

Estudio de algunos procesos pedogenéticos en el valle de Ojos Negros, Baja California, México

Francisco Raúl Venegas Cardoso*
José López García**

Recibido: 2 de julio de 2004
Aceptado en versión final: 22 de febrero de 2005

Resumen. El estudio sistemático de suelos en Baja California, México, ha sido pobremente desarrollado. Solamente se han encontrado algunos reportes en la literatura científica, realizados en el Desierto Central. El objetivo de este trabajo es estudiar los procesos pedogenéticos que han permitido el desarrollo de los suelos en el valle de Ojos Negros, Baja California, bajo un ambiente mediterráneo. Para el estudio se utilizó el método jerárquico propuesto por Zinck (1988). Se estableció un ambiente morfogenético de naturaleza deposicional que permitió separar cuatro paisajes; lomeríos piedemonte, planicie de nivel de base y valle fluvial, los que fueron subdivididos por relieve/modelado y por características litológicas y sus correspondientes unidades de suelos a nivel de Gran Grupo de acuerdo con el *Soil Survey Staff* (1992).

Estos suelos se formaron bajo diferentes ambientes, materiales, condiciones climáticas, con periodos glaciares e interglaciares de sequía y humedad. Estos procesos se iniciaron desde el Plioceno y continúan en la actualidad, manifestándose en su pedogénesis. Algunos han desarrollado horizontes Bt rojos sobre esquistos y gneiss, (Rhodoxerals), otros desarrollados sobre detritos graníticos, presentan un pobre desarrollo (Xeropsamments); materiales graníticos con procesos coluvio-aluvial han formado suelos poligenéticos, horizontes C, con la presencia de horizontes Bt rojos (4CBt), arcilla heredada y hierro amorfo (Haploxerals). Algunos otros manifiestan influencia gley (Cegz1, Gley1 6/5GY, Fluvaquents).

Los procesos de erosión, transporte y acumulación de materiales en las tierras bajas continúan a la fecha, asimismo, la presencia de un proceso relativamente reciente: materiales que están siendo redistribuidos por el viento y depositados sobre diques de metarriolita, provocado por las condiciones de sequía en toda la región.

Palabras claves: Procesos formadores de suelos, génesis de suelos, sedimentos, suelos de Baja California, México.

*Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Mexicali, 21280, Mexicali, Baja California. E-mail: rvenegas@uabc.mx

**Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán. E-mail: jlopez@servidor.unam.mx

Study of some pedogenetic processes in Ojos Negros Valley, Baja California, Mexico

Abstract. Systematic soil studies in Baja California, Mexico, have been poorly developed. At present there are only few reports in the scientific literature, with the main work been performed in the region of el Desierto Central. The proposal of this work is to study the pedogenetic processes that allowed the development of the soils in the Ojos Negros Valley, Baja California, under a Mediterranean environment. The jerarquical method proposed by Zinck (1988) was employed to study the pedogenetic processes. A morphogenetic environment of depositional nature was established. It allowed separating four landscapes: Hills, Piedmont, Base plain level and Fluvial valley. Each one of them was also subdivided by relief/modelling and lithological characteristics, and their corresponding soil units to the level of Great Group, according to the Soil Survey Staff (1992).

These soils were formed under different environments, materials, climatic conditions, and with dry and wet glacial and interglacial periods. These processes started since Pliocene and continue at present, noticeable in its pedogenesis. Some soils have developed Bt red horizons over schist and gneiss (Rhodoxeralfs); others were developed over granitic detritus and show a poor development (Xeropsamments). Granitic materials with colluvium-alluvial processes have formed polygenetic soils, horizons C, with the presence of red Bt horizons (4CBt), inheritably clay and amorphous Fe, (Haploxeralfs). Some others manifest Gley influence (Cegz1, Gley1 6/5GY, Fluvaquents).

Finally, the processes of erosion, transport, and accumulation of materials in the lowlands continue happening at present, as well as the presence of a relatively new process: materials been redistributed by wind and deposited over meta-rhyolite dikes, provoked by the drought conditions in the entire region

Key words: Soils formed processes, soil genesis, sediments, soils of Baja California, Mexico.

INTRODUCCIÓN

En Baja California, México, existe un pobre desarrollo de estudios sistemáticos sobre la génesis, cartografía y taxonomía de los suelos. Los primeros estudios que se tienen para Baja California son: Amundson *et al.* (1992), Graham y Franco-Vizcaino (1992), Franco-Vizcaino *et al.* (1993) Amundson *et al.* (1997), Franco-Vizcaino *et al.* (2002), quienes estudiaron la génesis, concentración, distribución y orientación de los carbonatos en el perfil, y la génesis en suelos sobre rocas metavolcánicas y plutónicas localizados en el desierto central, subregión fisiográfica perteneciente al desierto Sonorense.

De aquí la urgente necesidad de continuar con estudios sistemáticos sobre la génesis, clasificación y cartografía de suelos. El objetivo central de este trabajo es el estudio de los procesos pedogenéticos que han propiciado el desarrollo de los suelos en el valle de Ojos Negros, Baja California.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y factores ambientales

El valle de Ojos Negros se localiza en el estado de Baja California, aproximadamente a 40 km al NE de Ensenada, con coordenadas 31°52' a 31° 57' de latitud Norte y 116° 12' a 116° y 19' de longitud oeste (Figura 1). Clima semiárido, tipo mediterráneo, régimen de lluvias de invierno, verano seco y oscilación térmica extrema. La clasificación climática de Köppen, modificada por García (1981), es BSh(s)(e'), temperatura media anual 18.7° C, con máximas y mínimas extremas de 52.8 y -4° C, respectivamente. La precipitación promedio anual es de 253 mm y evapotranspiración potencial de 600 mm.

La comunidad vegetal es chaparral, con especies como *Adenostoma fasciculatum*, *Eriogonum fasciculatum*, *Rhus laurina*, *R. ovata*, *Juniperus californica*, *Ceanothus greggii*, *Bacharis emoryi* y *B. sarathroides* (Minnich y Franco-Vizcaino, 1998).

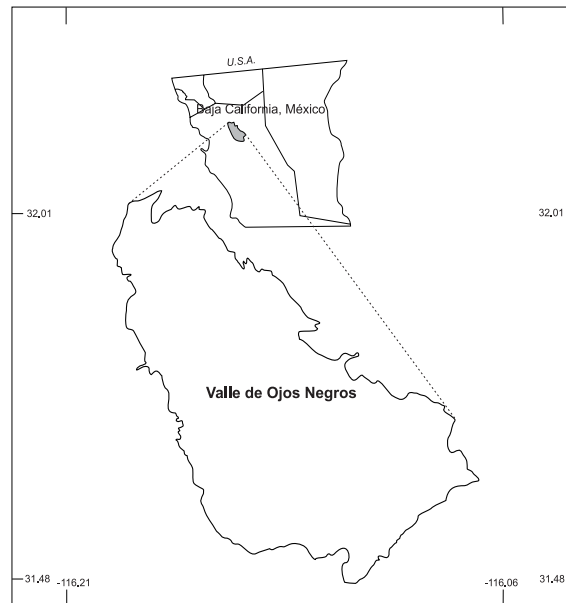


Figura 1. Localización del valle de Ojos Negros, Baja California, México.

Respecto a su geología, el valle de Ojos Negros es una depresión de origen estructural tectónico post-Miocénico, que se formó por fuerzas de tensión entre dos fallas y la caída de un bloque. Está rodeado de rocas prebatólíticas 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. 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, que forma un escarpe de aproximadamente 200 m de altura situada al oeste del valle. Una segunda falla localizada al NE del valle tiene una dirección aproximada NNO-SSE que se conecta con la primera al norte (Figura 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 oeste-este (Weege, 1976; Hatch, 1987).

Muestreo

Para el estudio de los suelos se empleó el método geopedológico propuesto por Zinck, (1988). Para la descripción del sitio y los perfiles muestreados en campo, se utilizó el Manual del *United States Department of Agriculture* (Schoeneberger *et al.*, 1998). Para la interpretación geomorfológica se utilizaron fotografías aéreas pancromáticas, escala 1:70 000 de 1973 y 1:75 000 de 1993, por fotointerpretación se separaron unidades de mapeo, lo que permitió establecer los procesos morfodinámicos. La transferencia al mapa base se realizó con el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI versión 3.2, mediante un remuestreo del archivo vector utilizando como base una imagen de satélite IRS, de 1997, con tamaño de píxel de 20 m y la cartografía digital oficial del estado de Baja California, en NAD27.

Se realizaron y muestrearon 14 perfiles de suelos, a los que se determinó en campo color en seco y húmedo con las Tablas de Color

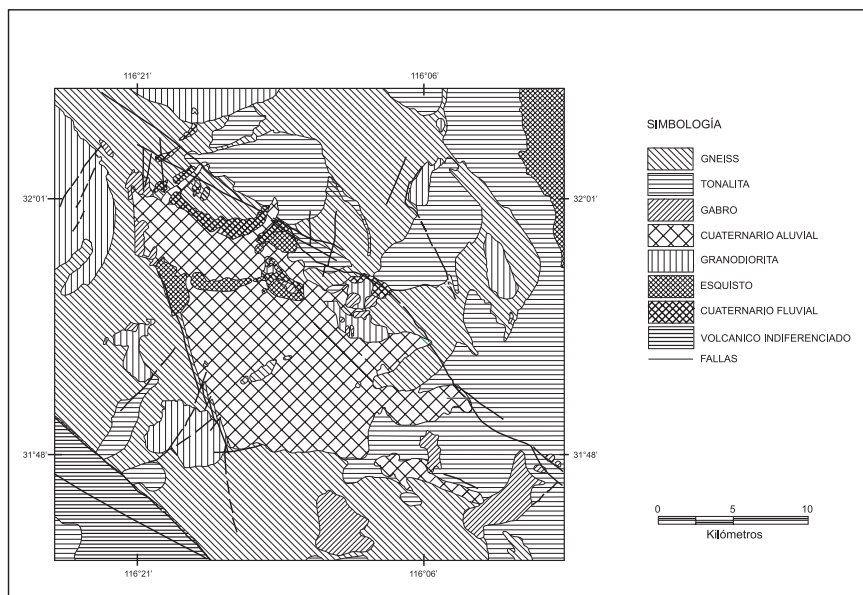


Figura 2. Geología y fallas.

Munsell (1990); reacción al Peroxido de hidrógeno, al 5% y reacción al ácido clorhídrico.

En laboratorio se les practicaron diferentes análisis físicos y químicos: textura por medio del método de Bouyoucos, previa digestión de la materia orgánica con peroxido de hidrógeno al 5%; pH relación 2:1 con cloruro de potasio; conductividad eléctrica en pasta de saturación con un conductímetro de puente eléctrico; materia orgánica por digestión húmeda con dicromato de potasio; para la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C) se utilizó la fórmula $C.C.I = \frac{\sum \text{cationes}}{\% \text{saturación de bases}} \times 100$; las bases intercambiables mediante extracto de saturación para determinar porcentaje de sodio intercambiable y relación de absorción de sodio (NRCS-USDA, 1995).

Se realizó el estudio de micromorfología a dos perfiles (13 y 14), para ello se tomaron muestras inalteradas y orientadas de acuerdo con su posición en el perfil de cada horizonte identificado. En laboratorio se secaron al aire, se deshidrataron con acetona, posteriormente fueron impregnadas con resina sintética (Vespatal y endurecedor. Cristal MC40), para

la preparación de láminas delgadas y se interpretaron utilizando un microscopio petrográfico. También se determinó hierro cristalino por el método citrato diotitionito (NRCS-USDA, 1995). La clasificación taxonómica de los suelos se realizó de acuerdo con el *Soil Survey Staff*, (1992), llegando a nivel del Gran Grupo.

RESULTADOS

Mediante el método geopedológico (Zinck, 1988) se estableció la secuencia metodológica para definir el paisaje. Esto permitió identificar, analizar y hacer una interpretación geomorfológica de los procesos que han influenciado el desarrollo pedogenético del valle de Ojos Negros. La Tabla 1 muestra la leyenda que se utilizó para establecer la relación morfopedológica.

Interpretación geomorfológica

Con base en estudios de cambios climáticos del Pleistoceno al Holoceno, los procesos y materiales que han conformado los paisajes

actuales y sobre los que se han desarrollado los suelos, así como los procesos de metamorfismo que formaron el tipo de rocas, provocaron intrusión de diques, asimismo, al intenso fallamiento que ha experimentado la región, formando una fosa tectónica y su nivelación debido a los intensos periodos de erosión y transporte, promovieron la evolución de lo que hoy se conoce como valle de Ojos Negros. En la actualidad se continúa presentando esta dinámica.

La caída del bloque no fue uniforme, ya que en el extremo suroeste sobresalen varias estructuras, principalmente diques de metarriolita con dirección sur-norte. En la actualidad están parcialmente cubiertas por arenas con procesos eólicos, mezcladas con minerales primarios producto del intemperismo *in situ* de los diques. En esta misma porción sur, pero hacia el este, no se observan diques, posiblemente están cubiertos por el aluvión 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 730 msnm y hacia el norte disminuyen hasta casi los 650 msnm.

Dentro de este gradiente altitudinal sobresalen estructuras denominadas Inselbergs, la más prominente se localiza en la porción sur y centro del valle. Es una estructura con dirección SO-NE, mide aproximadamente 2.5 km. Estas estructuras están constituidas por gneiss y localmente se conoce como Cerro Doña Eulalia.

En el piedemonte de este cerro se desarrollaron suelos rojos arcillosos mezclados con gravas angulosas de diferente diámetro en todo el perfil; actualmente se aprecian como reductos de erosión remontante. Aproximadamente a 5 km al norte de este cerro se localiza otro Inselberg, constituido por talcosquistos de edad Mesozoica, dirección oeste-este, formado por procesos hidrotermales, con una altitud de 790 m y una longitud de 4 km, se le conoce como Cerro El Talco.

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 y el transporte de detritos cuyas edades van desde el Cretácico superior, 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 m (Gastil *et al.*, 1975; Weege, 1976; Beltrán, 1997; Figura 2).

Método geopedológico (Zinck, 1988)

Este método es de carácter jerárquico, establece la geoestructura la cual determina la unidad regional donde se establece el valle de Ojos Negros, para después continuar con el ambiente morfogenético, que explica la dinámica que ha permitido el desarrollo del valle, que, aunque su origen es estructural tectónico, los procesos que han dado lugar a los suelos son esencialmente deposicionales. A partir de este punto se determinaron los paisajes que deben presentar características homogéneas. Se establecieron cuatro lomeríos, piedemonte, nivel de base local y valles fluviales, los cuales fueron caracterizados por su relieve/modelado, litología y su correspondiente unidad taxonómica, lo que determinó las unidades morfopedológicas.

Geoestructura

La geoestructura está representada por el batolito peninsular de edad Mesozoico, caracterizado por un intenso volcanismo precedido por un fuerte fallamiento que finalmente provocó el inicio del 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 ONO-

SSE, provocó la caída del bloque que formó el graben de Ojos Negros.

Ambiente Morforogenético

A estos eventos en el Cretácico tardío le continuaron intensos periodos de erosión fluvial desde el Terciario y continúan hasta el Cuaternario. La denudación de los detritos por movimientos gravitacionales e hídricos, así como la formación de arcillas derivadas de rocas graníticas, esquistos, talco-esquisto y gneiss, y su transporte hacia las zonas bajas, conforman un ambiente deposicional de este graven, con procesos erosivos, acumulativos, residuales y mixtos. Desde entonces esta región sigue presentando 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.

En la actualidad, el Barbón, principal arroyo de la región se localiza al norte del cerro el Talco, deposita gran parte de su carga de sedimentos, que 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

En el valle de Ojos Negros se distinguen cuatro tipos de paisajes; lomeríos, piedemonte, planicie de nivel de base y valle fluvial (Tabla 1 y Figura 3).

Lomeríos

Relieves que conectan a las sierras o montañas con el piedemonte; su característica principal es denudativa, aportadoras de derrubios y detritos a los piedemontes, valles fluviales y planicies de nivel de base. Los lomeríos se localizan alrededor de la fosa tectónica, con la exposición de materiales, metamórficos, como gneiss, esquisto y diques metarriolíticos, to-

dos ellos muy intemperizados. Las estructuras o relictos que sobresalen del piso del valle son los Inselbergs. En la porción sur hay lomeríos en forma de Crestas longitudinales en diques de metarriolita y Crestas residuales en el extremo oeste sobre granitos y gneiss. Se distinguen tres unidades de relieve.

A. Inselbergs de esquiso gneiss y gabro. Estas unidades no presentan desarrollo de un perfil pedogenético, sólo se restringen a depósitos producto del intemperismo, denominados como misceláneos rocosos. Son los cerros con escasa cubierta vegetal, fácilmente erosionables, la roca madre altamente intemperizada, produciendo detritos y derrubios hacia el piedemonte. Los otros pequeños cerros de gabro y gneiss presentan las mismas características, desnudos, altamente intemperizados y donadores de detritos hacia las partes bajas.

B. Crestas longitudinales. Forman lomeríos constituidos de diques de metarriolita, altamente intemperizados, produciendo depósitos arenosos, los que a su vez se han mezclado con materiales finos por procesos eólicos recientes, dando origen a la asociación de Xerorthents-Xeropsamments. Siendo suelos pobres en zonas áridas, bajo condiciones de escaso desarrollo pedogenético.

C. Crestas residuales. Se componen de lomeríos bajos, de forma convexa y alturas no mayores a los 20 m, pendientes entre 2 y 5%, presentan gran cantidad de detritos de las elevaciones graníticas, sobre todo micas, texturas medias a gruesas, colores pardo amarillentos, pobres en materia orgánica, epipedón ócrico, sin horizontes subsuperficiales, bastante duros, profundos, pobre reacción al HCl. Están representados por la asociación Xerochrepts-Xerorthents, con características fluvénticas.

PIEDEMONTES

Este paisaje agrupa a las geoformas al pie de las elevaciones con procesos de erosión, acumulación y mixtos. Los materiales estudiados muestran gran heterogeneidad en los proce-

sos 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, diques de gabro.

De acuerdo con los materiales que les dieron origen se separan tres tipos de piedemonte, aquéllos desarrollados en la base del Inselberg, los cuales son muy angostos como resultado de un retroceso erosivo; los 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, abani-

Tabla 1. Leyenda morfopedológica para el valle de Ojos Negros

GEOESTRUCTURA	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	PAISAJE	RELIEVE/ MODELADO	LITOLOGÍA	SUELOS	SUPERFICIE EN HA
BATOLITO PENINSULAR	DEPOSICIONAL	LOMERÍOS	INSELBERGS A	ESQUISTOS, GNEISS Y GABRO	MISCELÁNEO ROCOSO*	513.96
			CRESTAS LONGITUDINALES B	DIQUES DE METARRIOLITA	XERORTHENTS-XEROPSAMMENTS	1673.88
			CRESTAS RESIDUALES C	GRANITO Y GNEISS	XEROCHREPTS-XERORTHENTS	673.49
		PIEDEMONTE	GLACIS DE EROSIÓN D	ESQUISTOS, GNEISS Y GABRO	XERORTHENTS-XEROPSAMMENTS	7889.65
			ABANICO ALUVIAL DE INSELBERG E	ALUVIÓN	RHODOXERALS - XEROCHREPTS	672.83
			ABANICO ALUVIAL OESTE F	ALUVIÓN	XEROCHREPTS - XEROPSAMMENTS-NATRIXERALS	1512.64
		PLANICIE DE NIVEL DE BASE	FLUVIAL - LACUSTRE G	DEPÓSITOS ALUVIALES Y LACUSTRES	XEROCHREPTS - XEROFLUVENTS	1635.27
			FLUVIAL - EÓLICA H	DEPÓSITOS ALUVIALES Y EÓLICOS	XERARENTS - HAPLOXERALS	3836.17
			TERRAZAS EROSIVAS I	DEPÓSITO ALUVIAL	XEROPSAMMENTS - XERORTHENTS	4152.94
		VALLE FLUVIAL	LLANURA DE INUNDACIÓN J	DEPÓSITO ALUVIAL	FLUVAQUENTS	476.79
			CAUCE FLUVIAL K	DEPÓSITO ALUVIAL	MISCELÁNEO PEDREGOSO*	502.34

* Unidades de suelo

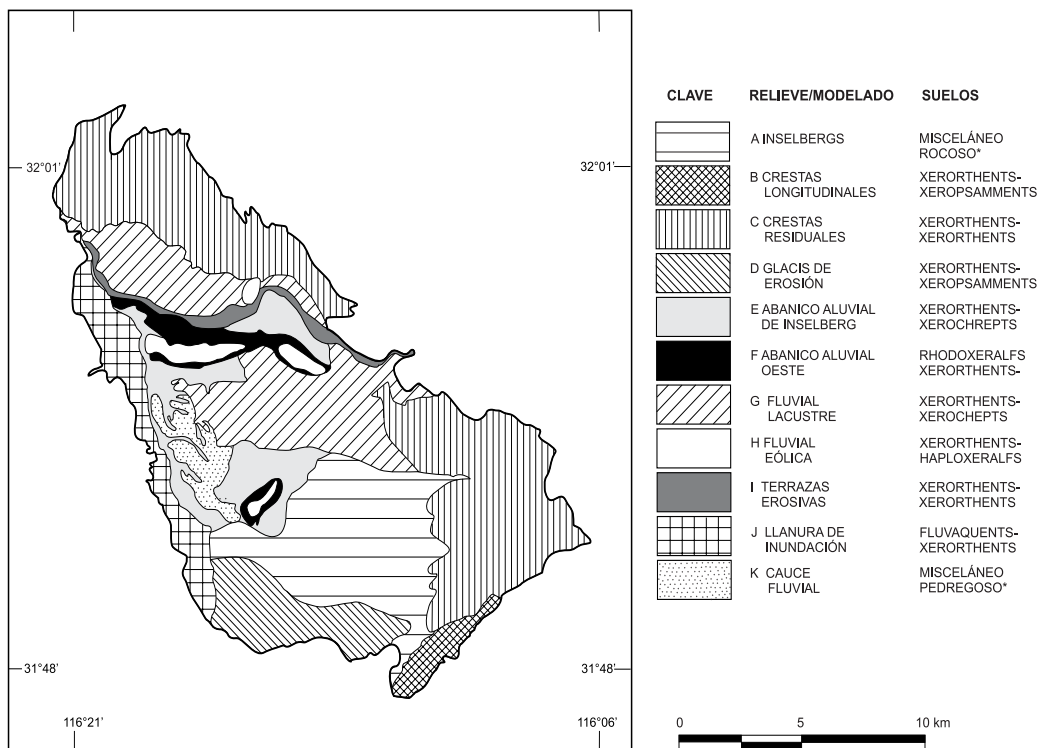


Figura 3. Mapa morfopedológico.

cos en la porción oeste, también en la base de la falla, pero a partir de materiales de aluvión provenientes de esquistos y gneiss.

Los perfiles estudiados presentan texturas que van desde muy arcillosas, Bt nátrico, sobre derrubios y detritos graníticos, posible Plio-Pleistoceno; horizontes Bt rojos muy desarrollados sobre gneiss y esquistos; profundos posible edad 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 profundo, proceso dominante coluvial del Holoceno.

En este paisaje se definen tres geoformas: glacis de erosión, abanico aluvial de inselberg y abanico aluvial oeste.

D. Glacis de erosión. Esta es la unidad más ampliamente distribuida en la zona en

estudio, cubre 7 889 ha y se ubica en la porción norte y este de la zona en estudio iniciando en la base de las elevaciones que circundan el graben. Se separan cuatro subunidades con características específicas pero dentro de un cierto rango de variación. Los suelos de esta unidad se ubicaron en la asociación Xerorthents-Xeropsamments.

a) Se localiza al norte del valle y del arroyo el Barbón, sobre el piedemonte de las elevaciones que delimitan al valle hacia el norte, este y sureste, separado por la segunda falla dirección SSE-NNO. La parte norte de esta unidad es muy heterogénea, caracterizada por un intenso proceso de erosión hídrica, con la presencia de canalillos de regular profundidad, sin llegar a cárcavas, gran cantidad de cantos rodados de diferentes diámetros, mal clasificados, en una matriz de arenas y limos, colores pardo rojizo a rojos.

b) Una de las características heterogéneas de este glacis de erosión está dada por la presencia de geoformas, que presentan procesos actuales acumulativo-erosivo, de origen eólico, muy intenso sobre esquistos. El proceso presente es por turbulencia y esto crea inestabilidad de la capa límite de la atmósfera, fenómeno muy local que ha promovido el transporte y redistribución de partículas del orden de los limos y arenas finas.

c) Otro glacis de erosión se localiza hacia el este del valle, limitada por la segunda falla más importante, dirección SE-NO, sepultada parcialmente por terrazas aluviales y el arroyo El Barbón y vuelve a emerger al sur del arroyo. Materiales altamente intemperizados, rango de pendientes del 3 al 5%, someros, sin ningún rasgo de desarrollo del perfil.

d) Por último, la geoforma localizada al sureste del valle, es un antiguo abanico aluvial, que aportó la mayor parte de los materiales que nivelaron el graben localizado entre los cerros El Talco y Doña Eulalia y hacia al sur. Materiales altamente intemperizados de granodioritas, gneiss y diques de metarriolita, suelos poco desarrollados, colores gris claro, texturas arenosas, epipedón ócrico, muy someros. Esta unidad conserva la forma de un antiguo abanico aluvial, bastante degradado, sobre el cual posiblemente se formaron cíclicamente perfiles con horizontes Bt rojos, los cuales han sido erosionados por intensos periodos de aluvionamiento.

E. Abanico aluvial del Inselberg. Estos suelos se han desarrollado principalmente en los abanicos formados en el piedemonte de los cerros Doña Eulalia, el Talco y las sierras de origen metamórfico, gneiss, esquistos y talco-esquisto. Los suelos presentan un horizonte Bt rojo y mezclado con detritos de diferente diámetro, con aristas y poco intemperizados, inmersos en una matriz arcillosa, los cuales constituyen la asociación Rhodoxeralfs-Xerochrepts.

Los suelos en el piedemonte del cerro Doña Eulalia (perfil 10) presentan un epipedón

ócrico, horizonte Bt rojo, color 10R4/6 en seco y 10R4/4 en húmedo, bien desarrollado, decapitado el horizonte A, pendientes del 2 al 5%, sobre material parental de gneiss. Los suelos dominantes son los Rhodoxeralfs en la parte baja del abanico y en el ápice de los abanicos se presentan los Xerochrepts.

F. Abanicos aluviales oeste. Se localiza al oeste del valle, en la base del escarpe de la falla principal, dirección norte-sur. Los aportes provienen principalmente de gneiss y en menor porcentaje esquistos, gabros, originando materiales aluvio-coluviales. En esta unidad se muestrearon los perfiles 2, 8 y 11. Se estableció la asociación de Xerochrepts-Xeropsamments-Natrixeralfs. Se presentan tres condiciones de acuerdo con el modo de formación.

a) En la base del escarpe de la falla principal, al oeste del valle, con dirección norte-sur se han llevado a cabo procesos erosivos intensos a partir de gneiss. Con una dinámica de acumulación y denudación por procesos de gravedad y erosión hídrica, gran cantidad de materiales con aristas, poco intemperizados pendiente 2 al 5%. Suelos someros con epipedón ócrico, pobre desarrollo pedogenético (Perfil 2), escasa materia orgánica ligeramente integrada al epipedón, muy duro y pobre reacción al HCl 1 N. Esta unidad es caracterizada por los Xerochrepts.

b) Sobre diques se presenta un proceso erosivo-acumulativo intenso actual. 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. Los suelos (perfil 8), tienen un epipedón ócrico, bajos contenidos de materia orgánica, texturas gruesas, migajón arenosas, desarrollo incipiente, muy profundo, sin reacción al HCl. Manifiesta procesos de acumulación antigua y en la actualidad acreción eólica, lo cual ha favorecido la formación de los Xeropsamments.

c) Por último, sobre abanicos aluviales antiguos posiblemente del Plio-Pleistoceno a

partir de materiales detríticos de origen granítico se llevan a cabo procesos erosivos intensos. Por el drástico cambio del régimen hidrológico provocado por el cambio climático del Pleistoceno al Holoceno, debió haber una degradación de los Rhodoxeralfs hacia los Natrixeralfs (perfil 11), con un perfil muy desarrollado, epipedón ócrico, horizonte Bt nátrico (Btn), profundo, estructura poliédrica desarrollada, grietas, alto contenido de sodio intercambiable, colores gris claro a gris verdoso, manifestando un drenaje deficiente, procesos de gleyzación y, finalmente, incremento de temperaturas, aumentando sensiblemente la tasa de evapotranspiración, por la acumulación de sales y carbonatos en el perfil, dando lugar al perfil que se tiene en la actualidad. Fuerte reacción al HCl en casi todos los horizontes, sin reacción al peróxido de hidrógeno, salvo en los horizontes más profundos, posible presencia de nódulos de óxido de manganeso. Se clasifica como Natrixeralf.

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 de Pleistoceno al Holoceno, caracterizadas por ser profundos, ligeramente desarrollados, sobreyaciendo a facies antiguas de depósito del Pleistoceno, mostrando intensos periodos de aluvionamiento. Asimismo, en la actualidad la acumulación y redistribución de materiales eólicos se manifiesta por el marcado cambio hidrológico e incremento de la sequía que presenta toda la región. Presenta dos llanuras, Fluvial-lacustre y Fluvial-eólica.

G. Llanura Fluvial-lacustre. Está caracterizada por dos extensas llanuras, una que rodea al cerro Doña Eulalia (Inselberg), al parecer no ha tenido mucha influencia sobre su pedogénesis y la otra es una llanura alargada N S. Está representada por la asociación de los

Xerofluvents-Xerochrepts, con características fluvénticas y ácuicas.

La primera presenta suelos profundos, color pardo amarillento, pardo y pardo oscuro, con moteos de óxidos e hidróxidos de hierro (perfil 1). La segunda llanura se ha desarrollado sobre materiales de origen lacustre, localizada sobre una depresión que formó la falla principal, con rumbo norte-sur, con drenaje deficiente, con un cuerpo de agua pequeño de forma longitudinal de aproximadamente 100 m de ancho, 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 g/cm³.

La mayor parte de los horizontes presenta colores claros en seco 2.5Y8/1, texturas medias a finas, epipedón ócrico con rasgos de mólico, color en húmedo 2.5Y3/1, y características de cálcico, con fuerte reacción al HCl en todos los horizontes (perfil 3).

Es posible que la presencia de calcio en forma de carbonatos y bicarbonatos secundarios en este perfil se deba a la concentración *in situ* de estas sales por las altas tasas de evapotranspiración. Se clasifica como un Xerofluvent.

Al sur del cerro el Talco, sobre la misma depresión que el perfil anterior, se presentan suelos con horizonte cámbico Bw, 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 (perfil 9). En la actualidad ha sido drenada por cambio en el régimen hidrológico. Se clasifica como Xerochrept, con características ácuicas.

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 han continuado en el Holoceno, dieron origen a suelos poligenéticos. Ello permitió establecer la asociación Xerarents-Haploxeralfs (perfiles 13 y 14).

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

La mayor parte de 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 a 5%, de forma cóncavo convexa. Recientemente la presencia de procesos eólicos es muy intensa y local.

Se aprecia la presencia de arcilla iluvial (Figura 4), indicando estabilidad del paisaje, tienen un mayor porcentaje de arcillas heredadas, indicando intenso proceso de aluvionamiento. La mayoría de los horizontes subya-

centes son 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.

Se encontraron discontinuidades ($ApB > Bt > BtC > 2BtC > 3C > 4CB$) en el perfil 13 clasificado como Haploxeralf, con características arenosas y ($1C > 2C > 3Cw > 4CBt > 5C1 > 5C2 > CBkcb$) en el perfil 14 clasificado como Xerarent.

VALLE FLUVIAL

En este paisaje se agrupan todas la geoformas originadas por procesos fluviales, en la cual sobresale el cauce o lecho de arroyo por donde corre temporal o permanentemente una corriente hídrica. 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

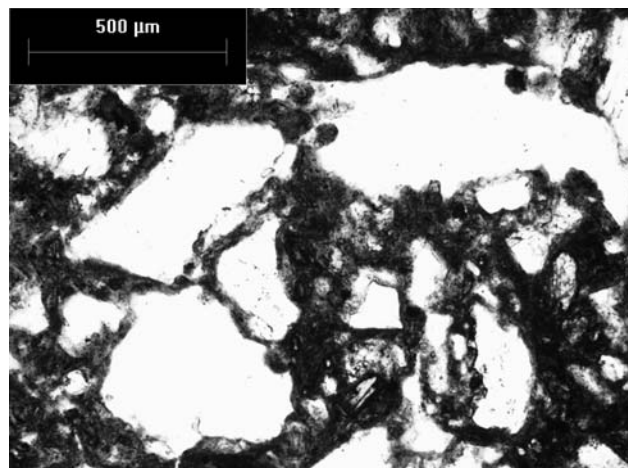


Figura 4. Perfil No. 13, segundo horizonte Bt argílico, los cuerpos blancos corresponden a materiales líticos angulosos poco intemperizados, alrededor de estos materiales en tonos grises, se alojan arcillas iluviadas y la presencia de hierro amorfo en tonos oscuros.

depositado estos materiales y ha dado origen a este valle. Aquí se distinguen tres unidades: Depósito aluvial, Llanura de inundación y Cauce fluvial.

I. Terrazas erosivas. El proceso dominante es acumulativo aluvial intenso, aluviones antiguos y recientes, que sobreyacen a facies antiguas de aluvión del Pleistoceno. Forman suelos profundos, texturas arenosas, colores gris claro, sin desarrollo de horizontes de diagnóstico y sin reacción a peróxido de hidrógeno ni al HCl, lo que indica que constantemente se están aportando nuevos materiales de aluvión muy poco intemperizados. Lo más característico es la presencia eventos de gran intensidad, dando origen a terrazas aluviales que son constantemente renovadas. El arroyo El Barbón es el principal donador de aluviones. Los suelos quedan en la asociación Xeropsammets-Xerorthents.

Su característica principal se ubica en una planicie aluvial ligeramente ondulada, pendientes entre el 0 y 2%, epipedón ócrico, escasa cantidad de materia orgánica, sin presencia de carbonatos, muy duro, gravas con aristas y semiredondeadas en casi todo el perfil, los horizontes subyacentes sin desarrollo pedogenético (perfil 12). Esta unidad presenta una gran variabilidad respecto a su profundidad, algunas áreas son relativamente profundas, otras someras; asimismo, hay áreas que presentan capas de acumulación de aluvión, muy reciente de hasta 60 cm, depositadas durante dos eventos de El Niño, 1983-84 y 1992-93.

J. Llanura de inundación. Se localiza al extremo sur del valle, presenta aportes de materiales de origen fluvial, características gley, ocupa una pequeña área confinada y limitada por esquistos y diques de metarriolita. Se representa por el perfil 6, con un epipedón ócrico, pobre desarrollo pedogenético y a partir del segundo horizonte marcada influencia gley (Gley 1 7/5GY, en seco y Gley 1 7/5GY en húmedo) y horizontes C, (Aez > Cgez1 > Cgez2 > Cgz1 > Cgz2). Texturas medias, fuerte reacción al HCl,

nódulos de manganeso en horizontes más profundos y presencia de gran cantidad de minerales primarios y micas poco alteradas. Queda representada por la asociación de los Fluvaquents-Xerorthents.

K. Cauce fluvial. Es el cauce principal del arroyo El Barbón, no se distingue suelo, únicamente depósitos de aluvión con gran heterogeneidad en los materiales, dominando los de origen granítico, colores grises claros, los cuales constantemente se están acumulando, formando terrazas nuevas, o incrementando la altura de las ya existentes. A esta unidad se le consideró como misceláneo pedregosa, no suelo.

DISCUSIÓN

Los suelos estudiados en el valle de Ojos Negros, presentan una serie de interrogantes respecto a su génesis, tiempo de desarrollo y los procesos ocurridos durante su formación. La historia geológica del valle, indica edad post Miocénica o Plioceno temprano. El Plioceno duró 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.

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 intemperismo cuando fueron depositados.

La Tabla 2 muestra dos columnas litoestratigráficas: A y B. La columna A, situada en la unidad cartográfica G, muy cerca del perfil No. 9. Depresión limitada al norte, por el cerro El Talco y al oeste, por la falla principal que provocó la formación del graben. La columna B, situada al sureste del valle, en los límites de la unidad H e I. En la columna A se observa una clara secuencia de acumulación de arcillas y gravas metamórficas y graníticas, intercalándose con estratos de mayor presencia de arcilla, otros con gravas o arenas en una matriz arcillosa, colores amarillentos, pardos, pardo rojizos, rojos y verdosos. La presencia de este tipo de arcilla podría corresponder a periodos glaciares e interglaciares del Pleistoceno, por ello da origen a suelos poligenéticos (Fedoroff, 1997). García y Santos (1997) plantean que los suelos rojos del mediterráneo en España se han desarrollado sobre diferentes materiales, arenas del Cuaternario, y gravas sobre arcillas y areniscas del Terciario. Esta situación es la que se presenta en los cortes litoestratigráficos al oeste del valle.

Asimismo, la presencia de arcillas verdosas en los sedimentos a diferentes profundidades de 2 a 4; de 6 a 8 y de 20 a 22 m, indica que esta zona era una depresión, la cual ha estado sujeta a inundación. La presencia del perfil 9 (Xerochrepts) con procesos de gley, se localiza en la misma parcela en donde se hizo este corte litoestratigráfico (Tabla 2).

Yassoglou *et al.* (1997), al estudiar suelos rojos en Grecia, llaman a los materiales transportados, alóctonos, los cuales muestran ciclos claros de formación de arcillas rojas, sometidas a intensos periodos de erosión, remoción y acumulación en las partes bajas del paisaje. La edad que se señala para estos materiales es Plio-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 (Rhodoxeralf).

La columna litoestratigráfica B, situada al este del valle, muestra una secuencia de acu-

mulación de estratos de gravas y arenas gruesas y medias de origen granítico, hasta una profundidad de 80 m. Ningún estrato hace referencia a la presencia de arcillas, salvo el primero y último a una profundidad de 0-2 y 80 m.

Precisamente la ubicación de este corte litoestratigráfico corresponde con la localización muy cercana de los perfiles 13 y 14, de origen poligenético, presencia de horizontes C, arcilla heredada, hierro amorfo (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 en la actualidad.

La posible explicación de la ausencia de minerales arcillosos se puede deber a que los materiales depositados al este del valle, 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 éstos estaban pobremente intemperizados, formando Xerarents. Asimismo, la presencia de aluviones modernos y antiguos en las planicies aluviales al sur y norte del arroyo el Barbón, nuevamente indican la intensa dinámica a la que ha estado sujeta toda la región desde el Plioceno.

Respecto a la presencia de perfiles profundos sobre materiales graníticos con minerales primarios poco alterados y sin la presencia de horizontes subyacentes de diagnóstico, como los localizados en las crestas residuales (Xerarents), se puede deber a que estos materiales son muy resistentes al intemperismo. Birkeland (1999) opina 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, por consiguiente, no han tenido tiempo suficiente de formar horizontes de diagnóstico (Xerochrepts).

Por último, debido al cambio climático del Pleistoceno al Holoceno, tornándose el ambiente más seco, incremento de las temperaturas y menor precipitación, presenta en la actualidad un clima semiárido con verano seco, altas tasas de evapotranspiración, modificando los procesos que durante el Pleistoceno se presentaban cíclicamente. Ambas condiciones han promovido un proceso que se está presentando con mayor intensidad sobre todo en la porción sur del valle, el desarrollo incipiente de perfiles con materiales de origen eólico (Asociación Xerarents-Haploxeralfs), en la unidad H. Asimismo, una pequeña porción en el piedemonte de las sierras del norte, sobre un glacis de erosión, presenta la misma dinámica de acumulación de los descritos al sur del valle. Estos materiales de origen eólico se están depositando sobre esquistos.

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 que son depositados en las partes bajas por efectos gravitacionales aunados a escorrentías 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 masa de aire más ligera, empieza a ser desplazado por el drenaje de masas de aire frío y densas, provocando flujos verticales en forma cíclica. Esto sucede siempre y cuando el piso del valle fuese completamente plano, situación que no se da, ya que éste presenta topografía irregular por la gran cantidad de estructuras como diques cubiertos por materiales

coluvio-aluvial, con pendientes desde 2 al 10%. A este relieve en meteorología se le conoce como rugosidad y provoca inestabilidad en la capa superficial ya que se caracteriza por intensa turbulencia a pequeña escala (*Ibid.*). 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 todos los horizontes de los perfiles 13 y 14, no manifiesta presencia de materiales eólicos, salvo en el horizonte superficial, e indica que es un proceso muy reciente y que puede tener su explicación en un drástico desbalance hidrológico en épocas recientes, así como la eliminación de la vegetación nativa.

CONCLUSIÓN

El estudio de la pedogénesis en el ambiente mediterráneo de Baja California está todavía en su fase inicial. La presencia de perfiles rojos y arcillosos, Rhodoxeralfs y Natrixeralfs, así como la presencia de aluviones modernos indican que el desarrollo de estos suelos se inició posiblemente desde el Plioceno y continúa en la actualidad. Muchos de estos perfiles han sido decapitados o totalmente erosionados y retrabajados en los sitios en donde han sido depositados, como lo muestra el análisis de las láminas delgadas de los perfiles 13 y 14. Asimismo, la utilización del método geopedológico, permitió identificar y analizar la secuencia de la pedogénesis de los suelos estudiados.

Por último, este trabajo demuestra la importancia de continuar con los estudios pedogenéticos a todos los suelos de la región, por la importancia que tienen respecto a su historia y edad de los procesos.

REFERENCIAS

Amundson, R., R. C. Graham, E. Franco-Vizcaino and M. J. Deniro (1992), "The effect of seasonality of precipitation on the chemistry and morphology of carbonate in soils in Baja California, Mexico", *Agronomy Abstracts*, 84:297.

- Amundson, R., R. C. Graham and E. Franco-Vizcaíno (1997), "Orientation of carbonate laminations in gravelly soils along a winter-summer precipitation gradient in Baja California, Mexico", *Soil Science*, vol. 162:12, pp. 940-952.
- 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., México.
- Birkeland, P. E. (1999), *Soil and Geomorphology*, Oxford University Press, third edition, New York, Oxford, USA.
- Elders, W. A., R. W. Rex, T. Meidav, P. T. Robinson and S. Biehler (1972), "Crustal Spreading in Southern California", *Science*, vol. 178:4056, pp. 15-34.
- Fedoroff, N. (1997), "Clay illuviation in Red Mediterranean soils", *Catena* 28 171-189.
- Franco-Vizcaíno, E., R. C. Graham and E. B. Alexander (1993), "Plant species diversity and chemical properties of soils in the Central Desert of Baja California, Mexico", *Soil Science*, vol. 155:6 406-416.
- Franco-Vizcaíno, E., M. Escoto-Rodríguez, J. Sosa-Ramírez and R. A. Minnich (2002), "Water balance at the southern limit of the Californian Mixed-Conifer forest and implications for extreme-deficit watersheds", *Arid Land Research and Management*, vol.16, pp. 133-147.
- García, E. (1981), *Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*, Instituto de Geografía, UNAM-CETENAL, México.
- García, M. J. M. and 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, pp. 231-245.
- Gastil, R. G., R. P. Phillips and E. C. Allison (1975), "Reconnaissance Geology of the State of Baja California", *The Geological Society of America*, Inc. Memoir 140.
- Graham, R. C. and E. Franco-Vizcaíno (1992), "Soils on igneous and metavolcanic rocks in the Sonoran Desert of Baja California, Mexico", *Geoderma*, vol. 54:1-21.
- Hatch, M. E. (1987), "Neotectonics of the Agua Blanca Fault, Valle de Agua Blanca, Baja California, Mexico", in partial fulfillment of the requirements for the Degree Master of Science in Geological Sciences, S.D.S.U.
- Huggett, R. J. (1998), "Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: a critical review", *Catena*, vol. 32, pp. 155-172.
- Minnich, R. A. and E. Franco-Vizcaíno (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.
- Munsell (1990), *Soil Color Charts*, Edition Munsell Color Company, Inc. Baltimore, Maryland, 21218, USA.
- NRCS-USDA (1995), *Soil Survey Laboratory Information Manual*, National Soil Survey Investigations Report No. 45 Version 1.0 National Soil Survey Center Soil Survey Laboratory Lincoln, Nebraska.
- Oke, T. R. (2000), *Boundary Layer Climates*, Methuen & Co Ltd, New York, pp. 5-6, 3-72 (176-179).
- Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki, E. C. Benham and 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.
- Soil Survey Staff (1992), *Key to Soil Taxonomy*, Sixth Edition, 1994.
- Weege, B. C. (1976), *Geologic Map and Geologic Interpretations of Ojos Negros Valley Baja California*, Senior Thesis Project. S.D.S.U., San Diego CA.
- Williams, M., D. Dunkerley, P. de Deckener, P. Kershaw and J. Chapell (1998), *Quaternary Environments*, Arnold Oxford University Press, Inc, New York.
- Yassoglou, N., C. Kosmas and N. Moustakas (1997), "The red soils: origin, properties, use and management in Greece", *Catena*, vol. 28:261-278.
- Zinck, J. A. (1988), *Physiography and Soils. Soil Survey Courses*, International Institute for Aerospace and Earth Sciences, ITC, Enschede.