

V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

V.1. Localización

La Cuenca del Río Santa Cruz abarca los municipios Sonorenses de Santa Cruz y Nogales, así como territorio del Estado de Arizona, de los Estados Unidos de Norte América. Esta cuenca se localiza entre las coordenadas geográficas: $31^{\circ} 00'$ - $31^{\circ} 20'$ de Latitud Norte y $110^{\circ} 30'$ - $110^{\circ} 55'$ de Longitud Oeste (Rivas y col., 1991). El área de la cuenca binacional fue estimada en 1320.68 km^2 , correspondiendo el 66 % (871.65 km^2) a territorio mexicano (Cervera-Gómez, 1995).

En general, el área estudiada en el presente trabajo, es un rectángulo orientado Noroeste - Sureste, con una extensión de 343.75 km^2 , representando sólo una parte de la Cuenca del Río Santa Cruz en territorio mexicano y se localiza al este y sur de la ciudad de Nogales, Sonora (Fig. 6). Para facilitar los datos de entrada al modelo, el área fue dividida en una malla de 25 renglones y 55 columnas. Siendo la longitud de una celda de la malla de 500 metros.

V.2. Vías de Comunicación

En la zona de estudio se encuentran caminos de terracería que comunican con el municipio de Nogales (Fig. 7). La carretera federal número 15 enlaza al municipio de Nogales con el resto del estado, y con Estados Unidos de América. La vía férrea se encuentra paralela a esta carretera.

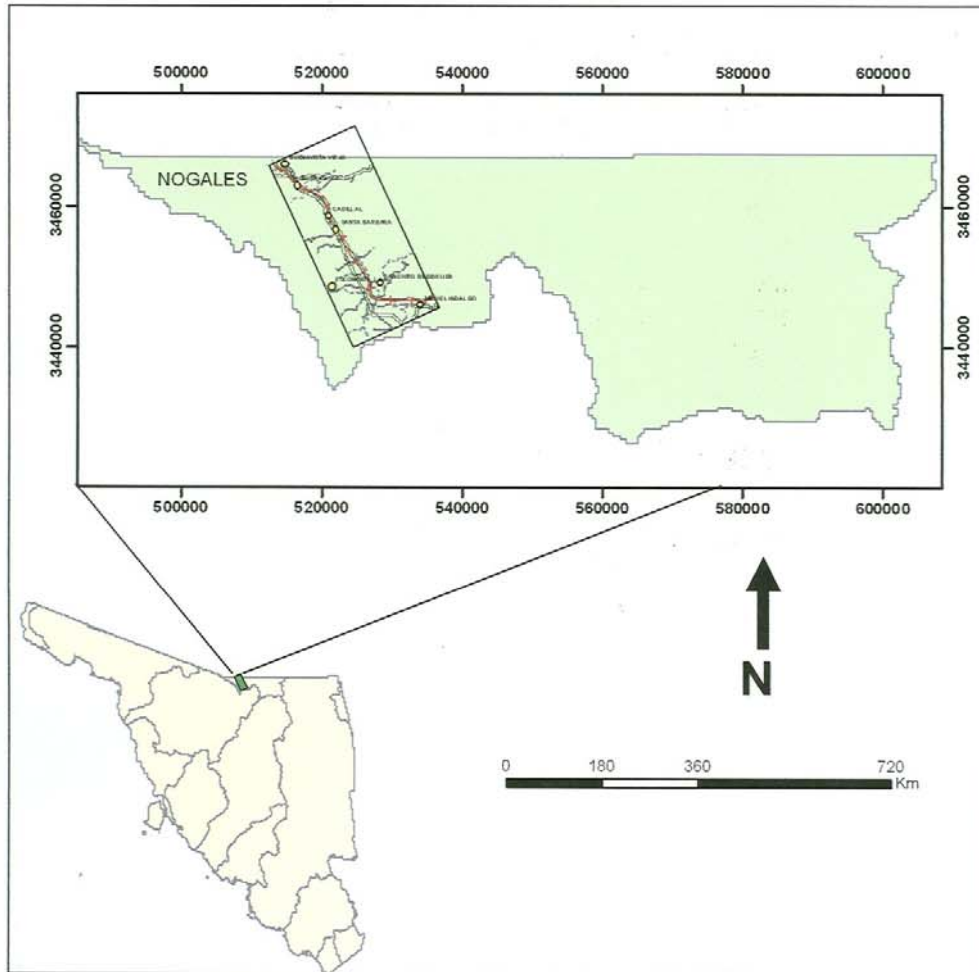


Figura 6. Localización del área de estudio

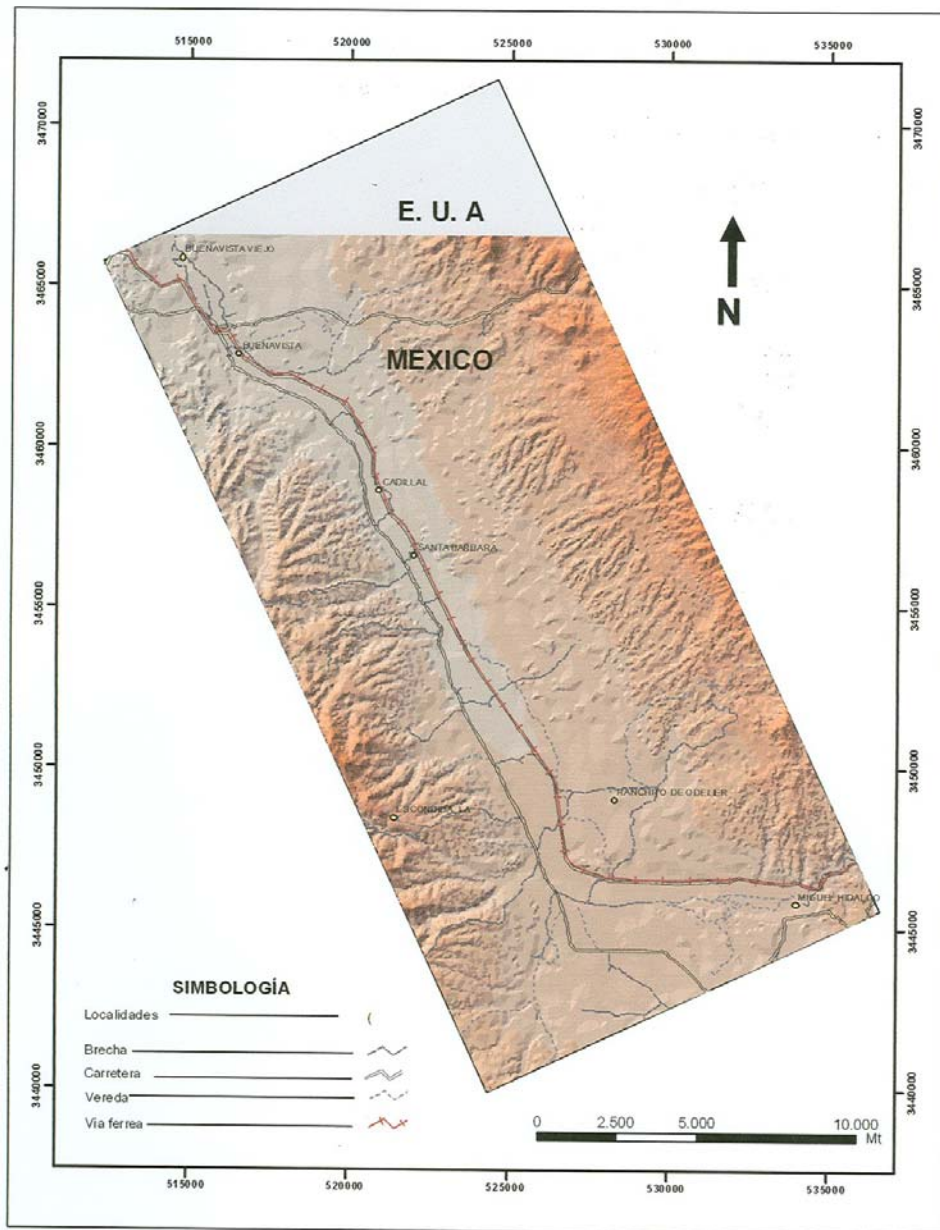


Figura 7. Vías de comunicación

Fuente: INEGI (2004)

V.3. Fisiografía

De acuerdo a la clasificación de INEGI (2000) la zona de estudio queda comprendida dentro de la Provincia Sierra Madre Occidental y de la Provincia Sierras y Llanuras del Norte, la cual se extiende a Estados Unidos de América. Asimismo, pertenece a la subprovincia Llanuras y Médanos del Norte. Esta provincia se caracteriza por estar formada por extensos valles aluviales entre los cuales se intercalan algunas sierras. En la zona predominan las rocas sedimentarias (principalmente conglomerados), aunque también se encuentran pequeños afloramientos de rocas ígneas intrusivas ácidas, como en la sierra El Chivato (Fig. 8).

V.4. Pendiente del Cauce Principal de la Cuenca

Investigadores de la Universidad de Sonora, obtuvieron un valor de 0.0051 o 0.51% para la pendiente del cauce principal de la cuenca, utilizando el Método de Taylor y Schwart (Rivas-Unzueta y col., 1991).

V.5. Climatología

De acuerdo a la clasificación del INEGI (2000), el clima de esta región es del tipo semiseco templado con lluvias en verano. Este tipo de clima se caracteriza por tener una temperatura media anual que va de 12.0 °C a 18 °C y una precipitación total al año entre 400 a 600 mm. La temperatura media anual reportada para la estación meteorológica Nogales, cuya clave es 26-038, es de 17.8 °C y las precipitaciones totales anuales de 506.6 a 428.5 mm. Esta estación se encuentra localizada a 31° 19' 08" latitud norte y 110° 56' 50" longitud oeste de Greenwich y una elevación de 1217 msnm. La lluvia en invierno es mayor de 10.2% con relación a la precipitación total anual. Presentándose la mayor cantidad de lluvia en el mes de agosto y la menor en mayo (Tabla 9). El promedio de heladas al año es de 22 días y se tiene registrada la presencia de nieve y granizo en esta zona. Las Tablas A-1, A-2, A-3, muestran información a detalle acerca de los registros en esta estación de temperatura media, precipitación total y evaporación, respectivamente.

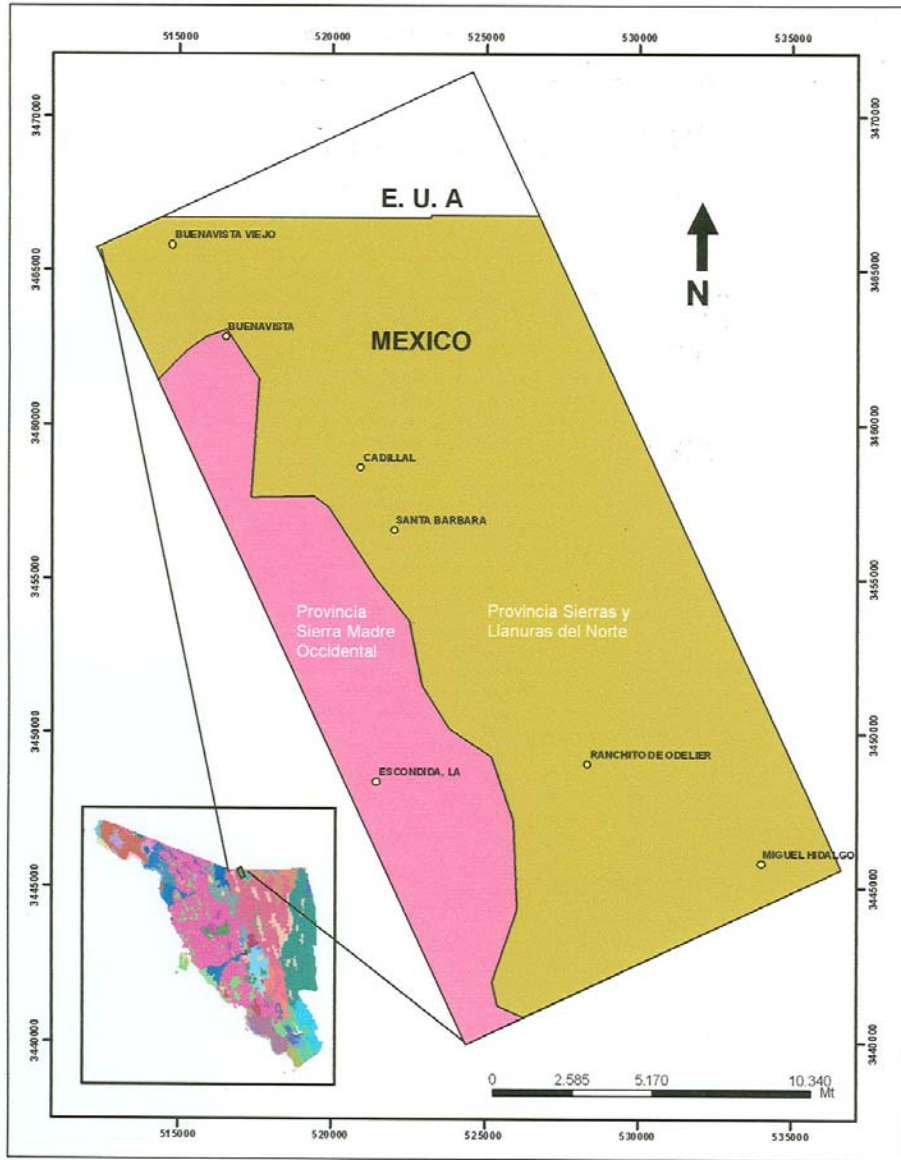


Figura 8. Fisiografía

Fuente: INEGI, (2000)

Según datos registrados en la estación climatológica San Lázaro, Sonora, situada a $31^{\circ} 18' 54''$ de latitud norte, $110^{\circ} 38' 48''$ de longitud oeste de Greenwich y a una elevación de 1279.90 msnm, aproximadamente a 10.5 km al suroeste de Santa Cruz, Sonora, y a 35 km al Sureste de Nogales, Sonora, la temperatura máxima alcanzada en la región en el período de 1961 - 1981, fue de 52°C en el mes de agosto y la temperatura mínima fue -20°C en el mes de diciembre del año 1978. La evaporación promedio anual de 2234 mm y la precipitación total anual promedio de 381 mm (Tabla 10). Esta estación fue operada y mantenida por la sección mexicana de la Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos desde marzo de 1954. En las Tablas A-4, A-5 y A-6, se muestra información detallada sobre los registros en esta estación de temperaturas extremas, precipitación total y evaporación, respectivamente.

Asimismo se tienen registros de precipitación en la cuenca americana del Río Santa Cruz, obtenidos en la estación Nogales, Arizona, ubicada a $31^{\circ} 21'$ Latitud Norte y $110^{\circ} 55'$ Longitud Oeste de Greenwich y una elevación de 1158 msnm. Esta estación fue operada por el Servicio Climatológico Nacional de los Estados Unidos, hasta que fue discontinuada en junio de 1983 y consistía en un pluviómetro normal de 8" (Tabla A-7).

La Estación Santa Cruz, Sonora, localizada a $31^{\circ} 14' 00''$ Latitud Norte, $110^{\circ} 35' 38''$ Longitud Oeste de Greenwich, con una elevación de 1360.0 msnm, ha registrado datos de temperatura, precipitación y evaporación, sin embargo no hay consistencia en los datos, por lo que hay muchos días en los que no se tienen datos. Un resumen de esta información se encuentra en las Tablas A-8, A-9 y A-10.

Otra estación se encuentra en el Aeropuerto Internacional de Nogales, Arizona, con clave 3196 de la Weather-Bureau-Army Navy. Sus coordenadas de ubicación son: $31^{\circ} 25'$ Latitud Norte, $110^{\circ} 51'$ Longitud Oeste de Greenwich, con una elevación de 1198.5 msnm. De esta última se puede obtener información actual diaria, vía Internet en la página Web <http://www.weatherunderground.com/>

Tabla 9. Estación meteorológica Nogales (26-038)

Periodo	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Enero	8.7	24.6
Febrero	10.5	33.6
Marzo	13.2	21.1
Abril	16.7	15.8
Mayo	20.5	5.8
Junio	24.3	16.9
Julio	27.0	91.8
Agosto	26.2	108.9
Septiembre	23.9	41.1
Octubre	19.3	17.3
Noviembre	13.0	15.4
Diciembre	10.1	36.2
Anual	17.8	428.5

Fuente: INEGI (2000)

Tabla 10. Datos climatológicos de la Estación San Lázaro, Sonora (1961- 1981)

Periodo	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C	Promedio Evaporación mm	Promedio Precipitación mm
Enero	34	-12	90	23
Febrero	31	-9	121	20
Marzo	37	-7	177	19
Abril	41	-8	246	8
Mayo	47	-2	301	2
Junio	51	4	324	11
Julio	52	10	218	111
Agosto	47	11	191	83
Septiembre	46	4	191	42
Octubre	44	0	175	29
Noviembre	39	-7	118	17
Diciembre	35	-20	91	30
Anual	52	-20	2234	381

Fuente: CILA (1961-1981)

V.6. Geología

En el área de estudio existen afloramientos de rocas que varían desde el Precámbrico (>570 Ma) hasta el Cuaternario. A continuación se describe esta clasificación de rocas, en base al estudio realizado por Técnicas Geológicas y Mineras, S.A. (1989) y que tiene concordancia con la carta geológica 1:250000 (Nogales H12-2), editada por INEGI (Fig. 9).

V.6.1. Rocas ígneas intrusivas

V.6.1.1. Diorita Pε (D). Roca con textura de grano grueso, se encuentra afectada por diques de composición ácida. Ésta unidad se encuentra debajo de los conglomerados terciarios y está afectada por cuerpos intrusivos del Cretácico Superior. Las formas que desarrolla tienen topografía suave y los afloramientos se ubican en una pequeña zona de la porción nororiental del área de estudio, al norte de la Sierra San Antonio. Generalmente se consideran a estas rocas como impermeables, pero cuando presentan intemperismo (erosión por efecto de la lluvia) pueden presentar cierta permeabilidad, la cual disminuye a profundidad. Se consideran de posibilidad acuífera baja.

V.6.1.2. Granito K(Gr). Estas rocas forman gran parte de la Sierra San Antonio al este del área de estudio y de la Sierra El Pinito, al oeste de la zona. Se producen por las intrusiones batolíticas (cuerpos intrusivos de grandes dimensiones) del Cretácico Superior (98-66 Ma) que afectan a rocas paleozoicas y mesozoicas. Estas rocas son compactas en general, de grano grueso pero en algunos lugares el material está erosionado y se vuelve menos compacto, por ejemplo, alrededor de la mina de cobre El Pilar en la porción sur de la Sierra San Antonio. Así como las rocas anteriores, se consideran impermeables pero condicionadas a mejorar su permeabilidad por el intemperismo o el fracturamiento.

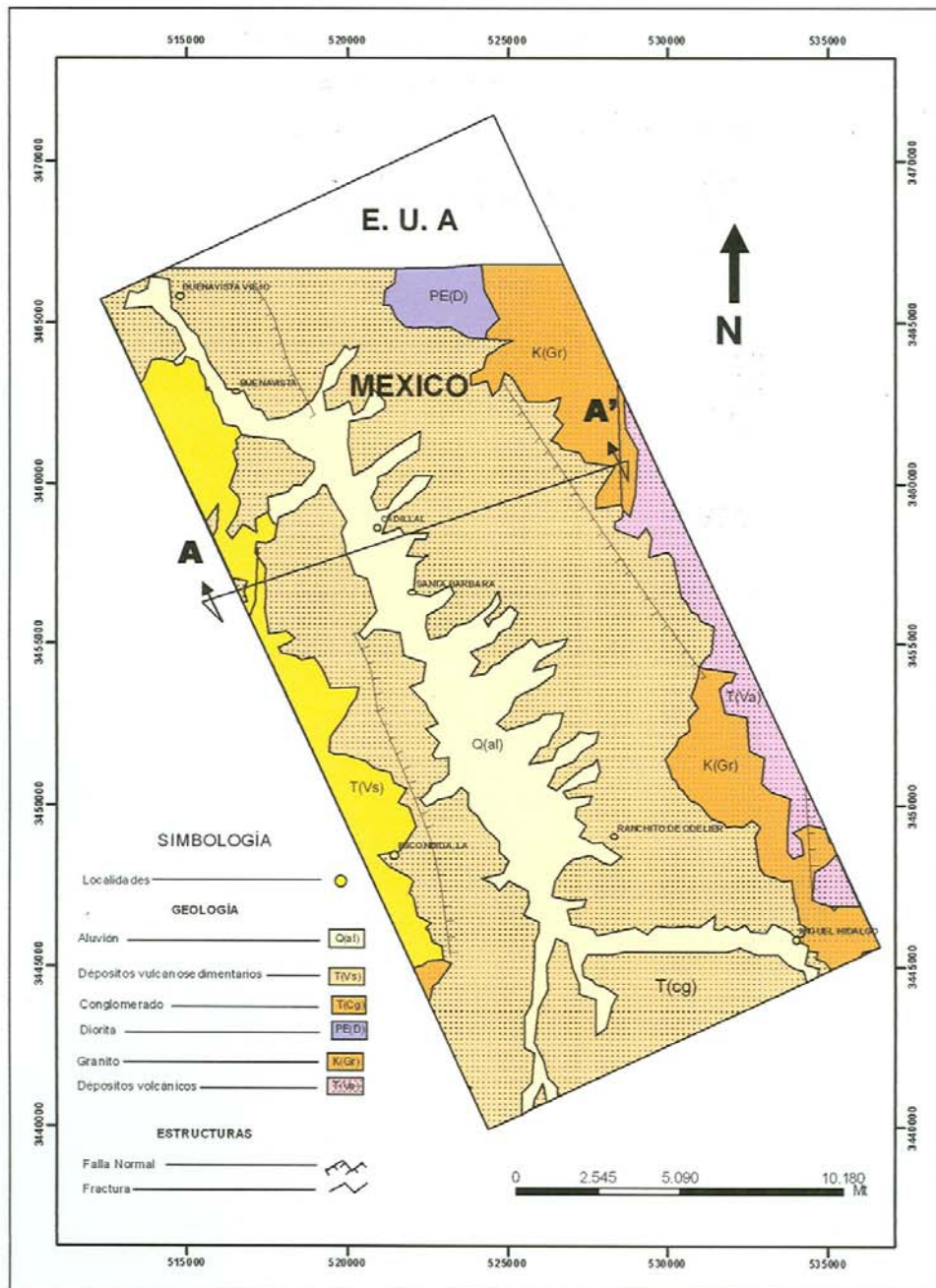


Figura 9. Geología superficial

Fuente: Técnicas Geológicas y Mineras (1989)

V.6.2. Rocas ígneas extrusivas

V.6.2.1. Depósitos volcánicos T(va). Estas rocas se depositaron después de un largo período de erosión de los grandes intrusivos graníticos. Se caracteriza principalmente por rocas de composición ácida y localmente andesíticas. Se pueden presentar como derrames, tobas, tobas líticas, brechas volcánicas, ignimbritas, así como domos volcánicos, generalmente de composición riolítica. Estas rocas volcánicas ácidas se encuentran en el área de estudio, formando la parte central de la Sierra San Antonio. Debido a que estos depósitos presentan fuertes variaciones en su textura y composición, así como abundantes fracturas, presentan una mediana permeabilidad y pueden constituir acuíferos potenciales en el subsuelo de los valles.

V.6.2.2. Depósitos vulcanosedimentarios T(vs). Estas rocas consisten de materiales conglomeráticos, arenas y arcillas derivados de rocas volcánicas más antiguas y depositadas en ambientes de lagos. Generalmente la matriz de estas rocas es arcillosa y en su parte basal se observan algunas tobas. Estos depósitos vulcanosedimentarios se ubican en la Sierra El Pinito, en la porción occidental del área de estudio. Estas rocas se encuentran depositadas debajo de los depósitos continentales conglomeráticos y debido a que contiene muchas arcillas, esta unidad se considera como impermeable.

V.6.3. Rocas sedimentarias

V.6.3.1. Conglomerado T(cg). A fines del Terciario (65-1.7 Ma) se rellenan las grandes depresiones producidas por fallas norte-sur. Este relleno consiste de sedimentos de origen continental que fueron acarreados por los ríos y que se conocen como aluvión. Forman grandes espesores, los cuales se correlacionan con la llamada Formación Báucarit del Mioceno (23-6 Ma) y consisten en arenas conglomeráticas y conglomerados poco consolidados. En ocasiones estos sedimentos están intercalados con basaltos. Se distribuyen a lo largo del valle por donde fluye el Río Santa Cruz, observándose terrazas labradas en este material. Estos sedimentos se encuentran formando lomeríos y aflora ampliamente al centro del área de estudio.

Este relleno sedimentario presenta una moderada consolidación, por lo que se considera que tiene de mediana a baja permeabilidad y puede formar junto con los depósitos aluviales más jóvenes, el principal acuífero de la región.

V.6.3.2. Aluvión Q(al). Los depósitos aluviales del Cuaternario (1.7 Ma - hoy) son aquellos producidos por la actividad fluvial (de ríos) y se restringen al valle intermontano donde se localiza el cauce del Río Santa Cruz. En general, tienen poco espesor. Representan el evento sedimentario más reciente en las cuencas continentales originadas por movimientos post-orogénicos. Forma depósitos de sedimentos no consolidados constituidos por gravas, arenas y arcillas con buena porosidad granular y buena permeabilidad, por lo que constituyen el acuífero de la zona. En ocasiones se componen de arenas de cuarzo y otros materiales derivados de rocas ígneas con matriz limo-arcillosa.

V.7. Hidrogeología

En general, el comportamiento hidrogeológico de la zona puede describirse como bloques fallados de naturaleza batolítica (granitos y granodioritas) sobre los que descansa una secuencia volcánica ácida y otra volcanosedimentaria seguidos por depósitos continentales. La Fig. 10 muestra una sección geológica A-A' que es representativa de la zona de estudio, elaborada por Técnicas Geológicas y Mineras (1989). La ubicación de esta sección dentro del área de estudio se puede observar en la Fig. 9, antes mostrada.

Las rocas volcánicas ácidas poseen una permeabilidad favorable que pueden constituir un acuífero confinado, ya que sobre ellas descansa un paquete impermeable volcanosedimentario. Sin embargo, el acuífero principal de la región queda comprendido por los depósitos continentales, conformado por el relleno de los valles junto con los depósitos aluviales recientes. Por lo tanto, este acuífero se considera del tipo libre, aunque podrían presentarse condiciones de semiconfinamiento en los conglomerados continentales.

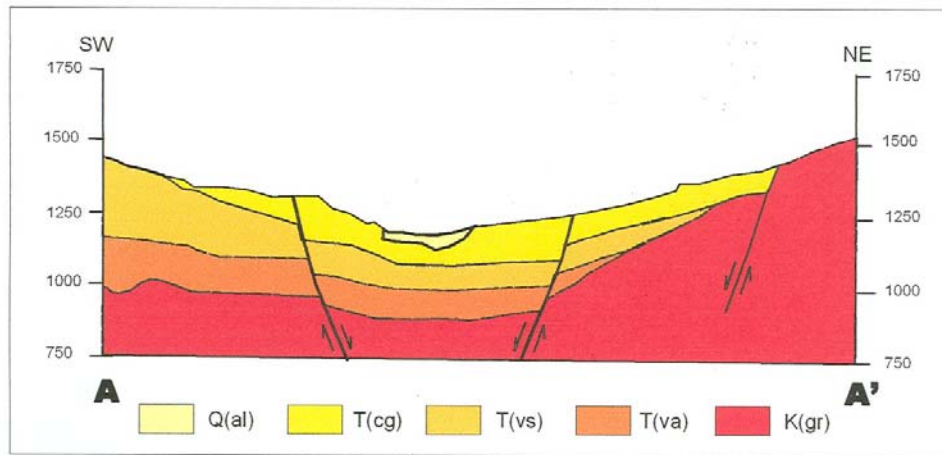


Figura 10. Sección geológica

Fuente: Técnicas Geológicas y Mineras, S.A. (1989)

V.8. Suelos

Los suelos predominantes en el valle son de textura fina, delgados, limitados por roca coherente. Feozam háplico, Litosol, Vertisol crómico, vertisol pélico, Regosol eútrico, Regosol calcárico (Fig. 11). En la Sierra San Antonio, los suelos son de textura media y poco profundos. En la Sierra El Pinito, los suelos son de textura gruesa, profundos y localmente con gravas en la superficie (INEGI, 2000).

V.9. Vegetación

En la vegetación de la zona existe heterogeneidad, debida a los cambios orográficos, climáticos y tipos de suelos existentes. Entre esta vegetación se encuentran pastizales naturales, bosques de pino, bosques de encino-pino, zonas de mezquital, entre otros (Cervera-Gómez, 1995). En el año 2000, se realizó una investigación con el objetivo de determinar la composición de la flora; y la abundancia y estructura de la vegetación arbórea y arbustiva en el cauce del Río Santa Cruz, Sonora, México. En especies arbóreas se obtuvo el valor de importancia, suma de los parámetros de densidad relativa, cobertura basal relativa y frecuencia relativa, siendo el álamo, el sauz y el mezquite las especies con mayor valor con el 42.24%, 28.23% y 12.04%, respectivamente. En especies arbustivas se obtuvo el valor de importancia, suma de la densidad relativa y frecuencia relativa, siendo el batamonte con 41.19% y el senecio con 29.43% las especies con mayor valor (Solis-Garza, y col., 2002).

V.10. Hidrología Subterránea

En el estudio realizado por Técnicas Geológicas y Mineras S.A (1989) para la Comisión Nacional del Agua, se concluyó que a lo largo del período 1963-1989, la condición del acuífero fue de equilibrio. Esta condición se alteró sólo durante estaciones o períodos de sequía; pero el acuífero regresó a su estado original al presentarse de nuevo el período lluvioso. Esto sugiere que la recarga potencial en ese período de tiempo era mayor que la extracción y por lo tanto, el acuífero prácticamente no tuvo un cambio en el almacenamiento y la recarga fue similar a la extracción. En general, la profundidad del nivel estático en la zona en el periodo 1963-1989 varió de 3 a 9 metros.

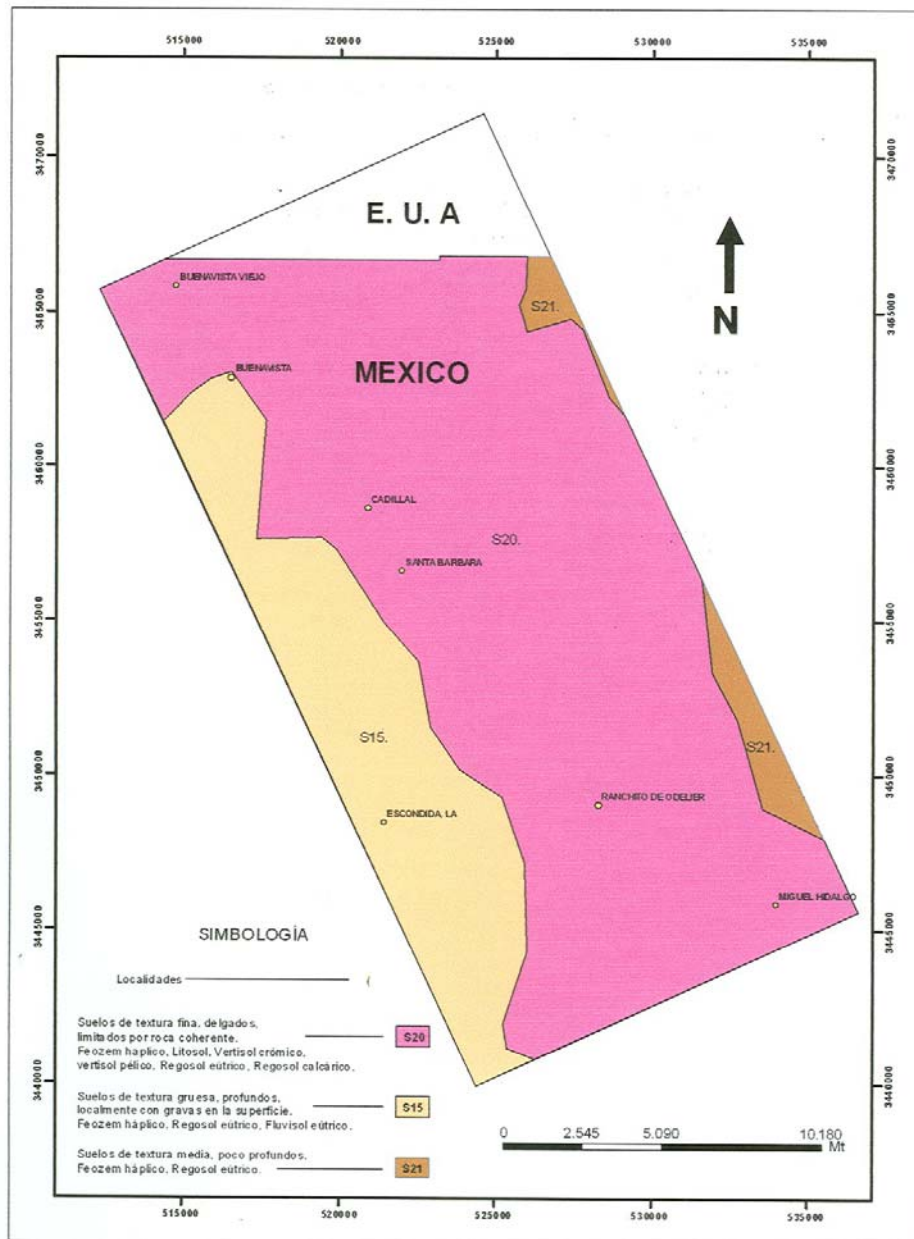


Figura 11. Suelos

Fuente: INEGI (2000)

V.11. Hidrología Superficial

El valle del Río Santa Cruz se encuentra dentro de la región hidrológica⁷ (Río Colorado), cubriendo parte de la cuenca Bacanora-Mejorada, en la subcuenca denominada Nogales. Las corrientes superficiales más importantes dentro de la subcuenca Nogales son (Fig. 12): El Río Santa Cruz, los arroyos La Escondida, La Tinaja, La Parrilla, Los Yaquis y Los Jacalones, ubicados al sur del área de estudio; los arroyos Nogales, San Luis y la Capilla, ubicados al noroeste del área de estudio y los arroyos la Galera, Las Avispas y el Pilar, ubicados al este del área de estudio.

Debido a la buena permeabilidad del lecho del Río Santa Cruz, las aguas superficiales generalmente se infiltran a lo largo del cauce, representando una recarga para el acuífero que es aprovechada mediante obras de captación someras como norias, galerías filtrantes y pozos.

Se encuentran disponibles datos de gasto medio diario del Río Santa Cruz (Tabla A-11), y volúmenes de flujo (Tabla A-12), obtenidos en la estación hidrométrica El Cajón, ubicada a 7 km al suroeste de Santa Cruz, Sonora, y a 50 km aproximadamente al sureste de Nogales, Sonora, para el periodo del 14 de Enero de 1954 al 31 de agosto de 1959. El cero de la escala está a la elevación 1,301.57 m.s.n.m. La Tabla 11 muestra un resumen de los registros de volumen de flujo en esta estación.

También hay una estación hidrométrica en la sección de entrada del Río Santa Cruz a Estados Unidos (Estación Cerca de Nogales, Arizona, localizada a 8.9 km al este de Nogales, Arizona, 1.3 km aguas abajo del lindero internacional y 9.7 km aguas arriba del puente sobre el Río Santa Cruz en la carretera estatal No. 82), 31°20'40" Latitud Norte, 110°51'03" al Oeste de Greenwich. Las Tablas A-13 y A-14 contiene registros en esta estación de gasto medio diario (m^3/s) y volúmenes de flujo, respectivamente. La Tabla 12 muestra un resumen de los registros de volumen de flujo. Esta estación es mantenida por USGS y la información se encuentra disponible en Internet (<http://nwis.waterdata.usgs.gov/az/nwis/sw>)

Tabla 11. Volúmenes (m³), Estación hidrométrica El Cajón, Sonora

Periodo	Medio	Máximo	Mínimo
Enero	608000	1833000	168000
Febrero	513000	1971000	104000
Marzo	506000	1206000	94200
Abril	310000	880000	92400
Mayo	222000	631000	69100
Junio	194000	600000	77800
Julio	754000	1513000	103000
Agosto	4383000	40221000	282000
Septiembre	1058000	3700000	124000
Octubre	473000	1467000	96800
Noviembre	451000	1034000	165000
Diciembre	523000	1025000	135000
Anual	12329000	47977000	2858000

Fuente: Boletines Hidrométricos de la CILA (1954 a 1974)

Tabla 12. Volúmenes (m³), Estación hidrométrica cerca de Nogales, Arizona, E.U.A

Periodo	Medios	Máximos	Mínimos
Enero	2895000	37352000	0
Febrero	2150000	25344000	0
Marzo	1862000	24145000	0
Abril	603000	4263000	0
Mayo	136000	1272000	0
Junio	93000	1787000	0
Julio	2894000	19255000	0
Agosto	6156000	56481000	12100
Septiembre	1726000	111633000	0
Octubre	2393000	72806000	0
Noviembre	773000	12180000	0
Diciembre	2790000	41405000	0
Anual	24471000	108071000	1662000

Fuente: Boletines Hidrométricos de la CILA (1950-2001)

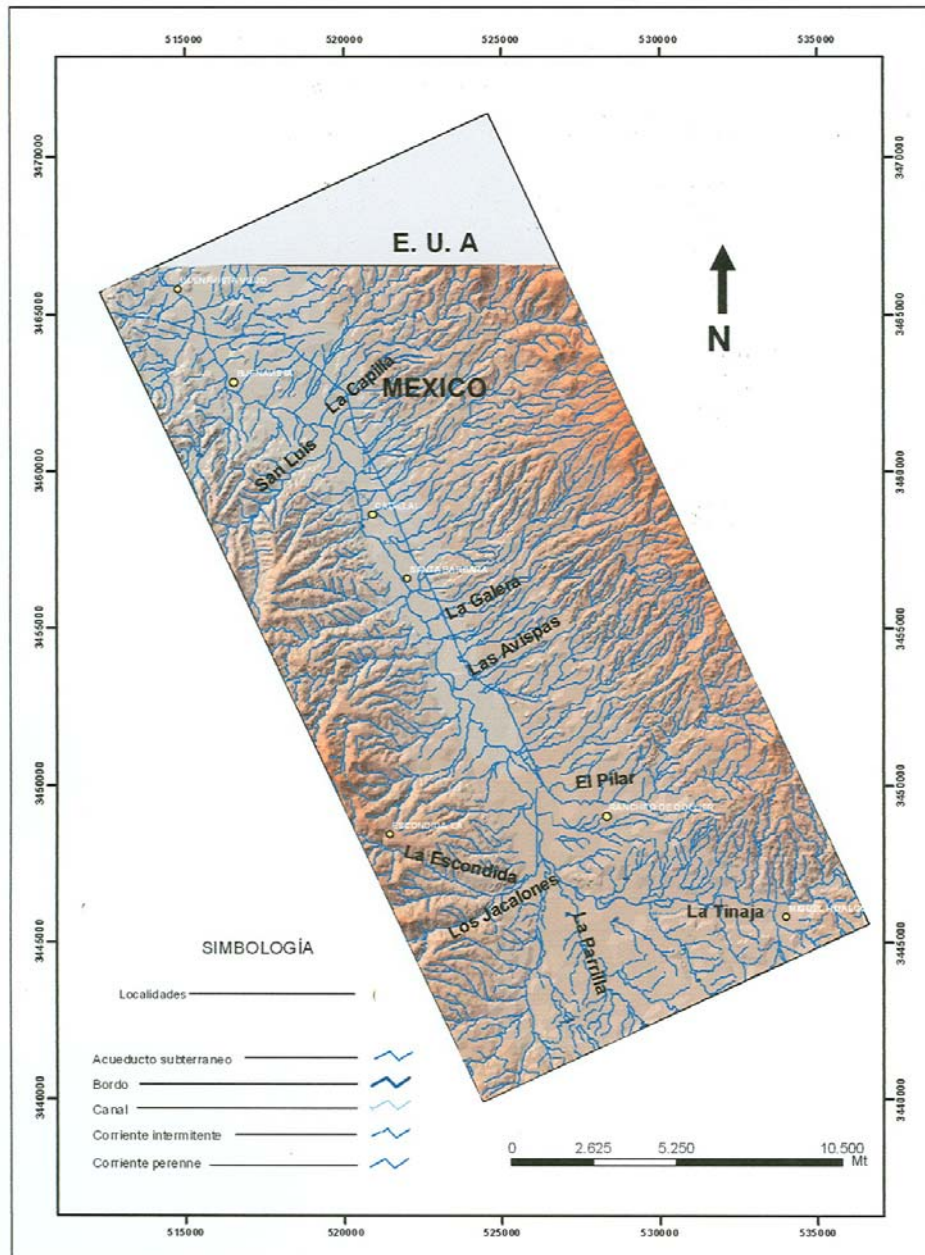


Figura 12. Hidrología superficial

Fuente : INEGI (2004)