

**Marco MECCHIA, Leonardo PICCINI**

**Sintesi sulle conoscenze sul carsismo del canyon Juquila**

**A synthesis on the knowledge of the carst phenomenon of the Juquila Canyon**

**Estratto da: Kur, 7, 2006**

**Reprinted from: Kur, 7, 2006**

## SINTESI DELLE CONOSCENZE SUL CARSIAMO DEL CANYON JUQUILA, OAXACA, MESSICO

Marco Mecchia, Leonardo Piccini

### 1. Inquadramento geografico

Nel settore settentrionale dello stato di Oaxaca si trova una fascia montuosa orientata NNW-SSE formata da diverse dorsali: la Sierra Mixteca-Zapoteca a Ovest della valle di Tehuacán-Cuicatlán e la Sierra Mazateca, la Sierra de Juarez e la Sierra de Zongolica ad Est.

Queste catene sono costituite da depositi del Cretacico in buona parte calcarei, nei quali il fenomeno carsico è presente con sistemi sotterranei anche grandiosi. In particolare, nella Sierra Juarez-Mazateca si trovano le grotte più profonde dell'intero continente americano, il sistema Chevè (-1484 m) e il sistema Huautla (-1475 m), con decine di chilometri di gallerie esplorate.

L'area interessata dalle esplorazioni dell'Associazione La Venta è quella tagliata dall'imponente canyon del Rio Juquila (o Xiquila), che attraversa la catena calcarea Mixteca-Zapoteca dal versante occidentale a quello orientale, raccogliendo le acque di un vasto altopiano carsico con vette che superano i 2600 m di quota. Le acque del Rio Juquila raggiungono poi il Rio Salado nella Valle di Cuicatlán, corso d'acqua che drena nel Golfo del Messico.

Il territorio esplorato nelle spedizioni del 2002 (De Vivo, 2003a), 2003 (Bernabei et al., 2003), 2004 e 2006 è compreso fra i 18°05' e i 17°50' di latitudine Nord e i 97°10' e i 97°20' di longitudine Ovest. L'intera area carsica si sviluppa per circa 200 km dai dintorni di Tehuacán (Puebla) a Nord fino alla città di Oaxaca a Sud. Dal punto di vista amministrativo, l'area fa parte delle comunità di Tepelmeme de Morelos e di Santa Maria Ixcatlán e rientra nell'area semidesertica protetta della Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, celebre per le cactacee colonnari (De Vivo, 2003b).

Per quanto riguarda il clima, il bacino di Tehuacán e i rilievi a SW di questo sono caratterizzati da un regime semi-arido, con precipitazioni che variano da 250 a 500 mm, in funzione dell'altitudine, concentrate nei mesi da Giugno a Settembre. Le precipitazioni sono scarse principalmente a causa dell'effetto barriera operato dai rilievi posti più a Est, che invece risentono delle correnti umide provenienti dal Golfo del Messico. Non esistendo stazioni pluviometriche, non è possibile stimare in modo affidabile l'entità delle precipitazioni, ma è probabile che sull'altopiano, a quote superiori a 2200 m, le piogge raggiungano i 500-600 mm annui.

### 2. Evoluzione geologica dell'area

Per documentarsi sulla geologia dell'area non sono disponibili

## A SYNTHESIS ON THE KNOWLEDGE OF THE KARST PHENOMENON OF THE JUQUILA CANYON, OAXACA, MEXICO

Marco Mecchia, Leonardo Piccini

### 1. Geographical setting

*In the northern section of the state of Oaxaca there is a mountain band oriented NNW-SSE formed by several ranges: the Sierra Mixteca-Zapoteca, West of the Tehuacán-Cuicatlán valley, and the Sierra Mazateca, the Sierra de Juarez and the Sierra de Zongolica, East of it.*

*Such ranges are made up by mainly calcareous deposits of the Cretaceous, in which the karst phenomenon is present with majestic underground systems. In particular, the Sierra Juarez-Mazateca hosts the deepest caves of the whole American continent, the Cheve system (-1484 m) and the Huautla system (-1475 m) with tens of kilometres of explored galleries.*

*The area object of exploration by the association La Venta is that cut by the imposing canyon of Rio Juquila (or Xiquila), which crosses the Mixteca-Zapoteca limestone range from its western to its eastern side and collects the waters of a vast karst highland with mountains passing 2600 m in altitude. The waters of Rio Juquila then reach Rio Salado in the Cuicatlán valley, a water course draining into the Gulf of Mexico.*

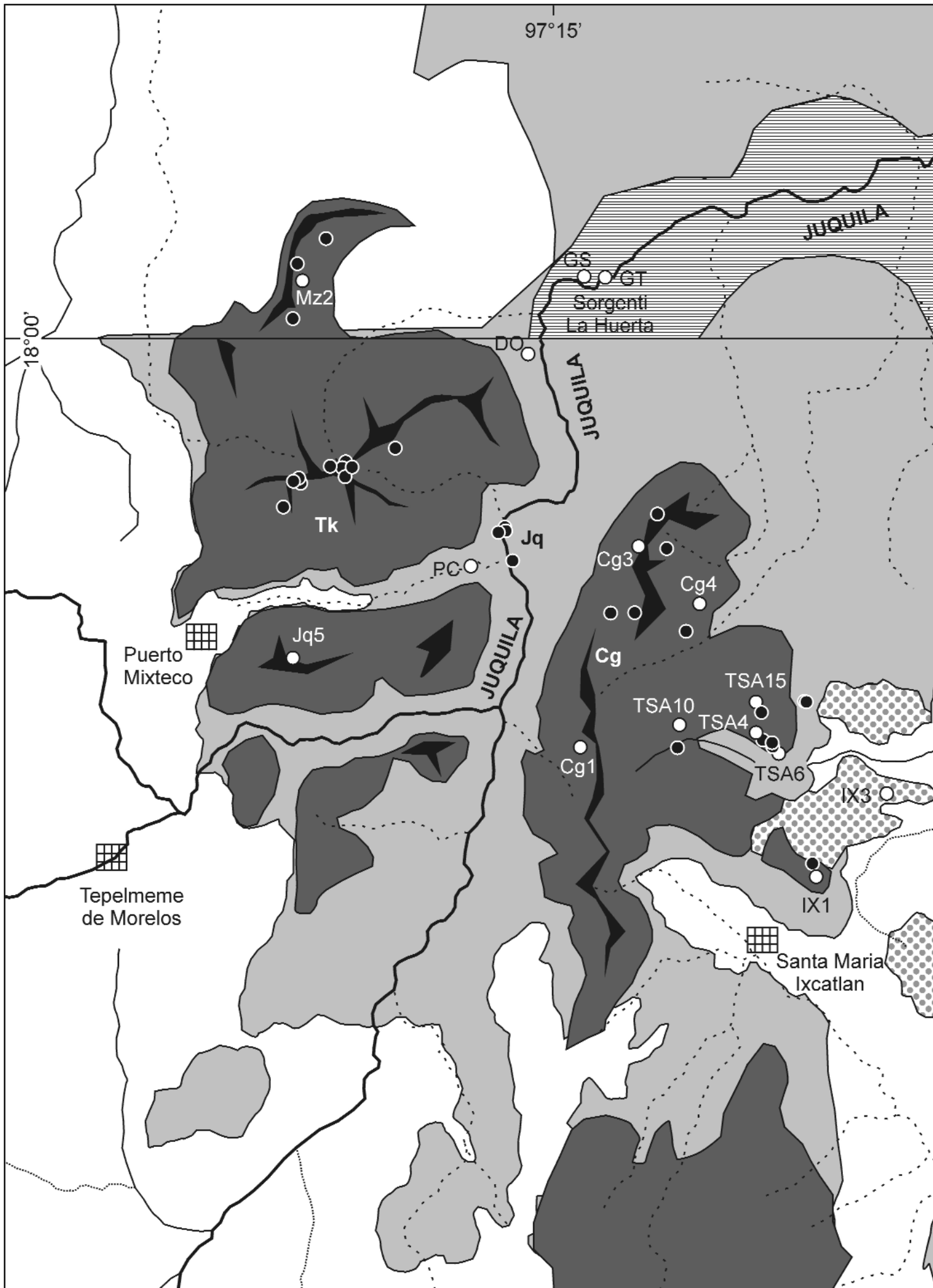
*The territory explored in the 2002 (De Vivo 2003a), 2003 (Bernabei et al., 2003), 2004 and 2006 expeditions is included between 18° 05' and 17° 50' latitude N and 97° 10' and 97° 20' longitude W. The whole karst area develops for about 200 km from the surroundings of Tehuacán (Puebla) in the North to the city of Oaxaca in the South.*

*From an administration point of view, the area belongs to the communities of Tepelmeme de Morelos and Santa Maria Ixcatlán and is part of the protected semi-desert area of the*

*pagine seguenti / Following pages*

Carta dell'area carsica di Juquila. Sono rappresentate le grotte, il reticolo dei corsi d'acqua e dei fossi principali, l'altopiano calcareo, i limiti dell'affioramento dei calcari, dei calcari con livelli marnosi del Cretacico inferiore e dei conglomerati del Terziario (tratti dalla Carta Geologica del Messico - INEGI).

*Map of the Juquila karst area, showing the caves, the network of the water courses and the main ditches, the limestone highland, the limits of the outcrops of limestone, limestone with marl levels of lower Cretaceous, conglomerates of the Tertiary (from Geological Map of Mexico - INEGI).*



97°00'

# CARTA DELL'AREA CARSIICA DI JUQUILA, OAXACA, MESSICO

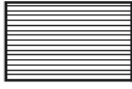




10 km

Foglio Geologico ORIZABA

Foglio Geologico OAXACA

Rio Seco

RIO SALADO

-  Calcare con livelli marnosi
-  Calcari
-  Conglomerati calcarei
-  Grotte principali
-  Grotte minori
-  Altopiano calcareo sopra q. 2200 m

li molte fonti. In primo luogo, la carta geologica del Messico in scala 1:250.000, nei due fogli E14-9 Oaxaca (settore meridionale del canyon) e E-14-6 Orizaba (settore settentrionale), che, accostati, presentano alcune differenze di interpretazione. Inoltre, si possono consultare alcuni studi a scala regionale, e in particolare il recentissimo lavoro di Nieto-Samaniego et al. (2006), dove è descritta l'evoluzione geologica del bacino marino di Tlaxiaco, all'interno del quale, nel Cretacico, si sono depositati i calcari della catena Mixteca-Zapoteca, ed è analizzata l'attività della grande faglia di Oaxaca che borda la dorsale calcarea ad Est. Un altro recentissimo studio pubblicato in internet è la tesi di dottorato di Dávalos-Álvarez (2006) dedicata all'evoluzione tettonica dal Cenozoico ad oggi di un'area centrata nella Valle di Tehuacán, poco a nord del canyon Juquila.

Mancando studi geologici specifici sull'area del canyon Juquila, possiamo tentare di ipotizzare l'evoluzione geologica e del carsismo solo a grandi linee.

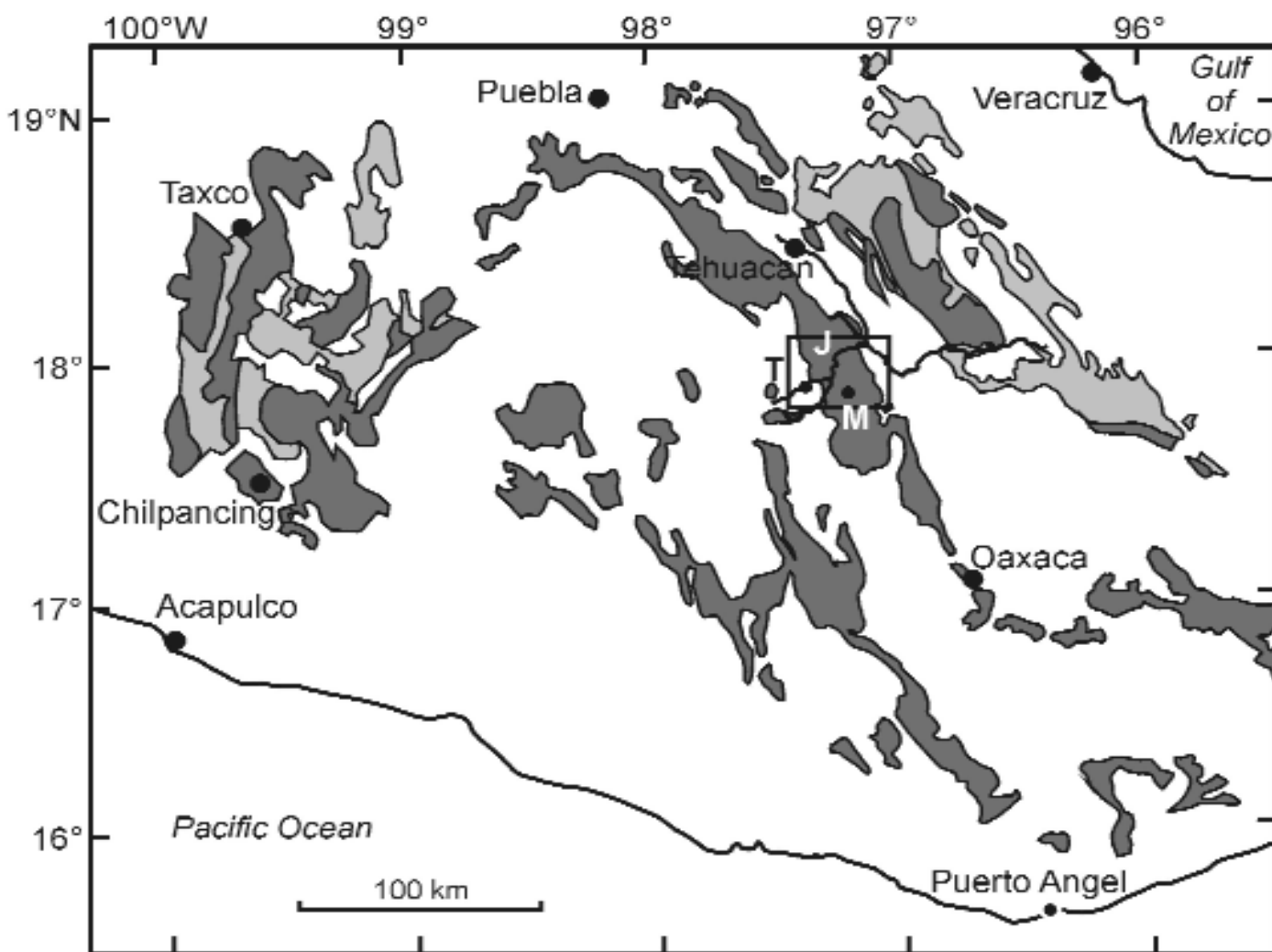
Un punto di inizio nell'evoluzione della topografia dell'area è rappresentato dall'orogenesi Laramide, durante la quale l'area è stata spinta e traslata verso Est producendo le principali

*Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, world known for its columnar cactuses (De Vivo 2003b).*

*As regards the climate, the Tehuacán basin and its SW massifs are characterized by a semi-arid regimen, with rainfalls ranging from 250 to 500 mm, depending upon the altitude, concentrated in the months of June through September. Rainfalls are scarce mainly due to the barrier effect operated by the more eastern mountains, which instead experience the humid currents coming from the Gulf of Mexico. Since there are no pluviometric stations, it is not possible to give a reliable evaluation of the rainfalls, but most probably, on the highland above 2200 m of altitude, they may reach 500-600 mm per year.*

## 2. Geological evolution of the area

*Sources on the geology of the area are not abundant. In the first place, the geological map of Mexico in scale 1:250000, and in particular the two sheets E14-9 Oaxaca (southern sector of the canyon) and E14-6 Orizaba (northern sector) which, once drawn near, present some differences of interpretation. Furthermore, some studies at regional scale may be consulted, and*



Depositi marini del Cretacico del Messico meridionale, prevalentemente calcarei nel Cretacico inferiore (grigio scuro), clastici e in parte calcarei nel Cretacico superiore (grigio chiaro). Il piccolo riquadro individua l'area carsica di Juquila, nella sierra Mixteca-Zapoteca. J: Canyon Juquila; T: Tepelmeme de Morelos; M: Santa Maria Ixcatlán.

*Sea deposits of the Cretaceous in southern Mexico: mainly limestone in Lower Cretaceous (dark grey), clastic and partially limestone in upper Cretaceous (light grey). The small box shows the karst area of Juquila, in the sierra Mixteca-Zapoteca. J: Canyon Juquila; T: Tepelmeme de Morelos; M: Santa Maria Ixcatlán.*



strutture tettoniche compressive della catena Mixteca-Zapoteca.

La faglia di Oaxaca è la struttura regionale che ha controllato l'evoluzione tettonica di questa regione del Messico. Si tratta di una zona di deformazione formata da strutture con direzione generale N-S nel segmento meridionale (da Teotitlán fino alla città di Oaxaca), e NW-SE in quello più settentrionale (da Tehuacán nello stato di Puebla, a Teotitlán). La catena carbonatica Mixteca-Zapoteca si erge ad Ovest della faglia, che forma anche il bordo orientale della Valle di Tehuacán.

I rilevamenti geologici effettuati nella regione hanno evidenziato la mancanza di depositi fra quelli marini del Cretacico superiore e quelli continentali del Paleocene; questa discordanza racchiude temporalmente l'attività dell'orogenesi Laramide, che probabilmente si sviluppò in ambiente marino (Mossman e Viniestra, 1976) e si concluse con l'emersione della regione.

Alla fine del Paleocene-inizio Eocene, terminate le spinte compressive dell'orogenesi Laramide, si è avviata una fase di deformazione per estensione, che ha prodotto la frammentazione longitudinale della catena, determinando l'approfondimento della Valle di Tehuacán e il sollevamento delle sierra limitrofe: la Sierra Mixteca-Zapoteca a Ovest e la Sierra Mazateca ad Est. A questa fase distensiva si accompagna un vulcanismo effusivo di tipo andesitico che si protrae sino all'Oligocene.

La fase tettonica di estensione, prodotta dall'attività della faglia di Oaxaca, si è protratta fino al Quaternario con una serie di "pulsazioni", registrate nella copertura sedimentaria cenozoica della valle di Tehuacán. Secondo Dávalos-Álvarez le pulsazioni sono testimoniate da una successione di tre cicli di deposito di sedimenti continentali e nella progressiva deformazione, sviluppatasi in quattro eventi di fagliazione, che hanno portato al progressivo sollevamento delle sierra e approfondimento relativo della valle di Tehuacán.

Il progressivo innalzamento sopra il livello di base ha consentito la filtrazione dell'acqua nel sottosuolo e quindi lo sviluppo nel tempo dei sistemi carsici verso profondità via via maggiori. Riassumendo, la successione degli eventi geologici proposta da Dávalos-Álvarez (2006), nell'ambito della quale si deve inserire la genesi e l'evoluzione del carsismo dell'area di Juquila, è la seguente:

Nel Cretacico inferiore l'area è sommersa dalle acque marine. Nel Cretacico superiore, forse nel Santoniano (85 Ma), termina la deposizione sedimentaria.

Dal Cretacico superiore (85 Ma) alla fine del Paleocene (50 Ma) mancano depositi; all'interno di questo periodo si sviluppa l'orogenesi Laramide, con la formazione delle strutture compressive.

All'inizio dell'Eocene (50 Ma), terminata la deformazione compressiva Laramide, si avvia la deformazione distensiva con una prima fase di fagliazione (evento D1). Inizia l'approfondimento della valle di Tehuacán (conca lacustre) e il sollevamento delle sierras. Nella conca si iniziano ad accumulare depositi lacustri e depositi conglomeratici provenienti dall'erosione delle catene in sollevamento (ciclo PS1). Questo ciclo si conclude nell'Eocene medio (40 Ma).

Nell'Eocene medio (40 Ma) – Oligocene inferiore (33 Ma) si verifica la propagazione della fagliazione con lo sviluppo dell'evento D2 e la contemporanea deposizione di nuovi conglo-

*in particular the most recent work by Nieto-Samaniego et al. (2006); it describes the geological evolution of the sea basin of Tlaxiaco, within which, in the Cretaceous, the limestone of the Mixteca-Zapoteca chain deposited, and analyses the activity of the fault of Oaxaca, bordering the limestone range on its eastern side. Another very recent study published on the Internet is the doctorate thesis by Dávalos-Álvarez (2006) dedicated to the tectonic evolution from the Cenozoic to the present time of an area located in the Tehuacán valley, just North of the Juquila canyon. Lacking in specific geological studies, we can only attempt a general hypothesis on the geological and karst phenomenon evolution on the area of the Juquila canyon.*

*A starting point in the topographic evolution is represented by the Laramide orogenesis, during which the area was thrust and moved eastward, producing the main tectonic compressive structures of the Mixteca-Zapoteca range.*

*The Oaxaca fault is the regional structure responsible of the tectonic evolution of this region of Mexico. It is a deformation zone formed by structures having general direction N-S in its southern segment (from Teotitlán to the city of Oaxaca) and NW-SE in its northern one (from Tehuacán, in the state of Puebla, to Teotitlán). The Mixteca-Zapoteca carbonate range rises West of the fault, which also forms the eastern edge of the Tehuacán valley. The geological surveys carried out in the region show the absence of deposits between the sea deposits of the Upper Cretaceous and the continental ones of the Paleocene; such unconformity temporally encloses the activity of the Laramide orogenesis, which probably developed in a marine environment (Mossman and Viniestra, 1976) and ended up with the emersion of the region.*

*At the end of the Paleocene – beginning of the Eocene, once the compressive thrust of the Laramide orogenesis was complete, an extension deformation phase started: producing the longitudinal fragmentation of the range, it led to the deepening of the Tehuacán valley and the uprising of the nearby sierras: the Sierra Mixteca-Zapoteca on the West and the Sierra Mazateca on the East. This stretching phase was accompanied by effusive volcanic activity of andesite type lasting until the Oligocene.*

*The extension tectonic phase, produced by the activity of the Oaxaca fault, went on until the Quaternary with a series of "pulsations", recorded in the Cenozoic sedimentary cover of the Tehuacán valley. According to Dávalos-Álvarez the pulsations are witnessed by a series of three cycles of deposit of continental sediments and by the progressive deformation, developed in four faulting events which have led to the uprising of the sierras and the relative deepening of the Tehuacán valley.*

*The progressive elevation above the base level allowed the water filtration in the underground and therefore the development of deeper and deeper karst systems.*

*Summing up briefly, the sequence of geological events proposed by Dávalos-Álvarez (2006), within which the genesis and evolution of the karst phenomenon of the Juquila area should be considered, is as follows:*

*In the Lower Cretaceous the area is submerged by sea waters. In the Upper Cretaceous, possibly in the Santonian (85 my), the sedimentary deposition ends up.*

*From the Upper Cretaceous (85 my) to the Paleocene (50 my) no deposits are present; during this period we have the development*

merati. Dall'Oligocene medio (33 Ma) all'Oligocene superiore (27 Ma) si produce un cambio di livello di base regionale, indicato dalla mancanza di depositi; questo cambiamento è la causa della discordanza che si osserva nella stratigrafia dell'area ed è associato all'evento di fagliazione D3.

Dall'Oligocene superiore (27 Ma) al Miocene medio (16 Ma) diminuisce l'attività di fagliazione e, nel periodo di relativa quiete tettonica, si depongono i sedimenti continentali PS2. Dopo il Miocene medio (durante la fase PS2) si sviluppa l'evento di fagliazione D4. La deposizione del ciclo PS2 prosegue fino al Pliocene-Pleistocene (2500 anni fa).

Da poco più di 2500 anni fa (Pleistocene) ad oggi si creano i depositi di ventaglio e i riempimenti alluvionali del ciclo PS3. La disposizione orizzontale e l'assenza di faglie in questi depositi fanno ritenere che non si sia avuta un'attività tettonica significativa negli ultimi 2500 anni.

### 3. Le grotte esplorate

Per descrivere le grotte esplorate, l'area di indagine può essere suddivisa in tre settori:

valle del Rio Juquila;

area in sinistra idrografica;

altopiano in destra idrografica.

#### *Canyon Juquila*

Il corso d'acqua che scorre nel canyon nasce fuori dall'area calcarea, entra nella catena a quota circa 1950 m, la attraversa per un primo tratto verso Nord, quindi, con una brusca curva, si dirige a Est per uscire dal massiccio calcareo dopo un percorso di circa 40 km, a quota circa 800 m, e quindi confluisce nel Rio Salado. Due importanti affluenti di sinistra si inseriscono nel canyon principale nella parte alta della forra, sezionando ulteriormente l'altopiano a W di questo. Dall'alveo fluviale i versanti salgono acclivi, a tratti formando pareti quasi verticali che si innalzano per anche più di 500 m. Nella stagione secca, l'inverno, il corso d'acqua nel canyon principale è un modesto ruscello fino alle sorgenti La Huerta, situate a quota circa 1200 m, mentre gli affluenti sono normalmente asciutti. In località La Huerta, su entrambi i lati dell'alveo, sgorgano diverse sorgenti. In quest'area, infatti, l'incisione del canyon ha raggiunto una formazione meno permeabile, costituita da banchi calcarei alternati a livelli marnosi e arenacei, sottostante ai calcari ben carsificabili che costituiscono il tratto di canyon più a monte e l'altopiano. Uno dei condotti sorgentizi, la Grotta-sorgente (GS) situata in sinistra idrografica, è percorribile per circa 70 m fino ad un sifone. Nell'inverno 2002 da questa cavità usciva un torrente con una portata di alcune decine di litri al secondo.

Il valore complessivo della portata dell'area sorgentizia non è noto, ma è considerevole anche nei periodi più secchi. In base alle informazioni raccolte, sembra che le differenze fra le portate della stagione secca e della stagione umida siano piuttosto modeste.

Oltre alla Grotta-sorgente, lungo il canyon, sia in prossimità dell'alveo sia lungo gli scoscesi versanti, si osservano gli ingressi di numerose grotte. Nel tratto a monte di La Huerta, fra le quote 1550 e 1580 m, sono state esplorate quattro condotte tagliate dall'erosione. Si tratta di brevi gallerie, a volte di grandi dimensioni (diametro anche di 10 m), con l'aspetto di antichi condotti di origine freatica, chiusi dopo pochi metri

*of the Laramide orogenesis, with the formation of the compressive structures.*

*At the beginning of the Eocene (50 my), after the completion of the Laramide compressive deformation, the stretching deformation starts with a first faulting phase (event D1). The Tehuacán valley begins to deepen (lacustral basin) and the sierras start to rise. The basin starts to accumulate lacustral and conglomerate deposits deriving from the erosion of the rising ranges (cycle PS1). Such cycle ends up in the Middle Eocene (40 my).*

*The period Middle Eocene (40 my) – Lower Oligocene (33 my) witnesses the faulting propagation with the development of the event D2 and the contemporaneous deposit of new conglomerates. From the Middle Oligocene (33 my) to the Upper Oligocene (27 my) a change of the regional base level takes place, indicated by the absence of deposits; such change, associated to the faulting event D3, is the cause of the unconformity that can be observed in the area stratigraphy.*

*From the Upper Oligocene (27 my) to the Middle Miocene (16 my) the faulting activity decreases and the PS2 continental sediments deposit during the period of relative tectonic quietness.*

*After the Middle Miocene (during the phase PS2) we have the faulting event D4. The PS2 cycle deposit goes on until the Pliocene-Pleistocene (2500 years ago).*

*Since little earlier than 2500 years ago (Pleistocene) to the present time we have the formation of the fan deposits and the alluvial fillings of the PS3 cycle. The horizontal setting and the absence of faults in these deposits let think that no significant tectonic activity has taken place in the last 2500 years.*

### 3. The explored caves

*In order to describe the explored caves, the research area may be subdivided into three sectors:*

*Juquila canyon*

*Left hydrographic side highland*

*Right hydrographic side highland*

#### *Juquila canyon*

*The water course flowing inside the canyon originates out of the limestone area, enters the range at an altitude of approx. 1950 m asl, flows across it northward for a first stretch, then, with a sudden bend, points eastward; finally, after having covered approx. 40 km, it exits the limestone massif at 800 m of altitude and joins the Rio Salado. Two important tributaries from the left hydrographic side join the canyon in the upstream section of the gorge, further subdividing the western part of the highland. The canyon sides are sheer, sometimes forming almost vertical walls that reach up to more than 500 m.*

*During the dry season, that is Winter, the water course in the main canyon is represented by a modest stream all the way down to La Huerta springs, located at an altitude of approx. 1200 m asl; the affluents, instead, are normally dry.*

*Several springs gush out from both sides of the riverbed at La Huerta site. In this area, in fact, the canyon incision has reached a less permeable formation, made up by limestone reefs alternated to marl and sandstone levels underlying the strongly karstified limestone that forms the upstream stretch of the canyon and the highland.*

*One of the spring ducts, the Grotta-sorgente (GS), located on the*

da depositi fluviali. L'unica grotta con sviluppo significativo è la Cueva Dos Ojos (DO) che si apre sul versante sinistro quasi 300 m più in alto delle sorgenti attive. Si tratta di una galleria quasi rettilinea lunga poco più di 1 km, asciutta e anch'essa con morfologia freatica. Si può ipotizzare che questa galleria, così come le altre grotte fossili esplorate nel canyon, sia un relitto dell'antico reticolo di drenaggio freatico nel quale si raccoglievano le acque che si infiltravano nell'altopiano. Il condotto sarebbe poi stato tagliato e disattivato dal procedere dell'approfondimento del canyon.

Un'altra interessante cavità, nota da sempre, si trova lungo il canyon secondario Rio Grande che si inoltra nel massiccio calcareo presso il paese di Puerto Mixteco. Si tratta del Puente Colosal (PC), un traforo naturale lungo 250 m, costituito da una imponente galleria, alta 50 m e larga mai meno di 15 m, situata sul fondovalle. Pitture e iscrizioni Nuiñe sono presenti sulle pareti della galleria; gli studi archeologici hanno attribuito la loro realizzazione a prima dell'arrivo degli spagnoli, fra l'anno 300 e l'anno 800 dopo Cristo (Urcid, 2004). La grotta, oggi completamente asciutta, nel passato è stata, evidentemente, percorsa da un corso d'acqua di notevoli portate.

Il Grande Traforo (GT) situato subito a valle delle sorgenti La Huerta, lungo un centinaio di metri e ancora oggi attraversato dal fiume, può rendere l'idea dell'origine e dell'aspetto che doveva avere la galleria del Puente Colosal all'epoca della sua attività.

#### *Area in sinistra idrografica*

La zona occidentale dell'altopiano è costituita da una dorsale lunga circa 15 km che collega, da Sud a Nord, il Cerro Tequelite, il Cerro Pericon e il Cerro Verde, che sfiora i 3000 m di altitudine.

La dorsale presenta creste arrotondate coperte da vegetazione arborea, in particolare nei pendii che guardano a Nord. I versanti dell'altopiano sono rivestiti di coltri detritiche, più estese ed abbondanti nelle parti più basse.

Le cavità esplorate sono concentrate in due aree: il Cerro Tequelite (zona TK) e la zona di Mahujzapan (zona MZ) poco più a Nord. Tutte le 15 grotte esplorate si trovano nelle zone più elevate, per lo più in prossimità delle creste e di zone con rilievo più dolce, intorno a quota 2600 m.

Si tratta quasi sempre di relitti di cavità inattive a sviluppo verticale, intercettate dall'erosione e con evidenti caratteri di senescenza, come dimostrano i depositi stalattitici e stalagmitici in fase di disfacimento. La grotta con maggiore sviluppo è la MZ2, che si apre a quota 2680 m sulla cresta Sud del Cerro Pericon. Si tratta di una grotta costituita da alcuni pozzi paralleli intercomunicanti e con le pareti concrezionate. Nella parte di altopiano rimasta isolata a Sud del canyon del Puente Colosal è stato esplorato il pozzo JQ5, profondo 20 m, situato a quota 2600 m, presso la sommità del rilievo.

#### *Altopiano in destra idrografica*

L'altopiano è caratterizzato da zone sommitali pianeggianti nelle quali, diversamente da quanto riscontrato nell'altopiano in sinistra idrografica, sono presenti numerose doline, in genere ampie e poco profonde, e qualche sprofondamento di crollo.

Sono state esplorate 26 grotte, la maggior parte delle quali a sviluppo verticale, spesso interpretabili come cavità relitte troncate dall'erosione superficiale. Sono, però, presenti anche

*left hydrographic side, may be covered for about 70 m up to a final sump. During Winter 2003 its water flow was a few tens of litres per second.*

*The total figure of the spring area flow is not known, though it is significant even in the driest periods. According to the available information, there doesn't seem to be much difference between the flow of the dry season and that of the wet one.*

*Besides the Grotta-sorgente, along the canyon, several cave entrances may be spotted both close to the riverbed and on its steep sides. Upstream La Huerta, at altitudes between 550 and 580 m asl, four ducts cut by erosion have been explored. These are short galleries, up to 10 m in diameter, most probably ancient ducts of phreatic origin, closed by fluvial deposits after a few meters.*

*The only cave with a significant development is the Cueva Dos Ojos (DO), located on the left side almost 300 m above the active springs. This is an almost straight dry gallery, little more than 1 km long, also presenting phreatic features. Both this gallery and the other fossil caves explored in the canyon are probably relicts of the ancient phreatic drainage net collecting the waters that filtered through the highland. Then the ducts would have been cut and deactivated by the deepening of the canyon.*

*Another interesting, always well known, cave is located in the secondary canyon Rio Grande, that penetrates into the limestone massif near the village of Puerto Mixteco. We are talking about Puente Colosal (PC), a natural 250 m long tunnel; the imposing gallery, located on the valley floor, is 50 m high and never less than 15 m wide. Nuiñe Paintings and inscriptions are present on the gallery walls; the archaeological studies date them to before the Conquest, between 300 and 800 A.D. (Urcid, 2004). Today the cave is completely dry, but in the past it was evidently crossed by a big water course.*

*The Grande Traforo (GT), just downstream La Huerta, a hundred metre long and still active cave (the river flows through it), may give an idea of the genesis and the aspect of the Puente Colosal gallery at the time of its activity.*

#### *Left hydrographic side highland*

*The western section of the highland consists of a 15 km long range connecting, from South to North, Cerro Tequelite, Cerro Pericon and Cerro Verde, the latter almost 3000 m in altitude.*

*The range presents rounded crests covered by tree-like vegetation, particularly on the North oriented slopes. The highland sides are covered with detrital deposits, particularly thick and wide in the lower bands.*

*All explored caves are concentrated in two areas: Cerro Tequelite (TK zone) and Mahujzapan (MZ zone) little North of it. All the 15 caves explored are located in the upper areas, mostly close to the crests and to zones presenting a more gentle morphology, around altitude 2600 m.*

*For the most part they are relicts of inactive vertical caves, intercepted by erosion and showing clear signs of senescence, as the decaying stalactite and stalagmite deposits clearly demonstrate. The longest cave is MZ2, at an altitude of 2600 m on the southern crest of Cerro Pericon. This cave consists of some parallel interconnected shafts with concretionary walls.*

*In the isolated highland section South of the Puente Colosal canyon we explored the 20 m deep JQ5 pit, located close to the massif top, at the altitude of 2600 m.*



alcuni inghiottitoi saltuariamente attivi, percorribili solo per brevi tratti.

Le cavità esplorate sono concentrate in due aree: la zona del Cerro Granudo a NW (zona CG), nel territorio di Tepelmeme, battuta nel 2003, e il settore di Llano la Cumbre a SE (zone IX e TSA), nel territorio di Santa Maria Ixcatlán, esplorato nel 2006.

#### *Settore di Cerro Granudo*

La grotta di maggiore sviluppo è il Sotano de la Laguna Prieta (CG3), situato nei pressi della cima del Cerro Grande. L'ingresso è costituito da una grande dolina di crollo che si apre su un pozzo profondo 140 m, formatosi per l'unione di più fusi paralleli. Un terrazzo costituito da blocchi incastrati si affaccia su una verticale di 40 m, da cui ha origine un'altra forra, larga pochi metri, che si approfondisce verso SE. Un ulteriore pozzo di 35 m porta in un ambiente con grandi blocchi incastrati tra le pareti. Al fondo si scende fra i massi e il detrito sino ad incontrare un pavimento di fango formato dall'accumulo di detrito e materiale organico, che ostruisce completamente la forra.

L'altra cavità importante è il Pozo de la Vaca Ladra (CG4), non lontano dalla precedente, il cui ingresso, anch'esso di crollo, immette in un pozzo di 12 m. Alla base una china detritica si affaccia, con un ingresso di modeste dimensioni, su di una verticale unica di 100 m. Il pozzo è costituito da un fuso a sezione orizzontale ellittica con assi di 4 e 6 m, che si riducono fino a 3-4 m alla base. Una fessura laterale, lungo la frattura generatrice del pozzo, immette dopo pochi metri in un salto di 7 m, chiuso al fondo da fango.

Tra le altre modeste cavità ricordiamo solo il Pozo de la Mosca Molesta, profondo una quarantina di m, con concrezionamento inattivo e chiusa al fondo da detriti.

#### *Settore di Llano la Cumbre*

Il Llano la Cumbre è una ampia depressione situata sulla sommità dell'altopiano, sbarrata artificialmente per formare una ampia pozza d'acqua per l'abbeveraggio del bestiame. Le grotte si aprono nei dossi e nelle vallette circostanti.

La cavità di maggiore sviluppo di questa area è il Sotano Rodeo (IX1), che si apre a SE del bacino d'acqua, nel bosco, con un pozzo dall'imbocco triangolare largo fino a 10 m. Alla base del grande pozzo d'ingresso, profondo quasi 40 m, si scende sul pendio detritico e con due salti, profondi 4 e 10 m, si arriva alla sommità di un grande pozzo, profondo 75 m. Dal fondo del pozzo inizia una forra, ostruita da detrito dopo una ventina di metri (-135 m).

La maggior parte delle altre grotte esplorate si apre nelle vallecole del Terrero San Antonio, 2-3 km a nord del Llano la Cumbre. Fra le grotte che si aprono sui versanti delle vallecole quella a maggiore sviluppo verticale è il Sotano la Calavera (TSA6), costituito da un unico pozzo profondo 77 m.

Le vallecole formano dei piccoli bacini chiusi naturali, allineati in direzione N-S e drenati da inghiottitoi. Probabilmente prima che le acque venissero assorbite nel sottosuolo, cioè prima della formazione degli inghiottitoi, queste formavano un'unica valle affluente di sinistra del Rio Seco. Attualmente, le vallecole sono solcate da fossi che si attivano solo nella stagione umida. Seguendo il fondo dei fossi sono stati scoperti

Right hydrographic side highland

*The highland is characterized by level top zones that present, differently from what may be found on the left hydrographic side highland, several wide and shallow dolines and some collapse hollows. 26 caves have been explored in this area, most of which presenting a vertical development and explainable as relict caves cut by surface erosion. Some occasionally active sinkholes are also present, but they may be followed only for short distances.*

*The explored caves are concentrated in two areas: Cerro Granudo, in the NW (CG zone), in the territory of Tepelmeme, surveyed in 2003, and Llano la Cumbre, in the SE (IX and TSA zone), in the territory of Santa Maria Ixcatlán, surveyed in 2006.*

#### *Cerro Granudo*

*The longest cave is the Sotano de la Laguna Prieta (CG3) located near the top of Cerro Grande. The entrance consists of a wide collapse doline opening on a 140 m deep shaft, formed by two joined parallel pits. A terrace made of embedded rock blocks opens on a 40 m vertical drop that gives origin to a high, few metre wide, gorge heading SE. A further 35 m deep pit leads into a chamber with big blocks embedded among the walls. The bottom section is partially filled with blocks and detrital deposits; the gorge is definitely stuck by mud and organic material.*

*The other important cave is the Pozo de la Vaca Ladra (CG4), not far from CG3; its entrance, also of collapse origin, leads into a 12 m deep pit. At its base a detrital slope opens through a small size window on a single 100 m vertical drop. The drop consists of an elliptic pit with 4 x 6 m horizontal section, decreasing to 3-4 at its base. A side crack, along the generating fracture of the pit, leads after a few metres into a 7 m drop, stuck by mud at the bottom. Among the other secondary caves we only mention the Pozo de la Mosca Molesta, 40 m deep, presenting inactive speleothems and closed by detrital deposits at the bottom.*

#### *Llano la Cumbre*

*Llano la Cumbre is a wide depression located on top of the highland, artificially dammed in order to form a vast water basin for livestock watering. The caves are located in the surrounding rises and valleys.*

*The longest cave in this area is Sotano Rodeo (IX1); it opens SE of the water basin, in the woods, with a 10 m diameter triangular pit. The base of the wide entrance pit, almost 40 m deep, continues with a detrital slope and two 4 and 10 m deep drops, leading to the top of a 75 m deep big pit. Its bottom continues with a gorge, stuck by debris after about twenty metres (-135 m).*

*For the main part, the other explored caves open in the small valleys of the Terrero San Antonio, 2-3 km North of Llano la Cumbre. Among the caves opening on the sides of the small valleys, the one having the main vertical development is Sotano la Calavera (TSA6) consisting of a single 77 m deep shaft.*

*The small valleys form small natural blind basins, lined in N-S direction and drained by sinkholes. Probably, before the waters got absorbed in the underground, that is before the formation of the sinkholes, they formed a single valley, left tributary of Rio Seco. At the present time the small valleys are crossed by ditches active only in the wet season. Following the bottom of the ditch-*

ed esplorati due inghiottitoi, percorribili alcune decine di metri: la Cueva Perfecto 3 (TSA15), a monte, e il Sumidero San Antonio (TSA4), a valle.

La Cueva Perfecto 3, inizia con un pozzo di 20 m, e prosegue con una forra che dopo una dozzina di metri sbuca in una sala. Nella sala si incrociano due condotti diversi, percorribili sia a monte sia a valle al massimo per 30 m. Il condotto salinariamente percorso dall'acqua ha un andamento meandri-forme a modesta pendenza e termina immergendosi in una bassa pozza d'acqua (-39 m).

Lungo la stessa linea valliva, 700 m più a valle del TSA15, si trova il secondo inghiottitoio, il Sumidero San Antonio, lungo 100 m. Questa grotta e la Cueva el Calacote (TSA10), che si apre 2 km più a Ovest, sono particolarmente interessanti per lo studio dell'evoluzione geologica dell'area. Infatti in queste grotte si osservano morfologie tipiche della circolazione convettiva di acque termali, con crostoni calcarei che rivestono tipici ambienti a cupola. Se gli indizi osservati dovessero essere confermati, si potrebbe pensare ad una antica fase di carsificazione prodotta dalla risalita di fluidi caldi attraverso fratture, e quindi le due grotte potrebbero essere fra le più antiche della regione. Successivamente le due cavità sarebbero state esumate dal procedere dell'erosione dell'altopiano. Nel Sumidero San Antonio alle morfologie idrotermali più antiche si sono localmente sovrapposte quelle formate dallo scorrimento del ruscello formato dalle acque meteoriche che si riversa in esso.

Mentre tutte le grotte descritte finora in questo settore sono scavate nei calcari, l'ultima cavità da descrivere si è originata nei conglomerati del Terziario. I lembi oggi isolati della originaria grande placca di conglomerati, spesso diverse decine di metri, si trovano sul bordo orientale dell'altopiano. Nei banchi situati presso il tetto della formazione, costituiti da ciottoli calcarei e localmente suborizzontali, è stata esplorata la Cueva Loma del Muerto (IX3). La grotta si apre in parete con due grandi "occhi". Dagli ingressi partono due gallerie in salita, non comunicanti, che in breve risultano ostruite. Caratteristici della grotta sono i camini che si osservano sul tetto delle gallerie, con diametro di 1-2 m e altezza di 3-4 m.

#### 4. Evoluzione del carsismo

Possiamo immaginare che l'attuale altopiano solcato dal canyon del Rio Juquila rappresenti ciò che rimane di un'antica superficie di spianamento che potrebbe essersi formata nel tardo Cenozoico, in un "momento" di relativa quiete tettonica, per l'erosione graduale dei rilievi. All'epoca della formazione di questa superficie poco ondulata, che troncava le strutture tettoniche, il livello di base della regione doveva essere prossimo alla superficie topografica e il reticolo carsico poco esteso e poco sviluppato in profondità. Gli eventi di fagliazione descritti in precedenza avrebbero poi sollevato progressivamente le *sierra* e abbassato le depressioni tettoniche di Tehuacán e Cuicatlán.

Il Rio Juquila e i due affluenti principali dovevano essere già attivi prima del sollevamento, in una fase iniziale, durante la quale le condizioni climatiche erano probabilmente più umide di quelle attuali, le portate fluviali più ingenti e l'erosione più efficace. Con il sollevamento del blocco calcareo rispetto alle aree circostanti, la pianura iniziale sarebbe diventata un altopiano, nel quale il corso d'acqua avrebbe progressivamente

*es, two sinkholes were discovered and explored for a few tens of metres, Cueva Perfecto 3 (TSA15), upstream, and Sumidero San Antonio (TSA4), downstream.*

*Cueva Perfecto 3 starts with a 20 m pit and continues in a gorge that after a dozen metres ends up in a chamber, where two different ducts may be covered for a maximum of 30 m both upstream and downstream. The occasionally active one shows a meander-like low slope course and ends up in a shallow water pool (-39 m).*

*Along the same valley line, 700 m downstream TSA15, we find the second sinkhole, Sumidero San Antonio, 100 m long. This cave and Cueva el Calacote (TSA10), that opens 2 km further West, are particularly interesting for the study of the geological evolution of the area. As a matter of fact, these caves show morphologies typical of convective circulation of thermal waters, with calcretes covering typical dome-shaped environments. Should the observed clues be confirmed, we might think of an ancient phase of karstification produced by the ascent of hot fluids through fractures, and therefore the two caves might be among the most ancient ones in the region. Afterwards, the two caves would have been brought to light by the erosion of the highland. In Sumidero San Antonio the most ancient hydrothermal morphologies were locally covered by those formed by the flow of the rain water stream sinking into it.*

*All the caves described up to now in this sector are dug into limestone, whereas the last cave to be described originated in Tertiary conglomerates. The now isolated strips of the original wide conglomerate plate, several tens of metres thick, are located on the eastern edge of the highland. The Cueva Loma del Muerto (IX3) was explored in the locally sub-horizontal reefs located on top of the formation, consisting of limestone pebbles. The cave entrance opens on a wall with two big "eyes". The double entrance gives origin to two not joined ascending galleries, completely closed after a few metres. One of the cave features is represented by the chimneys opening on the gallery vault, 1-2 m wide and 3-4 m high.*

#### 4. Evolution of the karst phenomenon

*We may imagine that today's highland cut by the canyon of Rio Juquila represents what remains of an ancient levelling surface that might have formed in the late Cenozoic, during a period of relative tectonic quietness, due to the gradual erosion of the massifs. At the time of the formation of this poorly undulating surface, that cut the tectonic structures, the base level of the region should be close to the topographic surface and the karst network not so developed in extension and depth. The above described faulting events would have progressively lifted the sierras and lowered the tectonic depressions of Tehuacán and Cuicatlán. The Rio Juquila and the two main tributaries must have been active before the lifting, in an initial phase during which the climate conditions were probably more wet than today, the river flows more considerable, erosion more effective. With the lifting of the limestone reef, the initial plain became a highland, in which the water course progressively engraved the canyon, following the pace of the lifting.*

*This must have been the evolution set in which the karst network developed to the present day situation, also with the formation of karst tunnels such as Puente Colosal.*

inciso il canyon, seguendo il passo dell'innalzamento.

E' in questo quadro evolutivo che si deve essere sviluppato il reticolo carsico fino alla condizione attuale, con anche la formazione di trafori carsici come quello del Puente Colosal.

In un lasso di tempo di cui non conosciamo la durata, ma che potenzialmente può essere stato di alcuni milioni di anni, le acque sotterranee hanno creato un reticolo di condotte sotterranee impostate lungo le fratture e i giunti di strato. Nel tempo, l'apertura di nuove fratture durante gli eventi di fagliazione e l'approfondimento del canyon hanno favorito lo spostamento del flusso in percorsi diversi e sempre più profondi, con l'attivazione di sorgenti situate a quote più basse. La modificazione del reticolo di drenaggio deve aver comportato l'abbandono di molti percorsi, l'attivazione idrica di nuove fratture e il loro allargamento a formare condotti carsici.

Attualmente, quindi, si possono trovare diverse generazioni di forme carsiche, la cui età relativa non è però sempre distinguibile. La generazione più antica sembra essere costituita dalle cavità di origine idrotermale, che si trovano nella porzione meridionale dell'area indagata. Si tratta, come già detto, di relitti di cavità freatiche, rielaborate da acque di percolazione e successivamente messe a nudo dall'erosione superficiale. Queste cavità potrebbero essere messe in relazione con le fasi tardive dell'attività magmatica terziaria che ha interessato la zona e quindi potenzialmente possono essere molto antiche.

Per certo le loro caratteristiche morfologiche impongono una situazione ben diversa da quella odierna e precedente all'approfondimento del reticolo idrografico attuale.

Nel tempo, la pianura iniziale venne separata in più settori dall'incisione dei canyon, la sua estensione si ridusse lateralmente per l'erosione nelle valli in cui si raccoglieva parte delle acque di superficie. Con lo sviluppo del reticolo carsico profondo le acque di ruscellamento avrebbero agito sempre meno sulla superficie dell'altopiano, spostando la sua capacità erosiva nel sottosuolo e contribuendo così a preservare una superficie sommitale abbastanza integra. In ogni caso, l'azione di dissoluzione che ebbe, ed ha, luogo in modo diffuso sulla superficie di spianamento abbassò significativamente la superficie originaria. Di conseguenza, la topografia dell'altopiano attuale non corrisponde fedelmente al piano originario e le forme superficiali e sotterranee della prima fase di carsificazione superficiale non devono essere sopravvissute, se non come relitti di cavità conservatisi in pochi settori.

Del progressivo abbassamento del livello di base, rimane traccia nelle condotte di origine freatica che s'incontrano lungo le pareti del canyon, soprattutto a quote comprese tra 1500 e 1600 m s.l.m., e che rappresentano segmenti di un antico reticolo che alimentava delle paleosorgenti, disattivate in seguito ad un successivo abbassamento del livello di base.

Anche le cavità a sviluppo verticale esplorate sull'altopiano (punti di assorbimento delle acque piovane e condotti di transito delle acque verso le zone profonde) possono appartenere a diverse generazioni e alcuni di loro sono ancora piuttosto attivi, nonostante la scarsità delle piogge che alimentano il reticolo sotterraneo. Allo stato attuale, la riduzione dell'alimentazione del reticolo carsico, determinata dal passaggio ad un clima più secco avvenuto intorno a 10000 anni fa, ha ridotto l'entità della dissoluzione carsica e rallentato lo sviluppo del reticolo sotterraneo. Oltre a ciò, il progressivo dilavamento dei suoli presenti nei plateau sommitali sta portando,

*During a lapse of time the duration of which we do not know, but that might have been several million years long, the underground waters formed a network of subterranean galleries set along fractures and layer joints. With the passing of time, the opening of new fractures during the faulting events and the deepening of the canyon helped the transfer of the flow through different and deeper courses, with the activation of springs located at lower altitudes. The change of the drainage network implied leaving old courses, activating new fractures and widening them to form karst ducts.*

*At the present time, then, we may find several generations of karst forms, the relative age of which is nevertheless difficult to detect. The most ancient generation seems to consist of hydrothermal cavities, located in the southern section of the studied area. As mentioned above, they are relicts of phreatic caves re-elaborated by percolation waters and then brought to light by surface erosion. Such caves might be related to the late phases of the Tertiary magmatic activity that affected the area, and therefore be very ancient.*

*For sure their morphological features require a very different situation from the present one, preceding the deepening of today's hydrographic network.*

*With the passing of time, the initial plain was subdivided by the canyons into several sectors and its extension decreased sideways due to the erosion in the valleys that collected part of the surface waters. Along with the development of the deep karst network, karst dissolution became progressively less effective on the highland surface, transferring its erosive power to the underground and preserving a fairly integral top surface. In any case, the dissolution action that abundantly took, and takes, place on the levelling surface lowered the original surface significantly. As a consequence, the topography of the present highland does not correspond perfectly to the original plain, and the surface and subterranean shapes of the first surface karstification phase have not survived, other than as relicts conserved in limited sectors.*

*Trace of the progressive lowering of the base level may be found in the phreatic origin ducts located along the canyon walls, mainly between 1500 and 1600 m of altitude; they represent segments of an ancient network that fed paleo-springs, deactivated due to the following lowering of the base level.*

*Also the vertical caves explored on the highland (absorption points of rain water and transit ducts to the deeper zones) may belong to different generations and some of them are still rather active, despite the scarcity of rain feeding the underground network. At present, the decrease in the feeding of the karst network, due to the passage to a drier climate that took place around 10,000 years ago, has reduced the entity of karst dissolution and slowed down the development of the underground network. Furthermore, the progressive washing away of the soils present on the top plateau, together with the abundant vegetable material, is leading to the obstruction of the karst cavities. This seems to be one of the main reasons that have kept us from reaching the deeper parts of the karst systems.*

#### *Expedition members and acknowledgements*

*Claudio Arbore, Giovanni Badino, Alessandro Beltrame, Tullio Bernabei, Gaetano Boldrini, Andrea Bonucci, Pasquale Calella, Corrado Conca, Italo Giulivo, Alicia Davila, Elizabeth*



insieme ad abbondante materiale vegetale, all'occlusione delle cavità carsiche. Questo sembra essere uno dei motivi principali che, al momento, non ci hanno permesso di accedere alle parti più profonde dei sistemi carsici.

#### Partecipanti e ringraziamenti

Hanno partecipato: Claudio Arbore, Giovanni Badino, Alessandro Beltrame, Tullio Bernabei, Gaetano Boldrini, Andrea Bonucci, Pasquale Calella, Corrado Conca, Italo Giulivo, Alicia Davila, Elizabeth Gutierrez Fregoso, Antonio De Vivo, Martino Frova, Italo Giulivo, Gino Gulli, Francesco Lo Mastro, Luca Massa, Ivan Martino, Marco Mecchia, Fabio Negroni, Paolo Pettrignani, Leonardo Piccini, Alessio Romeo, Marco Salogni, Francesco Sauro, Giuseppe Savino, Gianni Todini, Ugo Vacca.

Il Progetto Juquila è patrocinato in Italia da: Società Speleologica Italiana, Istituto Italiano di Speleologia, Club Alpino Italiano; in Messico da: Aviacsa, Semarnat (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) e da Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán.

*Gutierrez Fregoso, Antonio De Vivo, Martino Frova, Italo Giulivo, Gino Gulli, Francesco Lo Mastro, Luca Massa, Ivan Martino, Marco Mecchia, Fabio Negroni, Paolo Pettrignani, Leonardo Piccini, Alessio Romeo, Marco Salogni, Francesco Sauro, Giuseppe Savino, Gianni Todini, Ugo Vacca.*

*The Juquila Project is sponsored in Italy by: Società Speleologica Italiana, Istituto Italiano di Speleologia, Club Alpino Italiano; In Mexico by: Aviacsa, Semarnat (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales), Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán.*

### CANYON JUQUILA

Nome / Name	UTM E (14) (NAD 1927)	UTM N (NAD 1927)	Quota / Altitude m slm /asl	Dislivello Difference in level m	Sviluppo Development m
Puente Colosal (PC)	683060	1984840	1760	- 37	255
JQ - 1	684200	1984980	1580	- 4, + 10	15
JQ - 2	683950	1985850	1550	+ 10	30
JQ - 3	683900	1985900	1550	+ 2	23
JQ - 4	683780	1985800	1580	+ 16	75
Cueva Dos Ojos (DO)	684538	1990564	1495	-25, +30	1020
Grotta-Sorgente (GS)					ca /approx 70
Grande Traforo (GT)					ca /approx 100

### ALTOPIANO IN SINISTRA IDROGRAFICA (Cerro Verde – Cerro Tequelite) LEFT HYDROGRAPHIC SIDE HIGHLAND

Nome / Name	UTM E (14) (NAD 1927)	UTM N (NAD 1927)	Quota / Altitude m slm /asl	Dislivello Difference in level m	Sviluppo Development m
MZ-1	678160	1991470	2630	- 10	13
MZ-2	678393	1992460	2680	- 37	50
MZ-3	678980	1993585	2665	- 7	10
MZ-4	6781760	1994636	2480		
MZ -5	678240	1992885	2635	- 11	15
TK-1	678345	1987080	2665	- 5	9
TK-2	678375	1987100	2665	- 7	11
TK-3	678420	1987040	2660	- 13	20
TK-4	679620	1987220	2605	- 11	25
TK-5	679785	1987455	2735	- 21	25
TK-6	680955	1988035	2690		
TK-7	679560	1987615	2620	- 8	10
TK-8	679525	1987460	2625	- 19	25
TK-9	679200	1987439	2695	- 2	8
TK-10	677980	1986375	2515	- 6	15
JQ - 5	678200	1982350	2600	- 20	



*ALTOPIANO IN DESTRA IDROGRAFICA (Cerro Gramado – Cerro Grande – Llano la Cumbre)*  
*RIGHT HYDROGRAPHIC SIDE HIGHLAND*

Nome / Name	UTM E (14) (NAD 1927)	UTM N (NAD 1927)	Quota Altitude m slm/asl	Dislivello Difference in level m	Sviluppo Development m
Pozo de la Loma (CG-1)	686045	1980035	2420	- 10	13
Pozo Canada Pericon (CG-2)	686805	1983650	2300	- 6	10
Sotano de la Laguna Prieta (CG-3)	687555	1985460	2490	- 280	330
Pozo de la Vaca Ladra (CG-4)	688335	1985380	2455	- 134	180
Pozo de la Mosca Molesta (CG-4)	688070	1986344	2525	- 35	50
Pozo el Timbre (CG-6)	688825	1983195	2370	- 10	20
Pozo el Campamento (CG-7)	689270	1983925	2320	- 17	25
Pozo de la Cañada de la Cruz (CG-8)	687500	1983650	2405	- 7	10
Cueva el Cacalote (TSA10)	688775	1980663	2255	-25	60
Pozo de la Laguna Primera (TSA11)	688710	1980085	2230	-42	50
Pozo Terrero San Antonio 1 (TSA1)	690847	1980980	2256	-14	25
Pozo Terrero San Antonio 2 (TSA2)	690853	1980990	2255	-6	8
Pozo Terrero San Antonio 3 (TSA3)	690832	1980983	2255	-22	37
Sumidero San Antonio (TSA4)	690860	1980580	2190	-23	100
Pozo el Palmones (TSA5)	691058	1980343	2220	-18	30
Sotano la Calavera (TSA6)	691435	1980020	2260	-77	100
Cueva Destendido 1 (TSA7)	691273	1980168	2220	-52	60
Cueva Destendido 2 (TSA8)	691345	1980148	2227	-10	20
Cueva Destendido 3 (TSA9)	691273	1980165	2213	-6	18
Cueva Majada Vieja 1 (TSA12)	692097	1981328	2182	-4	7
Cueva Majada Vieja 2 (TSA13)	692100	1981340	2185	-8	12
Pozo C P3 (TSA14)	690955	1981120	2300	-28	52
Cueva Perfecto 3 (TSA15)	690775	1981275	2265	-39	172
Sotano Rodeo 1 (IX1)	692420	1976625	2200	-135	210
Sotano Rodeo 2 (IX2)	692414	1977000	2230	-15	18
Cueva de la Loma del Muerto (IX3)	694270	1978930	2130	+5	70

*Bibliografía/Bibliographic references*

- Bernabei T., De Vivo T., Piccini L., “La gola verde dentro il Canyon di Juquila”. *Speleologia*, 51, Soc. Spel. Ital., 2005: p. 46-57.
- Dávalos-Álvarez O.G., “Evolución tectónica cenozoica en la porción Norte de la falla de Oaxaca”. Tesis en geología estructural y tectónica - Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Juriquilla, Querétaro, 2006: 123 pp.
- De Vivo A., « Juquila: un diario ». *Kur*, 1, Ass. La Venta, 2003a; p. 26-31.
- De Vivo A., “Il Canyon di Juquila”. *Suppl. a Kur*, 1, Ass. La Venta, 2003b, 3 pp.
- Urcid J., “Sacred landscapes and social memory: the Nuiñe inscriptions in the Ndaxagua natural tunnel”, Tepelmeme, Oaxaca. *Report to FAMSI*, 2004: 62 pp.
- Mossman, R.W., Viniestra, F., “Complex fault structures in Veracruz Province of Mexico”. *The Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 60, 1976: p. 379-388.
- Nieto-Samaniego A. F., Alaniz-Álvarez S. A., Silva-Romo G., Eguiza-Castro M. H., Mendoza-Rosales C. C., “Latest Cretaceous to Miocene deformation events in the eastern Sierra Madre del Sur, México, inferred from the geometry and age of major structures”. *Geological Society of America Bulletin*, v. 118, n. 112, 2006: p. 1868-1882.