y V. Mazzucato. 2002.** Soil Degradation in the West African Sahel, How Serious Is It? *Environment* Vol 44:2 19-31
- Oldeman, L.R., R.T.A. Hakkeling, and W.G. Sombroek, 1991:** World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation (2nd rev.). International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, The Netherlands
- Oke, T.R. 2000.** *Boundary Layer Climates.* Methuen & Co Ltd, New York, pp. 5-6, 176-179
- OMAFRA. (Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs) 1997.** A Guide to Land Evaluation and Area Review (LEAR) System for Agriculture. Land Use Planning Program. OMAFRA.
- Organización de las Naciones Unidas. 2001.** World Population Prospects: The 2000 Revision. Vol. 1 Comprehensive Tables. Unpublications Draft. ESA/PWP. 165
- Orme, A. and A.J. Orme. 1998.** Greater California. In Ed. A.L. Conacher and M.Sala. *Land Degradation in Mediterranean Environments of the World. Nature and extent, causes and solutions.* John Wiley & Sons. Pp 109-122
- Ortiz-Solorio, C.A. y H. E. Cuanalo de la C. 1978.** Metodología del Levantamiento Fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras. Rama de Suelos. C.P. Chapingo, México.

- Ortiz-Solorio, C. 1982.** Apuntes de Agrometeorología. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Mex. 221 pp
- Ortiz, BM. , 1988.** Delimitación Climática de Áreas Homogéneas en la Zona Centro de México. II Congreso InterAmericano de Meteorología. México, D.F., pp. 7-10.
- Ortiz, T.C. 1989** Potencial Agroclimático en el estado de Hidalgo. Memorias de la II Reunión Nacional de Agroclimatología. Chapingo, Mex.
- Ovelander, T. M. 1997.** Slope and Pediment Systems. In D.S.G. Thomas. Arid Zone Geomorphology: Process and Form Change in Drylands. John Wiley & Sons. N.Y. pp 135-163
- Papandreou. A. G. 1981** La Planeación Social en un Marco Regional. En A. Kuklinski. Ed. FCE. México D.F. 23-25
- Penmam, H.L. 1948.** Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London Series A 193: 126-145
- Pérez-López, E. A. 1996.** Estudio Econométrico sobre la Inflación en México. Documento Técnico 9604. Banco de México.  
<http://www.banxico.gob.mx/IBusqueda/FsBusqueda.html>
- Phillips, J.D. 2002.** Erosion, isostatic response and the missing peneplains. Geomorphology Vol. 45: 225-241
- Ponce, M., R. García C. y C. Ercan. 2001.** Posible cambio climático debido a la explotación subterránea en el Valle de Ojos Negros, Baja California. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM. No. 44 pp 6-17

**Programa Asociado de Gestión de Crecientes. 2002.** GWP/OMM APFM Proyecto Piloto Gestion Integrada de Crecientes en la Cuenca del río Cuareim/Quarai (Brasil/Uruguay) Coordinación DNH – IPH.

**Rojas, C. R.I. y E.A. Corona Z. 2004.** Planeación del Desarrollo Rural en la Zona Sur del Municipio de Ensenada. En Coord. A.L.Quintanilla. Construyendo el Futuro en el Desarrollo Sustentable de las Comunidades en Baja California. Manuscrito enviado a la Universidad Autónoma de Baja California para su dictamen.

**Ramírez, A. R. de J. y V. Castillo R. 1985.** La Frontera México-Estados Unidos. Estudio de las Economías de Baja California y California. Cuadernos de Economía. Serie 1 Cuaderno No.1 I.I.S.-UABC, Tijuana, B.C.

**Roberts, N., M.E. Meadows and J.R. Dodson. 2001.** The history of mediterranean-type environments: climate, culture and landscape. *The Holocene* 11:6 pp. 631–634

**Rojo, S. P. 1985.** Variabilidad Climática en la Península de Baja California. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC-Unidad Ensenada. pp 63.

**Rossiter, D. G, a. Jimenez y A.R. Van Wambeke. 1995.** Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras ALES versión 4.5 en Español. Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences (SCAS) Teaching Series No. T93-1 Revision 5 Cornell University, Ithaca N.Y.

**Rossiter, D.1996a.** Evaluación de Tierras: Éxitos y Retos. XIII Congreso Latino Americano de Ciência do Solo. Aguas do Lindóia, São Paulo Brasil. Del 2 al 8 de agosto de 1996

**Rossiter, 1996b** A Theoretical Framework for land evaluation (with discussion) *Geoderma* Vol. 72 pp. 165-202

**Rossiter, D.G. 2000.** Methodology for soil resource inventories 2 Revised version. Lecture notes and reference. ITC Enschede. 132 p.

**Sánchez, G.M., C.A. Ortiz, R.F. Márquez y José María de la C.S. 1989.** Clasificaciones Agroclimáticas de Cultivos. Memorias de la II Reunión Nacional de Agroclimatología. Chapingo, Mex.

**Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham, y W.D. Broderson. 1998.** Field Book for Describing and Sampling Soils. Natural Resources Conservation Service.U.S. Department of Agriculture. National Soil Survey Center. Lincoln , NE

**Secomski, K. 1985.** Demografía, Economía Regional y Política Regional en Relación con el Desarrollo Socioeconómico. En A. Kuklinski (Comp.) Desarrollo Polarizado y Políticas Regionales. FCE. México, D.F. 125-142

**Secretaría de Fomento Agropecuario. 2003.** Gobierno del Estado de Baja California. <http://bajacalifornia.gob.mx/>

**Segrera, S., R. Ponce-Hernández y J. Arcia. 2003.** Evolution of Decision Support System Architectures: applications for land planning and management in Cuba. JCS&T Vol. 3-1 40-46

**Selman, E. 2000.** Environmental Planning. Sage Pub. U.K.

**Shen, H.W. y G.Q. Tabios. 1995.** Drought Analysis with Reservoirs Using Tree-ring Reconstructed Flows. Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 121:5 pp 413-422

**Shepande, C. 2002.** Soil and Land Use with particular attention to Land Evaluation for Selected Land Use Types in the Lake Naivasha Basin, Kenia. Thesis Master of Science International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands. Pp 117

- Sieger, 2002** The New Dust Bowl. Time Vol. 160: 12 pp 54-58
- Simon, M., S. Sánchez y I. García. 2000.** Soil-landscape evolution on a Mediterranean high mountain. Catena 39 211-231
- Soil Survey Staff. 1992.** Keys to Soil Taxonomy. Sixth Edition. USDA, Soil Conservation Service. 306 pp.
- Soil Bulletin 73** Agroecological zoning, Guidelines; Regional Workshop on Land vulnerability Assessment for food Security In Asia Using Agro-Ecological Zones.
- Sosa, J. 1989.** La Vegetación, el Ciclo Hidrológico y el Proceso de Erosión en Cuencas Mediterráneas de B.C. En S. Reyes y R. Maddox (Eds.) I Reunión Regional México-Estados Unidos sobre Estudios del Balance de Agua. 18-20 de octubre. Ensenada, B.C. 37-39 pp.
- Squires, V.R. 2001.** Physics, Mechanics and Processes of Dust and Sandstorms: an Early Warning of Impending Disaster. En Youlin, Y., V. R. Squires and L. Qi. Eds. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD).
- Stewart, A. 1968.** Land Evaluation. McMillan. Co.
- Tejeda, M.A. 1994. On the evaluation of the wet bulb temperature as a function of dry bulb temperature and the relative humidity. Atmosfera 4 138-144
- Ternier, M. y G. Ternier. 1960.** Érosion et Sedimentation. Introduction a la Géologie Générale et a la Paleogéographie. Mason & C<sup>ie</sup>. Paris.
- Tijerina, C. L. C. Ortiz-Solorio, D. Pájaro H. y E. Ojeda T. 1990** Manual de la Metodología para Evaluar la Aptitud de las Tierras para la Producción de Cultivos Básicos en Condiciones de Temporal. C.P.-SARH. Chapingo, México 113 pp

- Thompson, R. S. and K. H. Anderson. 1997.** Past climate and vegetation changes in the southwestern United States. Electronic publication at:  
<http://geochange.er.usgs.gov/sw/impacts/biology/pastclim/>
- Thornes, J. 1991** Project Coordinator MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use). King's College, London.
- Thorntwaite, C.W. 1948.** An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38: 55-94
- Tucker, C.J., E. Dregne y W.W. Newcomb. 1991.** Expansion and Contraction of the Sahara Desert from 1980 a 1990. Science Vol. 253:5017 299-301
- UNESCO. 1976.** Programa el Hombre y la Biosfera  
 United Nations 1997 Economic and Social Council 20 January 1997
- UNEP. 1997.** World Atlas of Desertification. 2nd ed. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- USDA-NRCS. 1999.** Soil Taxonomy. A Basic system of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey. Agricultural Handbook Number 436. Second Edition By Soil Survey Staff.
- United States Geological Services. (USGS) 2002.** <http://www.usgs.gov/>
- van Diepen, C.A., Wolf keulen, H. van, and Berkhout, J.A.A. 1991** Land evaluation: from intuition to quantification. In B.A. Stewart (Ed.) Advances in Soil Science: A critical review of land evaluation concepts. pp. 139-204. New York. Springer.
- Van Wasamael, B., J. Poesen, A. Benet, L. Barrionuevo y L. Puigdefabregas. 1998.** Traditional Management of a Water Harvesting Systems on Hillslopes in South-east

Spain. Hydrology in a Changing Environment Vol. II pp 465-472 In H. Wheater y C. Kirby Eds. John Wiley and Sons Baffins Lane Chichester, UK.

**Velasco, I. 1999.** Severe Droughts Becoming Recurrent, More Persistent in Mexico. Drought Network News. Vol. 11:1 pp 3-6

**Venegas, C. F.R., W. Zuñiga C. y O.R. García C. 1997.** Propuesta de Manejo Ambiental Integral en la Región San Quintín, Ensenada, B.C. Reporte Interno de Investigación. Dirección General de Investigación y Posgrado-UABC.

**Weege, B.C. 1976.** Geologic Map and Geologic Interpretations of Ojos Negros Valley Baja California. Senior Tesis Project. S. D.S.U., San Diego CA.

**Weitz. R. 1986.** Planeación Rural en los Países en Desarrollo. FCE. México, D.F.

**Williams, M. y R.C. Balling. 1996.** Interactions of Desertification and Climate. WMO-UNEP. Jr. Arnold N.Y.

**Williams, M., D. Dunkerley, P. De Deckener, P. Kershaw y J. Chapell. 1998.** Quaternary Environments. Arnold Oxford University Press, Inc, NYWorld Commission Environment Development.

**WCED. 1987** Our Common Future. Brundtland Report.

World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press

**Yassoglou, N., C. Kosmas y N. Moustakas. 1997.** The red soils, their origin, properties, use and mangement in Greece. Catena 28 261-278

**Youlin, Y., V. R. Squires and L. Qi. Global Alarm: Dust and Sand Storm from the World's Drylands. 2001.** United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD).

**Zhiju, G., L. Dewen., W. Yonggiu and L. Gengnain. 1999.** Comment on Planation Surface. Chinese Science Bulletin Vol. 44:22 2017-2022

**Zinck, J.A. 1989** Physiography and Soils. Soil Survey Courses. Intenational Institute for Aerospace and Earth Sciences. ITC. Enschede.

**Zonneveld, I.S. 1979.** Land evaluation and land(scape) science. Textbook of Photointerpretation. ITC.Vol. VII, Enschede (NL).

**Zuñiga, C. W.R. 2002.** Diagóstico y perspectivas de la sequía en Baja California. Fundación Produce Baja California, A.C. y Facultad de Ciencias-UABC. Ensenada, B.C.

**Zwingle, E. 2002.** Cities, challenges for humanity. Economic and Social Council. United Nations <http://magma.nationalgeographic.com/ngm/0211/feature3/index.html>

## **XI ANEXOS**

### **Descripción de perfiles**

Perfil No. 1

Coordenadas UTM X 571595; Y 3530122 msnm 706 m Datum NAD 27

Ap 0-20 transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10RY 4/3 pardo, textura Migajón arcillo arenoso, estructura granular poco desarrollada, sin consistencia, permeable, raíces finas < de 1 mm de diámetro y  $\geq$  50-200 por dm<sup>2</sup>, poros intersticiales de 1 a 2 mm de diámetro y  $\geq$  10-50 por dm<sup>2</sup>, M.O. 0.67 pH 6.71 sin reacción al HCl, muy fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

AB1 20-47, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10RY 4/4 pardo oscuro amarillento, en húmedo 10RY3/2 pardo grisáceo muy oscuro, textura Migajón arcillo arenoso, estructura poco desarrollada de 2 a 3 cm de diámetro, consistencia firme, permeable, raíces finas y muy finas < de 1 mm de diámetro y 10-50 por dm<sup>2</sup>,

poros intersticiales y vesiculares de 2mm de diámetro 10-50 por dm<sup>2</sup>, M.O. 0.27 pH 7.45 sin reacción al HCl, fuerte al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

AB2 47-65 transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR4/4 en húmedo 10YR3/2, textura Migajón arcillo arenoso, estructura masiva poco desarrollada 3 cm diámetro, consistencia duro, permeable, raíces finas y muy finas < de 1 mm de diámetro y de 10 a 50 por dm<sup>2</sup>, poros vesiculares finos y medianos < 1 mm y > 1 mm de diámetro 10 a 50 por dm<sup>2</sup>, M.O. 0.40 pH 7.45 reacción ligera la HCl, y fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Bd1 65-94 transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 4/4 pardo oscuro amarillento, en húmedo 10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro, textura Migajón arcillo arenoso, fragmentos de gravas de < de 1 cm de diámetro, estructura prismática con aristas, bien desarrollada de 5 a 10 cm de diámetro, consistencia muy dura, permeable, raíces muy finas de < de 1mm de diámetro y de 10 a 50 por dm<sup>2</sup>, poros vesiculares < de 1 mm de diámetro y de 50 a 200 por dm<sup>2</sup>, M.O. 0.49 pH 7.21 reacción al HCl muy ligera, al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> moderada.

Bd2 94-184 transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 4/3 pardo, en húmedo 10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro, motas blancas y pardo rojizas, textura Migajón arcillo arenoso, gravas de < > 1 cm de diámetro, estructura prismática bien desarrollada con aristas y de 5 a 10 de tamaño, consistencia muy duro, permeable, raíces muy finas < de 1 mm de diámetro de 10 a 50 por dm<sup>2</sup>, poros intersticiales < de 1 mm de diámetro de 10 a 50 por dm<sup>2</sup>, M.O. 0.47 pH 7.27, sin reacción al HCl, reacción moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Bd3 184-230 transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillo, en húmedo 10YR 4/2 pardo oscuro grisáceo, textura Migajón arcillo arenoso, gravas > de 1 cm y minerales primarios, estructura masiva > de 10 cm de diámetro, consistencia firme, permeable, raíces muy finas < de 1 mm de diámetro y de 10 a 50 por dm<sup>2</sup>, poros intersticiales < de 1 mm de diámetro de 50 a 200 por dm<sup>2</sup>, M.O. 0.13 pH 7.53, sin reacción al HCl y muy ligera al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación: Dystric Fluventic Xerochrepts

PERFIL No. 2

Coordenadas: X 565220; Y 3532332 msnm 684 Datum NAD 27

A/Ee 0-20, transición al siguiente estrato ligeramente irregular, color en seco 10YR 4/3 pardo, en húmedo 10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro, textura Migajón arenoso, estructura granular tamaño media, consistencia friable, permeable, raíces finas de 1 a 2 mm de diámetro y 50 a 200 por dm<sup>2</sup> y muy gruesas > de 1 cm de diámetro y < de 2 % del volumen, poros finos intersticiales finos < de 1 m de diámetro y de 50 a 200 por dm<sup>2</sup>, M.O. 1.0, pH 7.82 sin reacción al HCl, y reacción fuerte al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BE 20-45; 20-60, transición al siguiente Horizonte bastante irregular, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 5/3 pardo, textura Migajón arcilloso, rocas y gravas con aristas < del 5 % y < de 5 cm de diámetro, estructura bloques angulares con aristas mayores de 5 cm, consistencia muy firme, permeable, raíces finas entre 1 a 2 mm de diámetro y de 50 a 200 por dm<sup>2</sup> y medianas > de 2mm de diámetro < de 1 % por dm<sup>2</sup>, poros finos vesiculares y de forma esférica y de 10 a 50 por dm<sup>2</sup>, medianos < del 1 % del volumen, M.O. 0.0, pH 7.64 , sin reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BCd 45-70 (60-80), transición al siguiente Horizonte bastante irregular, color en seco 10YR 6/4 pardo amarillento claro, en húmedo 10YR 4/3 pardo, textura Migajón arcillo arenoso, gravas > de 5 cm con aristas > de 20 % del volumen, estructura masiva > de 5 cm de diámetro con aristas, consistencia dura, permeable, raíces muy finas < de 1 mm de diámetro y muy pocas de 1 % del volumen y finas > de 1 mm < 2 mm de diámetro pocas > de 1 % del volumen, poros finos vesiculares < de 1 mm de diámetro muchos > del 5 % del volumen, M.O. 0.16 pH 7.58, sin reacción al HCl ni al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

CBd 70-106 (80-106) transición al siguiente Horizonte muy irregular, color en seco 10YR 6/6 amarillo pardo, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillo oscuro, textura Migajón

arcillo arenoso con la presencia de gravas finas con aristas de 1 a 2 cm y < de 10 %, estructura masiva tamaño de < de 5 cm, consistencia dura, permeable, raíces finas < de 1 mm de diámetro pocas 1 % del volumen, poros muy finos vesiculares abundantes > del 5 % del volumen y < de 1 mm de diámetro finos > del 5 % del volumen, M.O. 0.0 pH 7.78 sin reacción al HCl, reacción fuerte al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Cdr 106-120, transición al siguiente Horizonte regular, marcada, color en seco 10YR 7/4 pardo muy pálido, en húmedo 10YR 5/4 pardo amarillento, textura arenosa limosa, gravas finas > de 2 mm de diámetro < del 10 % del volumen, estructura masiva de 2 a 3 cm, consistencia muy duro, permeable, sin presencia de raíces, poros finos intersticiales finos > 1 cm de diámetro y comunes, M.O. 0.16, pH 7.69, ligera reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación: Typic Haploxerept

### PERFIL 3

Coordenadas: X 565580; Y 3532104 msnm 675 Datum NAD 27

Apy 0-35 transición al siguiente Horizonte regular marcada, color en seco 2.5Y 8/1 blanco, en húmedo 2.5Y 3/1 gris muy oscuro, textura Migajón limoso, sin estructura, sin consistencia, poco permeable, raíces muy finas < de 1 mm de diámetro y comunes, finas 1 a 2 mm de diámetro y comunes, poros muy finos menores de 1 mm de diámetro y comunes, vesiculares, M.O. 2.18, pH 7.88, fuerte reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Cyn 35-60, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 2.5Y 7/2 gris claro, en húmedo 2.5Y 4/1 gris oscuro, textura Migajón limoso, estructura masiva, consistencia suave, poco permeable, raíces muy finas y comunes, finas poco comunes, poros muy finos y comunes vesiculares y finos comunes y vesiculares, M.O. Migajón limoso, pH 7.77 fuerte reacción al HCl, y ligera al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Ceyn 60-95, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 4/2 gris pardo oscuro, en húmedo 2.5Y 3/2 pardo grisáceo muy oscuro, textura Migajón limoso estructura masiva, consistencia muy firme, poco permeable, raíces muy finas y poco comunes y finas poco comunes, poros vesiculares finos comunes y medios poco comunes, M.O. 1.6, pH 7.64, fuerte reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Cayn 95-115, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 5/3 pardo, en húmedo 2.5Y 5/3 pardo olivo claro, textura Migajón limoso, estructura masiva, consistencia firme, poco permeable, raíces muy finas pocas, poros vesiculares muy finos y pocos y finos poco comunes, M.O. 0.60, pH 7.74, fuerte reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

2BCyn115-137, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 2.5Y 8/1 blanco, en húmedo 2.5Y 8/2 amarillo pálido, textura Migajón arcillo limoso, estructura masiva, consistencia suave, poco permeable, raíces muy finas y muy pocas y finas muy pocas, poros vesiculares muy finos y muy pocos y finos muy pocos, M.O. 0.9, pH 7.76, fuerte reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

2BCeyn 137-200, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 2.5Y 5/3 olivo pardo claro, en húmedo 2.5Y 5/3 olivo pardo claro, textura Migajón arcillo limoso, estructura masiva, consistencia firme, poco permeable, raíces muy finas y muy pocas, finas y muy pocas, poros vesiculares muy finos y muy pocos, M.O. 0.73, pH 7.76, fuerte reacción al HCL y ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación Mollic Xerofluvents

#### PERFIL 4

Coordenadas; X 565936; Y 3531849, nsnm 691

AE 0-12, transición al siguiente Horizonte regular marcada, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 5/4 pardo amarillento, textura Migajón arcillo arenoso presencia de gravas finas con aristas, estructura plana (platy) > de 10 cm de

longitud, consistencia firme, permeable, raíces muy finas y comunes, poros muy finos intersticiales comunes, M.O. 0.60, pH 7.84, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

EB 12-48, transición al siguiente Horizonte regular bien marcada, color en seco 10YR 6/3 pardo pálido, en húmedo 10YR 5/4 pardo amarillento, textura Migajón arcillo arenoso, estructura masiva de 5 a 10 cm de diámetro, consistencia dura, permeable, raíces muy finas y poco comunes, poros intersticiales muy finos y comunes, M.O. 0.26, pH 7.46, ligera reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BC1 48-60, transición al siguiente Horizonte regular bien marcada, color en seco 10YR 5/3 pardo, en húmedo 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro, textura Migajón arenoso, estructura poliédrica poco desarrollada > de 5 cm, consistencia firme, permeable, raíces muy finas y pocas, poros intersticiales muy finos y comunes, M.O. 0.33, pH 7.47, ligera reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BC2 60-96, transición al siguiente Horizonte regular marcada, color en seco 10YR 5/3 pardo, en húmedo 10YR 4/3 pardo, textura Migajón arenoso, estructura bloques angulares poco desarrollados, consistencia suave, permeable, raíces finas comunes y gruesas pocas, M.O. 0.4, pH 7.13, sin reacción al HC, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

C 96-146, transición al siguiente Horizonte regular marcada, color en seco 10YR 6/3 pardo pálido, en húmedo 10YR 4/3 pardo, textura Migajón arenoso, estructura bloque angulares poco desarrollados < de 5 cm, consistencia suave, permeable, raíces muy finas y pocas, poros intersticiales muy finos y comunes, M.O. 0.33, pH 7.25, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Cd 149-176, transición al siguiente Horizonte marcada regular, color en seco 10YR 7/4 pardo muy pálido, en húmedo 10YR 6/3 pardo pálido, textura Migajón arenoso, estructura bloques angulares poco desarrollados > de 5 cm, consistencia dura,

permeable, sin raíces, poros intersticiales muy finos y comunes, M.O. 0.06, pH 7.36, ligera reacción al HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Cdr 176-200, transición al siguiente Horizonte marcada regular, color en seco 10YR 7/4 pardo muy pálido, en húmedo 10YR 5/4 pardo amarillento, motas de color rojizas 10R 4/6 > 30 %, textura Migajón arenoso gravas finas y > 50 % del volumen, estructura bloques angulares < de 5 cm, consistencia muy dura, permeable, sin la presencia de raíces, poros muy finos intersticiales y comunes, M.O. 0.2, pH 7.33, ligera reacción al HCl, y reacción ligeramente fuerte al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación; Dystric Xeropsamments.

## PERFIL 5

Coordenadas: X 568082, Y 3529534 msnm. 697

Ap 0-8, transición al siguiente Horizonte marcada regular, color en seco 10YR 5/3 pardo, en húmedo 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro, textura Migajón arenoso, presencia de gravas finas > 30 % del volumen, estructura granular sin desarrollo, consistencia suave, permeable, raíces muy finas pocas, poros muy finos intersticiales y comunes, M.O. 0.87, pH 7.96, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BAd1 8-45, transición al siguiente Horizonte marcada regular, color en seco 10YR 4/3 pardo, en húmedo 10YR 4/3 pardo, textura Migajón arcillo arenoso, gravas finas y micas > del 20 del volumen, estructura bloques angulares con aristas con un buen desarrollo, consistencia dura, permeable, raíces muy finas poco comunes, finas poco comunes, poros intersticiales muy finos y pocos, M.O. 0.53, pH 7.56, sin reacción al HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BAd2 45-65, transición al siguiente Horizonte marcada regular, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillento oscuro, textura Migajón arcillo arenoso con gran cantidad de micas, estructura columnar bien desarrollada,

consistencia dura, permeable, raíces muy finas pocas, poros muy finos intersticiales y pocos, M.O. 0.20, pH 7.82, fuerte reacción al HCl, muy ligera la H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

2BC 65-78, transición al siguiente Horizonte marcada regular, color en seco 10YR 6/4 pardo amarillento claro, en húmedo 10YR 5/4 pardo amarillento, textura Arena limosa, estructura granular poco desarrollada, sin consistencia, permeable, raíces muy finas pocas, poros intersticiales muy finos comunes, M.O. 0.8., pH 7.79, fuerte reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

2BCcd 78-104, transición al siguiente Horizonte marcada regular, color en seco 10YR 5/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillento, textura Franco, gravas finas y micas poco intemperizados, estructura masiva poco desarrollada < de 5 cm, consistencia dura, permeable, raíces muy finas y escasas, poros intersticiales muy finos y comunes, M.O. 0.13, pH 7.87, sin reacción al HCl, fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

2CBcd 104-124, transición al siguiente Horizonte marcada regular, color en seco 10YR 7/4 pardo muy pálido, en húmedo 10YR 4/6 pardo amarillento oscuro, textura Migajón arenoso, moderada cantidad de minerales primarios micas, estructura masiva poco desarrollada de 2 a 3 cm, consistencia dura, permeable, raíces muy finas escasas, poros intersticiales muy finos pocos, M.O. 0.53, pH 7.58, sin reacción al HCl, fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

2Crd 124-150, transición al siguiente Horizonte marcada regular, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillento oscuro, textura Arena limosa presencia de minerales primarios > del 50 % del volumen, estructura masiva poco desarrollada de 2 a 3 cm, consistencia dura, permeable, raíces muy finas y escasas, poros muy finos intersticiales comunes, M.O. 1.81, pH 7.73, muy ligera reacción al HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación; Dystric Xeropsamments

PERFIL 6

Coordenadas: X 576938, Y 3524171 nsnm 735

Aez 0-33, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro, en húmedo 10YR 2/2 pardo muy oscuro, gran cantidad de micas, textura Migajón arenoso sobre la superficie presenta gravas con aristas poco intemperizadas de origen granítico y presencia de micas en todo el Horizonte, estructura sin estructura, sin consistencia, permeable raíces finas comunes y gruesas pocas, poros intersticiales muy finos comunes, M.O. 1.07, pH 7.84, ligera reacción al HCl, fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Cegz1 33-58, transición al siguiente Horizonte marcada, color en seco Gley1 7/5GY gris verdoso claro, en húmedo Gley1 4/10Y gris verdoso oscuro, textura franco gran cantidad de micas, gravas finas, estructura masiva poco desarrollada < de 5 cm, consistencia dura, poco permeable, raíces muy finas comunes y finas poco comunes, poros intersticiales finos y comunes, M.O. 0.067, pH 8.09, fuerte reacción al HCl, fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, presencia de nódulos de Mn.

Cegz2 58-101, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco Gley1 6/10Y gris verdoso, en húmedo Gley1 5/5GY gris verdoso, textura Migajón arenoso gran cantidad de micas y minerales poco intemperizados, estructura plana (platy) poco desarrollada < de 5 cm, consistencia dura, poco permeable, raíces muy finas comunes y finas poco comunes, poros intersticiales finos y comunes, M.O. 0.067, pH 8.3, fuerte reacción al HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Cgz1 101-132, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco Gley1 7/10Y gris verdoso claro, en húmedo Gley1 6/10Y gris verdoso, textura Arena limosa presencia de gravas finas y de micas, sin estructura, sin consistencia, poco permeable, sin raíces, poros muy finos comunes, M.O. 0.20, pH 8.15, ligera reacción al HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Cgz2 132-160, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco (estaba bastante húmedo), en húmedo 2.5Y 5/3 olivo pardo claro, textura Migajón arenoso, sin

estructura, consistencia suave, poco permeable, raíces muy finas poco comunes, poros intersticiales muy finos comunes, M.O. 1.07, pH 8.52, fuerte reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación Mollic Fluvaquents

## PERFIL 7

Coordenadas; X 568651; Y 3528490 nsnm 695

Bw1 0-33, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 3/3 pardo oscuro, textura Migajón arcillo arenoso gravas gruesas, con aristas > 20 % de volumen, estructura masiva poco desarrollada, consistencia dura, permeable, raíces muy finas comunes, finas poco comunes, poros intersticiales medios y poco comunes, M.O. 0.33, pH 7.68, sin reacción al HCl, fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Bw2 33-52, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 5/4 pardo amarillento, textura Migajón arcilloso, estructura masiva poco desarrollada, consistencia dura, permeable, raíces muy finas pocas, poros intersticiales medianos comunes, M.O. 0.067, pH 7.74, sin reacción al HCl, fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BCc 52-77, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10YR 5/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 3/6 pardo amarillento oscuro, textura franco, estructura masiva poco desarrollada, consistencia dura, permeable, raíces muy finas poco comunes, finas pocas, poros intersticiales muy finos pocos, M.O. 0.0, pH 7.52, ligeramente fuerte reacción al HCl, fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

CB 77-118, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10YR 6/4 pardo amarillento claro, en húmedo 10YR 5/4 pardo amarillento, textura franco, estructura masiva poco desarrollada, consistencia dura, permeable, raíces muy finas poco

comunes, poros intersticiales muy finos y comunes, M.O. 0.067, pH 7.35, sin reacción al HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

C/B 118-170, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10YR 6/4 pardo amarillento claro, en húmedo 10YR 4/3 pardo, textura franco, gran cantidad de micas, estructura masiva poco desarrollada, consistencia dura, permeable, raíces muy finas poco comunes, poros intersticiales comunes, M.O. 0.067, pH 7.4, sin reacción al HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación Dystric Xerochrepts

## PERFIL 8

Coordenadas: X 567485, Y 3527834, nsnm 705

Ape 0-24/28, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10YR 5/3 pardo, en húmedo 10YR 3/1 gris muy oscuro, textura Migajón arenoso, gravas finas > 35 % del volumen, estructura sin estructura, sin consistencia, permeable, raíces muy finas comunes, poros intersticiales muy finos comunes, M.O. 0.67, pH 7.75, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BE1 24/28-100, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 6/6 pardo amarillo, en húmedo 10YR 5/4 pardo amarillento, concreciones rojizas 10R 5/4 en 10 a 20 % del volumen, textura Migajón arcillo arenoso, gravas finas > 40 % del volumen, sin estructura, sin consistencia, permeable, raíces finas poco comunes, gruesas escasas, poros finos comunes, M.O. 1.4, pH 7.7, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BE2 100-160, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 7/6 amarillo, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillento oscuro, textura Migajón arcillo arenoso, gravas finas > 40 del volumen, sin estructura, sin consistencia, permeable, raíces muy finas pocas, poros intersticiales muy finos comunes, M.O. 0.0, pH 7.8, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

## Clasificación, Dystric Xerorthents

### PERFIL 9

Coordenadas: X 566561; Y 3533913 nsnm 680

Apk 0-25, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 6/3 pardo pálido, en húmedo 10YR 3/1 negro, textura Migajón arcilloso, estructura bloques subangulares > de 5 cm bien desarrollados, consistencia muy dura, permeable, raíces muy finas y finas comunes, poros vesiculares muy finos y comunes, M.O. 3.84, pH 7.8, muy fuerte reacción al HCl, fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Bkw1 24-52, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 6/2 gris pardo claro, en húmedo 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro, textura arcilla, estructura masiva de 2 a 3 cm, consistencia dura, poco permeable, raíces muy finas y finas comunes, poros vesiculares muy finos poco comunes, finos y poco comunes, M.O. 0.13, pH 7.85, violenta reacción al HCL, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Bkw2 52-75, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 8/1 blanco, en húmedo 10YR 6/2 gris parduzco claro, textura Migajón arcilloso, estructura angular con aristas de 2 a 3 cm, consistencia dura, poco permeable, raíces muy finas y finas comunes, poros vesiculares medianos comunes, M.O. 1.74, pH 7.78, reacción violenta al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BChk1 75-104, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco (el suelo estaba húmedo), color en húmedo 2.5Y 4/3 pardo olivo, textura Migajón arenoso arcilloso, presencia de gravas finas con aristas del 10 al 20 % del volumen, estructura masiva poco desarrollada de 2 a 3 cm, consistencia firme, poco permeable, raíces finas y muy finas comunes, poros medianos poco comunes, M.O. 0.13, pH 7.67, fuerte reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BChk2 104-125, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco (el suelo estaba húmedo) en húmedo 2.5Y 4/3 pardo olivo, textura Migajón areno arcilloso, estructura masiva poco desarrollada de 2 a 3 cm, consistencia suave, poco permeable, raíces finas y muy finas escasas, poros muy finos y finos comunes, M.O. 0.13, pH 7.73, fuerte reacción al HCL, débil reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BCkcg 125-180, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco (el suelo estaba húmedo), color en húmedo Gley1 3/10Y gris verdoso oscuro, textura Migajón areno arcilloso, estructura masiva con buen estado de desarrollo > de 5 cm, consistencia firme, poco permeable, raíces muy finas y finas poco comunes, poros vesiculares muy finos y finos poco comunes, M.O. 0.13, pH 7.89, fuerte reacción al HCl, moderada reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Presencia de nódulos de Mn 5 a 10 %.

Clasificación Aquic Xerochrepts

#### PERFIL 10

Coordenadas: X 569164; Y 3528701, nsnm 690

AEe 0-16, transición al siguiente Horizonte ondulado irregular, color en seco 5YR 4/3 pardo rojizo, en húmedo 5YR 3/3 pardo rojizo oscuro, textura migajón arcilloso, gravas medias con aristas > del 50 % del volumen, estructura prismática > de 5 cm, consistencia muy duro, permeable, raíces muy finas comunes, poros vesiculares finos comunes, M.O. 0.53, pH 7.32, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Bts 16-45, transición al siguiente Horizonte marcada con inclinación de acuerdo a la pendiente, color en seco 10R 3/6 rojo oscuro, en húmedo 7.5R 3/6 rojo oscuro, textura arcilla, gravas medias en un 30 % del volumen, estructura columnar bien desarrollada > de 5 cm, consistencia extremadamente dura, permeable, raíces muy finas comunes, poros vesiculares finos comunes, M.O. 0.13, pH 7.29, sin reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Bt<sub>sm</sub> 45-80, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10R 4/6 rojo, en húmedo 10R 4/4 rojo débil, textura arcilla, gravas medias > 30 % del volumen, estructura masiva > de 5 cm, consistencia muy dura, permeable, raíces muy finas poco comunes, poros vesiculares finos poco comunes, M.O. 0.13, pH 7.57, débil reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BC<sub>rm</sub> 80-140, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 5YR 4/6 rojo, en húmedo 10R 4/8 rojo, textura arcillo arenoso, gravas finas y medias > 30 % del volumen, estructura masiva bloques > de 10 cm, consistencia muy dura, permeable, sin la presencia de raíces, poros finos vesiculares e intersticiales comunes, M.O. 7.32, pH 7.32, reacción débil al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación Typic Rhodoxeralf

## PERFIL 11

Coordenadas: X 566654, Y 3528936 nsnm 692

Apk<sub>Bt</sub> 0-20, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 5Y 7/2 gris claro, en húmedo 5Y 5/2 gris olivo, textura Migajón arcilloso, estructura masiva > de 5 cm, consistencia firme, permeable, raíces finas comunes y medias poco comunes, poros muy finos intersticiales poco comunes, M.O. 0.53, pH 7.9, sin reacción al HCl, reacción casi imperceptible al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

B<sub>tnk</sub> 20-55, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 5Y 8/2 amarillo pálido, en húmedo 5Y 5/3 olivo, textura Migajón arcilloso, bloques prismáticos bien desarrollados de > de 10 cm, consistencia extremadamente duro, permeable, raíces muy finas y finas poco comunes, poros intersticiales muy finos poco comunes, M.O. 0.067, pH 7.51, sin reacción al HCl, reacción casi imperceptible al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

CB<sub>kyn</sub> 55-200, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 5Y 5/2 gris olivo, en húmedo 5Y 4/2 gris olivo, motas de óxidos e hidróxidos de Fe > 50 % del volumen, textura franco, estructura masiva muy desarrollada > de 50 cm, consistencia dura,

permeable, raíces muy finas poco comunes, poros muy finos y finos comunes, M.O. 0.067, pH 7.49, sin reacción al HCL, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Ckyn 200-255, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 5Y 6/3 olivo pálido, en húmedo 5Y 5/2 gris olivo, textura migajón arenoso, estructura masiva bien desarrollada > de 30 cm, consistencia dura, permeable, sin la presencia de raíces, poros intersticiales muy finos comunes, M.O. 0.13, pH 6.78, sin reacción al HCL, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

2Ckyn 255-300, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 5y 8/1 blanco, en húmedo 5Y 6/2 gris olivo claro, motas de óxido de fierro, textura arena, sin estructura, sin consistencia, permeable, sin raíces, poros intersticiales finos comunes, M.O. 0.13, pH 7.37, sin reacción al HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación Typic Natrixeralf

## PERFIL 12

Coordenadas: X 573202, Y 3533237, nsnm 715

Ap 0-33, transición al siguiente Horizonte irregular ondulado, color en seco 10YR 5/3 pardo, en húmedo 10YR 4/3 pardo, textura Migajón arenoso gravas finas y medias con aristas 5%, y semiredondeadas un 10%, estructura granulosa, sin consistencia, permeable, raíces finas y comunes, poros intersticiales finos y comunes, M.O. 0.0, pH 7.62, sin reacción al HCl. Fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

EBd1 33-66, transición al siguiente Horizonte irregular ondulada, color en seco 10YR 5/4 pardo, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillo oscuro, textura Migajón arenoso arcilloso, gravas finas y medias con aristas > del 20 % del volumen, estructura masiva poco desarrollada de 2 a 3 cm, consistencia dura, permeable, raíces muy finas comunes, poros intersticiales finos comunes, M.O. 0.0, pH 7.4, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

EBd2 66-104, transición al siguiente Horizonte irregular con lengüetas, color en seco 10YR 6/4 pardo amarillento claro, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillo oscuro, textura Migajón areno arcilloso, gravas finas y medias con aristas > 20 % del volumen, estructura columnar pobremente desarrollada y > de 5 cm, consistencia dura, permeable, raíces muy finas comunes, poros intersticiales y vesiculares muy finos comunes, M.O. 0.0, pH 7.47, sin reacción al HCl. Ligera reacción la H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

B/Ed 104-126, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10YR 5/8 amarillo pardo, en húmedo 10YR 5/6 pardo amarillo, presencia de motas rojas de óxido de fierro en un 10 % del volumen (proceso de iluviación), textura Migajón arenoso arcilloso, presencia de gravas finas y medias > 50 % del volumen, estructura columnar pobremente desarrollada > de 5 cm, consistencia dura, permeable, sin la presencia de raíces, poros intersticiales muy finos comunes, M.O. 0.0, pH 7.64, sin reacción al HCl, muy ligera reacción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

CBr 126-170, transición la siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 6/6 amarillo pardo, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillo, textura Migajón arenoso, gravas finas y medias con aristas altamente intemperizadas > del 30 % del volumen, estructura granular sin desarrollo, sin consistencia, permeable, sin raíces, poros intersticiales muy finos comunes, M.O. 0.0, pH 7.78, sin reacción la HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación Dystric Xerorthents

### PERFIL 13

Coordenadas: X 571303, Y 3528621, nsnm 722

ApB 0-33, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo, textura Migajón areno arcilloso, presencia de gran cantidad de micas, sin estructura, no consistente, permeable, raíces muy finas poco comunes y finas comunes, poros intersticiales finos comunes, M.O. 0.0, pH 7.8, ligera reacción al HCl, ligera reacción la H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Bt 33-72, transición la siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 4/3 pardo, en húmedo 10YR 3/3 pardo oscuro, textura arcillo arenoso, presencia de gran cantidad de micas, estructura prismática desarrollada, > de 10 cm, consistencia muy duro, permeable, raíces muy finas poco comunes, poros intersticiales y vesiculares finos y poco comunes, M.O. 0.0, pH 7.7, sin reacción la HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

BtC 72 102, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 6/4 pardo amarillento claro, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillento oscuro, textura Migajón areno arcilloso, gran cantidad de micas y gravas finas > de 20 % del volumen, estructura prismática desarrollada > de 5 cm, consistencia dura, permeable, raíces muy finas poco comunes, poros intersticiales muy finos poco comunes, M.O. 0.0, pH 7.75, sin reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

2BtC 102-138, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 5/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 5/4 pardo amarillento, textura Migajón areno arcilloso, presencia de micas y gravas finas > del 50 % del volumen, estructura masiva poco desarrollada de 3 a 5 cm, consistencia dura, permeable, sin la presencia de raíces, poros intersticiales y vesiculares finos y comunes, M.O. 0.13, pH 7.52, reacción muy ligera al HCl, reacción ligeramente fuerte al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

3C 138-175, transición la siguiente Horizonte, color en seco 10YR 7/4 pardo muy pálido, en húmedo 10YR pardo amarillento, presencia de óxidos de fierro en un 10 % del volumen, textura Migajón arenoso, presencia de micas y gravas finas > del 50 % del volumen, estructura prismática pobremente desarrollada > de 5 cm, consistencia suave, permeable, raíces finas pocas, poros vesiculares muy finos poco comunes, M.O. 0.20, pH 7.69, sin reacción al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

4CB 175-210, transición al siguiente Horizonte uniforme, color en seco 10YR 5/3 pardo, en húmedo 10YR 3/3 pardo muy oscuro, textura franco, presencia de micas, estructura prismática ligeramente desarrollada > de 10 cm, consistencia dura, permeable, raíces

muy finas muy pocas, poros vesiculares e intersticiales muy finos pocos, M.O. 0.13 pH 7.61, sin reacción al HCl, muy ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Clasificación Psammentic Haploxerafls

#### PERFIL 14

Coordenadas; X 571940, Y 3529818, nsnm 718

1C 0-28, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 5/3 pardo, en húmedo 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro, textura Migajón arenoso, sin estructura, sin consistencia, permeable raíces muy finas comunes y finas poco comunes, poros intersticiales finos comunes, M.O. 0.73, pH 7.38, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

2C 28-54, transición al siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 6/3 pardo pálido, en húmedo 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro, textura Migajón arenoso, sin estructura, sin consistencia, permeable, raíces muy finas comunes y finas pocas, poros intersticiales medios comunes, M.O. 0.20, pH 7.68, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

3Cw 54-93, transición la siguiente Horizonte regular, color en seco 10YR 4/3 pardo, en húmedo 10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro, textura arcillo arenoso, gravas finas > del 10 % del volumen, estructura columnar poco desarrollada > de 10 cm, consistencia duro, permeable, raíces muy finas comunes y finas poco comunes, poros intersticiales y vesiculares finos comunes, M.O. 0.067, pH 7.83, sin reacción al HCl sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

4CBt 93-124, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro, en húmedo 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro, textura Migajón arcilloso, gravas finas intemperizadas > 30 % del volumen, estructura columnar bien desarrollada > de 10 cm, consistencia firme, permeable, raíces muy finas pocas, poros intersticiales

y vesiculares finos comunes, M.O. 0.13, pH 7.89, reacción ligeramente fuerte al HCl, sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

5C1 124-169, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo, textura Migajón arenoso arcilloso, micas y gravas finas > 50 % del volumen, estructura masiva bien desarrollada > de 5 cm, consistencia firme, permeable, raíces muy finas poco comunes, poros intersticiales finos comunes, M.O. 0.13, pH 7.88, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

5C2 169-192/200, transición al siguiente Horizonte irregular, color en seco 10YR 6/4 pardo amarillento claro, en húmedo 10YR 6/4 pardo amarillento claro, presencia de hidróxido de fierro, textura Migajón arenoso, gravas finas > del 50 del volumen, estructura masiva poco desarrollada de 3 a 5 cm, consistencia dura, permeable, raíces muy finas poco comunes, poros intersticiales finos comunes, M.O. 0.13, pH 7.91, sin reacción al HCl, ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

6CBkcb 200-..., transición al siguiente Horizonte ¿?, color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro, presencia de hidróxidos y óxidos de fierro, textura Migajón arenoso, micas y gravas finas > 50 % del volumen, estructura granular sin desarrollo, consistencia suave, permeable, sin la presencia de raíces, poros intersticiales finos comunes, M.O. 0.13, pH 8.07, ligera reacción al HCl, fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Nódulos de Mn

Clasificación Alfic Xerarents

