

LAS CUENCAS SEDIMENTARIAS DE EDAD CUATERNARIA EN TUCUMAN. TUCUMAN, ARGENTINA

Alfredo Tineo¹

Resumen - En la Provincia de Tucumán se han identificado (4) cuatro cuencas sedimentarias de edad cuaternaria, con una superficie del orden de los 10.000 Km², sobre una superficie total del territorio provincial de 22.500 Km².

Es en estas áreas donde se desarrolla la totalidad del sistema productivo de la provincia; de allí la necesidad fundamental de conocer sus características geológicas en superficie y su desarrollo en el subsuelo. La construcción de todos los centros poblados de la Provincia y sus principales obras de infraestructura están asentados en sedimentos cuaternarios, salvo algunos caminos de montañas o diques.

La formación de suelos aptos para agricultura y la explotación ganadera, la explotación de áridos para la construcción, el desarrollo de los cauces superficiales de agua y las importantes reservas de agua subterránea, están condicionadas por las características sedimentarias de las rocas de edad cuaternarias que cubren casi el 50% de la superficie provincial.

El Cuaternario marca un cambio fundamental en la geografía de la Provincia, con el levantamiento de los sistemas montañosos iniciados a fines del Terciario y los cambios climáticos asociados, permitieron delinear la fisonomía actual del territorio provincial.

En el trabajo se analiza la geología de las cuencas sedimentarias cuaternarias, su extensión areal y el importante desarrollo en profundidad donde se encuentran los reservorios de agua subterráneas de la Provincia, a través del análisis de perforaciones profundas y prospección geofísica.

Palabras clave - Cuencas, Cuaternarias, Isopaquico

¹ Cátedras de Hidrogeología y Geología de Combustibles. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo- U.N.Tucumán. INSUGEO-CONICET, Miguel Lillo 205 - (2000) San Miguel de Tucumán (R.A.), Email: atineo@csnat.unt.edu.ar

INTRODUCCION

Dentro del territorio provincial, se han determinado (4) cuatro cuencas sedimentarias de edad cuaternaria que cubren áreas donde se desarrollan las actividades económicas de la provincia.

Estas importantes depresiones originadas como consecuencia de los movimientos tectónicos más recientes, iniciados a fines del Terciario y que continuaran en el Cuaternario, permitieron la acumulación de sedimentos con espesores que en parte superan los 300 m.

El desarrollo de esta secuencia sedimentaria está controlada en sus flancos por unidades positivas constituidas por Sierras Pampeanas en la zona oeste, (Sa. de Quilmes, Sas. del Aconquija y Cumbres Calchaquíes) y por Cordillera Oriental y Sierras Subandinas en el sector Noreste y se apoya sobre sedimentitas terciarias en un plano de discordancia regional, resultado de la fase orógenica andina, que provocó grandes cambios estructurales al finalizar el terciario.

En trabajos publicados recientemente en el libro "Geología de Tucumán" 1998. Varios autores tratan el tema de el cuaternario en Tucumán, en los capítulos de tectónica, (Mon, R. et al) Paleontología (Powell, J. et. a) Cuaternario (Sayago et. al), Hidrogeología (Tineo, et al) con las menciones de los antecedentes existente a la fecha.

En este trabajo nos proponemos adelantar alguna información sobre los espesores reconocidos hasta ahora en base a perforaciones para explotación de aguas subterráneas en todo el ámbito provincial, con lo cual se podrá realizar una revalorización del desarrollo de la sedimentación en el período que nos ocupa.

Los modelos tectónicos que controlaron los bordes de las cuencas y la edad determinada, fundamentalmente para el Pleistoceno alto y el Holoceno en base a restos fósiles encontrados, fueron analizados en la publicación mencionada.

El análisis de la sedimentación cuaternaria en las cuencas y sus diagnosis paleoambiental se ve dificultada debido a la falta de afloramientos de los niveles del Pleistoceno inferior y medio.

La descripción litológica de la columna reconocidas, se basan fundamentalmente en estudios de recortes proveniente de perforaciones, muy distanciadas entre si, donde se pueden determinar composición y textura, pero es muy difícil el estudio de estructuras sedimentarias y el contenido fosilífero en las secciones más profunda.

El estudio de paleocorrientes y la evaluación paleoclimática, relacionados con la extensión de la cuenca, espesor sedimentario y modelo tectónico de la cuenca nos permitirá una reconstrucción paleogeográfica de la misma.

La cuenca occidental ocupa la zona de los valles de Santa María, Tafí del Valle y Tapia-Trancas con depósitos clásticos en valles estrechos, con una distribución más restringida de las unidades.

La cuenca oriental que ocupa la zona de piedemonte y la llanura del este, con un modelo deposicional más extenso, con un importante control estructural y borde activo con gradación clástica gruesa, con variaciones litológicas y continuidad lateral en una paleogeografía atenuada al este donde dominaron los procesos subaéreos, con acumulación de sedimentos loesicos que traslapan la secuencia hacia el este.

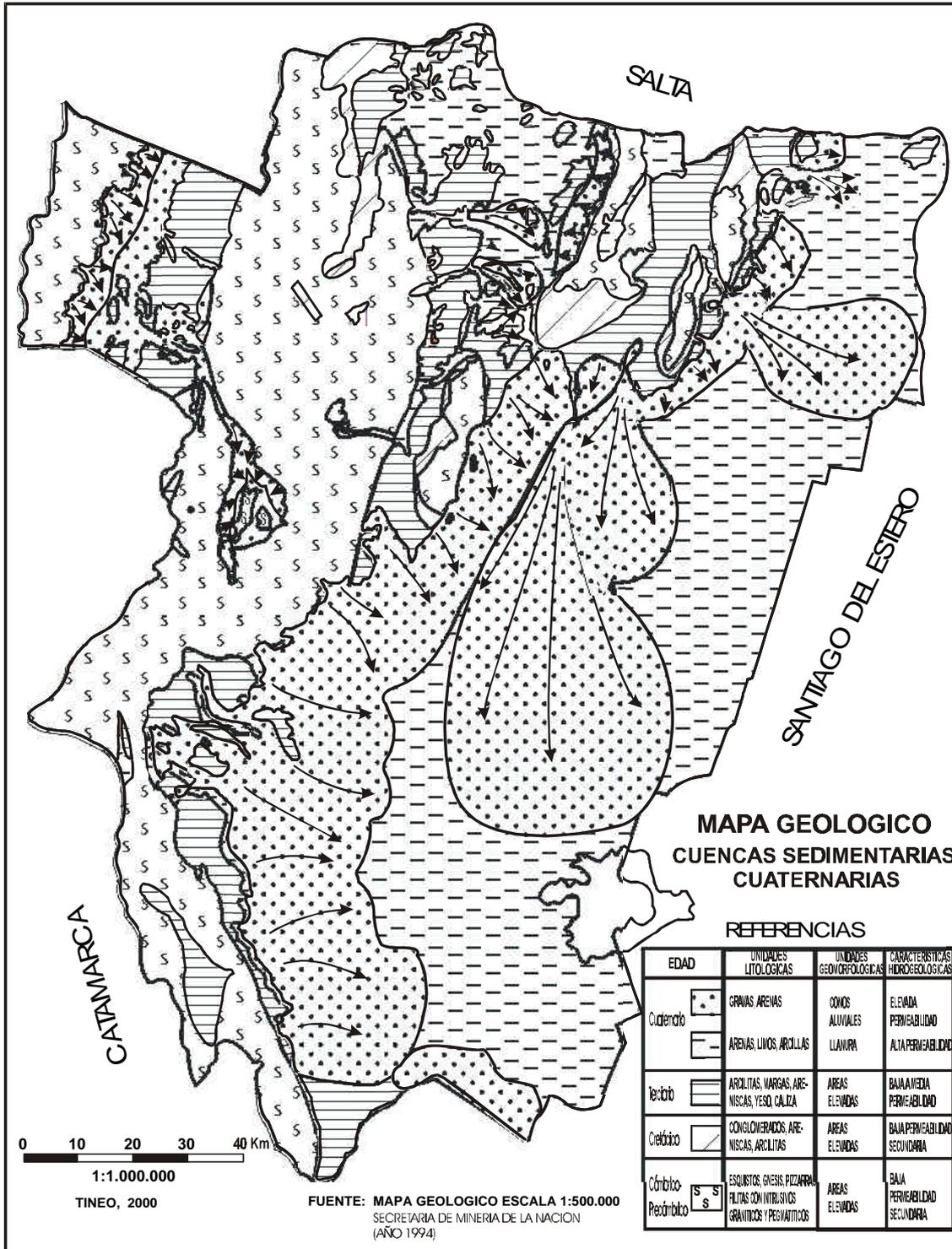


Fig. N° 1. Mapa Geológico

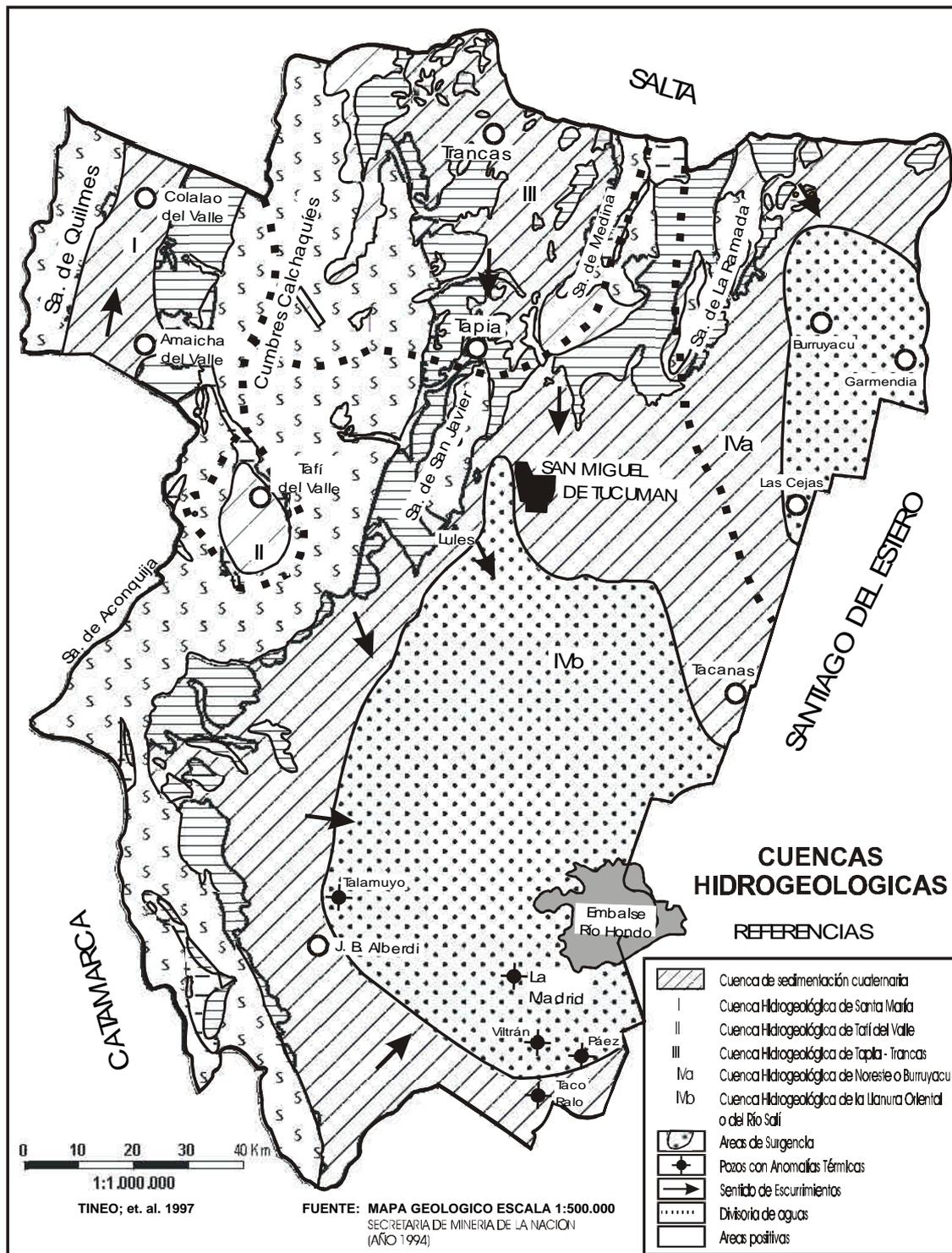


Fig. Nº 2. Mapa Hidrogeológico

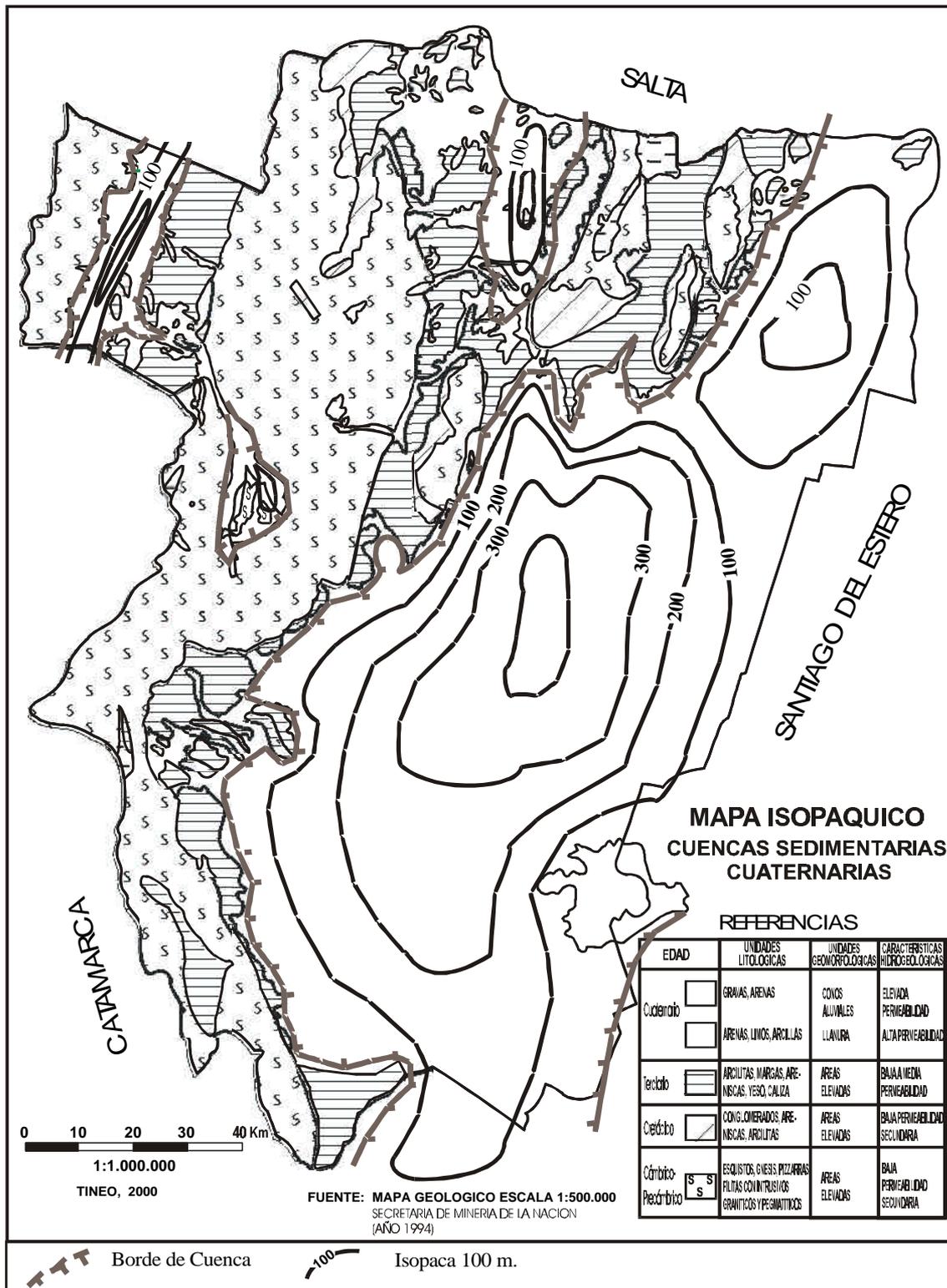


Fig. Nº 3- Mapa Isopaquico

1- CUENCA DEL VALLE DEL RÍO SANTA MARÍA

Ubicada en el sector oeste de la provincia, está limitada por las Sierras de Quilmes al oeste y las Sierras del Aconquija-Cumbres Calchaquíes al este.

Los Afloramientos de sedimentos cuaternarios se desarrollan a lo largo de el valle, con una extensión en territorio tucumano de 30 Km., de largo con un ancho variable de 10 Km. a 20 Km. lo que hace una superficie total del orden de los 450 Km².

ESTRATIGRAFÍA Y MODELO SEDIMENTARIO.

Antes de la depositación de la secuencia cuaternaria, los sedimentos de edad terciaria infrayacentes sufrieron un proceso de plegamiento como consecuencia del levantamiento en bloques de los bordes de las Sierras Pampeanas. Así comprimida la secuencia terciaria, fue en parte levantada, ello trajo aparejado la erosión de la sección superior. En esa etapa se instaló la cuenca de edad cuaternaria, en contacto en los bordes con rocas del basamento antiguo y en el sector bajo suprayacen a sedimentos de edad terciaria.

El modelo estructural del valle con el bloque elevado de las Sierras de Quilmes, presenta fallas inversas que cabalgan sobre los depósitos terciarios, con un frente abrupto que pone en contacto el basamento con la serie sedimentaria del cuaternario. En ese sector las características litológicas de los sedimentos cuaternarios son típicos depósitos de conos aluviales, con predominio de materiales psefíticos en el ápice, con granulometría decreciente hacia la zona del río Santa María, donde se interdigitan sedimentos limo-arcillosos.

El aporte principal de esta secuencia es desde el oeste con una participación subordinada de materiales finos en la sección distal, con aporte del este y sur.

Allí se destacan los conos aluviales de El Paso, Quilmes, Talapazo y Colalao del Valle entre los principales cuya parte distal sobrepasaría en profundidad los límites del cauce actual del río Santa María, por ello es que se observan áreas de surgencia natural en perforaciones realizadas en Incalilla. Consideramos que este fenómeno se repite en la zona de Colalao del Valle.

Los aportes de sedimentos del sector oriental son menores, salvo la zona de Amaicha del Valle donde se observa un relleno aluvional grueso, con espesores del orden de los 100 m. La serie sedimentaria de edad terciaria adosaban a las Sierra de Aconquija y Cumbres Calchaquíes, aportó sedimentos finos al centro del valle y en su parte alta, está coronado por niveles aterrazados con grandes rodados provenientes del macizo vecino.

En síntesis las características litológicas de los sedimentos cuaternarios presentan en el borde occidental materiales gruesos en bloques y grandes rodados, que van degradando hacia la parte baja en gravas y arenas gruesas, con predominio de clastos de

metamorfitas gris oscura y cuarzo. En el subsuelo se han identificado niveles limo-arcillosos pardos intercarcalados en la parte media y distal de los conos aluviales.

En la sección superior se observan además arenas fluviales aportadas por el río Santa María y sedimentos eólicos.

Los espesores de las sedimentitas de edad cuaternaria sobrepasan los 200 m. de profundidad en la parte más profunda del valle, donde se han realizado varias perforaciones para explotar los excelentes reservorios de agua subterránea.

No se han reconocido restos fósiles en sedimentos cuaternarios del valle, aunque se han atribuido edades desde el Pleistoceno inferior en base a dataciones en cenizas volcánicas.

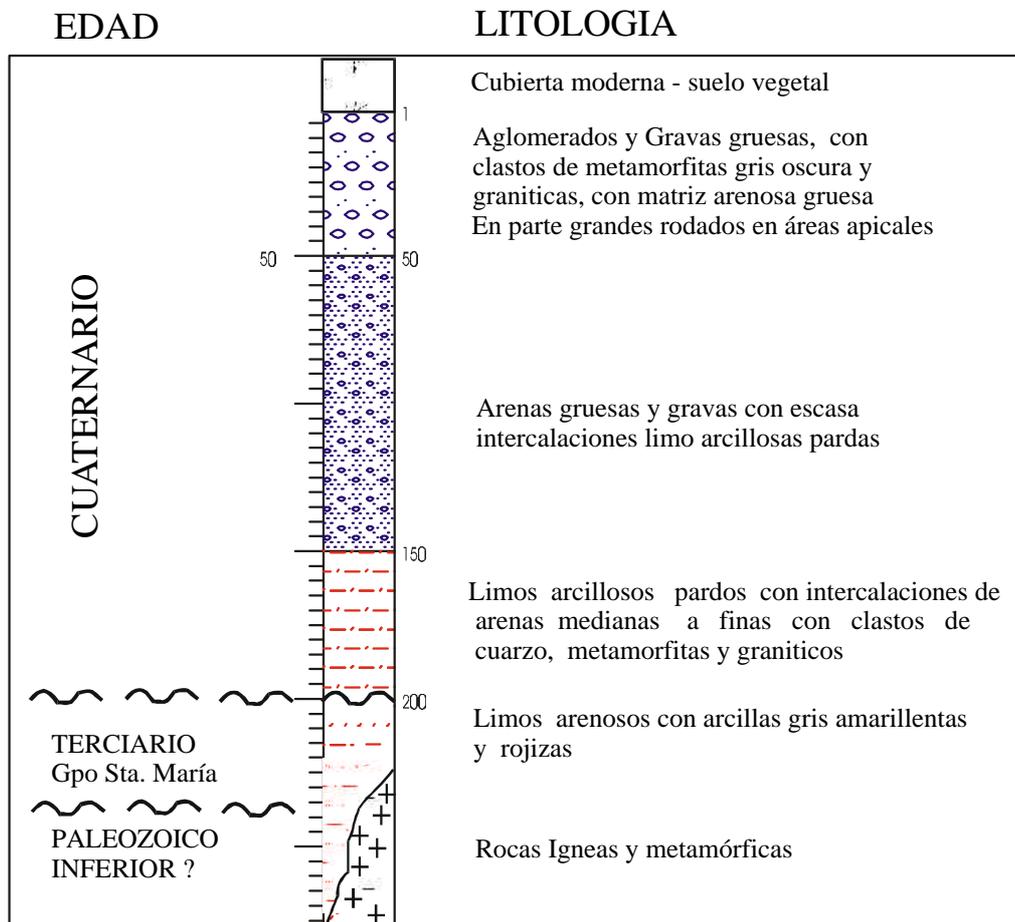


Fig.Nº 4. Columna litológica integrada

2- CUENCA DE TAFÍ DEL VALLE

El relleno de sedimentos cuaternarios se encuentra en una depresión tectónica de rumbo general noroeste-sudeste, en ambiente de Sierras Pampeanas, con afloramientos de rocas de Basamento Cristalino que limitan el valle.

La cubierta cuaternaria tiene una extensión del orden de los 400 Km². y se caracteriza por un relleno de material aluvial grueso en la base, proveniente de la acumulación de los conos aluviales de las Sierras de Mala-Mala en el sector norte y en la zona de El Mollar. El relleno del valle se complementa con importantes acumulaciones de loes y Limos loesicos que fueron atribuidos al Pleistoceno alto y Holoceno por Sayago et al (1998).

Estudios geofísicos, mediante la aplicación de métodos geoeléctricos realizados en el año 1995 (Tineo et al) para la exploración de aguas subterráneas, determinan espesores del orden de los 200 m. en la zona baja del valle.

Los conos aluviales del borde oriental de las Cumbres de Mala-Mala, paralelos a la Ruta N° 307 de acceso a Tafí del Valle, entre le Embalse de La Angostura y la localidad de Tafí del Valle, presentan depósitos aluviales con grandes rodados en la zona apical y granometría decreciente hacia el fondo del valle, allí se realizaron 2 (dos) perforaciones para la explotación de aguas subterráneas a profundidades de 140 y 180 m., sin haber logrado atravesar en su totalidad los niveles permeables del cuaternario bajo.

Los conos aluviales del río Blanquito y La Quebradita, ubicados al norte se han desarrollados con menor potencia y la parte distal sobrepasa la ciudad de Tafí del Valle, en este ambiente los sondeos eléctricos verticales (SEV) indican también espesores del orden de los 200 m., aunque en su sección inferior existen niveles de baja conductividad que indicarían la existencia de sedimentos finos de baja permeabilidad.

El cono del río Blanco-río El Churqui tiene características similares a los anteriores, con un excelente desarrollo y drena una importante cuenca imbrífera lo que tiene particular interés por la posibilidad de acumulación de aguas subterráneas.

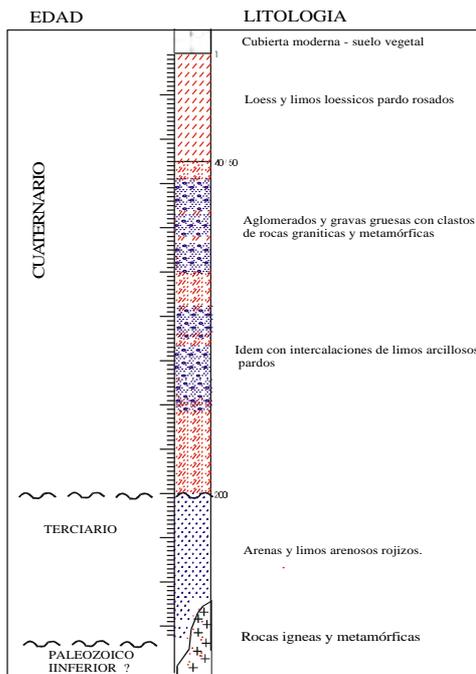


Fig. Nº 5 . Columna litológica integrada

3. CUENCA DE TAPIA-TRANCAS

La cuenca sedimentaria de Tapia-Trancas se ubica en el sector centro-norte de la provincia de Tucumán, tiene una extensión del orden de los 1000 Km²., desde la zona del Dique Celestino Gelsi al sur, hasta el límite con la provincia de Salta al norte, el límite oeste está dado por las elevaciones de las Cumbres Calchaquíes, mientras que en el borde oriental se encuentra la Sierra de Medina.

El mayor desarrollo de la sedimentación cuaternaria se encuentra en la zona más baja del valle, donde supera los 200 m. de espesor en perforaciones realizadas en Benjamín Paz y Tranca. Existen otras áreas con buen desarrollo influenciadas por la descarga de importantes cauces fluviales, Vipos, Choromoro, Acequiones.

También es de destacar los importantes espesores determinados por geofísica y con perforaciones, en la zona de Zarate – Leocadio Paz, aparentemente con depósitos fluviales de un antiguo brazo del río Acequiones, con depósitos cuaternarios de 150 metros de espesor.

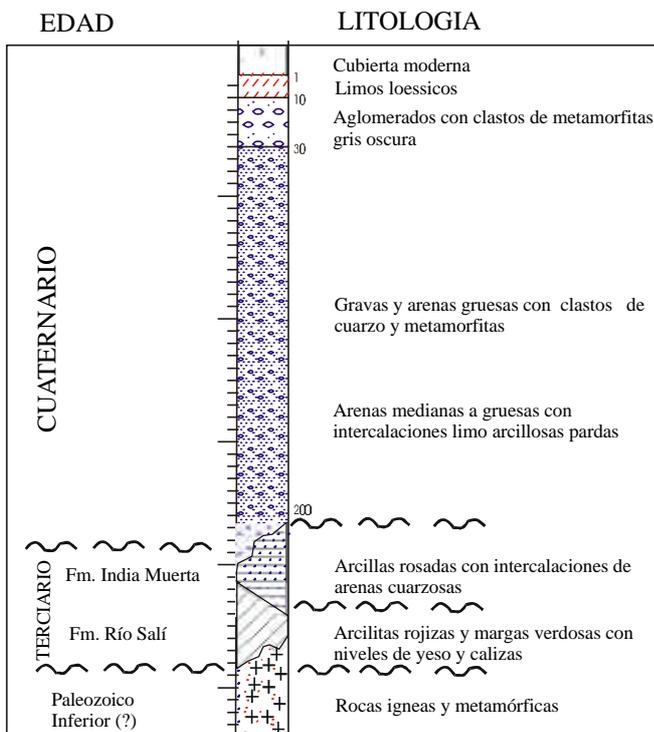


Fig. Nº 6. Columna litológica integrada en base a perforaciones.

4. CUENCA DE LA LLANURA ORIENTAL

La Cuenca de la Llanura Oriental es la más importante de las cuencas hidrogeológicas del territorio tucumano y una de las cuencas más importante del país, abarcando la Provincia Hidrogeológica denominada Tucumano- Santiagueña. Su cuenca imbrífera ocupa una extensión de 17.000 km², cubriendo casi el 77 % del territorio provincial. La cubeta sedimentaria cuaternaria donde se encuentra una de las cuencas artesianas más importantes, ocupa una superficie de 8.000 km². Se desarrolla desde el borde oriental de la zona montañosa, que se extiende de sur a norte en el territorio provincial, hasta sobrepasar el límite con la provincia de Santiago del Estero al este, donde continúa en profundidad, desde el límite norte con la provincia de Salta hasta el límite sur con la provincia de Catamarca.

Dentro de este gran ambiente sedimentario, es donde se localiza el mayor desarrollo de los niveles cuaternarios, con más de 400 m de espesor, determinados por geofísica.

Se distinguen importantes variaciones en el subsuelo que permiten hacer una división de la Llanura Oriental en dos cuencas hidrogeológicas: La Cuenca del Nordeste o de Burruyacu y la Cuenca del Río Salí.

CUENCA DEL NORDESTE O DE BURRUYACU

La cuenca hidrogeológica de Burruyacu está ubicada en el sector noreste de la provincia y se extiende desde la sierra de La Ramada y del Campo hacia el este, hasta sobrepasar el límite con Santiago del Estero y hacia el sur, su límite llega hasta la prolongación de la sierra de La Ramada en profundidad con el espolón de Tacanas, que divide las características estructurales del subsuelo. Este máximo estructural en la llanura tucumana, tiene una gran importancia en el control del flujo subterráneo y está orientado hacia el extremo norte de las sierras de Guasayán, con cuya estructura podría estar asociado en profundidad.

En el límite oriental de la cuenca, afloran rocas del basamento con escasa permeabilidad secundaria que permite un rápido escurrimiento hacia la llanura del este. En la zona de borde afloran sedimentos terciarios, los cuales se desarrollan hacia la zona de la llanura vecina en profundidad, formando el substratum de la llanura ondulada que se extiende hasta sobrepasar la ruta provincial N° 319, desde Benjamín Aróz hasta Cañete y Tacanas hacia el sudeste. En este ambiente los sedimentos cuaternarios presentan buen espesor, con niveles conglomerádicos en antiguos glaciares, en la zona de borde, disminuyendo la granometría hacia la llanura del este y sur de la cuenca.

Sobre la base de perforaciones realizadas recientemente y a estudios geofísicos, se ha determinado la existencia de sedimentos de edad cuaternaria, con niveles constituidos por arenas y gravas de buen espesor, en la zona de La Ramada, Benjamín Aróz y El Azul.

En la zona se destaca el cono aluvial del río Tajamar o Cajón que permitió la depositación de niveles permeables portadores de agua subterránea en un amplio abanico dentro de la llanura.

Hacia el este se encuentra la llanura baja, cuyos límites coinciden en líneas generales para la zona de surgencia. Nuevamente se encuentran en profundidad sedimentos cuaternarios de escaso espesor y granometría fina, el cual se hace difícil diferenciar de las sedimentitas pliocenas más profundas.

Se ha explotado agua subterránea en la zona con diferentes condiciones hidrogeológicas de acuerdo a la ubicación de las perforaciones con relación al sector de la cuenca que se ha investigado. La morfología de la cuenca es indicativa de las características hidrogeológicas más sobresalientes; de esta manera, en la zona del borde oriental y sur de la cuenca, se encuentran acuíferos profundos como en Benjamín Aróz, Los Pempas, Taruca Pampa, El Diamante y La Ramada, con niveles por debajo de los 30 m bajo boca de pozo, con excelentes resultados en cuanto a caudal y buena calidad,

utilizados para riego de citrus y granos. En la zona nororiental, que coincide con la zona de surgencia, se encuentran acuíferos explotables por debajo de los 200 m de profundidad bajo boca de pozo en arenas cuarzosas finas, posiblemente de edad pliocena con niveles positivos y de buena calidad. Esta zona se extiende en el subsuelo hasta sobrepasar el límite interprovincial con Santiago del Estero.

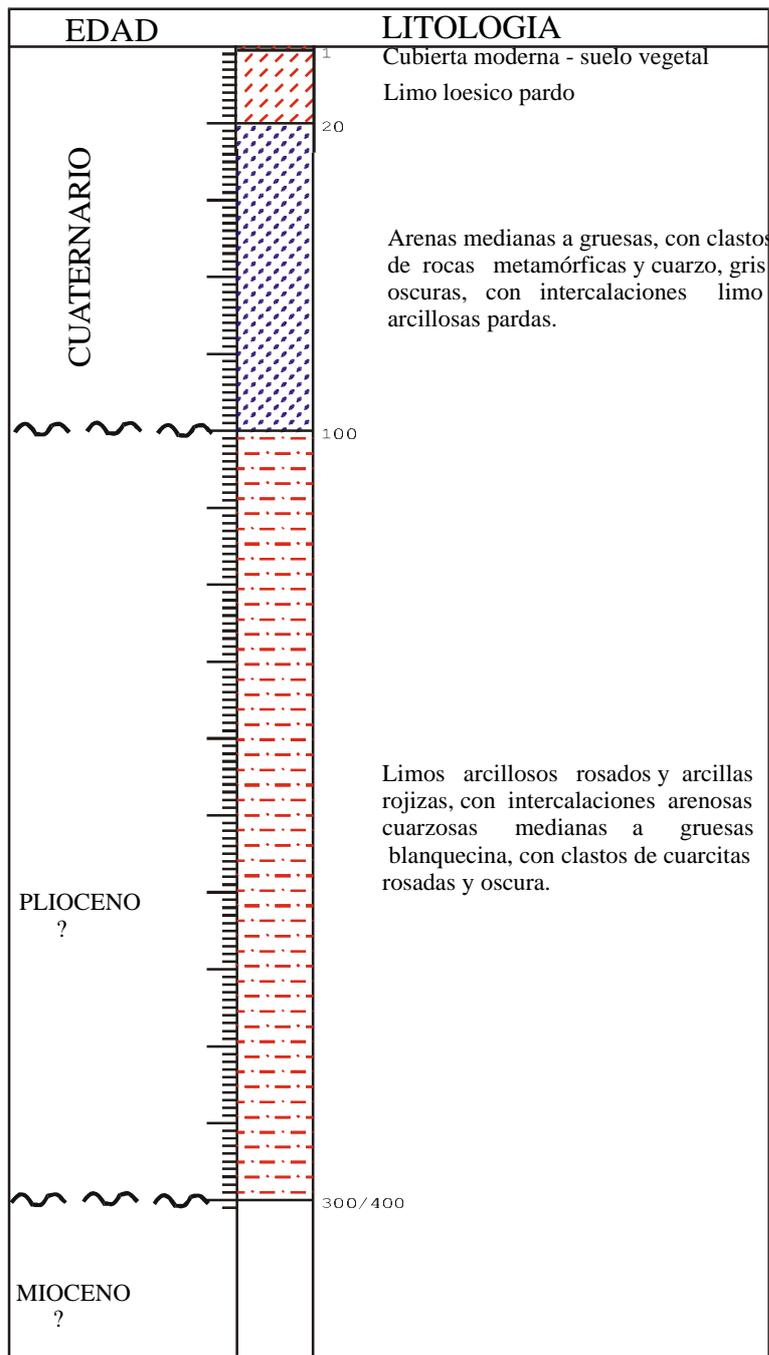


Fig. N° 7. Columna litológica integrada en base a perforaciones

CUENCA DEL RÍO SALÍ

Comprende el área cubierta por la llanura tucumana desde la zona pedemontana de los bordes del macizo central hacia el este, hasta el límite con la provincia de Santiago del Estero; su límite norte, estaría marcado por el Espolón de Tacanas y el sur, por la provincia de Catamarca. Cubre de esta forma la zona de máximas precipitaciones y con el mayor desarrollo de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, conformando una de las cuencas artesianas más importantes del país.

Las lluvias alcanzan hasta los 2.000 mm anuales en la zona de la alta cuenca de Concepción-Monteros, decreciendo hacia el límite con la provincia de Santiago del Estero hasta los 600 mm anuales.

El borde oriental de la cuenca está marcado por los afloramientos de basamento metamórfico desde la altura de San Miguel de Tucumán hasta Rumi Punco al sur, con escasos afloramientos de sedimentitas cretácico-terciarias adosados al macizo montañoso y una cubierta cuaternaria bien desarrollada que, en el subsuelo contiene los principales reservorios acuíferos de la cubeta.

La sección superior está formada por una cubierta moderna con desarrollo de suelos limo-arenosos y paquetes limo-loésicos, con espesores variables entre 4 y 30 m. Le continúan niveles muy permeables constituidos por gravas gruesas a conglomerados que disminuyen su granulometría hacia el este y es donde se encuentran los niveles acuíferos altos. El cuaternario basal, está constituido por gravas y arenas intercaladas con material limo arcilloso que conforman los acuíferos artesianos en la zona.

Desde la zona de borde presenta una serie de conos aluviales de gran magnitud que caracterizan a esta cuenca, siendo los principales: el cono aluvial del río Salí, el cono de Lules y desde allí hacia el sur, hasta Alberdi - La Cocha, una serie de conos coalescentes de las cuencas afluentes del río Salí.

El cono aluvial del río Salí fue definido recientemente como uno de los reservorios de aguas subterráneas más importantes de la provincia. Se extiende desde la latitud de la ciudad Capital y Banda del río Salí hacia el sudeste, con una superficie del orden de los 2.000 Km².

La zona apical, ubicada entre la Banda del Río Salí y San Andrés, presenta niveles de grava gruesa a conglomerádica con rodados de metamorfitas gris oscura y escasos niveles limo-arcillosos. Tiene espesores variables entre 70 y 150 m, con acuíferos de buen rendimiento y buena calidad.

La zona media se ubica a la altura de El Bracho-Mancopa hasta Aguas del Azul y Cañada de Viclos, con espesores que superan los 300 m de profundidad. Se caracteriza

por niveles de arenas gruesas y gravas de rocas metamórficas gris oscura, con intercalaciones limo-arcillosas rosadas, que le confieren un confinamiento. En esta zona se han determinado niveles de surgencia natural por debajo de los 80 m de profundidad. En El Bracho se ha realizado una perforación a 300 m de profundidad con una producción de 220 m³/h por surgencia natural; En la Cañada de Viclos a 200 m de profundidad se ha explotado un acuífero con 100 m³/h de surgencia natural.

En la zona distal del cono aluvial, los sedimentos son más finos, determinándose una zona de surgencia natural, aunque con menor caudal en La Encrucijada, Campo Azul y Los Herrera.

En toda la zona que abarca el gran cono aluvial del río Salí, se desarrolla una importante actividad agrícola y una elevada densidad de población, lo que permitirá en el futuro un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos.

El borde oriental de las sierras de San Javier presenta una serie de abanicos aluviales con buen desarrollo desde Tafí Viejo hasta Lules. Los sedimentos gruesos de estos abanicos, cubren una importante superficie en el área pedemontana y se extienden hacia el este, alcanzando la depresión del Bajo Hondo, con intercalaciones limo-arenosas y limo-arcillosas en la zona distal de los mismos. En la zona este complejo supera los 200 m de espesor, con niveles de surgencia natural.

Hacia el sur, el cono aluvial del río Salí se confunde con el ambiente de llanura donde los aportes de los conos provenientes de las sierras del oeste, acumulan sedimentos gruesos formando excelentes acuíferos con una muy buena recarga producida por la infiltración de las lluvias y de los ríos que circulan hacia el río Salí.

A partir del río Lules, una importante cantidad de afluentes del río Salí caracterizan la región con sus aportes hídricos, destacándose la gran cuenca del Colorado-Balderrama, Seco, Gastona, Medina y Marapa.

En este ambiente la presencia de horizontes permeables en profundidad y con la recarga antes mencionada, presentan las condiciones más adecuadas para la explotación de aguas subterráneas.

En la zona más baja de la cuenca, se observan problemas de salinización de suelos como consecuencia del aumento en el nivel freático en épocas estivales, debido a un drenaje deficiente por la escasa pendiente de la llanura.

La cuenca sedimentaria profunda tiene un buen desarrollo, habiéndose comprobado por métodos sísmicos de refracción realizados por Y.P.F. en la zona de Atahona, una profundidad de 2.500 m para el basamento, disminuye hacia el este, siendo la sierra de Guasayán en la provincia de Santiago del Estero, el contrafuerte oriental de la cuenca.

Las aguas obtenidas en este ambiente son en general de buena calidad, aumentando la peligrosidad salina hacia el este y con muy buenos caudales.

En el sector sur de la provincia, la cuenca hidrogeológica cambia sus características fundamentales, a partir del río Marapa hasta el límite con la provincia de Catamarca. Las pendientes predominantes en sentido oeste-este en la zona central, cambian con una dirección que varía hacia el noroeste y norte y está influenciada por los afloramientos de las rocas del basamento de las cumbres de Balcozna, Narvárez y Portillo y la sierra de Ancasti en su extremo norte. En el borde de las cumbres mencionadas, afloran sedimentos limo-arcillosos de edad terciaria y que se manifiestan en la zona pedemontana con suaves ondulaciones cubiertas con niveles cuaternarios de escaso espesor; Estos niveles cubren gran parte del área con mayor desarrollo en profundidad hacia la zona baja de la llanura.

En el extremo sur, la cuenca recibe los aportes de los ríos Huacra-San Francisco, El Abra y Ovanta, que nacen en territorio catamarqueño y forman importantes depósitos en abanicos que sobrepasan el límite con Tucumán, alcanzando la ruta N° 334 que une La Cocha con Taco Ralo.

Se han determinado grandes reservorios de agua en la zona de Palancho, Colonia Nicolás Avellaneda y Los Vázquez, con caudales específicos entre 30 a 50 m³/h/m y agua de buena calidad que se utiliza para riego.

Hacia el norte, en la zona de la ruta provincial N° 334 que une La Cocha con Taco Ralo, mejoran las condiciones físicas de los acuíferos, encontrándose perforaciones con buena calidad y con buenos rendimientos, en los acuíferos profundos. Los niveles freáticos son en general de mala calidad.

Es de destacar que en la llanura tucumana antes estudiada, se encuentran niveles acuíferos con anomalías térmicas importantes que caracterizan las aguas profundas de la zona.

Aunque no se cuenta con un relevamiento geotérmico completo, se pueden señalar los pozos surgentes de Talamuyo, en el Departamento de Alberdi, que encontró niveles acuíferos a 450 m de profundidad con temperaturas de 38°C; Taco Ralo, que explota agua semisurgente a 398 m de profundidad, con temperaturas de 39°C; Viltrán, surgente con 42°C; Los Páez, también surgente con 46°C y Puesto del Medio, a 4 km al sur del anterior, con un caudal de 100 m³/h por surgencia natural y una temperatura de 50°C a 412 m de profundidad, todos en el departamento Graneros.

CONCLUSIONES

1- Los sedimentos de edad cuaternaria cubren el 50 % de la superficie de la Provincia de Tucumán.

2- Se han reconocido (4) cuatro cuencas sedimentarias de edad cuaternaria, con espesores que superan los 150 m en valles intermontanos y los 300 m en la llanura oriental.

3- La base de los sedimentos cuaternarios están definidas por rocas pertenecientes al basamento cristalino y a niveles de edad terciaria con valles intermontanos. Mientras que en la zona de la llanura oriental se encuentran sobre sedimentos terciarios (Plioceno?).

4- Los sedimentos cuaternarios tienen importantes reservorios de agua de buena calidad y es el principal abastecimiento de agua potable a las localidades del interior de la provincia.

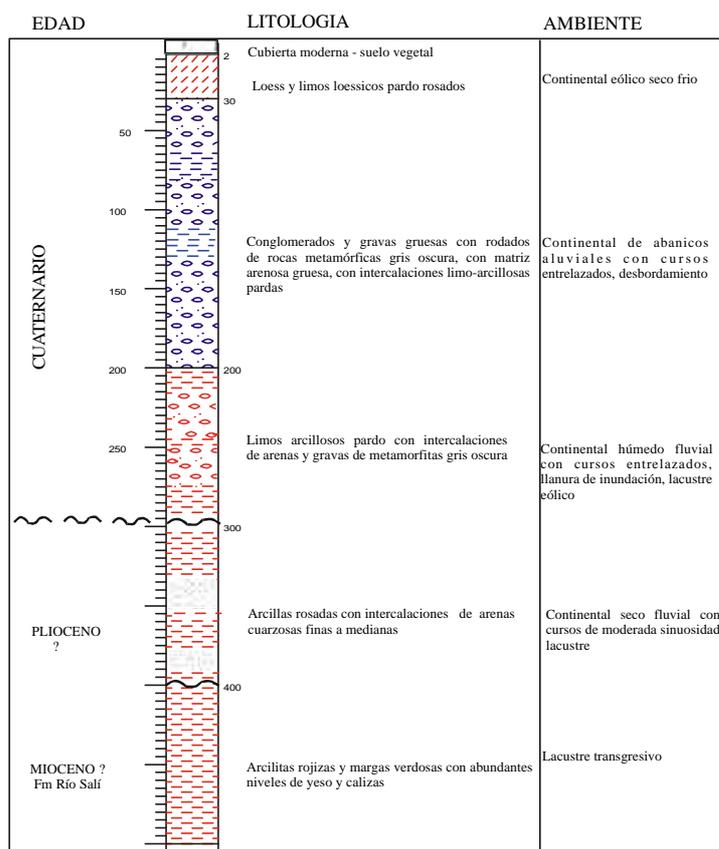


Fig. Nº 8. Columna litológica integrada en base a perforaciones

BIBLIOGRAFÍA

Mon, R. y Mansilla, N.- Capítulo Estructuras en "Geología de Tucumán". Publicación Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de la Provincia de Tucumán. 1998.

- Powell, J. - Capítulo Los Vertebrados Fósiles en “Geología de Tucumán”. Publicación Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de la Provincia de Tucumán. 1998.
- Sayago, J.; Powell, J.; Collantes, M. y Neder, L. - Capítulo Cuaternario en “Geología de Tucumán”. Publicación Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de la Provincia de Tucumán. 1998.
- Tineo, A.; Falcón, C.; García, J.; D’Urso, C.; Galindo, G. y Rodríguez, G. - Capítulo Hidrogeología en “Geología de Tucumán”. Publicación Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de la Provincia de Tucumán. 1998.