

III RECURSOS NATURALES Y CONSIDERACIONES GEOTECNICAS.

Julio Hernández
Asdrubal Vargas
Rolando Mora

3.1 RECURSOS MINERALES

3.1.1 Características geoquímicas de las unidades estratigráficas.

La concentración de los elementos traza representan características propias para cada unidad litológica. PINILLA (1992) define con base en estos valores para cada una de ellas, las propiedades de afinidad de los elementos, sus concentraciones promedio en comparación con las abundancias promedio a nivel mundial, las zonas de anomalías geoquímicas y el por qué de las mismas. Para este propósito el autor utiliza las concentraciones de los elementos metálicos Cu, Ni, Co, Zn, Mn, Fe y Pb.

Las formas de comparación de los resultados para cada unidad litológica, se dan por medio de cuadros, gráficos y mapas de isoconcentración de los elementos metálicos. Una forma de comparación de los resultados realizada por el autor, es el obtenido al comparar los resultados con los promedios mundiales, los cuales indican el grado de variabilidad petrológica de la zona, los que se presentan en los cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Abundancias promedio de elementos traza y menores en rocas y suelos de la corteza terrestre.

Elemento	Corteza terrestre	Basalto	Grano diorita	Granito	Lutita	Caliza	Suelo
Cu	55	100	30	10	50	15	2-100
Ni	75	150	20	0.5	70	12	5-500
Co	25	50	10	1	20	4	1-40
Zn	70	100	60	40	100	25	10-300
Mn	950	2200	1200	500	850	1100	850
Pb	12.5	5	15	20	20	8	2-200

Todos los datos en p.p.m.
(Tomado de: PINILLA, 1992)

Cuadro 6. Comparación de la abundancia promedio de algunos elementos menores en rocas sedimentarias.

Elemento	Areniscas	Lutitas	Lutitas Negras
Cu	10-40	30-150	20-300
Ni	2-10	20-100	20-300
Co	1-10	10-50	5-50
Zn	5.20	50-300	100-1000
Mn	385	6700	-
Fe	3.1	4.3	-

Todos los datos en p.p.m. (Tomado de: PINILLA, 1992)

Formación Pacacua: Esta posee el valor más alto de Mn, con los demás elementos en concentraciones intermedias al resto de las litologías.

Los valores de Cu, Co, Zn y Mn se presentan bastante estables en contraste con el Fe y Ni.

La formación posee pares de elementos de alta correlación como son el Cu-Co, Ni-Co y el Co-Zn, lo que significa, según el autor, que el Cobalto es el elemento que se correlaciona en mayor grado con los demás restantes.

Formación Peña Negra: Posee el valor promedio más alto de Cu según el autor, esto es debido a la posibilidad de que esta unidad este más afectada por alteraciones hidrotermales provocadas por el Intrusivo de Escazú. Además presenta concentraciones menores de Co y Mn.

Los pares de elementos que poseen una alta correlación son el Ni-Co, Ni-Zn, Ni-Fe, Co-Zn, Co-Pb, Co-Fe, Zn-Fe y Zn-Pb, concluyendo que el Ni es el elemento que se correlaciona con mayor grado.

Formación Monzonita-Gabro de Escazú: Esta unidad representa la menor variabilidad geoquímica, pero en la cual el Cu es el que se presenta en mayor concentración que el resto de las formaciones.

Formación Lavas Intracañón: Según el autor, debido a su heterogeneidad litológica, ésta unidad no puede compararse confiablemente con los promedios mundiales, pero contienen concentraciones altas de Cu, Ni, Co y Fe.

Formación Depósitos de Avalancha Ardiente: Se caracteriza por concentraciones promedios altos de Zn y bajos en Ni comparando ésta con las demás unidades litológicas y por tener al igual que el Intrusivo de Escazú la menor variabilidad geoquímica de la zona.

3.1.2 Características geoquímicas de los sedimentos fluviales

El estudio de los sedimentos fluviales, se da porque estos materiales abarcan una extensa área dentro del cantón y porque durante su recorrido, llevan consigo elementos y compuestos químicos que caracterizan a las formaciones litológicas.

a) Unidad Sedimentaria-Intrusiva:

Esta unidad según PINILLA(1992), involucra los sedimentos fluviales producto de las formaciones Pacacua, Peña Negra y el Intrusivo de Escazú, las que forman parte de la litología de la área de estudio y las formaciones San Miguel y Coris que se encuentran fuera del Cantón de Escazú.

En la región esta unidad se distribuye en Ciudad Colón, Santa Ana, Escazú y los Cerros de Escazú.

Los resultados obtenidos por el autor se dan en el cuadro 7.

Una forma de mostrar los resultados obtenidos por el autor, es a través de mapas de isoconcentraciones para estos elementos, en los sedimentos fluviales. Estos mapas abarcan parte del Cantón de Escazú. La zona abarcada por el Cantón se ha extendido a un área rectangular, dentro de las coordenadas 516,00 - 523,00 E y 204,00 - 212,00 N de la cuadrícula Lambert Costa Rica Norte de la hoja topográfica Abra. Esta área rectangular, la cual comprende desde Escazú centro hasta los Cerros de Escazú, se ha escogido debido a la facilidad de ubicación del Cantón dentro de los mapas y porque con ellos se logra abarcar una extensa área de los Cerros de Escazú, los cuales muestran características mineralógicas de bastante importancia.

Cuadro 7. Contenido netálico en sedimentos fluviales cerros de Escazú.

Cu	Ni	Co	Zn	Mn	Fe	Pb
24-42	12-32	12-32	48-224	234-2280	2.3-7.1	1.2-4.7

Todos los datos en p.p.m.
(Tomado de: PINILLA, 1992)

Los mapas de isoconcentraciones para estos elementos, muestran las siguientes características:

Cobre (Cu): En el mapa de isoconcentraciones (fig. 13), presenta fuertes incrementos al sureste (con valores entre 60 y 90 p.p.m.) y en los Cerros de Escazú, con valores mayores de 90 p.p.m. que concuerdan con mineralizaciones de sulfuros de hierro y cobre debido a la presencia de pirita, calcopirita y malaquita en forma de pequeñas vetas, localizadas en los ríos Poás, Lajas y Suerre. En Ciudad Colón y sur de Santa Ana los valores oscilan entre los 50 y 60 p.p.m. mientras que en la parte central del área existen valores menores de 40 p.p.m.

Se encuentran concentraciones altas al oeste de Escazú, en el río Corrogres, que coinciden con vetillas delgadas de cobre, al igual que al suroeste de Santa Ana en un afluente del río Oro, concordando estas áreas de anomalías, siempre con mineralizaciones observadas.

También se observan anomalías de cobre al oeste de Aserrí, las que concuerdan con vetas de pirita, calcopirita y galena encontradas por el autor en los ríos Suerre, Gurubres y Poás.

En el perímetro de los Cerros de Escazú, se observan valores altos, mientras que al oeste de los mismos los valores decrecen.

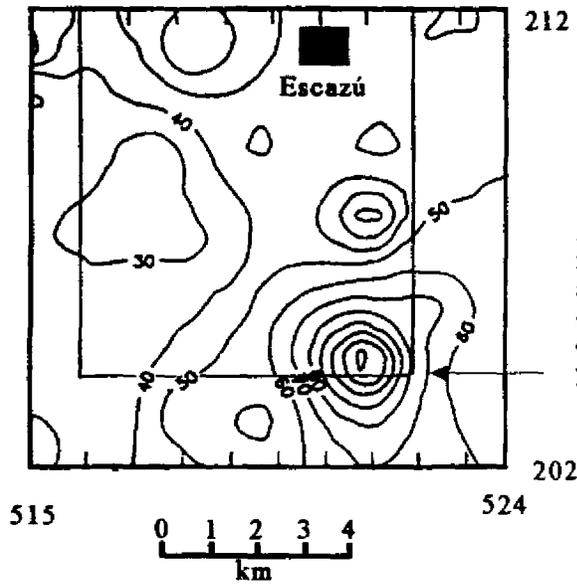


Fig. 13. Isoconcentración (p.p.m.) de cobre (Cu) en una parte del cantón de Escazú (tomado de Pinilla, 1992).

Anomalías debidas a mineralizaciones de sulfuro de hierro y cobre. Vetas pequeñas de pirita, calcopirita y malaquita

Fig. 14. Isoconcentraciones (p.p.m.) de níquel (Ni), en una parte del cantón de Escazú (tomado de Pinilla, 1992).

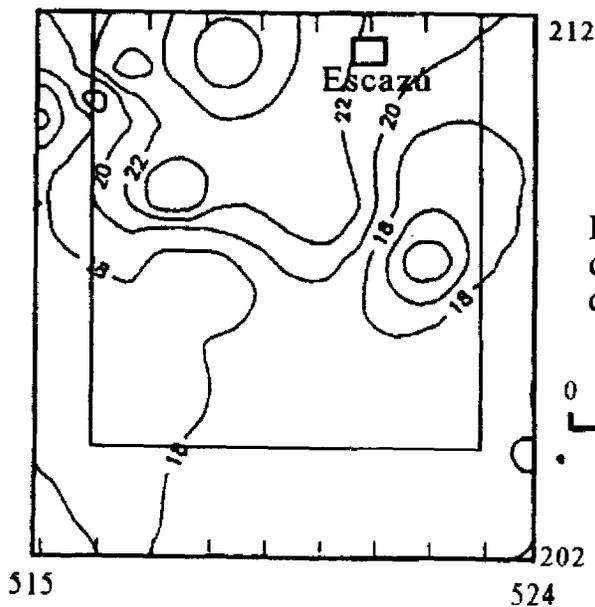
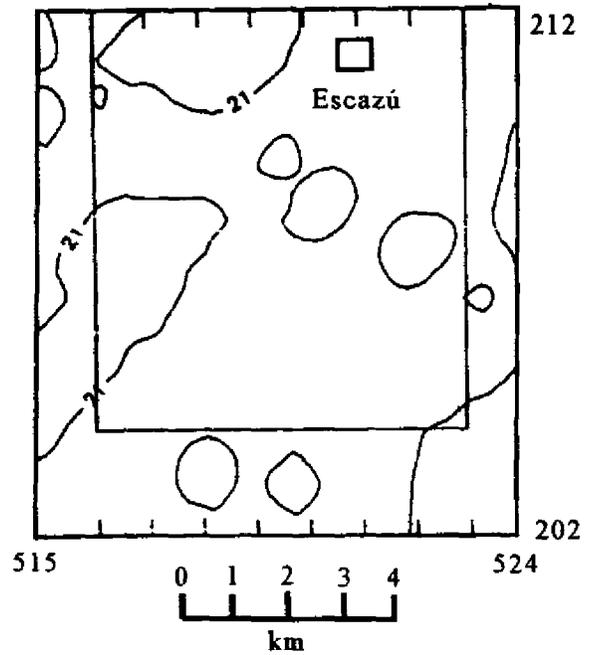


Fig. 15. Isoconcentraciones (p.p.m.) de cobalto (Co), en una parte del cantón de Escazú (tomado de Pinilla, 1992).

Níquel (Ni): Presenta una tendencia de ir aumentando su concentración con valores mayores de 20 p.p.m. en dirección suroeste de la zona, dando variaciones en los Cerros de Escazú de 15 a 20 p.p.m. Al este de la zona se dan concentraciones más bajas con valores menores de 15 p.p.m. (fig. 14).

Valores altos de níquel con concentraciones de entre 23 a 27 p.p.m. se dan al sur de Villa Colón y al sur de Santa Ana.

Cobalto (Co): Posee en gran parte de ésta zona, valores de concentración de 20 a 24 p.p.m. los cuales se encuentran localizados parte en Aserrí y Cerros de Escazú (fig.15), pero mostrando concentraciones de 27 a 30 p.p.m. al sur de Santa Ana y Ciudad Colón.

Zinc (Zn): Este mineral presenta valores altos al sureste de los Cerros de Escazú (en la zona de Aserrí) y al oeste de Ciudad Colón, mostrando valores de 125 p.p.m. hasta mayores de 500 p.p.m (fig. 16). Estos altos valores están asociados a mineralizaciones de sulfuro de zinc, otras en cambio su anomalía es debida a la contaminación doméstica como la ubicada en el río Oro.

Manganeso (Mn): Presenta valores altos de entre los 800 y 1400 p.p.m. alrededor del cerro Alto del Burío (sur del cantón de Aserrí) debido a la presencia de lavas basálticas que componen este cerro, y en las zonas comprendidas entre Ciudad Colón y Escazú muestran valores entre 600 a 1000 p.p.m (fig. 17).

Hierro (Fe): En el mapa de isoconcentraciones de este mineral, se observan distribuciones altas al sur de Escazú, Ciudad Colón y Santa Ana (fig. 18), las que están asociadas a posibles barreras de precipitación o a mineralizaciones de pirita.

Plomo (Pb): Se observa una distribución homogénea con valores de entre 2 a 3 p.p.m., mientras que se presentan anomalías importantes al este de Ciudad Colón y en el río Uruca, al sur de Santa Ana (fig. 19), las cuales según PINILLA(1992), todas estas anomalías están asociadas a mineralizaciones de sulfuro de plomo (galena), alcanzando valores máximos de hasta 9 p.p.m.

b) Unidad Geoquímica Volcánica:

Esta unidad según PINILLA(1992), involucra los sedimentos fluviales provenientes de las formaciones Grifo Alto, Lavas Intracañón y Depósitos de Avalancha Ardiente.

Hierro (Fe): En ésta unidad, el autor hace la reseña de darse una anomalía importante de hierro, la cual explica como una posible contaminación o barrera de precipitación de hierro. El resto del área y principalmente cerca de los centros urbanos, la contaminación se interpreta como industrial o casera. Debido a esto, se observa que conforme se está más alejado de los centros urbanos, la concentración del hierro disminuye, mientras que al sur, donde existe la mayor población, la concentración de hierro aumenta.

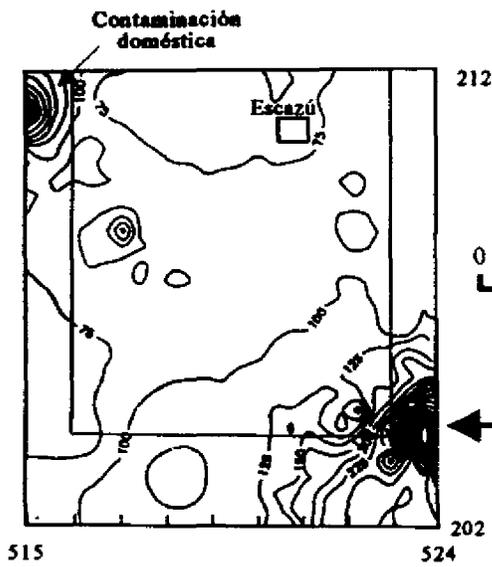


Fig. 16. Isoconcentración (p.p.m.) de zinc (Zn), en una parte del cantón de Escazú (tomado de Pinilla, 1992).

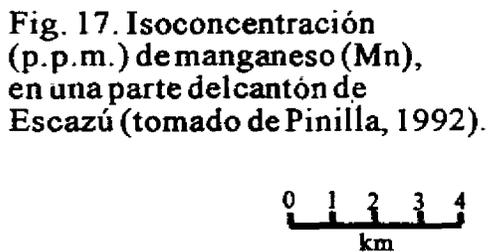


Fig. 17. Isoconcentración (p.p.m.) de manganeso (Mn), en una parte del cantón de Escazú (tomado de Pinilla, 1992).

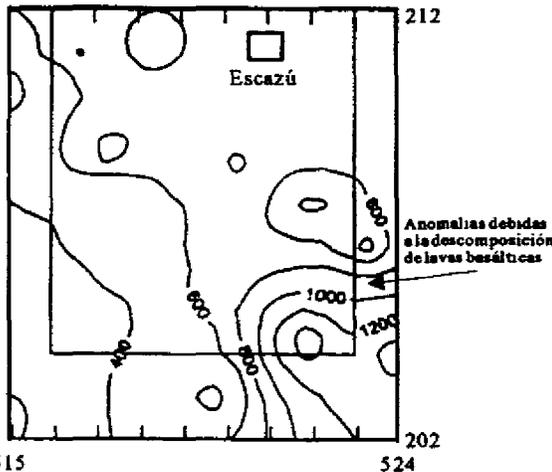
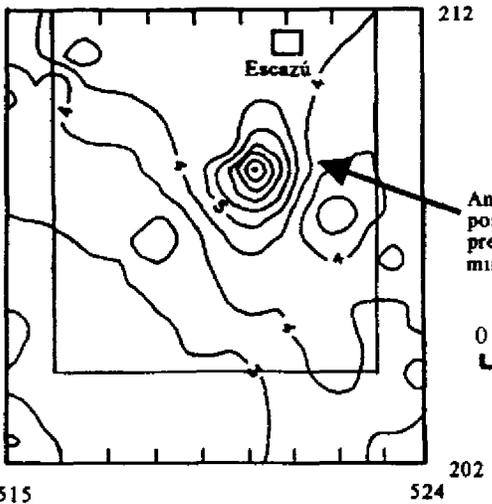


Fig. 18. Isoconcentración (p.p.m.) de hierro (Fe), en una parte del cantón de Escazú (tomado de Pinilla, 1992).



Anomalías debidas a posibles barreras de precipitación o a mineralizaciones de pirita.

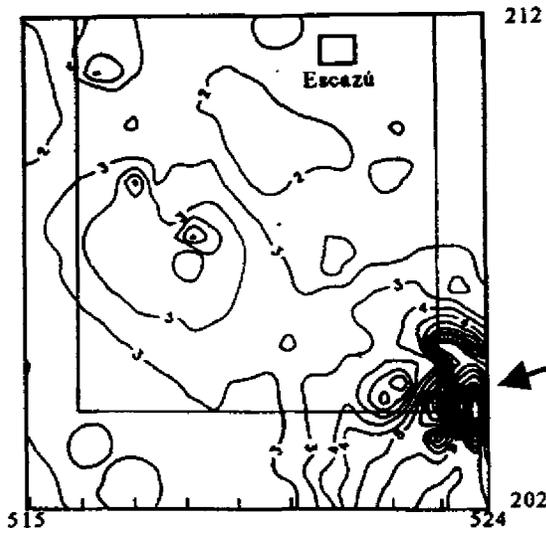
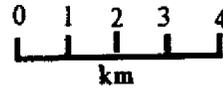


Fig. 19. Isoconcentración (p.p.m.) de plomo (Pb), en una parte del cantón de Escazú (tomado de Pinilla, 1992).



Anomalías debidas a mineralizaciones de sulfuro de plomo (galena).

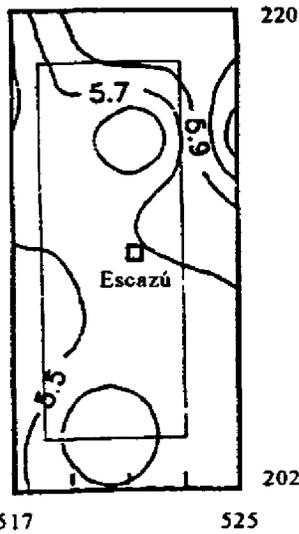


Fig. 20. Isolíneas de pH de suelos (horizonte A), cantón de Escazú (tomado de Pinilla, 1992).

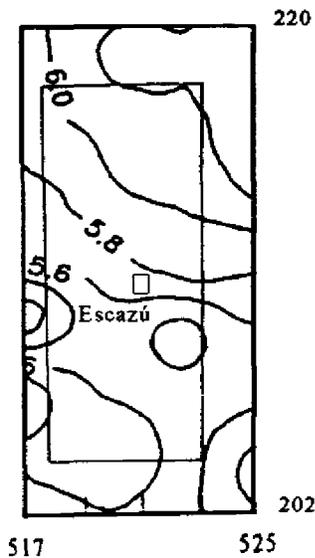
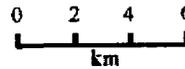
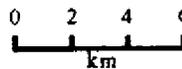


Fig. 21. Isolíneas de pH de suelos (horizonte B), cantón de Escazú (tomado de Pinilla, 1992).



Plomo (Pb): Al igual que la anterior, se presentan valores altos (mayores de 10 p.p.m) cerca de los centros urbanos, debido en gran parte a la alta contaminación doméstica o industrial que existe.

c) Análisis Químico de los Suelos:

En la zona del Cantón de Escazú, existe una diversificación de materiales, principalmente en el área sur, por lo que sólo se analizan los materiales de las formaciones de mayor extensión como lo son las formaciones Pacacua y Avalancha Ardiente (PINILLA,1992).

Los resultados obtenidos por el autor son los siguientes:

Potasio (K): El contenido de este mineral se mantiene constante, pero disminuye en profundidad en la mayoría de los suelos, excepto en la Formación Pacacua, donde tiende a aumentar en profundidad.

Calcio (Ca): Muestra un comportamiento indefinido, mientras que los desarrollados sobre la Formación Pacacua muestran un incremento de su concentración en profundidad.

Magnesio (Mg): Aunque no se dá un patrón definido a profundidad, se encuentra un enriquecimiento en profundidad en los suelos desarrollados por las unidades Pacacua, Avalancha Ardiente y Lahares, mientras que en la Formación Lavas Intracañón se observa una disminución conforme sea mayor la profundidad del suelo.

Hierro (Fe): Este mineral muestra un comportamiento indefinido al profundizar en los suelos, pero generalmente presenta un empobrecimiento en los suelos a profundidad desarrollados al sur de la zona.

Cobre (Cu): Muestra una tendencia general de aumentar en profundidad. Los suelos desarrollados sobre la Formación Pacacua tienen una tendencia de ir disminuyendo la concentración en profundidad.

Zinc (Zn): Tiene una tendencia general de disminuir su concentración a mayor profundidad en las formaciones sedimentarias, mientras que al norte de la zona, las concentraciones se mantienen igual.

Aluminio (Al): Este mineral muestra una tendencia de disminuir en profundidad en los suelos desarrollados por la Formación Depósitos de Avalancha Ardiente.

En resumen, según el autor, los patrones edafocímicos de los horizontes superficiales (0.0 a 0.25 m. de profundidad) en la figura 20 (horizonte A), y los profundos (1 m. de profundidad) en la figura 21 (horizonte B), establecen que entre ellos existe una concordancia para el pH y el Zn, mientras que el K, Ca, Mg y Al se caracterizan por tener un empobrecimiento en el horizonte profundo al norte de la zona y un enriquecimiento al sur del de Escazú.

En ambas figuras, el área abarcada por el rectángulo es todo el Cantón de Escazú.

Conclusiones:

En la zona de los Cerros de Escazú, se observan concentraciones altas de algunos minerales como los son el cobre, el plomo y el zinc, todas ellas relacionadas a mineralizaciones de pequeñas vetas de pirita, calcopirita y galena.

Debido a su bajo potencial, estas vetas no tienen rendimiento económico.

Con respecto a las rocas granodioríticas que conforman al Intrusivo de Escazú, estas por su belleza, su dureza y por su abundancia ya en forma de grandes bloques caídos, pueden constituir una actividad de tipo artesanal si se trabajan como rocas ornamentales.

3.1.3 Recursos no Metálicos.

Tajos de explotación:

El recurso natural no metálico más grande del cantón es el Tajo Apará, en las coordenadas Lambert Costa Rica Norte 522,22 E - 213,40 N (figura 22). En el área únicamente afloran ignimbritas de color gris, poco coherentes, pertenecientes a la Formación Depósitos de Avalancha Ardiente. Este material está formado de fragmentos de lava de color gris y negra, andesítica, de hasta 10 cm, fragmentos de pómez gris de hasta 4 cm. dentro de la cual se ven feldespatos y piroxenos. Todo el material se encuentra dentro una matriz de tipo lapilli (MADRIGAL, 1985). Algunas porciones del material se encuentran más compactadas, firmes a tal punto, de no poder romperse con la mano, por lo que se utilizan como material de lastre o cascajo.

Las laderas que presenta este tajo son de muy alta pendiente tendiendo a la vertical hacia el río, debido al corte del mismo en los materiales pertenecientes a la Formación Lavas Intracañón. Los cortes artificiales son verticales y presentan alturas de 15 m. (MADRIGAL, 1985).

El material ignimbrítico que se extrae se emplea principalmente como arena de tajo. Dentro de ésta, entre el 30%-40% corresponde al material utilizado como cascajo, el cual se vende pero en poca cantidad. El material sobrante y parte de lo anterior ya triturado, se emplea como arena de construcción.

Inconvenientes que presenta este tajo:

Una explotación que se lleve a cabo a cielo abierto debe de hacerse siempre en forma de terrazas y no como se practica y ha practicado en este tajo, de cortes tipo verticales.

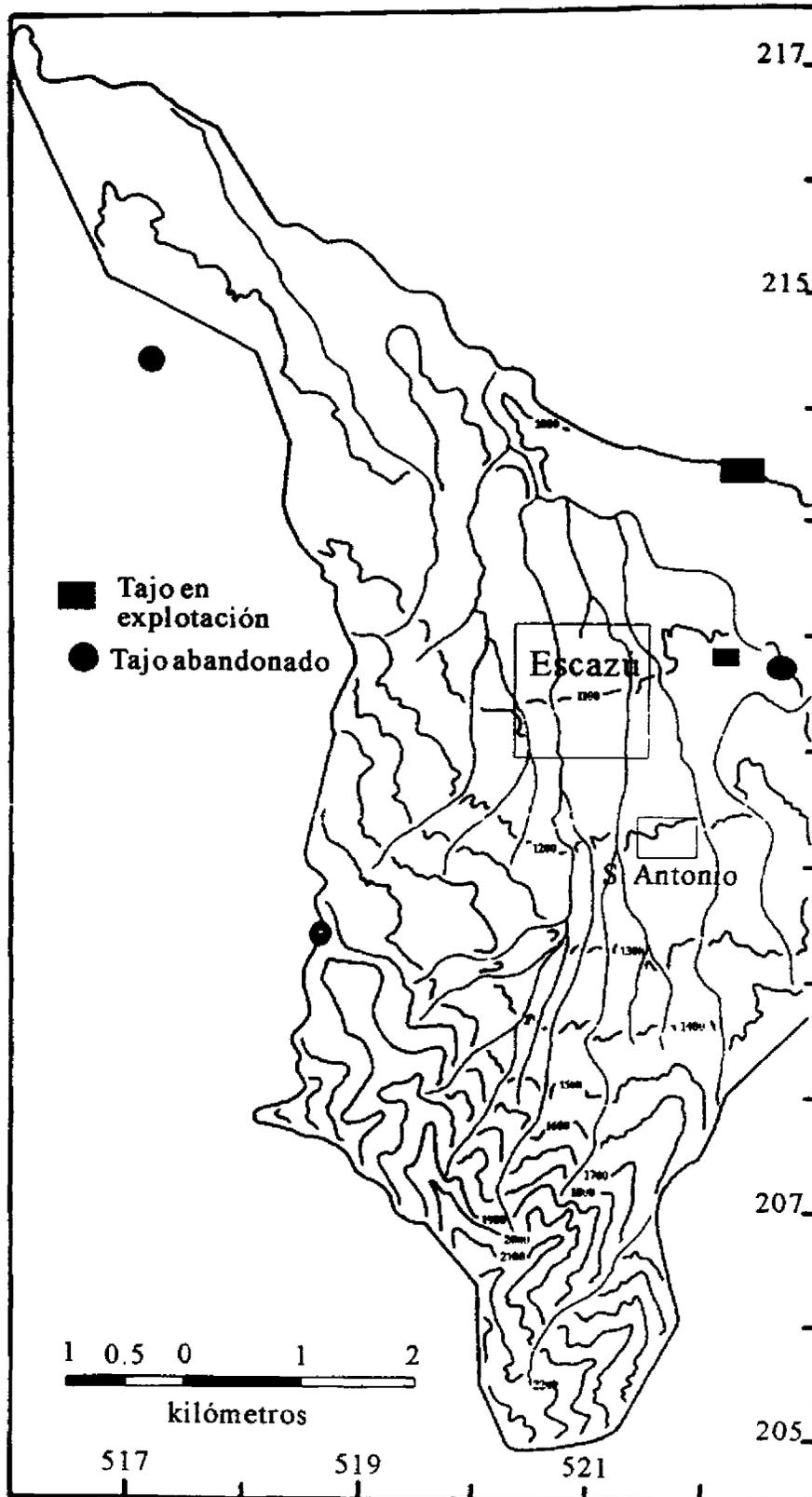


Fig. 22. Ubicación de tajos en explotación y abandonados

La explotación en forma de terrazas evita futuros deslizamientos, aumenta el área de explotación y aumenta la vida útil del tajo explotado.

Debido a los cortes verticales, actualmente el tajo presenta problemas de estabilidad de taludes y pequeños deslizamientos de material ignimbrítico.

Se dan problemas de eficiencia con respecto al equipo y maquinaria utilizada. Las pendientes para los camiones cargadores no deben ser mayores a 5°, de no ser así, esto conduce a un mayor esfuerzo de los mismos y por tanto, un mayor consumo y desgaste de los camiones.

El radio de acción de los cargadores es muy bajo, por lo que se dan movimientos innecesarios.

Otros tajos:

En las coordenadas 516,50 E / 214,40 N se encuentra un tajo abandonado, el cual es utilizado una parte del mismo como botadero de desechos sólidos. El material está constituido por una toba lítica, brechas finas con clastos menores de 1 mm., muy bien soldada y dura, color rosado a morado, con presencia de un cierto bandeamiento, perteneciendo estas rocas a la Formación Grifo Alto.

Otro tajo se encuentra en las coordenadas 522,68 E / 211,80 N. El tajo también se encuentra abandonado. El tipo de material es una brecha de grano medio a grueso, con tamaño de los clastos de 1-6 cm., muy meteorizados, presentando minerales ya cloritizados y caolinitizados. Este material pertenece a la Formación Pacacua.

En las coordenadas 522,16 E / 211,70 N , se encuentra un tajo actualmente en explotación. El tipo de explotación es a cielo abierto en forma de terrazas y es de carácter privado. El material es una toba, desmenuzable, pseudo-estratificada, de tonos morados en las partes sanas y blanca en las partes con alteración, posiblemente de carácter hidrotermal, ya que se encontró un dique cortando a las mismas. Estos materiales están asociados a la Formación Pacacua.

Con coordenadas 518,76 E / 209,72 N , se encuentra un tajo semiabandonado, explotado por la Municipalidad de Escazú. El tipo de material es una arenisca, estratificada, de grano fino a medio, con tonalidades verdosas, muy fracturada y fácil de disgregar con piqueta. El material explotado es utilizado como lastre para caminos y se asocia a la Formación Pacacua.

3.2 AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS.

3.2.Recursos Hídricos Superficiales del Cantón de Escazú

En el trabajo de SALAS (1981) se menciona que el sistema actual de agua potable de la ciudad de Escazú, está siendo servido por las aguas del río San Rafael.

Según el autor, este río drena una cuenca de 3.25 km², ubicada al sur de la ciudad de Escazú, cuyos límites geográficos son: al sur con los Cerros de Escazú, al oeste con el Cerro Pico Blanco con una altura de 2271 m.s.n.m., hacia el este el Cerro San Miguel con una altura de 2036 m.s.n.m. y al norte el límite lo constituye la población de Escazú.

El área de influencia de la cuenca se caracteriza por poseer bosques muy húmedos premontanos y bosque muy húmedos, ambos presentando un bioclima prehúmedo con un máximo de dos meses secos al año y una precipitación promedio anual de 2200 mm y una temperatura promedio de 16°C.

El río Agres es un río de montaña. Su nacimiento se encuentra en los Cerros de Escazú, propiamente en el Cerro Cedral a una altura de 2440 m.s.n.m. Su único afluente es la Quebrada Londres cuya nacimiento se encuentra cerca de los 2200 m.s.n.m. Ambos cuerpos de agua confluyen formando el río Agres o San Rafael cerca de los 1600 m.s.n.m.

Al ser el río Agres un río de montaña, SALAS (1981) define las siguientes características:

- sus pendientes son muy fuertes en la nacimiento del río (50% de pendiente) y va disminuyendo hacia la confluencia del río Tiribí (con pendientes de un 33%),

- la calidad del agua durante la época seca es bastante buena para su uso, aún sin tratamiento previo, con excepción siempre de la desinfectación de la misma,

- los caudales medidos presentan variaciones estacionales, con un máximo en invierno de 280 l/s hasta 32 l/s en verano.

Como nota importante de lo anterior, el autor hace la reseña de que el caudal estimado del río es de 32 l/s, el cual no es capaz de satisfacer las necesidades de agua para la población y por lo tanto se deberá dar el mejor aprovechamiento del mismo en la época de invierno, cuando los caudales aumentan considerablemente. Además, se prevee aquí la necesidad de la explotación de los recursos hídricos subterráneos del Cantón de Escazú, de las regiones vecinas y de los recursos hídricos superficiales de cuencas vecinas, esto con miras a que la calidad y cantidad del agua sean las más apropiadas para satisfacer las necesidades de distribución en la creciente población del Cantón de Escazú.

Por medio de los reportes de aforos efectuados por el Departamento de Recursos Hídricos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, se obtienen los siguientes datos:

Estación N. 24114

Nombre: Río Uruca #1

Coordenadas: 518,11 E / 207,04 N (se encuentra en el Cantón de Santa Ana).

Elevación: 1290 m.s.n.m.

Epoca seca: Caudal (Q): mínimo 6.00 l/s
máximo 65.30 l/s
Fecha: del 11/02/80 - 29/05/89

Epoca lluviosa: Caudal (Q): mínimo 46.18 l/s
máximo 185.00 l/s
Fecha: del 26/06/79 - 19/11/87

Estación N. 24115

Nombre: Río Uruca #2

Coordenadas: 517,05 E / 209,40 N (se encuentra en el Cantón de Santa Ana).

Elevación: 1100 m.s.n.m.

Epoca seca: Caudal (Q): mínimo 2.63 l/s
máximo 24.68 l/s
Fecha: del 21/01/87 - 29/05/89

Epoca lluviosa: Caudal (Q): mínimo 4.03 l/s
máximo 114.68 l/s
Fecha: del 02/06/87 - 19/11/87

Estación N. 2418

Nombre: Río La Cruz

Coordenadas: 520,35 E / 208,65 N (se encuentra dentro del Cantón de Escazú).

Elevación: 1400 m.s.n.m.

Epoca seca: Caudal (Q): mínimo 2.20 l/s
máximo 11.04 l/s
Fecha: del 16/02/83 - 09/02/88

Epoca lluviosa: Caudal (Q): mínimo 3.64 l/s
máximo 3.64 l/s
Fecha: del 02/06/87 - 02/06/87

3.2.2 Recursos Hídricos Subterráneos del Cantón de Escazú

Cada formación geológica de la zona comprendida por el Cantón de Escazú, presenta características hidrogeológicas propias, las que SALAS (1981) enumera a continuación como las más importantes para cada una de ellas:

Características Hidrogeológicas del Cantón de Escazú:

Formación Pacacua:

Debido al grado de compactación de los materiales, esta formación es poco porosa, aunque pudiera existir cierta permeabilidad en la dirección de la estratificación.

Posee una permeabilidad baja y una capacidad de almacenamiento de aguas sumamente bajo, considerándolo como un estrato con pocas zonas de recarga para estratos más profundos.

Se estima un rendimiento específico de (0.05 l/s)/m.

Formación Monzonita-Gabro de Escazú:

Tiene muy baja permeabilidad y no es capaz de permitir el almacenamiento de aguas subterráneas, ni la infiltración a estratos profundos, dando como resultado un afluente al río que varía de forma estacional.

Presenta un rendimiento específico estimado de 0.02 l/s/m, lo que da la posibilidad de acuíferos locales muy pequeños.

Formación Depósitos de Avalancha Ardiente:

Esta formación al estar constituida por ignimbritas, presenta una permeabilidad muy baja y sin posibilidades de almacenamiento.

También es considerada de baja recarga a estratos profundos.

Las anteriores características ponen de manifiesto lo siguiente:

-la capacidad de recarga de agua es de baja a nula para estratos más profundos.

-la capacidad de almacenamiento de agua subterránea es muy baja.

-los posibles caudales de explotación de agua son muy pequeños y están sujetos a las variaciones estacionales.

Tomando en cuenta lo anterior, el autor no recomienda la explotación del agua subterránea en las zonas donde se encuentren estas formaciones, ya que dentro de estas zonas, el Cantón de Escazú no cuenta con los recursos hídricos superficiales y subterráneos lo suficientemente grandes para poder satisfacer la demanda de agua para el año 2000.

Coluvios y Aluviones:

Estos materiales constituyen depósitos de agua para el abastecimiento local, pero depende de las características de la fracción aluvial.

La explotación del agua subterránea en la zona es bastante baja, lo que indica que la fracción aluvial impide una explotación de agua en grandes cantidades.

Estos materiales son capaces en cambio de producir manantiales cuyos caudales oscilan entre 0.5 y 2.0 l/s , con variaciones estacionales de los caudales, pero con el suficiente caudal para suplir las necesidades básicas de una familia o de una finca pequeña.

Por medio de datos obtenidos en pozos perforados para la captación de agua, se observa que los materiales de tipo aluvional son los que presentan los grados de permeabilidad aparente más altos, seguido de aquellos materiales con características arenosas. El cuadro 8 muestra estos detalles.

El espesor de los materiales durante la perforación de los pozos, se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 8. Permeabilidad aparente de los materiales, (según registros de pozos).

TIPO DE MATERIAL	PERMEABILIDAD APARENTE
Aluvión	Alta a Muy Alta
Arena compacta	Alta
Brechas F. Pacacua	Alta
Arcillas	Baja
Coluvio con bloques sedimentarios e igneos en una matriz arcillosa	Baja
Lutitas friables	Baja
Coluvio de Cornubianitas	Baja
Materiales del Intrusivo	Baja
Ignimbritas	Baja a Nula
Lahar o depósitos de talus	Baja a Media
Basaltos, Lavas	Nula

3.2.3 Flujo regional de aguas subterráneas.

Por medio del programa de computación SURFER, el cual es capaz de realizar la construcción de mapas topográficos con curvas de nivel, se hizo la construcción de un mapa de aguas subterráneas, para lo cual se graficaron las alturas sobre el nivel de mar de los niveles estáticos de 24 pozos perforados y las alturas, también sobre el nivel del mar, de los puntos donde afloran las nacientes.

Cuadro 9. Espesor de los materiales perforados,
(según registros de pozos).

Material perforado	Espesor perforado (m)
Suelos (arcillas)	1 - 20
Aluvión-coluvio	6 - 50
Lavas	3 - 40
Form. Pacacua	12 - 50
Aluvión	7 - 25
Lutitas	> 7
Ignimbritas	5 - 60

La combinación de ambas se observa en la figura 23, donde se muestra el flujo regional de aguas subterráneas del Cantón de Escazú. Este flujo regional tiene una tendencia de ir de las zonas altas como lo son los Cerros de Escazú, a las partes más bajas y planas del Cantón, concordando muy bien con la topografía de la zona. Las nacientes utilizadas para la graficación son las siguientes:

Número	Nombre	Tipo de Fuente	Número	Nombre	Tipo de Fuente
1	Secundino	Naciente	13	La Mina	Naciente
2	La Mora	Naciente	14	Tapezco	Naciente
3	Río Agres	Presa	15	Sadot	Naciente
4	Los Gemelos	Presa	16	Juan Pablo	Naciente
5	Briceño	Nacientes	17	José Flores	Naciente
6	El Hoyo	Presa	18	Río La Cruz	Presa
7	Las Lajas	Nacientes	19	Los Leones	Naciente
8	Los Higuerones	Presa	20	Pancho Castro	Naciente
9	Zapote	Naciente	21	Los Ramírez	Naciente
10	Teodoro Corrales	Naciente	22	San Francisco	Naciente
11	Los Albertillos	Presa	23	Corrogres	Naciente
12	Trapiche	Presa	24	Matinilla	Naciente
13	La Mina	Naciente			

Con respecto a las nacientes (figura 23), se observa que estas se orientan en las zonas en que se dan fuertes cambios de pendiente en la topografía, por lo cual en los Cerros de Escazú se presentan la mayoría de las nacientes del cantón.

Situación actual del acueducto:

El acueducto de Escazú se abastece fundamentalmente de la captación en el río Agres, del cual se toman 30 l/min según SALAS (1981). Dicha toma se encuentra a una elevación de 1550 m.s.n.m. De aquí el agua es conducida por una tubería de hierro fundido por 2 km hasta la planta de tratamiento.

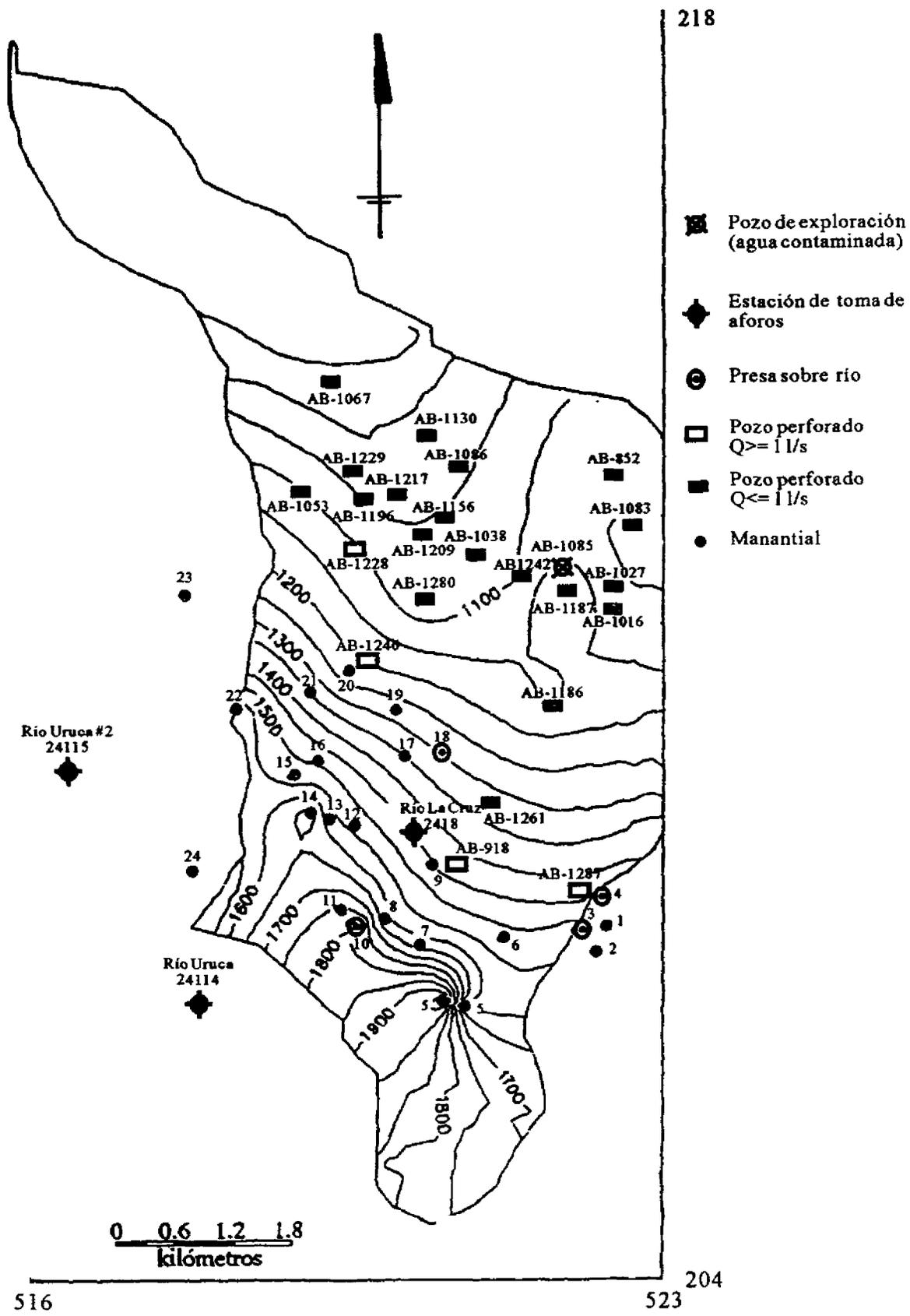


Fig. 23. Flujo regional de aguas subterráneas e información sobre captaciones y manantiales, cantón de Escazú.

Actualmente existe la toma llamada "Los Gemelos", también sobre el río Agres a unos 500 m hacia el sur de la planta de tratamiento. El caudal captado es de aproximadamente 12 l/min (SALAS,1981). Tomando una tasa de sedimentación de 0.6 metros por hora (para tuberías menores de 500 unidades), se obtiene según SALAS (1981), una capacidad de aproximadamente 20 l/min y en la época de verano por lo general, las tuberías son inferiores a las 10 unidades por lo que la producción oscila entre 50 y 60 l/min, lo cual excede la capacidad de la planta. De esta planta de tratamiento, el agua abastece los sistemas de San Antonio, Tejarcillos y Entierillos.

Los sectores de Los Anonos, Vista Alegre y Tena, son abastecidos por el tanque El Llano, mientras que el tanque Intex, abastece a San Rafael, Urbanización Los Laureles, Maynard y Quesada.

La región norte del cantón (Guachepelín, El Mirador, Urbanización Miravalles y Urbanización Carrez), es abastecida por las tomas de Corrogres y la Mina, las que se encuentran en el Cantón de Santa Ana.

La región sur del cantón se abastece de pequeños manantiales que afloran en la montaña y cuyo caudal varía estacionalmente. Algunos de ellos se presentan cuadro 10. Según el autor, estos sistemas no reciben cloración o cualquier otro método de desinfección.

Las zonas de Higuerones y Chiverral se abastecen con parte del agua captada en el manantial La Mora o Cundino y de la naciente La Laja.

Las regiones de la Murta y Bebedero, se abastecen por tomas en la región del Cerro Tapezco. El sobrante del agua de estos manantiales, es conducido al tanque Zenón.

La Urbanización Vista de Oro y caseríos aledaños, son abastecidos a través de una toma en la quebrada La Cruz.

Cuadro 10. Producción de los manantiales en la zona sur del cantón de Escazú.

FUENTE	CAUDAL (l/min)
La Laja	10.60
Dr. Briceño	5.00
Del Hoyo	3.80
Higuerones	3.80
La Mina	1.00
Juan Pablo	2.00
José Flores	1.15
Fuentes Corrogres	6.00
Corazón de Jesús	2.50

(Tomado de: SALAS,1981)

En resumen, SALAS (1981) declara que los sistemas de tratamiento, conducción, almacenamiento y distribución son totalmente ineficientes para abastecer la población, debido a que la capacidad de los mismos es inadecuada tanto en volumen como en la calidad del agua conducida y producida.

Proyecciones de la demanda:

Estudios demográficos llevados a cabo en el Area Metropolitana de San José, dan como resultado un crecimiento aritmético en las zonas donde se está llegando a la saturación de la población y un crecimiento geométrico para aquellas zonas donde exista posibilidad de crecimiento poblacional o donde se pueda dar una expansión de la misma (SALAS,1981). Ante esta situación, el Acueducto Metropolitano al llegar a la saturación (la cual según el autor puede darse entre los años 1995 a 2000), necesita 4110 l/s mientras que el caudal posible a producir en ese período será de 5810 l/s, tomando en cuenta la capacidad total de la línea de impulsión de Puente de Mulas que es de 1200 l/s (SALAS,1981).

El autor asume un caudal para el año 2000 de 4300 l/s, al cual se le resta siempre un caudal de 1500 l/s para el abastecimiento de los sistemas de Escazú y Santa Ana. Para el sistema de Puente de Mulas, el caudal restante será de 670 l/s de los cuales se podrá utilizar 100 l/s para el abastecimiento del sistema de Santa Ana (SALAS,1981).

3.3 CONSIDERACIONES GEOTECNICAS.

Se han estudiado dos sectores pertenecientes al Cantón de Escazú. El primer sector se localiza entre las coordenadas 519,20 E / 208,25 N según la cuadrícula Lambert Costa Rica Norte, en el Cerro Bandera; el suelo del sitio es residual producto de la meteorización de las rocas pertenecientes a la Formación Pacacua. El segundo sector se encuentra entre las coordenadas 521,15 E / 206,40 N, cerca de la Embajada Suiza; el suelo de ésta es residual perteneciente a la meteorización de las rocas de la Formación Monzonita-Gabro de Escazú.

Se tomaron un total de cinco muestras, las muestras 1-A, 1-B y 1-C, pertenecen a suelos de la Formación Pacacua y las muestras 2-A y 2-B, a los suelos de la Formación Monzonita-Gabro de Escazú. Los ensayos de laboratorio practicados con las muestras obtenidas han sido: peso unitario en el sitio, análisis granulométrico, límites de consistencia, gravedad específica y corte directo. Todos los procedimientos utilizados para la ejecución de las pruebas se describen en el Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (Bowles,1981). Los ensayos se han realizado en el laboratorio de Geotecnia e Hidrogeología de la Escuela Centroamericana de Geología.

3.3.1 Análisis Granulométrico y Límites de Consistencia.

El análisis granulométrico correspondientes a las muestras de suelo en la Formación Pacacua, presenta la siguiente distribución:

Muestra	% de Grava	% de Arena	% de Finos
1-A	0.00	47.42	52.58
1-B	0.00	59.57	40.43
1-C	0.00	65.49	34.51

En la figura 24 se aprecian las curvas granulométricas correspondientes a estos materiales, donde se observa que en la muestra 1-A los porcentajes son similares entre la fracción de arenas y la fracción fina. Las muestras 1-B y 1-C tienen un predominio fracción de arenas sobre la fracción fina. Debido a que el porcentaje de la fracción fina es mucho mayor que el 12%, en la clasificación de estos materiales no se utilizan el Coeficiente de uniformidad (Cu), ni el Coeficiente de concavidad (Cc).

El análisis de los límites de consistencia para las muestras, da los siguientes resultados:

Muestra	Límite Líquido [%]	Límite Plástico [%]	Índice de Plasticidad [%]	Clasificación del Atterberg según: (*)	del Ip según: (*)
1-A	65.9	38.6	27.4	Muy plástico	Plástico
1-B	38.9	20.6	18.4	Muy plástico	Medianamente plástico
1-C	39.8	21.7	18.1	Muy plástico	Medianamente plástico

(*) en MORA, 1983

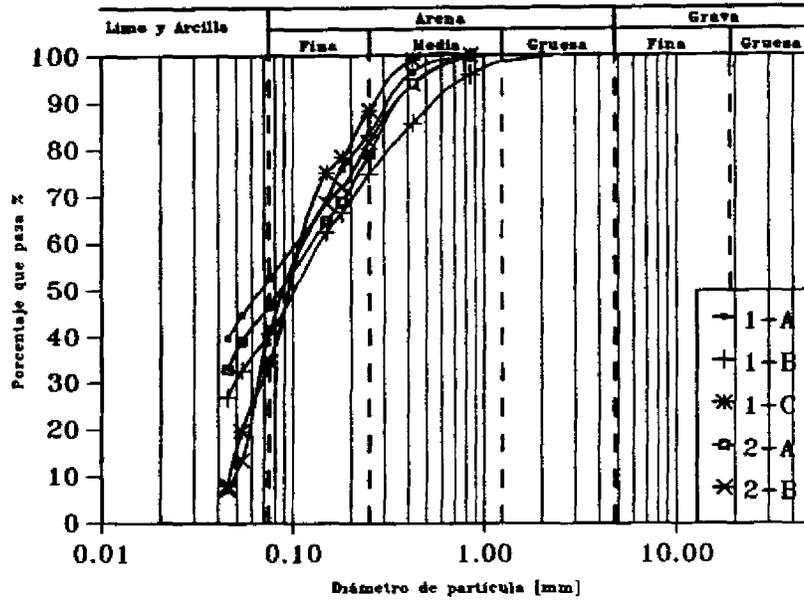
Los índices de consistencia para estas muestras arrojan los siguientes resultados:

Muestra	Índice de Liquidez (IL)	Índice de Consistencia (IC)	Clasificación del IL (*)
1-A	0.82	0.17	Suelo en estado plástico
1-B	0.65	0.35	Suelo en estado plástico
1-C	1.42	-0.42	Suelo es estado líquido

(*) en MORA, 1983

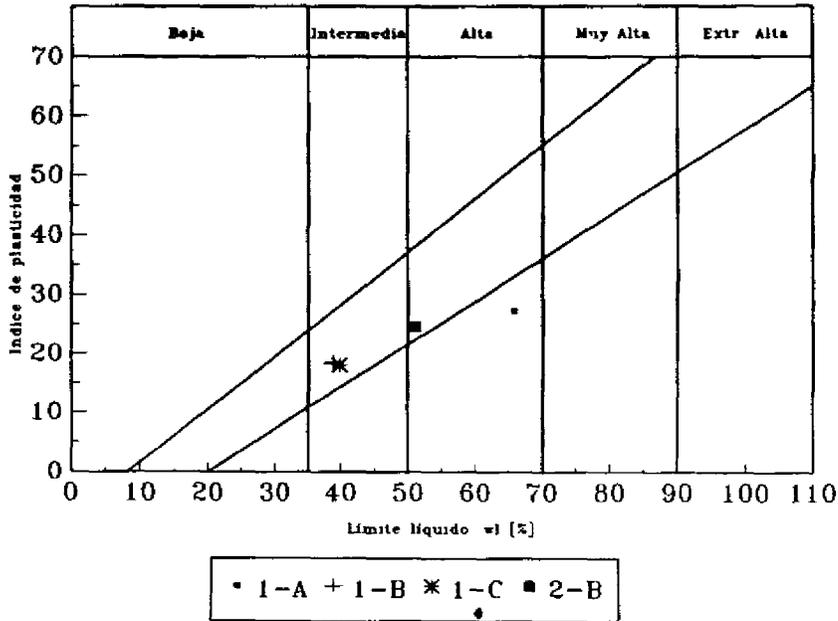
Según lo anterior y utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (BOWLES, 1981), al igual que el gráfico de plasticidad de la Institución Británica de Normas (BSI, 1975), las muestras se clasifican como sigue:

FIG. 24. CURVAS GRANULOMETRICAS
CANTON DE ESCAZU



Lab. de Geotecnia
Esc. Centr. de Geología
Univ. de Costa Rica.

Fig. 25. GRAFICO DE PLASTICIDAD
CANTON DE ESCAZU



Lab. Geotecnia
Esc. Centr. de Geología
U.C.R.

Muestra	SUCS	BSI
1-A	Limo de alta plasticidad (MH), con importante contenido de arenas.	Limo de plasticidad alta (MH).
1-B	Arena arcillosa (SC), de plasticidad baja.	Arcilla de plasticidad intermedia (CI).
1-C	Arena arcillosa (SC), de plasticidad baja.	Arcilla de plasticidad intermedia (CI).

En la figura 25 se muestra la ubicación de los resultados en el gráfico de plasticidad del BSI.

Las propiedades físicas para este suelo se dan a continuación:

Propiedades	Muestra:	1-A	1-B (valores promedio)	1-C
Peso unit. húmedo [kN/m ³]:		15.4	15.3	16.1
Peso unit. seco [kN/m ³]:		9.5	11.6	10.9
Peso unit. saturado [kN/m ³]:		16.0	17.2	16.8
Peso unit. sólidos [kN/m ³]:		27.7	27.0	27.4
Relación de vacíos:		1.90	1.33	1.51
Porosidad [%]:		65.5	57.1	60.1
Grado de saturación [%]:		90.9	67.1	87.9
Gravedad específica del suelo (Gs):		2.82	2.75	2.79
Contenido de humedad natural [%]:		61.1	32.5	47.5

Con respecto al suelo correspondiente a la Formación Monzonita-Gabro de Escazú, los resultados del análisis granulométrico se dan a continuación:

Muestra	% de Grava	% de Arena	% de Fino
2-A	0.00	53.11	46.89
2-B	0.00	58.53	41.47

Desde el punto de vista granulométrico (figura 24), ambas muestras son idénticas, ellas presentan un porcentaje en peso de la fracción de arenas que domina en el análisis granulométrico, pero al igual que las muestras en la Formación Pacacua, presentan porcentajes similares con respecto a la fracción de finos.

Debido a que este contenido en la fracción de finos es superior al 12%, con estas muestras tampoco se calcula el coeficiente de uniformidad (Cu), ni el coeficiente de concavidad (Cc).

El análisis de los límites de consistencia para estos materiales arroja los siguiente resultados:

Muestra	Límite	Límite	Índice de Plasticidad [%]	Clasificación del según: (*)	
	Líquido [%]	Plástico [%]		Atterberg	Buormister
2-A	No presentó			---	---
2-B	51.0	26.4	24.6	Muy plástico	Plástico

(*) en MORA, 1983

De los resultados anteriores, la muestra 2-A no presenta plasticidad debido a que el material es muy limoso.

Con los resultados de los índices de consistencia para estas muestras, obtenemos lo siguiente:

Muestra	Índice de Liquidez	Índice de Consistencia	Clasificación según IL(*)
	(IL)	(IC)	
2-A	-----	-----	-----
2-B	0.70	0.30	Suelo está en estado plástico

(*) en MORA, 1983

Con los datos anteriores para las muestras obtenidas en la Formación Monzonita-Gabro de Escazú y utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (BOWLES, 1981), al igual que el gráfico de plasticidad de la Institución Británica de Normas (BSI, 1975), las muestras se clasifican como sigue:

Muestra	SUCS	BSI
2-A	Mezcla de arena y limo (SW), no presenta plasticidad.	-----
2-B	Arena arcillosa (SC), de alta plasticidad.	Arcilla de plasticidad alta (CH).

En la figura 25 muestra la ubicación de estos materiales en el gráfico de plasticidad del BSI.

Las propiedades físicas de este suelo son las siguientes:

Propiedades	Muestra:	2-A	2-B
		(valores promedio)	
Peso unit. húmedo [kN/m ³]:		16.2	16.0
Peso unit. seco [kN/m ³]:		13.6	11.1
Peso unit. saturado [kN/m ³]:		18.3	16.8
Peso unit. sólidos [kN/m ³]:		26.4	26.2
Relación de vacíos:		0.94	1.37
Porosidad [%]:		48.5	57.7
Grado de saturación [%]:		55.8	85.7
Gravedad específica del suelo (Gs):		2.69	2.67
Contenido de humedad natural [%]:		19.5	43.7

3.3.2 Ensayo de Corte Directo.

Para analizar las propiedades mecánicas de los suelos y poder determinar los parámetros de resistencia al corte, se efectuaron ensayos de corte directo del tipo consolidado-no drenado en las cinco muestras estudiadas. Las figuras 26, 27 y 28, representan los resultados del ensayo de corte directo correspondiente a las muestras de suelo en la Formación Pacacua, ellas presentaron un comportamiento normal al ser cortadas, en cambio la muestra 2-A (figura 29) presenta una expansión del material al ser cortado, esto puede asociarse a una "preconsolidación" del material entre los 46.6 y 95.2 kPa., posiblemente debido a que el material no se encuentra totalmente meteorizado.

La muestra 2-B (figura 30), al ser cortada presentó un comportamiento anómalo ante el esfuerzo normal de 189.8 kPa, por lo que no se tomará en cuenta para determinar los parámetros de resistencia al corte.

Con los resultados anteriormente descritos, se procedió a realizar el ajuste de la envolvente de falla para cada muestra y calcular así los parámetros de resistencia al corte (figura 31).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Parámetro de	Fm. Pacacua			Intr.
	1-A	1-B	1-C	2-A
Resistencia al Corte				
Angulo de fricción int.(ϕ):	21.9	28.1	24.6	29.7
Cohesión (Cu) [kPa]:	24.7	19.5	21.0	22.8
Coef. de correlación (r):	0.96	0.96	0.98	0.96

Conclusiones y Recomendaciones.

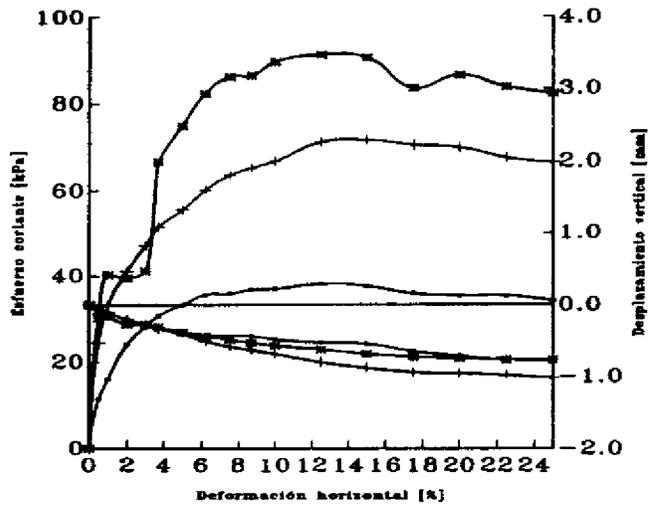
Las muestras obtenidas dentro del Cantón de Escazú, son muestras puntuales, tomadas en dos formaciones geológicamente diferentes, por lo que los resultados obtenidos sólo describirán las características físicas y mecánicas de los materiales dentro de un área limitada a la zona de muestreo.

Todas las muestras presentaron valores altos en porcentaje de peso de la fracción fina, indicando con esto que esta fracción será la responsable de regir el comportamiento físico y mecánico de los materiales en ambas formaciones.

También el importante contenido de la fracción de arenas, hace que los materiales presenten características intermedias entre suelos granulares y cohesivos.

Estos suelos residuales presentan una plasticidad entre intermedia y alta.

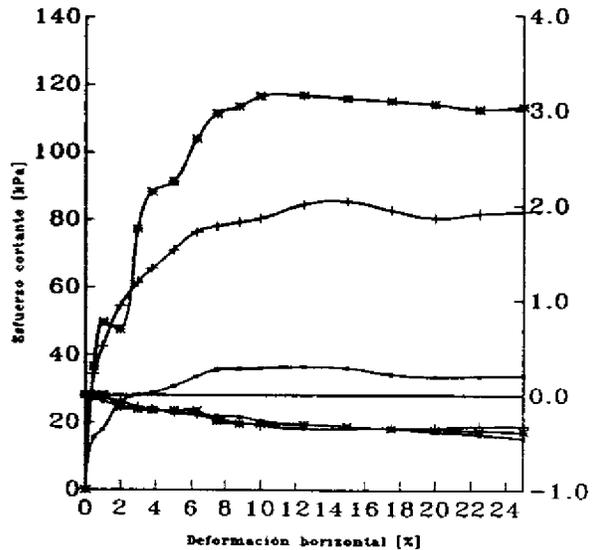
FIG.26. ENSAYO DE CORTE DIRECTO
 CAMPAÑA GEOLOGICA 1992, ESCAZU
 Muestra 1-A (inalterada)



Esfuerzo Normal
 — 46.5 kPa — 94.8 kPa — 173.4 kPa

Lab. de Geotecnia
 Esc. Centr. de Geología
 Univ. de Costa Rica

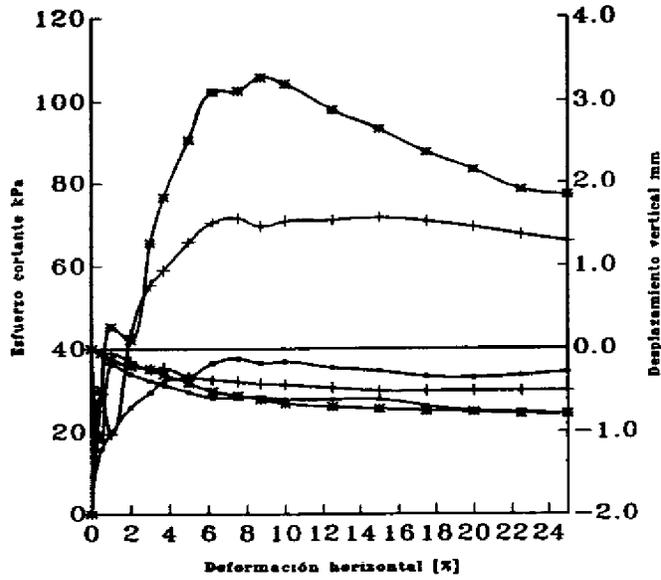
FIG.27. ENSAYO DE CORTE DIRECTO
 CAMPAÑA GEOLOGICA 1992, ESCAZU
 Muestra 1-B (inalterada)



Esfuerzo Normal
 — 46.6 kPa — 99.4 kPa — 190.5 kPa

Lab. de Geotecnia
 Esc. Centr. de Geología
 Univ. de Costa Rica

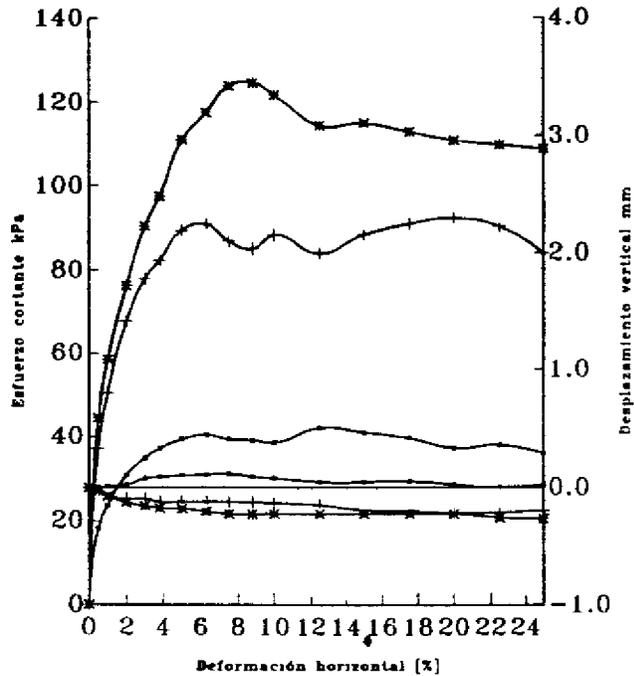
FIG. 28. ENSAYO DE CORTE DIRECTO
 CAMPAÑA GEOLOGICA 1992, ESCAZU
 Muestra 1-C (Inalterada)



Esfuerzo Normal
 - 46.4 kPa + 94.8 kPa = 189.9 kPa

Lab. de Geotecnia
 Esc. Centr. de Geología
 Univ. de Costa Rica

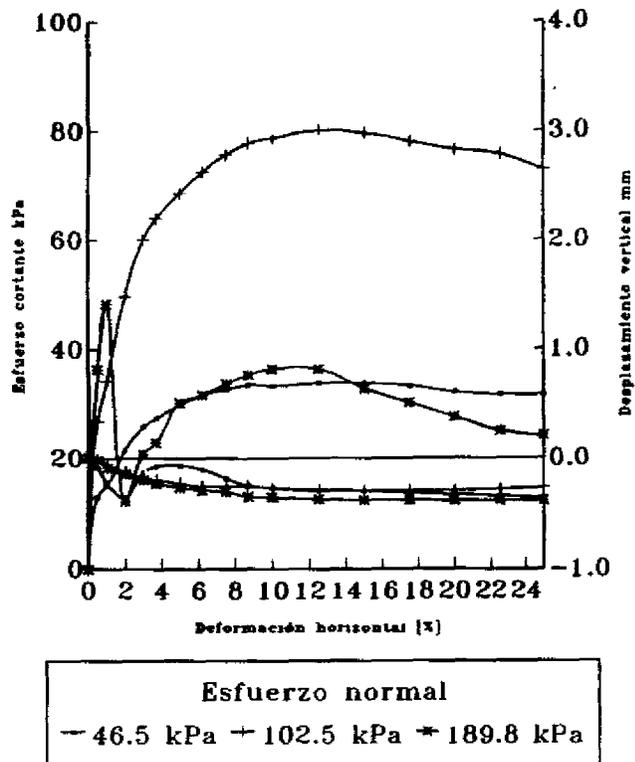
FIG. 29. ENSAYO DE CORTE DIRECTO
 CAMPAÑA GEOLOGICA 1992, ESCAZU
 Muestra 2-A (Alterada)



- 12.0 kPa + 24.6 kPa = 48.2 kPa

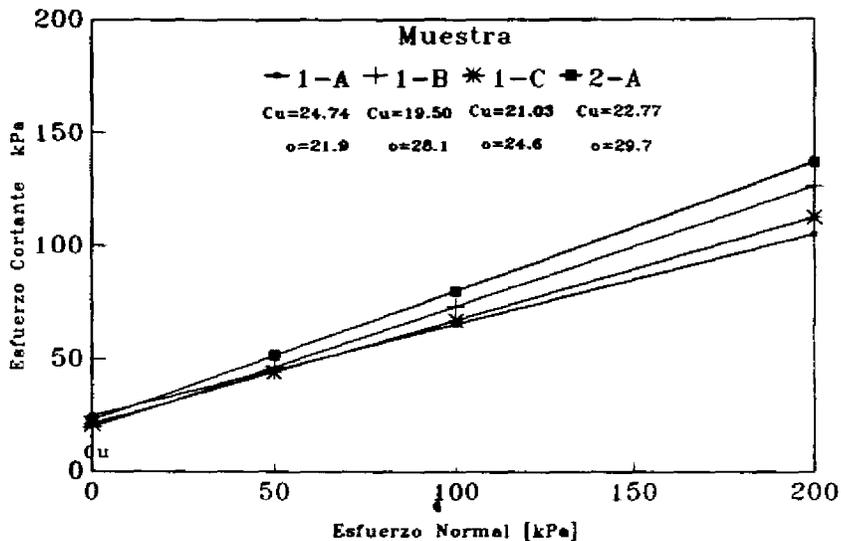
Lab. de Geotecnia
 Esc. Centr. de Geología
 Univ. de Costa Rica

FIG. 30. ENSAYO DE CORTE DIRECTO
 CAMPAÑA GEOLOGICA 1992, ESCAZU
 Muestra 2-B (Alterada)



Lab. de Geotecnia
 Esc. Centr. de Geología
 Univ. de Costa Rica

FIG31 PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
 SUELOS RESIDUALES, CANTON DE ESCAZU
 CAMPAÑA GEOLOGICA, 1992



Lab. Geotecnia
 Esc. Centr. de Geología
 U C R.

El límite líquido (Ll) de las muestras, excepto para la muestra 1-C, es siempre mayor que el contenido de humedad natural del suelo. Esto indica que el suelo es capaz de llegar al (Ll) y hasta superar este valor.

Se debe de considerar que mientras mayor sea el valor del Índice de Liquidez (con valores como la muestra 1-C, donde el IL >0), más cercano estará el suelo del estado líquido y más peligroso será su comportamiento (MORA,1983).

Algunas propiedades importantes en aplicaciones de obras ingenieriles, se presentan a continuación (SOWERS & SOWERS,1986):

	Fm. Pacacua			Intr. Escazú	
	1-A (MH)	1-B (SC)	1-C (SC)	2-A (SW)	2-B (SC)
Compactación	Acceptable a deficiente: rodillo de patas de cabra o de goma.	Buena a aceptable: llantas de goma o rodillo patas de cabra.		Buena: tractor, llantas de goma o cilindro apisonador vibratorio.	Buena a aceptable: llantas de goma o rodillo patas de cabra
Compresibilidad y expansión	Alta	Ligera a mediana		Casi ninguna	Ligera a media
Drenaje y permeabilidad	Deficiente a impermeable	Deficiente a impermeable		Bueno	Deficiente
Valor como material de relleno	Estabilidad deficiente, no debe usarse	Razonablemente estable		Muy estable	Razonablemente estable
Valor como capa base	Inadecuado	Acceptable a deficiente		Acceptable a deficiente	Acceptable a deficiente
Valor como pavimento temporal	Malo* Malo**	Excelente* Excelente**		Acceptable a deficiente* Bueno**	Excelente* Excelente**

* Con paliativo para el polvo.

** Con tratamiento bituminoso.