UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA CIENCIAS DE LA TIERRA

“GEOLOGÍA A DETALLE DEL VASO DE LA PRESA EL REALITO, MUNICIPO DE VICTORIA, GUANAJUATO.”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA

CÉSAR ALBERTO GUERRERO IBARRA

DR. MARGARITO TRISTÁN GONZÁLEZ

SAN LUIS POTOSI, S.L.P, ABRIL DEL 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ

15 de marzo de 2012

AL PASANTE CÉSAR ALBERTO GUERRERO IBARRA
P R E S E N T E.-

En atención a su solicitud de autorización de Temario, presentada por el **Dr. Margarito Tristán González**, Asesor del ***Trabajo de Tesis*** que desarrollará usted, con el objeto de sustentar su Examen Profesional en la Licenciatura de **Ingeniero Geólogo**. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 15 de marzo del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"GEOLOGÍA A DETALLE DEL VASO DE LA PRESA EL REALITO MUNICIPIO DE VICTORIA, GUANAJUATO"

INTRODUCCIÓN.
I. GENERALIDADES.
II. CARTOGRAFÍA REGIONAL.
III. CARTOGRAFÍA DEL VASO DE LA PRESA.
IV. MODELO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL
CONCLUSIONES.
BIBLIOGRAFÍA.

Ruego a Usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, debe presentar Constancia de Servicio Social como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

A T E N T A M E N T E

ING. ARMANDO VIRAMONTES ALDANA
DIRECTOR

UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION

/bcb

FACULTAD
DE INGENIERÍA
Av. Manuel Nava 8
Zona Universitaria • CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2330 al39
fax (444) 826 2336
www.uaslp.mx

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Ing. Ricardo E. Garza Blanc, director local de la CONAGUA, San Luis Potosí y al Ing. Francisco Acevedo Rodríguez, residente general técnico de la CONAGUA por las facilidades otorgadas para la realización de esta tesis, dentro del convenio de colaboración CNA-DLSLP-UASLP., para determinar la estanqueidad del vaso de la presa El Realito.

Un agradecimiento muy especial y sincero al Dr. Margarito Tristán González, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, por su apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más de lo estudiado en el proyecto.

A los profesores del Instituto de Geología: Dr. José Rafael Barboza Gudiño, Dr. Alfredo Aguillón Robles, a todos ellos por haberme permitido realizar mi tesis del proyecto El Realito, al Dr. José Ramón Torres Hernández por sus grandes consejos y ayuda, al Ing. Erasmo Mata por su gran apoyo en el laboratorio.

A los profesores del Área de Ciencias de la Tierra: M.C. Francisco J. Orozco, Ing. Miguel Mayer, M.C. Juan M. Torres Aguilera, M.C. Guillermo Alvarado, Ing. Jorge Aceves, Dr. Delfino Ruvalcaba Ruiz, por sus valiosas enseñanzas y apoyo durante mi carrera.

A la compañía MINERA ELECTRUM SA DE CV: al Ing. José A. Martínez Mendoza, Ing. Víctor H. Mendoza Díaz, Ing. Ma. De Lourdes Walle, a todos ellos por haberme apoyado para la culminación de mi tesis.

A Mireya por apoyarme, quien a lo largo de estos años juntos me ha enseñado el valor de los detalles y ha visto en mí una persona capaz de dar lo mejor de sí. Gracias.

A mis amigos que siempre estuvieron a un lado mío para ayudarme, escucharme, aconsejarme y en muchas ocasiones guiarme. Gracias.

DEDICATORIA

Con mucho cariño principalmente a mis padres: José Luis Guerrero y Ma. Victoria Ibarra que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí y brindarme todo su amor, por enseñarme a luchar hacia delante. Gracias a ustedes he llegado a esta meta. Realmente no hay palabras que logren expresar lo mucho que quiero agradecerles.

A mis hermanos Juan y Luis porque siempre he contado con ellos para todo y me han hecho saber que siempre estarán apoyándome en todo lo que haga y solo esperan mi bienestar a cambio, como muestra de gratitud les dedico el presente trabajo.

CONTENIDO

Página

INTRODUCCIÓN 1

Objetivo 3

Antecedentes 3

Métodos de trabajo 5

Gabinete 5

Trabajo de campo 5

Laboratorio 6

I. GENERALIDADES 7

I.1.-Localización y Extensión del Área 7

I.2.-Acceso y Vías de Comunicación 8

I.3.-Fisiografía y Geomorfología 10

A) Fisiografía 10

B) Geomorfología 12

I.4.-Geología Regional 14

II.-CARTOGRAFÍA REGIONAL 22

A) Formación El Abra 22

B) Formación Cenicera 23

C) Andesita Salitrera 24

D) Riodacita Del Carmen 25

E) Serie Volcánica Atotonilco 26

F) Ignimbrita El Órgano y Santa María 26

G) Serie Volcánica Potrerillo 28

H) Traquita Ojo Caliente (Toc) 30

I) Andesita Estanco y Agua Fría 31

J) Intrusivo Palo Verde 32

III CARTOGRAFÍA DEL VASO DE LA PRESA. 35
A) Riodacita Del Carmen 35
B) Toba Álamos 45
C) Ignimbrita El Órgano 49
D) Depósito Coluvial 54

IV.-MODELO GEÓLOGICO ESTRUCTURAL 57

CONCLUSIONES 65

BIBLIOGRAFÍA 67

Lista de figuras.

Página

Figura 1.-Localización del área....7

Figura 2.-Vías de acceso para arribar a la presa El Realito. 8

Figura 3.-Provincias Fisiográficas de México 10

Figura 4.-Ubicación del área estudiada dentro de la Plataforma Valles-S.L.P., y CVRSM 15

Figura 5.-Ubicación del campo volcánico del Rio Santa María,con relación a la Plataforma Valles-S.L.P 16

Figura 6.-Localización del CVRSM dentro de la Provincia de Cuencas y Sierras de México 19

Figura 7.-Mapa geológico regional de la zona El Realito, Guanajuato....20

Figura 8.-Columna estratigráfica regional compuesta, del Campo Volcánico del Río Santa María. 21

Figura 9.-Columna estratigráfica del vaso de la Presa El Realito. 33

Figura 10.-Mapa geológico del vaso de la Presa El Realito. 34

Figura 11.-Fenocristales de feldespato y plagioclasa en matríz microcristalina de similar composición. Ancho de la foto ≈0.5 cm. Polarizadores cruzados. 36

Figura 12.-Fracturamiento interno por efecto de colapso, dando el aspecto brechado. ...38

Figura 13.-Brechamiento fino dentro de un bloque de riodacita. 39

Figura 14.-Brechamiento fino dentro de un bloque de riodacita. 39

Figura 15.-Fragmento dentro de un bloque brechado donde se aprecia estructura típica de “rompecabezas”. 40

Figura 16.-Fracturamiento interno de la riodacita Del Carmen se puede apreciar la serie de bloques brechados acomodados de forma caótica. 41

Figura 17.-Acomodo caótico de bloques brechados, quedando huecos abiertos entre ellos. 42

Figura 18.-Acomodo caótico de bloques,algunos de ellos están totalmente brechados, como el bloque inferior, mientras que el superior solo está fracturado con débil fracturamiento. 43

Figura 19.-A) Aspecto del acuñamiento de bloques en la margen izquierda del río. B) Bloque fracturado en la margen derecha del cauce, envuelto en material coluvial. 44

Figura 20.-Se observan clástos semiangulosos de diversos tamaños en una matriz fina y compacta. 44

Figura 21.-Secuencia de oleadas piroclásticas que forman la base de la Toba Álamos. 45

Figura 22.-Fenocristales de feldespato y plagioclasa en matríz fina de ceniza. Ancho de la foto ≈0.5 cm. Polarizadores cruzados. 46

Figura 23.-Contacto por falla de la toba Álamos y un bloque de la riodacita Del Carmen, donde el piroclástico se encuentra fragmentado por el acomodo de bloque. 47

Figura 24.-Basculamiento de la toba Álamos por reacomodo dentro de un bloque de la riodacita Del Carmen. 48

Figura 25.-Cristales de feldespato reabsorbidos en una matríz vítrea. Polarizadores cruzados. (Ancho de la imagen 0.5 cm). 50

Figura 26.-Base de la ignimbrita El Órgano, donde se aparecían los pliegues formados por reomorfismo. 51

Figura 27.-Secuencia basal de la ignimbrita El Órgano, donde se distinguen los dos miembros basales. 52

Figura 28.-Estructura columnar típica, que muestra gran parte del paquete de la ignimbrita El Órgano. 53

Figura 29.-Aspecto del brechamiento que presentan los bloques basculados de la ignimbrita El Órgano, que se encuentra en el lecho y márgenes del Río Santa María. 53

Figura 30.-Bloques de la riodacita Del Carmen (Trc) envueltos en fragmentos angulares soportados en material arcilloso (Qcl). 54

Figura 31.-Depósitos coluviales localizados en la margen derecha aguas arriba del Río Santa María. 55

Figura 32.-Bloques de la riodacita Del Carmen envueltos en fragmentos angulares soportados en material arcilloso. 55

Figura 33.-Bloques de la ignimbrita El Órgano, como parte del depósito coluvial. 56

Figura 34.-En la márgen izquierda dentro de lo que será el vaso de la presa, se aprecia un patrón de drenaje orientado casi norte sur y que refleja el límite de la mayoría de los bloques colapsados y deslizados. Trc- riodacita del Carmen; Tor-ignimbrita El Órgano. Las flechas indican la dirección de colapso y deslizamiento. 58

Figura 35.-Bloque diagramático de una depresión vulcano-tectónica tipo caldera de colapso, mostrando el acomodo que sufre la secuencia intra-caldera, formando una serie de bloques dispuestos de forma caótica (Tomado de Aguirre-Díaz *et al*., 2010).....60

Figura 36.-Planos de falla con desarrollo de brecha fina, en la margen derecha de la cortina de la presa. 61

Figura 37.-Bloques fracturados y argilizados margen derecha en la zona donde se anclará la cortina. 61

Figura 38.-mapa de la zona de cizalla sobre el cauce del Río Santa María (base mapa geológico complementario del proyecto Presa de Almacenamiento El Realito, realizado por CONAGUA). 62

Figura 39.-Explicación del modelo volcánico-tectónico de la región El Realito.. 64

RESUMEN.

La zona estudiada se localiza en el municipio de San Luis de La Paz, Guanajuato, muy cerca del límite con el estado de San Luis Potosí, sobre el lecho del Río Santa María. Esta área forma parte de la porción más al suroriente de la provincia volcánica de la Sierra Madre Occidental (SMOc), perteneciente al Campo Volcánico del Río Santa María (CVRSM). Se encuentra también en la porción occidental de la Sierra Madre Oriental (SMOr) y en particular a la porción occidental de la Plataforma Valles San Luis Potosí, donde predominan los sedimentos de la Formación El Abra. La secuencia volcánica del CVRSM depositada sobre las rocas marinas, está formada principalmente por una secuencia de lavas riodacíticas e ignimbritas riolíticas cuya edad se ha sugerido del Oligoceno temprano. El objetivo de este trabajo fue el de cartografiar a detalle la zona del vaso de la Presa El Realito, encontrando que la unidad de roca que predomina es la riodacita Del Carmen dispuesta en megabloques acomodados caóticamente y mezclados con otros de la ignimbrita El Órgano. Se encontró que la mayoría de los megabloques se encuentran internamente brechados por trituración, aunque también hay brechas producto del movimiento de la lava (brechas de desintegración basal). Dentro de los megabloques se aprecia fracturamiento con diferente intensidad, dispuesto en un patrón irregular. En la margen derecha se cartografiaron paquetes gruesos de depósitos coluviales los cuales son más notorios aguas arriba del cauce donde presentan niveles de limos, lo que sugiere la presencia de una represa natural que se encontró en ese sitio en algún tiempo.

De acuerdo con la geología de detalle, se realizó un modelo gelógico-estructural con el fin de apoyar las obras de construcción de la cortina de la presa El Realito. Este modelo está basado en la presencia de megabloques producto del colapso de una caldera, la cual está respaldada por el volumen enorme de ignimbritas (ignimbrita El Órgano) que cubre casi en su totalidad el CVRSM. El sitio de la cortina se sugiere, que se encuentra en uno de los bordes de la caldera. Estos megabloques son principalmente de riodacita y se aprecian con mucho detalle en la margen izquierda del vaso de la presa, donde se mezclaron con algunos de ignimbrita. Las fallas son generalmente límites de los megabloques, aunque también hay fallas de movimiento lateral derecho que corren paralelas al cauce del río formando una zona de cizalla, las cuales no revisten problema en la construcción de la cortina. Los extremos de la cortina están anclados en megabloques de riodacita brechada y fracturada.

INTRODUCCIÓN

El sitio donde se construye la presa El Realito, se localiza al sur poniente de la ciudad de Rio Verde, S.L.P. El sobre el cauce del Río Sana María la altura del poblado El Realito. Geológicamente pertenece al extremo occidental de la unidad paleogeográfica del Mesozoico de la Plataforma Valles-San Luis Potosí (PVSLP). Parte de la margen occidental de esta plataforma se localiza en el extremo más suroriental de la Provincia Volcánica de la Sierra Madre Occidental (SMOc), dentro de lo que se conoce como el Campo Volcánico del Río Santa María (CVRSM, Labarthe-Hernández *et al*., 1989). El CVRSM está constituido por un paquete de rocas volcánicas y sub-volcánicas del Oligoceno (~32-30 Ma, Tristán-González *et al*., 2009). La secuencia volcánica de la región donde se construye la presa, está depositada sobre los sedimentos de la Formación El Abra, que consiste de bancos de caliza. Esta secuencia volcánica está formada principalmente por rocas efusivas y piroclásticas muy voluminosas de composición riodacítica a riolítica de más de 1000 m de espesor. La lava que formó domos exógenos es de gran volumen y corresponden a la riodacita Del Carmen, la cual ocupa un área aproximada de unos 3000 km^2 y en algunos sitios pueden alcanzar los 1000 m de espesor. Sobre la riodacita Del Carmen descansa la ignimbrita El Órgano que está formado por un paquete grueso de ignimbrita soldada, la cual puede alcanzar los 800 m en su porción más gruesa, cuya edad se ha documentado en sus partes distales al poniente del CVRSM de 32 Ma donde se le conoce como ignimbrita Santa María (Labarthe-Hernández *et al*., 1989; Tristán-González *et al*., 2009) Se

ha sugerido que el paquete que forma la ignimbrita El Órgano causó la formación de una gran caldera localizada dentro del CVRSM (Labarthe-Hernández *et al.*, 1984; Tristán-González, 1987; Labarthe-Hernández *et al.*, 1989).

De acuerdo con el estudio realizado para proponer un modelo geológico-estructural para el sitio donde se construye la boquilla de la presa (Tristán-González *et al*., 2009), concluyeron que ambas márgenes donde se soportará la cortina están constituidas por una serie de bloques fracturados de la riodacita Del Carmen e ignimbrita El Órgano que se acomodaron caóticamente, como consecuencia de un colapso gravitacional, sugiriendo que se debió a que la zona forma parte de una margen de una caldera de colapso, que se originó por la erupción voluminosa de la ignimbrita El Órgano.

En el estudio geológico de detalle que se realizó sobre el área del vaso de la presa, se comprobó que efectivamente ambas márgenes de vaso están constituidas por una serie de bloques colapsados de diferentes dimensiones de la riodacita Del Carmen e ignimbrita El Órgano, separados por fracturas producto del colapso, las cuales no conservan un patrón definido, sino que tienen diferentes direcciones e inclinaciones y corresponden a los limites de bloques.

La mayoría de la roca está brechada y fracturada como consecuencia del asentamiento de la secuencia, dando una apariencia de craquelamiento. La porción final del vaso en la margen derecha aguas arriba está constituida por depósitos coluviales y sedimentos finos que sugieren que en ese sitio hubo represas naturales.

Objetivo.

Realizar una cartografía geológica de detalle de la zona del vaso de almacenamiento de la Presa El Realito, para complementar el modelo geológico-estructural con que se cuenta en la actualidad, y descartar o minimizar los posibles riesgos que se presenten durante la construcción de la cortina.

Antecedentes

El área de estudio se localiza en la porción centro-oriental de la Hoja, Mineral El Realito F14C26 de INEGI. Sobre la geología del área, además de la información no accesible que se ha generado en relación con el yacimiento de fluorita, se encuentra el trabajo de Labarthe-Hernández *et al.* (1989) sobre cartografía geológica Escala 1:50,000 que incluyó dos Hojas INEGI, El Refugio y Mineral El Realito. En este trabajo se detalló por primera vez la estratigrafía volcánica del área. También se consideró como antecedentes la cartografía geológica de las hojas adyacentes levantadas por el instituto de Geología de la UASLP, las cuales son: Salitrera (Labarthe-Hernández *et al.*, 1984) y Tierra nueva (Tristán- González, 1987).

Otro trabajo de cartografía también escala 1:50,000 fue Carta Geológica-Minera, Mineral El Realito F14C26, realizada por el Servicio Geológico Mexicano (1991), donde definieron las unidades sedimentarias y volcánicas con claves formadas con la edad y litología de las rocas, dando énfasis en la las zonas mineralizadas, especialmente fluorita que se encuentran en el área.

Además de los trabajos de cartografía antes citados, hay algunos trabajos inéditos sobre las zonas mineralizadas del área: Zarate (1988) describió la estructura del anticlinal del Realito; Espinosa-Guillen (1974) realizó un reconocimiento geológico del área del Capulín Mesa Prieta, con miras a investigar el depósito de fluorita que ahí se localiza; Galván-Castillo (1974) elaboró un trabajo de geología sobre la zona Guerrero-Huizachal.

Los trabajos previos para determinar el sitio de construcción de la presa sobre el lecho del Río Santa María, fueron realizados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), a petición de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, obteniendo el "estudio complementario de factibilidad geológica para la construcción de una presa sobre el Río Santa María, Guanajuato", el cual se inició en Marzo de 2001. El primer sitio analizado fue El Capulín, el cual no resultó factible, sobre todo por los fenómenos cársticos que presenta la caliza de la Formación El Doctor (Formación El Abra).

El segundo sitio fue El Realito donde las condiciones fueron más favorables, por la ausencia de las rocas carbonatadas, decidiendo que ahí era el sitio adecuado. El objetivo de los estudios previos por CFE fue: realizar un estudio geológico regional y otro de detalle, trabajos de topografía, geofísica, un modelo conceptual de detalle y monitoreo sismotectónico para el sitio El Realito. Después de los estudios previos, la Compañía CARSO, realizó estudios geológicos y geotécnicos de detalle en la zona de la cortina con el fin de asegurar que el sitio no presentara complicaciones para la construcción de la cortina. Personal del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (2010), efectuaron un estudio para determinar un modelo estratigráfico-estructural del sitio donde se

construirá la presa El Realito, definiendo que en el sitio domina la riodacita Del Carmen dispuesta en una serie de bloques caóticos resultado de un colapso.

Métodos de trabajo

Gabinete

Durante esta etapa se realizó la recopilación de información, con el fin de integrarla al reporte final.

-A partir del mapa topográfico levantado por CFE, se programó la zona a cartografiar tomando el cuenta el NAME (Nivel de Agua Máximo Extraordinario), adecuando el mapa para trabajar a una escala 1:5 000, con el sistema de Información Geográfica (GIS), ArcGIS.

-Al final se procedió el vaciado de datos al mapa base 1: 5000 utilizando el programa ArcGis en donde se vació toda los datos tomados en campo y se empezó a dar forma al mapa ,también se realizaron secciones hechas a mano en papel milimétrico, que después fueron digitalizadas y añadidas al mapa.

-La última etapa consistió en elaborar el escrito final de esta tesis.

Trabajo de campo

Se realizaron caminamientos en ambas márgenes del vaso, con la finalidad de situar los contactos así como también tomar datos estructurales, descripción de afloramientos y toma de muestras para análisis petrográfico. El mapeo se realizó contorneando los afloramientos posicionando puntos aproximadamente cada 20 o 50 m con GPS.

Laboratorio

Se tomaron muestras de roca para su estudio, utilizando un microscopio petrográfico de polarización, las cuales fueron preparadas en el laboratorio de preparación de minerales del Instituto de Geología y analizadas con un microscopio marca “Leica”, en el laboratorio de microscopia del Instituto de Geología de la UASLP.

I. GENERALIDADES

I.1.-Localización y Extensión del Área

La zona estudiada se localiza en el municipio de San Luis de La Paz, Guanajuato con coordenadas UTM X: 372054.533 m; Y: 2389875.263m. (Figura 1).

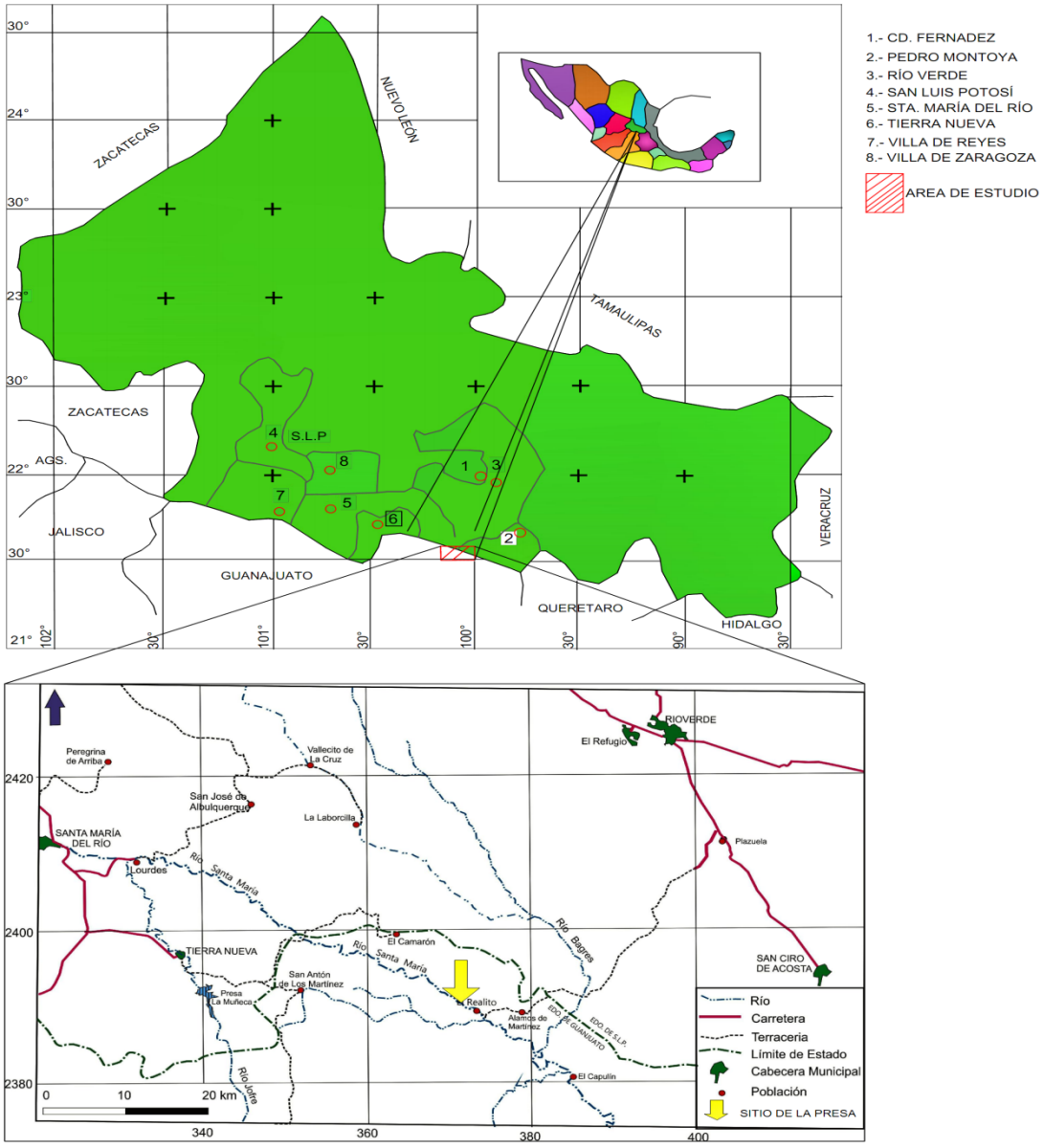

Figura 1.-Localización del área (El mapa inferior se tomo de: *www.mapas-de-mexico.com).*

I.2.-Acceso y Vías de Comunicación

Para llegar al sitio de la Presa El Realito, ubicada cerca del poblado del mismo nombre se puede arribar por las siguientes vías (Figura 2):

Figura 2.-Vías de acceso para arribar a la presa El Realito.

-Saliendo de la Ciudad de San Luis Potosí con rumbo a Querétaro por la Carretea Federal No 57 a la altura del kilometro 141, se toma la desviación hacia la Cabecera Municipal de Tierra Nueva, a partir de ahí se continua hacia el oriente por un tramo de terracería que pasa por el poblados de San Antón de Los Martínez, Guanajuato, continuando por un camino en mal estado que comunica al poblado El Realito.

-Otra alternativa es partiendo de la población de San Luis de La Paz, Guanajuato, tomando un tramo de carretera pavimentada que va hacia el norte hasta el poblados El Chupadero, de este sitio el acceso es por terracería en buen estado hasta la comunidad de Mesa de Jesús y de ahí al poblado de San Antón de Los Martínez, y para después desviarse al oriente hasta arribar al poblado El Realito (Figura 2).

-Otro accesos a la población El Realito es partiendo de la Ciudad de San Luis Potosí hasta llegar a la Ciudad de Rio Verde, de esta población se toma la carretea a San Ciro de Acosta, y a la altura del poblado de Plazuela se desvía al poniente por un tramo de carretera y terracería que pasa por las poblaciones del Zapote, Álamos de Martínez hasta llegar a la población El Realito, donde se encuentra el sitio del proyecto (Figura 2).

-Una cuarta opción para viajeros que proceden del sur del país, es llegar a la población de San Luis de La Paz, Guanajuato y de ahí se toma un tramo de carretera pavimentada al poblado de Victoria, y a partir de ahí se desvía hacia el norte pasando por la ex hacienda de Higueras, Las Casitas, Derramaderos, La Joya Fría , Puerto de Palmas, Mina El Sabino, Rancho Viejo, Agua Caliente, Álamos de Martínez y hasta arribar al poblado El Realito, con un recorrido aproximado de dos horas (Figura 2).

I.3.-Fisiografía y Geomorfología

A) Fisiografía

Según la clasificación de las provincias fisiográficas de la República Mexicana (Raisz, 1959, Figura 3), la zona estudiada abarca parte de la porción occidental de la provincia de la Sierra Madre Oriental (SMO).

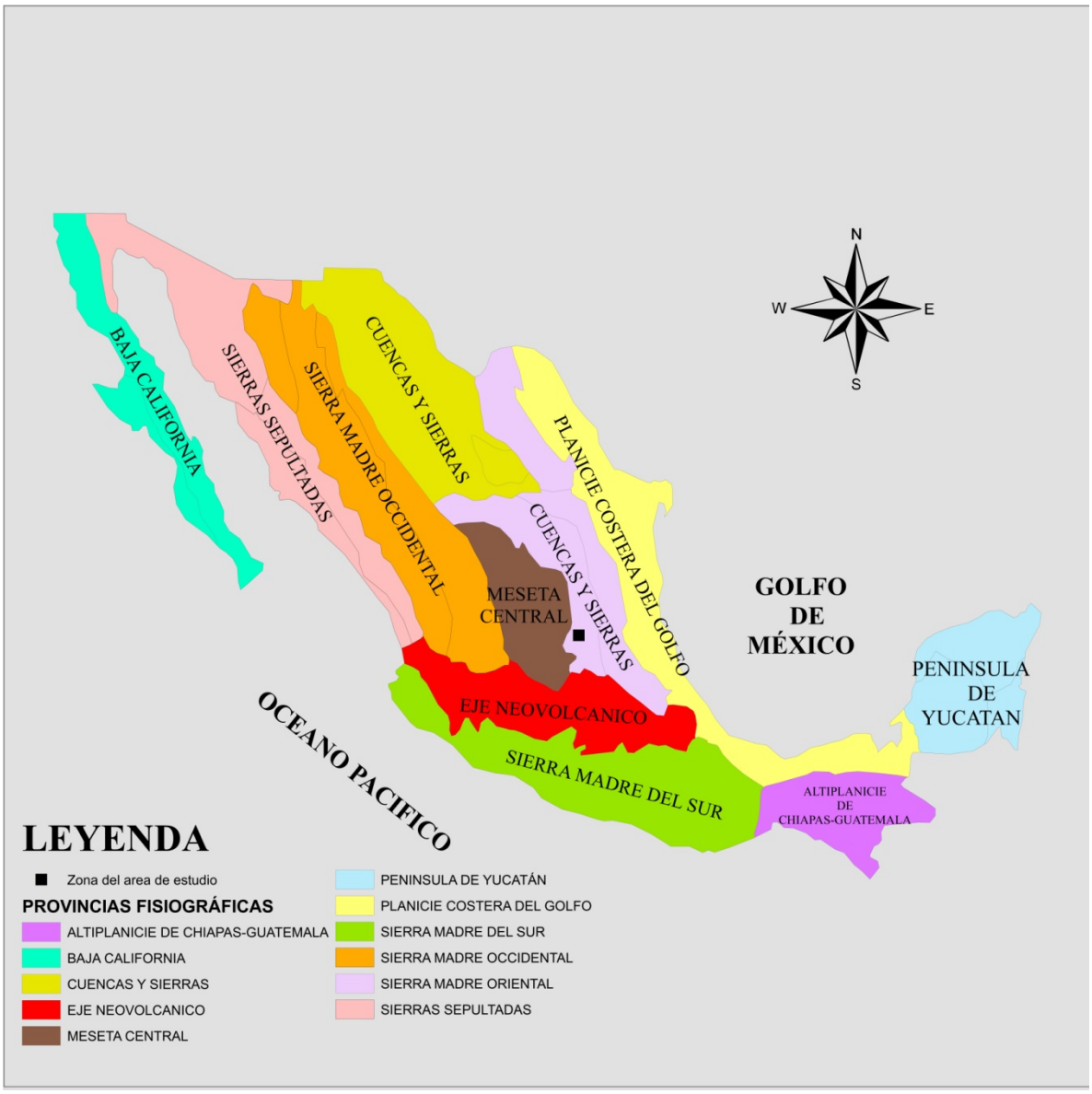

Figura 3.-Provincias Fisiográficas de México (modificado de Raisz, 1959).

Esta provincia se localiza, en sentido paralelo a la Costa del Golfo de México desde la frontera norte del país hasta sus límites con el Cinturón Volcánico Mexicano en la cercanía de Teziutlán, Puebla. A la altura de Monterrey, Nuevo León, una de sus ramas tuerce abruptamente al poniente para extenderse hasta la Sierra Madre Occidental al norte de Cuencamé, Durango. Abarca partes de los estados de Durango, Coahuila, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Veracruz, Hidalgo y Puebla. La Sierra Madre Oriental es fundamentalmente, un conjunto de sierras menores de estratos plegados. Estos estratos son de antiguas rocas sedimentarias marinas (del Cretácico y Jurásico tardío), entre las que predominan las calizas y en segundo término, las areniscas y lutitas.

En estas sierras el plegamiento se manifiesta de múltiples maneras, pero su forma más notable es la que produce una topografía de ondulados paralelos fuertes, semejantes a la superficie de un techo de lámina corrugada (anticlinales y sinclinales). En general, las altitudes en las cumbres de la Sierra Madre Oriental van de los 2000 a 3000 msnm, pero su parte más elevada que se ubica entre Saltillo y Ciudad Victoria, alcanza elevaciones superiores a los 3000 m. La cordillera presenta un escarpe imponente al poniente de la Llanura Costera del Golfo Norte, pero su transición hacia la Mesa Central y la provincia del Cinturón Volcánico Mexicano es menos abrupta debido, en parte, a la altitud media de las mismas, y a rellenos de materiales aluviales y volcánicos. Dado el predominio de calizas en la provincia, se han producido en la porción media y sur de la misma considerable manifestación de *karst*, esto es, de geoformas resultantes de la

disolución de la roca por el agua. La infiltración intensa de agua al subsuelo ha desarrollado un sistema de cavernas y copiosos manantiales. Son frecuentes las dolinas que son depresiones circulares u ovaladas de piso plano producidas por la disolución de la roca, ocasionadas por el desplome de techos de las cavernas. En aquellos sitios donde se encuentran calizas arrecifales, el paisaje se caracteriza por la abundancia de *mogotes*, a veces altos y de formas caprichosas (Valle de Los Fantasmas, S.L.P.).

B) Geomorfología

El desarrollo geomorfológico del área se ha llevado a cabo principalmente sobre el paquete de rocas volcánicas, las que cubren el área en su totalidad, sobresaliendo geoformas esporádicas labradas en las calizas arrecifales de la Plataforma Valle San Luis Potosí (PVSLP), En conjunto, la morfología presente es resultado de la meteorización intensa denudación y erosión, combinadas con los procesos tectónicos.

Se puedo identificar algunos rasgos geomorfológicos como son las mesetas alargadas de la dacita Potrerillo basculadas entre 10° y 20°. Estas partes altas han sido fuertemente atacadas por los procesos de meteorización y erosión, quedando algunas de estas mesas reducidas a picachos.

Una característica común en las partes donde aflora la ignimbrita El Órgano, es la formación de picachos en forma de torres muy acantiladas debido a la estructura columnar; que se les conoce en la como Peñas (*tors).* Otra característica notoria en fotografías aéreas, es un patrón reticular de lineamientos que corresponden a

la serie de diaclasas formadas durante el enfriamiento. Su contraste con la roca de la riodacita Del Carmen es muy notorio, pues las columnas se elevan sobre morfologías de contornos más arredondeados formados por la cima de la riodacita. La morfología para el conjunto de cerros formados en la riodacita Del Carmen es en general de formas muy abruptas, labrando profundas barrancas cuyas márgenes en muchos lugares son prácticamente verticales, lo que originó estrechas gargantas y saltos grandes hasta de 50 m.

El sistema de drenaje es de tipo dendrítico de fondo rocoso, efímero, con desarrollo de meandros encajados en los cauces mayores, La red de drenaje se inicia con un desarrollo intensó de cárcavas, que forman un patrón dendrítico. Los cauces alcanzan una densidad hasta del 4° orden. Dentro de los cauces principales se pueden mencionar: Río Santa María que conserva un pequeño volumen de agua durante todo el año y el arroyo El Ahuacate ,el cual captura el agua de pequeños manantiales que afloran en el contacto de la riodacita e ignimbrita, lo que mantiene un pequeño caudal durante casi todo el año.

La morfología de las zonas donde afloran las calizas de la Formación El Abra es de cerros redondeados y algunos sitios se pueden distinguir picachos aislados y esporádicamente torres; es común la presencia de dolinas y cavernas producto de la disolución intensa del $CaCo_3$. Su red de drenaje es pobre, desarrollando un patrón dendrítico espaciado de un máximo de 2° orden; estos cauces llegan en algunos lugares a formar cañones grandes en forma de "V". En las márgenes del Río Santa María se aprecian enormes cantiles desarrollados principalmente en la

riodacita Del Carmen, los cuales se acomodan como bloques separados por zonas de fracturas donde se ha disectado el drenaje.

I.4.-Geología Regional

El área de estudio se localiza en la margen poniente de la franja de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental, y localmente en el occidente de la Plataforma Valles–San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1971), la cual es una unidad paleogeográfica del Mesozoico, donde afloran las formaciones El Abra y Soyatal, cuya edad va del Cretácico temprano al tardío, las cuales sufrieron deformación compresiva durante la orogenia Laramide, dando origen a pliegues sinclinales y anticlinales muy amplios. También la zona se puede ubicar dentro del concepto de terrenos tectonoestratigráficos propuestos por Campa y Coney (1983), quedando dentro del Terreno Sierra Madre, el cual es principalmente una secuencia de pliegues y fallas de cabalgadura del Mesozoico tardío producto de la orogenia Laramide (Cserna *et al*., 1977; Tardy, 1980). En el límite de la PVSLP y la Cuenca Mesozoica del Centro de México, se desarrolló en el Terciario un campo volcánico formado de rocas volcánicas voluminosas denominado Campo Volcánico del Río Santa María (Labarthe-Hernández *et al*., 1984; Figura 4).

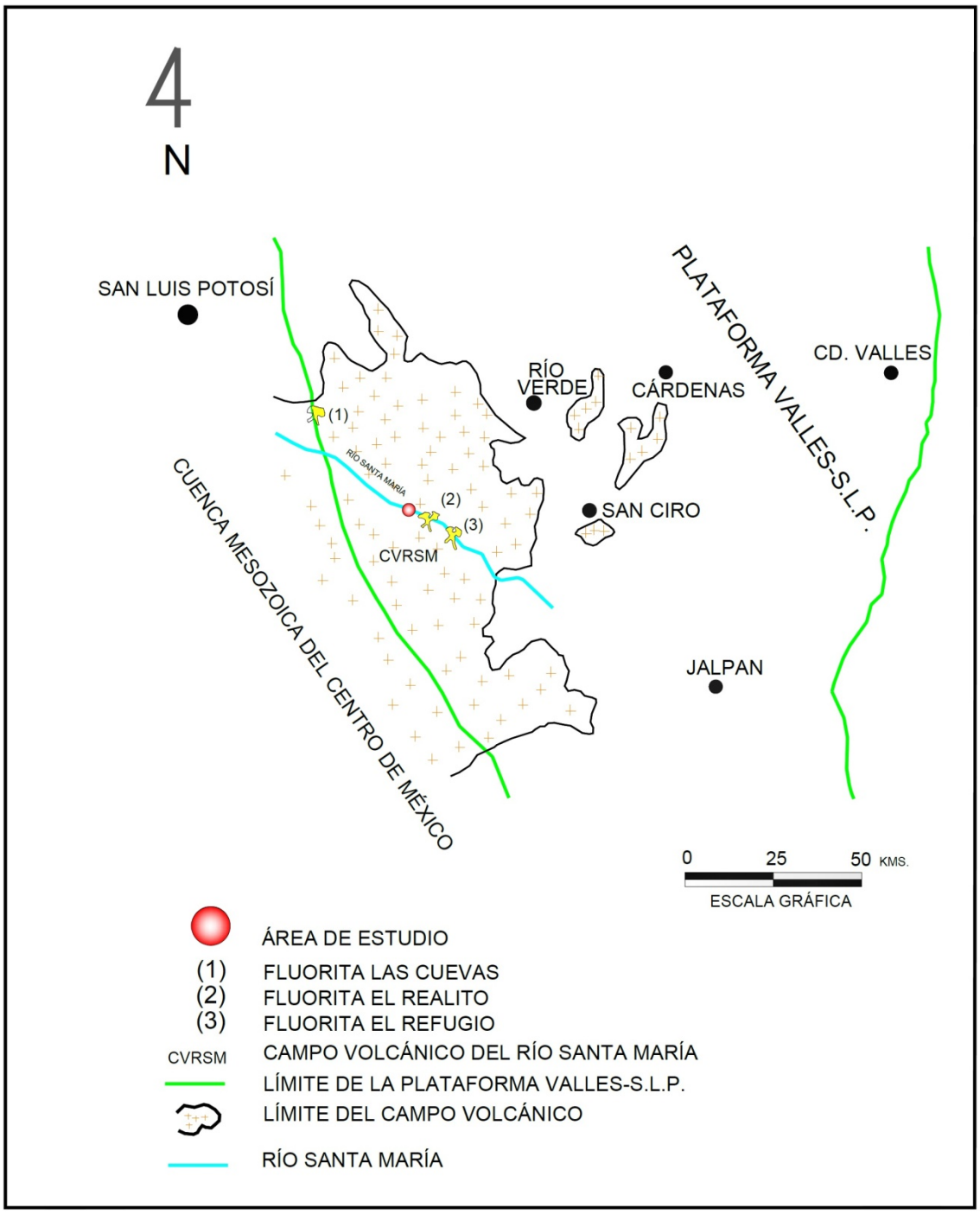

Figura 4.-Ubicación del área estudiada dentro de la Plataforma Valles-S.L.P., y CVRSM (modificado de Labarthe-Hernández *et al.*, 1989).

Sobre la secuencia marina mesozoica hay evidencias de sedimentación continental en el Terciario temprano (Paleoceno?), representada por lechos rojos, conocidos en el occidente de esta región volcánica (Santa María del Río) como Formación Cenicera (Labarthe-Hernández *et al*., 1982).

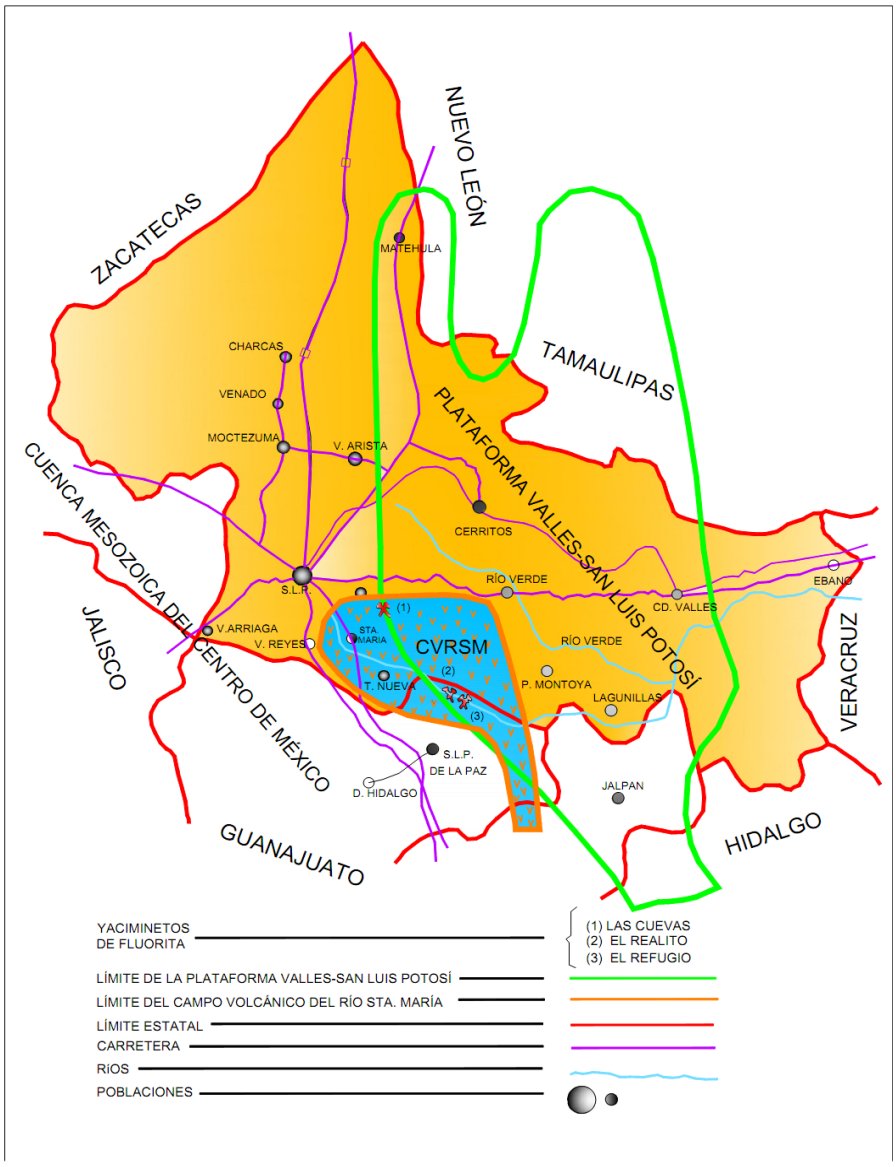

Figura 5.-Ubicación del Campo Volcánico del Rio Santa María (CVRSM), con relación a la Plataforma Valles-S.L.P (modificado de Labarthe-Hernández *et al*., 1989).

El área pertenece a la porción más suroriental de la Provincia Magmática de la Sierra Madre Occidental. El vulcanismo en el área se inició en el Eoceno con emisiones de lavas andesíticas (andesita Salitrera) comenzando así la formación del CVRSM (Labarthe-Hernández *et al.,* 1989, Figura 5).

El vulcanismo voluminoso del CVRSM empezó en el Oligoceno temprano, constituido por derrames de lava de composición dacítica que dieron origen a un gran volumen de lavas que formaron domos de tipo exógeno que ocupan la mayor parte del CVRSM (riodacita Del Carmen) conocida en la región de Tierra Nueva como Sangre de Pichón.

La etapa más voluminosa que ocupa casi la totalidad el CVRSM corresponde a un paquete de ignimbritas de composición riolítica que en la parte central del campo pueden alcanzar los 800 m de espesor y que se les reconoce con el nombre de ignimbrita El Órgano y Santa María, cuya edad K-Ar se calculó de 32.5±0.8 Ma con roca entera, para la ignimbrita Santa María del occidente del CVRSM (Labarthe-Hernández *et al.*, 1984; Tristán-González *et al*., 2009). Este gran volumen de flujos piroclásticos se han asociado a la Caldera de Milpa Grande (Labarthe-Hernández *et al*., 1984).

En la porción occidental del CVRSM se emplazaron cadenas de domos exógenos pertenecientes a la traquita Ojo Caliente, cuya lava fue de composición dacítica, su disposición en hileras se debe a que su emisión fue a través de fisuras de orientación NW-SE, producto de la extensión regional que se inició en el Eoceno

medio y cuya edad fue determinada por K-Ar de roca completa de 31.8±0.7 Ma (Tristán-González *et al*., 2009).

La última etapa de vulcanismo voluminoso del CVRSM fue de composición dacítica y andesita-basalto, de la Serie Potrerillo (Labarthe-Hernández *et al*., 1984),

Dentro del CVRSM es relevante la presencia de un cuerpo intrusivo que ocupa gran parte de la Caldera de Milpa Grande, nombrado como al intrusivo Palo Verde, el cual es un granito con ligera tendencia a la alcalinidad e intrusiona a la mayoría de las rocas de la caldera (Labarthe-Hernández *et al*., 1984). Es común en este intrusivo, la presencia colgantes de roca carbonatada recristalizada (Formación El Abra).

En el aspecto tectónico, la secuencia marina del Mesozoico sufrió a fines del Cretácico principios del Terciario una deformación compresiva, dando como resultado el cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental, producto de la orogenia Laramide, esta orogenia fue el resultado de la interacción de las placas Farallón y Norteamericana, provocando esfuerzos compresivos, levantando la margen pacífica y provocando el emplazamiento de un arco magmático continental; estos esfuerzos compresivos provocan el despegue de la cobertura sedimentaria, proceso tectónico denominado *decollement,* formándose los pliegues anticlinales, sinclinales y cabalgaduras de orientación NNW-SSE con vergencia al noreste.

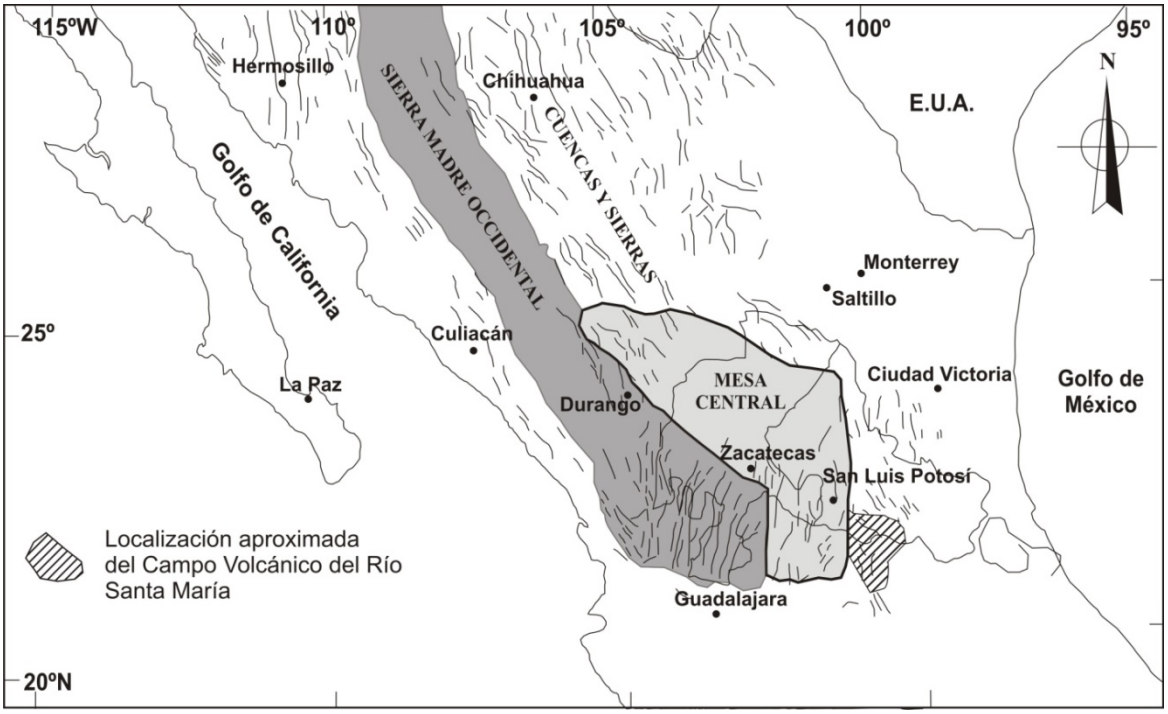

Figura 6.-Localización del CVRSM dentro de la Provincia de Cuencas y Sierras de México (modificado de Stewart, 1998).

Después de la fase de la tectónica compresiva, se desarrolló en el Terciario la fase distensiva, formando una serie de fallas normales y con dirección NW-SE, destacando entre las más importantes: Río Santa María, Camarón, Bagres (SGM, 2001).Esta deformación extensional formando parte de la porción suroriental de la Provincia Extensional de Cuencas y Sierras de México (Stewart, 1978, 1998 y Henry y Aranda-Gómez, 1992), este sistema de fallas normales tiene una orientación regional predominante NW-SE, formando una serie de fosas tectónicas, pilares y medios *grabens* (Figura 6).

Los yacimientos minerales de la región corresponden a un contexto de subducción de placas, generándose un magmatismo calco alcalino, que se manifiesta por el emplazamiento de domos riolíticos afectando a las rocas sedimentarias cretácicas.

Estos domos complejos originaron derrames grandes de dacitas y riolitas y en una etapa tardía se emplazan cuerpos intrusivos los que aportan soluciones hidrotermales ricas en flúor que se emplazan en las rocas calcáreas y en los mismos derrames riolíticos preexistentes originando los yacimientos de fluorita que caracterizan a esta porción del CVRSM (Figura 4).

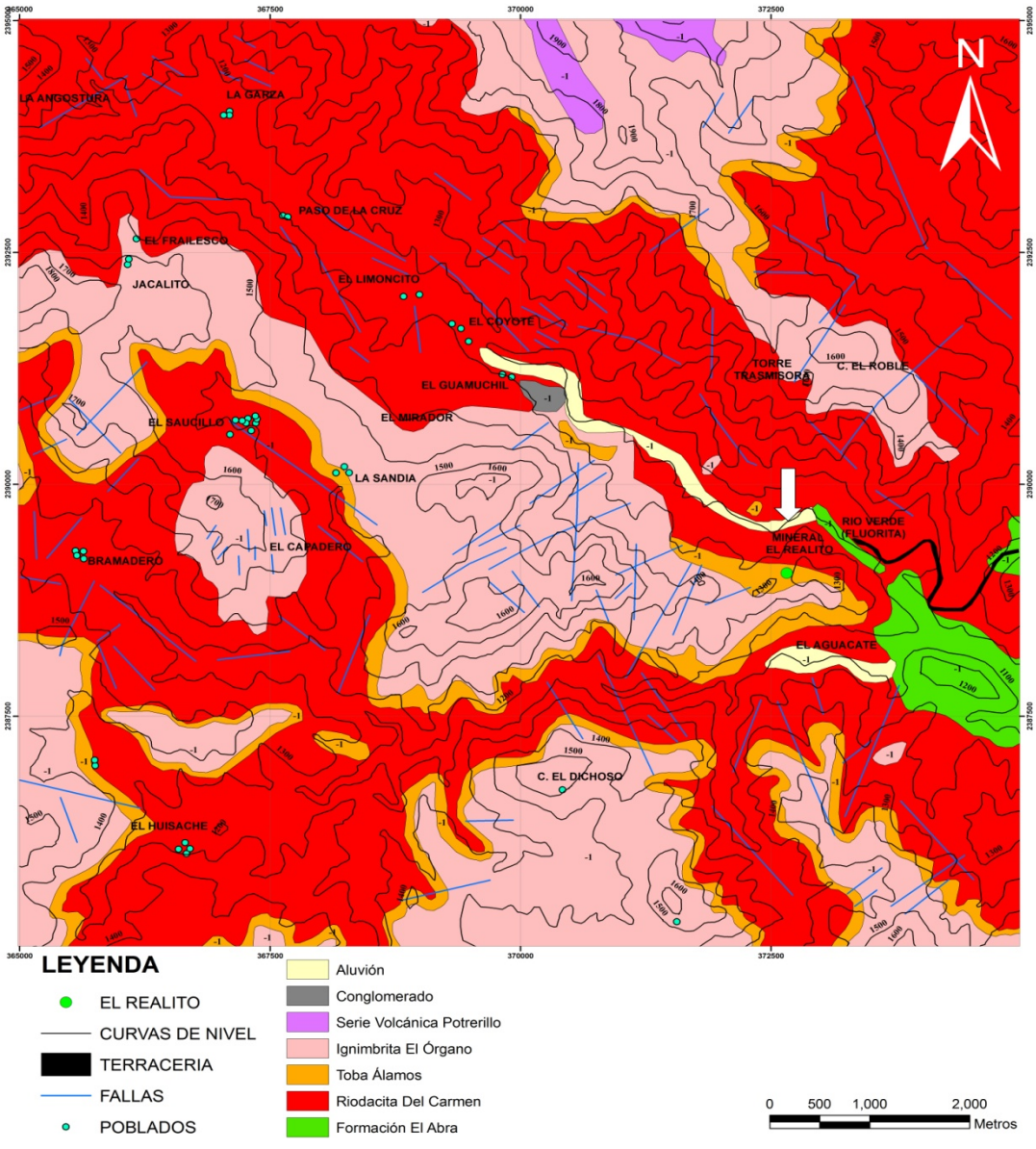

Figura 7.-Mapa geológico regional de la zona El Realito, Guanajuato (modificado de Labarthe-Hernández *et al.,* 1989).

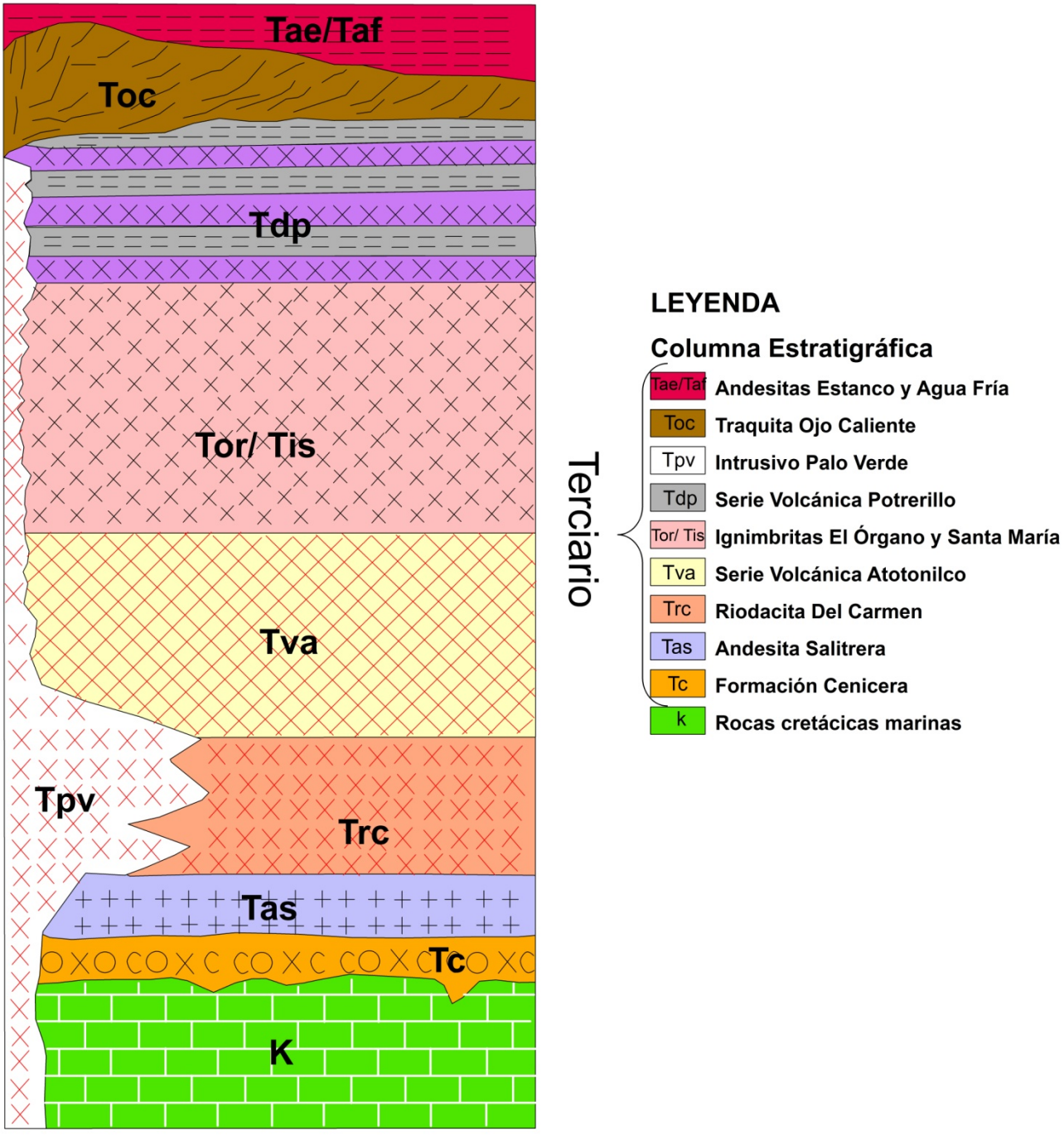

Figura 8.-Columna compuesta del Campo Volcánico del Río Santa María.

II.-CARTOGRAFÍA REGIONAL

A) Formación El Abra (Kta)

Esta formación se ha descrito para gran parte de la porción central y norte de la Plataforma Valles-San Luis Potosí con el nombre de Formación El Abra por Carrillo-Bravo (1971), también se le conoce como Formación El Doctor para lo afloramientos de la porción sur de la plataforma (Wilson *et al*., 1955).

En el área aflora principalmente en la porción occidental y norte del CVRSM.

Los afloramientos que se localizan al oriente del sitio donde se construye la Presa El Realito, consisten de capas gruesas y bancos de caliza o en algunas ocasiones masiva, por lo que no se le distingue estratificación. Esta caliza es micrítica, de color gris claro. En algunos sitios llega a presentar laminaciones de limolita entre algunos de los estratos de caliza. La microfauna es principalmente de *miliólidos* y algunos ejemplares de *Toucasia sp.*

El contacto inferior no se conoce en el área y subyace discordante en la zona del Realito a la riodacita Del Carmen. La edad de acuerdo con los ejemplares fósiles mencionados se puede colocar desde el Aptiano al Cenomaniano (Carrillo-Bravo, 1971). Los afloramientos de la Formación El Abra en los alrededores del poblado El Realito, corresponden a una porción de un anticlinal asimétrico.

B) Formación Cenicera (Tc)
Terciario (Paleoceno-Eoceno)

Originalmente descrita por Labarthe-Hernández y Tristán-González (1978) en la cartografía geológica de la Hoja Santa María del Río, S.L.P. y posteriormente propuesta formalmente por Labarthe-Hernández *et al*. (1982) como formación Cenicera descrita en el Arroyo La Cenicera al oriente de Villa de Reyes, S.L.P.

La distribución de estos sedimentos solo se reduce afloramientos pequeños localizados como colgantes sobre el intrusivo Palo Verde, en la parte más eleva da del Cerro La Silva, a 3 km al suroriente de Tierra Nueva.

La litología varía muy poco en los afloramientos ya mencionados; conservándose más o menos constante: son depósitos de conglomerado mal clasificado, cementado con carbonato de calcio, con fragmentos predominantes de 5 cm y algunos hasta de 50 cm, redondeados a subredondeados, predominando los de caliza 70%, un 20% de pedernal, arenisca y el resto de lutita; es muy común que lo crucen algunas vetillas de calcita de color blanco.

En los afloramientos del área se encuentran como colgantes sobre el intrusivo Palo Verde. Su edad se ha determinado con lavas andesíticas intercaladas que alteran en el norte del Campo Volcánico de San Luis Potosí, por el método K-Ar de roca completa de 44.4 ± 1.0 Ma, lo cual tentativamente se le puede asociar a esa edad (Tristán-González, 2008).

C) Andesita Salitrera (Tas)
Terciario (Oligoceno)

Informalmente se nombró como andesita Salitrera, a una roca de composición andesítica, que forma la base de la secuencia volcánica en la porción nororiente del CVRSM, donde descansa discordantemente sobre los sedimentos marinos del Cretácico (Labarthe-Hernández *et al*., 1984).

Se trata de una roca de color café grisáceo, gris rojizo o gris oscuro verdoso, de textura porfirítica y pilotaxítica, con un 15% de fenocristales euhedrales de 2 mm de plagioclasa zonada. Los ferromagnesianos por lo general están alterados a óxidos de hierro, aunque se llegan a notar cristales de augita. La matriz es vítrea de color negro. Generalmente se observa con bandas rojizas de oxidación en las superficies intemperizadas. Sus espesores son variables, en el área de la mina Las Cuevas tiene unos 40 m. Descansa discordante sobre la caliza de las formaciones El Abra y Soyatal (Tamabra) .En la porción norte de la Mina Las Cuevas, lo hace también sobre un horizonte delgado de sedimentos continentales del Paleoceno-Eoceno. Subyace discordante con un vitrófido de color oscuro de 1 a 2 m de espesor a la ignimbrita El Órgano. Ruíz (1980) determinó una edad por el método de K/Ar con plagioclasa de·30.58 ±0.43 Ma., lo que la sitúa en la parte media del Oligoceno. Esta lava dió inicio a la formación del CVRSM

D) Riodacita Del Carmen (Trc)
(Terciario oligoceno)

La riodacita Del Carmen fue descrita informalmente por Labarthe-Hernández y Tristán-González (1983) en la cartografía geológica de la Hoja Melchor, tomando su nombre de los afloramientos del poblado de la Hacienda del Carmen, en el municipio de Tierra Nueva, S.L.P.

Su distribución en el área es bastante amplia, presentando su mayor extensión hacia su parte norte, central y suroriental. La riodacita Del Carmen está compuesta por varios flujos de lava, pero en general se puede describir como una roca de color gris claro a gris rosáceo de textura porfirítica, con un 15% de fenocristales de 3-6 mm de plagioclasa, sanidino y cuarzo subordinado, con relativa abundancia de ferromagnesianos alterados en una matriz desvitrificada. En la zona del cauce del Río Santa María a la altura del poblado El Realito se presenta como una roca brechada.

En el área, la riodacita Del Carmen está cubierta discordante por casi todas las rocas del CVRSM. Hasta la fecha no se ha determinado la edad absoluta por métodos radiométricos, pero por su posición estratigráfica, anterior a la Ignimbrita El Órgano, se le puede colocar pre- Oligoceno temprano.

E) Serie Volcánica Atotonilco (Tva)
Terciario (Oligoceno)

Informalmente se designó con este nombre a un paquete grueso de rocas andesíticas y dacíticas, que forman parte de un amplio estrato volcán cuya mejor exposición se localiza al sur del poblado de Atotonilco, localizado en el occidente del municipio de Ciudad Fernández, S.L.P.

En su base se trata de una secuencia de lavas andesíticas y depósitos de avalancha con componentes de andesita y dacita, que se extiende hacia la porción norte del volcán y que cubren todo el Valle de Santa Catarina. La serie se separo en tres unidades (Labarthe-Hernández *et al.*, 1984), la inferior como andesita Inferior (Tva1), avalanchas (Tva2) y dacita (Tva3). Se le consideró un espesor en su parte central de 500m. Por su posición estratigráfica debajo de la ignimbrita El Órgano, se le asigno una edad más antigua que los 29.01 Ma. La serie volcánica sobreyace discordante a la Formación El Abra y subyace a la ignimbrita El Órgano. Se estimó que esta serie volcánica formó un estrato-volcán con su cono central a unos 4 km al suroriente de Atotonilco, en donde predominan las brechas explosivas (Labarthe-Hernández *et al.,* 1984).

F) Ignimbrita El Órgano y Santa María (**Tor/Tis)**
Terciario (Oligoceno temprano)

Fue descrita informalmente con el nombre de ignimbrita El Órgano por Labarthe-Hernández *et al.,* (1984); anteriormente Grasel (1979) la había nombrado informalmente como "Yellow Unit". La Ignimbrita El Órgano se encuentra aflorando

en todo el CVRSM. En este campo se separó en dos miembros la ignimbrita El Órgano, Miembro Inferior (Tor1) y Superior (Tor2); la guía para hacer esa división está basada principalmente en un vitrófido lenticular que marca el cambio de la unidad de enfriamiento y por dos horizontes de brechas que afloran solamente en el poniente del campo. Para este trabajo se agrupó a las dos ignimbritas como parte de un paquete de flujos de ceniza soldado, considerando a la ignimbrita Santa María como la parte distal del flujo (Tor1). La ignimbrita Santa María fue descrita informalmente en por Labarthe-Hernández y Tristán-González (1980) en la cartografía geológica de la Hoja Santa María, S.L.P.

En general su mineralogía consiste de una roca de color gris rosáceo a rojizo, de textura porfirítica y fluidal con 10 a 15% de fenocristales de 2 a 4 mm, en ocasiones mayores hasta de 7 mm, de sanidino, cuarzo subhedral a anhedral en una matriz desvitrificada. Es común observar los fenocristales rotos y con la matriz fluidal rodeándolos. Contiene pómez, que por lo general está colapsada y desvitrificada. En general se haya bien soldada. En ocasiones tiene líticos morados.

La ignimbrita Santa María es un flujo de ceniza riolítico bien soldado cuya roca es de color gris claro, con un 15-20% de fenocristales de cuarzo anhedral y sanidino euhedral de 2-3 mm, con abundantes óxidos de hierro, en una matriz desvitrificada; con pómez bien colapsada y algunos líticos de 2-3 cm de color café rojizo.

En el sur del CVRSM la ignimbrita El Órgano se encuentra suprayaciendo discordante a la Formación El Abra y subyace discordante a la serie volcánica Potrerillo en el norte del CVRSM. La ignimbrita Santa María descansa sobre la Formación Cenicera y subyace a la traquita Ojo Caliente en la porción occidental del CVRSM.

La edad de la ignimbrita El Órgano fue determinada por Ruiz (1980) por el método K/ Ar para una muestra de los alrededores de la mina de fluorita Las Cuevas de 29.12+0.32 Ma. Tristán-González *et al. (*2009) determinaron una edad para la parte distal de esta ignimbrita (ignimbrita Santa María) con el método K-Ar de roca completa de 32.5±0.8 Ma, Labarthe-Hernández *et al*. (1984), consideraron que la emisión de este paquete de ignimbrita voluminosa causo la formación de una caldera de colapso que nombraron como Caldera de Milpa Grande.

G) Serie Volcánica Potrerillo (Tdp)
Terciario (Oligoceno tardío)

La Serie Potrerillo fue descrita por primera vez por Grasel (1979) como "Purple Unit", posteriormente en la cartografía geológica de la Hoja Salitrera por Labarthe-Hernández *et al.* (1984), le dieron el nombre de Serie Volcánica Potrerillo, considerando su localidad tipo en las cercanías de la comunidad El Potrerillo en el camino Salitrera-San José de Alburquerque, en el norte del CVRSM. Esta serie consiste de dos miembros; el inferior de composición dacítica compuesto de cuando menos cinco flujos separados por vitrófidos. El superior de composición

andesítica formado por varios flujos dacíticos y andesíticos; ambos miembros se encuentran rellenando la Caldera de Milpa Grande.

Miembro Inferior (Tdp1). Consiste de cuando menos cinco flujos de lava, separados por vitrófidos. "En general se trata de una roca de color café rojizo, holocristalina, inequigranular, porfirítica con 10-15% de fenocristales de 2-7 mm, de sanidino, cuarzo y plagioclasa. Tanto el sanidino como el cuarzo presentan evidencias de haber sido reabsorbidos, y el sanidino muestra sobrecrecimiento e inclusiones que en ocasiones contienen un intercrecimiento grafico similar al observado en la matriz. Los fenocristales de cuarzo muestran formas redondeadas y corroídas. Los ferromagnesianos (menos del 5%) están alterados a grunerita + hematita y clorita. Uno de esos minerales puedo haber sido fayalita y el otro un piroxeno. La matriz es de grano fino y muestra una textura de red granofírica formada por intercrecimiento de cuarzo-feldespato potásico, con formas cuneiformes. Diseminadas en la matriz ocurren minerales opacos (magnetita?).

Miembro superior (Tdp2). Consiste de varios flujos de lava andesítica con intercalaciones de flujos dacíticos. Tiene la característica de presentar, sobre todo hacia la parte central del área entre La Huerta y El Pinalillo, una serie de fuentes con vitrofido vertical, fumarolas y abundante depósito de sílice y óxidos de hierro como fase de vápor.

El espesor es muy variable por estar rellenando depresiones; en la zona cercana a la márgen del Río Santa María se le estimó de 350 m. La Serie Potrerillo está intrusionada por el Intrusivo Palo Verde y sobreyace a la riodacita Del Carmen e ignimbrita El Órgano. En la zona no está cubierta por ninguna otra roca.

H) Traquita Ojo Caliente (Toc)
Terciario (Oligoceno tardío)

Descrita originalmente de manera informal por Labarthe-Hernández y Tristán-González (1980) en la cartografía geológica de la Hoja Santa María del Río como traquita Ojo Caliente y propuestas formalmente por Labarthe-Hernández *et al.,* (1982) con el mismo nombre, considerando su localidad tipo en el poblado de Ojo Caliente, S.L.P.

Sus afloramientos se localizan en la porción occidental del CVRSM, formando cadenas de domos exógenos.

Se trata de una roca de color café rojizo, microcristalina, inequigranular-porfirítica; la mineralogía es plagioclasa (~An50) + piroxeno + minerales opacos; la plagioclasa ocurre como fenocristales de 2 a 3 mm de largo y como microlitos orientados al azar; algunos fenocristales de plagioclasa contienen numerosas inclusiones de vidrio (Labarthe-Hernández *et al*., 1982).

La traquita Ojo Caliente se encuentra suprayaciendo a la ignimbrita Santa María y subyace a la andesita Estanco- Agua Fría. La edad de esta roca está dada por su posición estratigráfica arriba de la ignimbrita Santa María y abajo de la andesita Estanco, por lo que se le coloca en el Oligoceno temprano.

I) Andesita Estanco y Agua Fría (Tae/Taf)
Terciario (Oligoceno temprano)

La andesita Estanco se describió informalmente por primera vez con este nombre en la cartografía geológica de la Hoja Salitrera por Labarthe-Hernández *et al*. (1984), donde se trata de flujos de lava andesíticos, intercalados con horizontes delgados de basalto vesicular. Aguillón-Robles *et al*. (2004) le dieron el nombre de Andesita Agua Fría a un flujo de lava que se encuentra en el contacto entre la traquita Ojo Caliente y la latita Portezuelo, la cual conserva la misma posición que la andesita Estanco descrita por Labarthe-Hernández *et al*. (1984) en la cartografía geológica de la Hoja Salitrera. Se encuentra en afloramientos dispersos en la porción occidental del CVRSM.

Se trata de una roca de color café oscuro con fenocristales aislados de plagioclasa de 1 a 2 mm, en una matriz de microlitos de vidrio y plagioclasa. Su espesor es muy variable, no pasando de los 20 m. Su contacto lo forma un vitrófido negro de máximo 4 m de grueso arriba de la traquita Ojo Caliente y subyace a la latita Portezuelo del Campo Volcánico de San Luis Potosí. La edad de la andesita Estanco-Agua Fría, está dada por su posición estratigráfica, arriba de la traquita Ojo Caliente, lo que la coloca en el Oligoceno temprano.

Se definió como un derrame de andesita de color gris claro a gris obscuro con textura porfirítica. Aflora en la parte centro norte de la carta Santa María en las inmediaciones del poblado El Mosco, así como en la porción suroriente de la misma, en el Rancho Santa Lucía, Se trata de flujos de lava andesítica de color gris claro de textura porfirítica con 10 a 15 % de fenocristales de plagioclasa de

color amarillo pálido a blanco de 1 a 5 mm, sanidino y hornblenda en una matriz desvitrificada, su espesor es de 100 m aproximadamente.

En la parte norte de la carta en el poblado El Mosco, sobreyace discordante a las calizas de la Formación El Abra (Kta) y subyace a la Serie Volcánica Atotonilco (Tva), En el trabajo realizado por Labarthe-Hernández *et al*. (1984) se hicieron estudios de fechamiento por el método K-Ar en roca total y de feldespato obteniendo una edad de 33.6 ± 0.8 Ma.

J) Intrusivo Palo Verde (Tpv)
Terciario (Oligoceno)

Labarthe-Hernández *et al*. (1984) nombraron informalmente como intrusivo Palo Verde a una roca ígnea intrusiva (subvolcánica) que aflora cerca de la ranchería de Palo Verde, localizado en la Carta Salitrera.

Aflora principalmente en la poción central-norte del CVRSM. De acuerdo con la descripción de Labarthe-Hernández *et al*. (1984), se trata de una roca de color gris a café claro, holocristalina, inequigranular, seriada, granofírica, con un 20% de fenocristales de 2-3 mm de ortoclasa, plagioclasa y cuarzo. La ortoclasa y plagioclasa en cristales euhedrales a subhedrales, con el cuarzo rellenando los huecos entre los feldespatos o formando agregados granulares. La matriz está constituida por un agregado compuesto de feldespato y cuarzo que frecuentemente forman un intercrecimiento gráfico. Los ferromagnesianos (3-5% de la roca), están diseminados en la matriz como fenocristales de 1 mm y son

biotita, hastingsita y riebeckita. Como minerales accesorios se observan: monazita, xenotima (?), apatito, minerales opacos y en una muestra fluorita. Se observó también con relaciones intrusivas y diques en la serie volcánica Potrerillo. Tiene *xenolitos* de más de 1 km de caliza recristalizada en las inmediaciones de Palo Verde; Por sus relaciones estratigráficas descritas, este intrusivo es más joven que la serie volcánica Potrerillo. Por su posición estratigráfica, su edad queda sugerida en la parte alta del Oligoceno temprano.

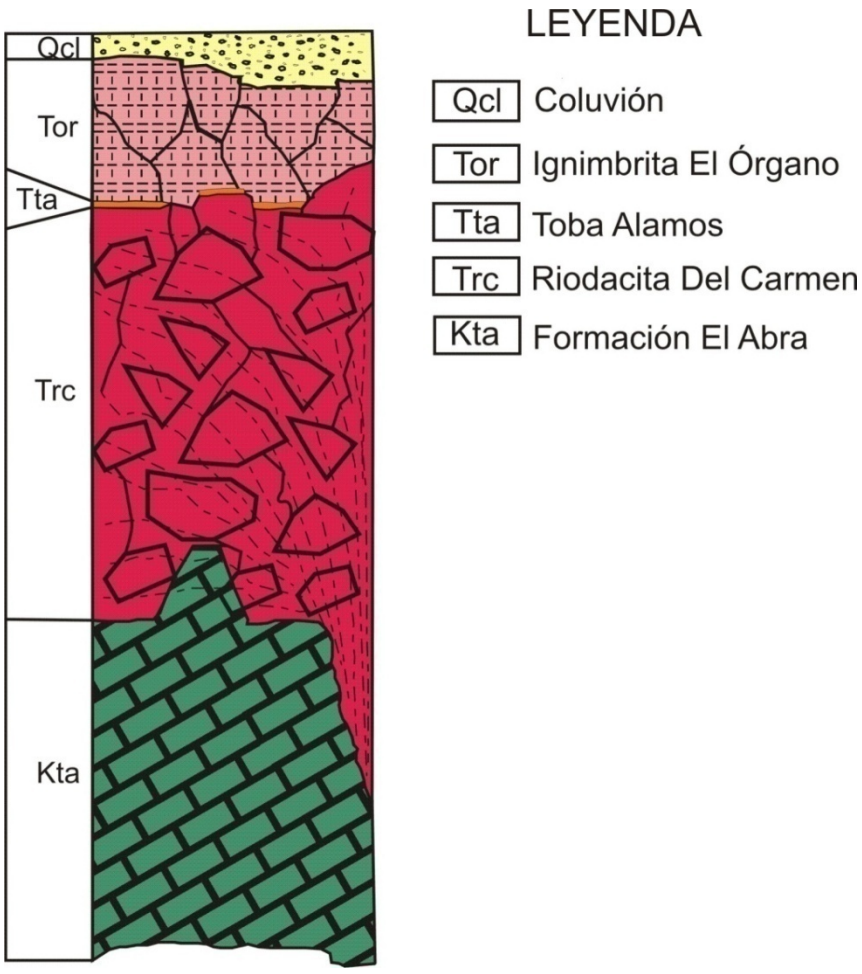

Figura 9.-Columna estratigráfica del vaso de la Presa El Realito.

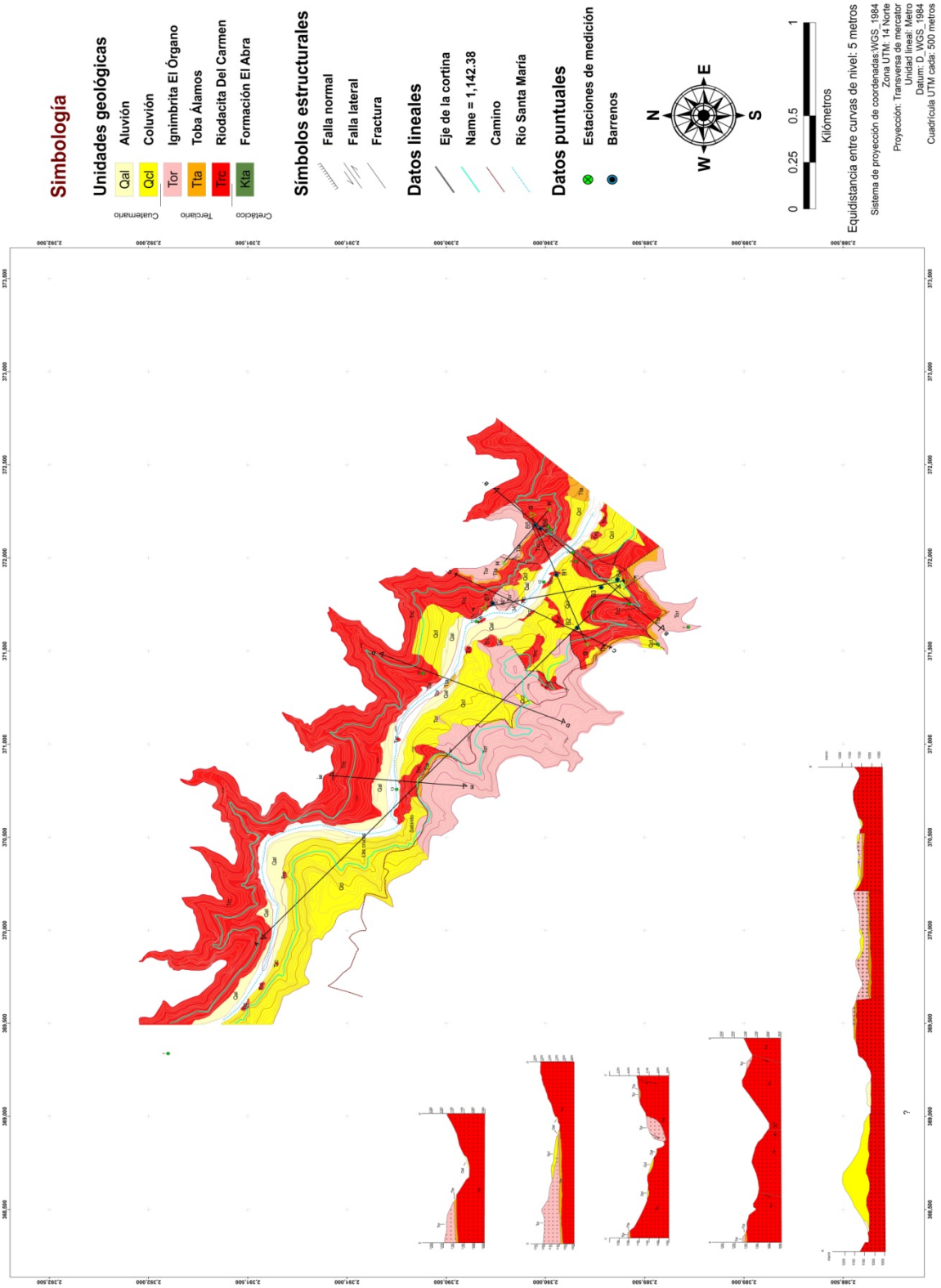

Figura 10.-Mapa geológico del vaso de la Presa El Realito.

III.CARTOGRAFÍA DEL VASO DE LA PRESA.

La columna estratigráfica del la zona del vaso de la Presa El Realito (Figura 9), está formada por un paquete de lavas y piroclásticos de edad terciaria, los cuales deben de estar descansando sobre sedimentos marinos carbonatados pertenecientes a la Formación El Abra, la cual no aflora a lo largo del cauce donde se construye la presa, pero que si aflora aguas abajo en el poblado El Realito donde se aprecia como una ventana riodacítica.

A) Riodacita Del Carmen (Trc)

Fue descrita con este nombre por Labarthe-Hernández *et al*. (1983) en la Hoja Melchor (F14-A24) donde se describió como una roca de color café-grisáceo con fenocristales de plagioclasa, sanidino y cuarzo subordinado, en matriz desvitrificada, y se le clasificó como un derrame de lava.

Esta unidad de roca es la que ocupa prácticamente toda la zona del vaso de la Presa El Realito (Figura 10), se trata en general de una roca de color gris claro a gris rosáceo de textura porfirítica, con un 15% de fenocristales de 3-6 mm de plagioclasa, sanidino y cuarzo subordinado, con relativa abundancia de ferromagnesianos alterados en una matriz desvitrificada. Presenta halos de alteración diferencial dando apariencia de brecha. Muy cerca del contacto con la caliza, la roca está muy alterada de color rojizo-amarillento. Tiene tanto en la cima como en su base horizontes brechosos. Puede presentar abundantes huecos de desgasamiento sobre todo hacia su cima, donde es común que esté brechada y

con huecos producto de escape de gases. También se le aprecian manchones de alteración (argilización) por actividad fumarólica, A una muestra de esta roca se le elaboró una lámina delgada y su descripción fue la siguiente:

M1-Trc

Roca de color gris a café claro con textura porfirítica, con fenocristales pequeños de feldespatos, plagioclasas y algunos minerales oxidados de color café rojizo, escaso cuarzo. Sus componentes son: fenocristales pequeños de feldespato alcalino (sanidino ~15%), plagioclasa, (~3%), granos opacos (2%) y máficos alterados, cuarzo muy escaso, en una matriz microcristalina de feldespatos y fragmentos pequeños de minerales máficos. Su textura es porfirítica y se clasifico como una Riodacita (Figura 11).

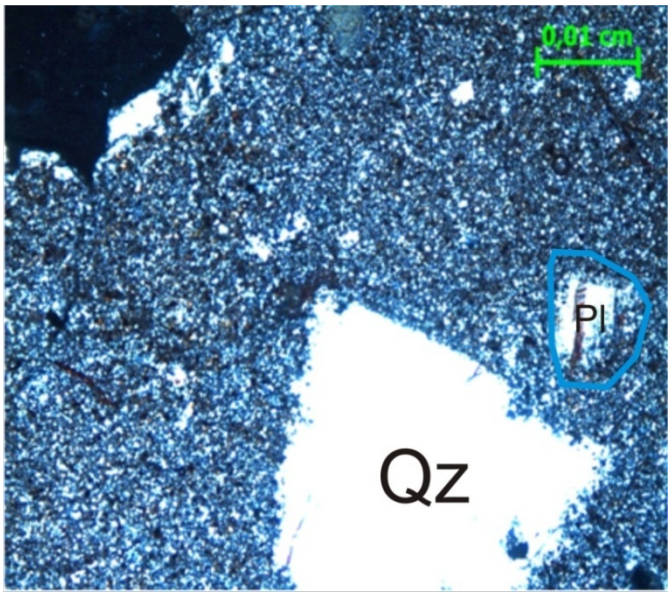

Figura 11.-Fenocristales de feldespato y plagioclasa en matríz microcristalina de similar composición. Ancho de la foto ≈0.5 cm. Polarizadores cruzados.

En general se trata de varios flujos de lava. Su edad no se ha determinado por métodos isotópicos, pero de acuerdo a la posición estratigráfica que guarda con la unidad que le sobreyace, se puede colocar tentativamente en el Eoceno tardío-Oligoceno temprano.

La roca brechada que se localiza en la margen izquierda del Río Santa María, fue interpretada por Labarthe-Hernández *et al*. (1989) como *brechas intrusivas,* donde los fragmentos varían entre centímetros a 1 m de diámetro mencionan que afloran en las márgenes del Río Santa María, principalmente al poniente del poblado El Realito.

En el trabajo realizado por el Instituto de Geología de la UASLP (Tristán-González *et al*., 2009), llegarón a la conclusión que la roca de la margen izquierda del sitio de la Presa El Realito, se trata de la riodacita Del Carmen dispuesta en una serie de bloques con diferente grado de brechamiento, que se presentan con un arreglo caótico como consecuencia de una zona que fue colapsada.

Los fundamentos para considerar tal hipótesis se describen a continuación:

En la literatura se han reportado diferentes tipos de brechas entre las que figuran: brechas de falla, brechas hidrotermales, brechas de desintegración basal de flujos de lava, brechas de caparazón en domos de lava, avalanchas, lahares, brechas de colapso, bloques y cenizas etc. Todas ellas tienen diferente origen y características físicas que la distinguen unas de otras.

En el caso de las brechas que se encuentran en la zona donde se construirá la cortina de la Presa El Realito, se encuentran distribuidas en cuerpos irregulares

como parte de la riodacita Del Carmen y corresponden a dos tipos, 1) las que se encuentran con aspecto triturado y con fragmentación por fricción interna, quedando los fragmentos con un arreglo caótico sin matriz y corresponden a bloques que forman mega-brecha resultado de una zona de colapso, lo más probable asociadas al colapso de una caldera?

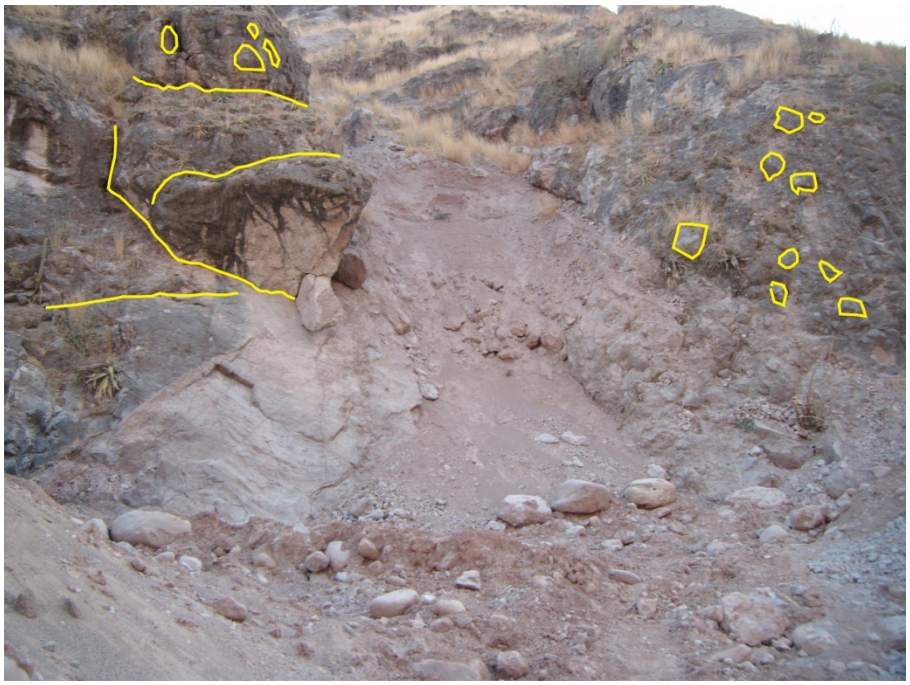

Figura 12.-Fracturamiento interno por efecto de colapso, dando el aspecto brechado.

2) Las brechas que se formaron en la base de las coladas de lava (brechas de desintegración) quedando principalmente en la base o en el caparazón de los flujos, aunque también pueden desarrollarse en ciertas zonas internas de la colada durante el transporte. En la margen izquierda del Río Santa María donde se construye la cortina de la presa, se aprecian una serie de bloques acomodados caóticamente, los cuales presentan brechamiento fuerte sin una fábrica específica.

Figura 13.-Brechamiento fino dentro de un bloque de riodacita.

Figura 14.-Brechamiento fino dentro de un bloque de riodacita.

Los bloques presentan diferente intensidad de brechamiento y dejan en su contacto zonas molidas o brechadas finamente (Figura 12 ,13 y 14). Al colapsar estos bloques se rompen internamente generando deslizamientos internos dejando planos estriados entre si, los fragmentos no sufren cambios de posición y solo se rompen por fricción interna formando estructuras tipo *rompecabezas* (Figura 15).Las cuales se desarrollan durante el colapso, fracturándose sin sufrir rotación. Los bloques al deslizarse por el colapso se acomodan de forma caótica; porciones de estos bloques pueden corresponder a parte de las coladas y el brechamiento puede ser parte de la base del flujo o bien pertenecer a parte de un caparazón de los múltiples derrames de que está formada la riodacita Del Carmen. Algunos bloques solo se colapsan sin deslizarse y entonces sufren solo fracturamiento interno (Figura 16 y 20).

Figura 15.-Fragmento dentro de un bloque brechado donde se aprecia estructura típica de "*rompecabezas*".

Figura 16.-Fracturamiento interno de la riodacita Del Carmen, se puede apreciar la serie de bloques brechados acomodados de forma caótica.

Mucho del cizallamiento que presentan los bloques de la riodacita se debe al reacomodo de un bloque contra otro. Algunos bloques pueden estar totalmente brechados donde los fragmentos son de poca dimensión (centímetros) o bien pueden alcanzar varios metros de diámetro (Figura 18). En algunos sitios como en la margen derecha del río, los bloques están separados por fracturas rellenas de arcilla rojiza y la roca se presenta muy deleznable por la alteración argílica que presenta la roca. En la margen derecha del Río Santa María se puede apreciar con buen detalle la forma en que los bloques sufrieron acomodo quedando acuñados unos contra otro. El acomodo caótico de los bloques ocasionó que entre ellos queden huecos grandes y fracturas abiertas (Figura 17), las cuales en algunos casos están rellenas de arcilla o de material brechado muy fino.

Figura 17.-Acomodo caótico de bloques brechados, quedando huecos abiertos entre ellos.

Figura 18.-Acomodo caótico de bloques, algunos de ellos están totalmente brechados, como el bloque inferior, mientras que el superior solo está fracturado con débil fracturamiento.

Los bloques quedan acuñados uno contra otro (Figura 19 A). Algunos bloques quedaron aislados dentro del cauce, los cuales están por lo general muy brechados o bien rodeados por material coluvial (Figura 19 B).

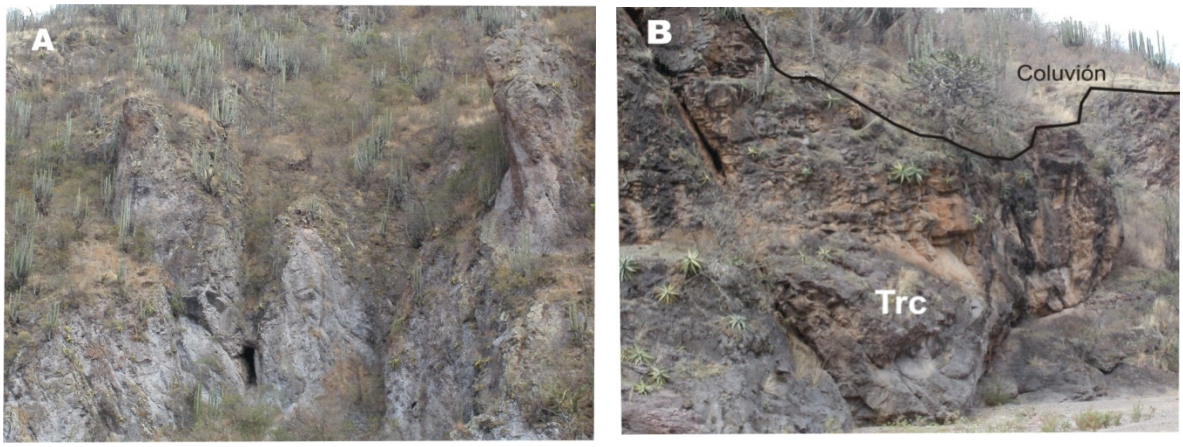

Figura 19.-A) Aspecto del acuñamiento de bloques en la margen izquierda del río. B) Bloque fracturado en la margen derecha del cauce, envuelto en material coluvial.

Figura 20.-Se observan clástos semiangulosos de diversos tamaños en una matriz fina y compacta, dentro de un megabloque de la ignimbrita El Órgano.

B) Toba Álamos (Tta)

Este nombre fue tomado del primer trabajo de cartografía de la carta El Realito por Labarthe-Hernández *et al*. (1989), quienes la describieron como una toba depositada por aire de color crema, estratificada, gradada, con un vitrófido negro lenticular en su base. Su localidad tipo se describió en los afloramientos cercanos al poblado de Álamos de Martínez. Este depósito se localiza en la margen derecha del vaso de la presa, a un costado del camino a San Antón de Los Martínez, y en segmentos en la margen izquierda del vaso.

Se trata de un depósito piroclástico estratificado y gradado en su base, en capas de 10 a 40 cm, con líticos aislado hasta de 5 cm. Se trata de flujos de oleadas piroclásticas (Figura 21).

Figura 21.-Secuencia de oleadas piroclásticas que forman la base de la Toba Álamos. Presentan fallas normales de poco desplazamiento.

En su parte superior es común encontrar intercalados entre las oleadas horizontes lenticulares de depósitos epiclásticos. Su porción superior es un flujo de ceniza de color rosa sin soldar con un 3% de fenocristales de cuarzo y sanidino de 1-3 mm, con pómez colapsada .Se elaboró una lámina delgada de la muestra M1-Tta que se describe a continuación:

M1-Tta

Al microscopio se observan cristales pequeños fragmentados o agrietados, siendo muy frecuente los fragmentos angulosos de cristales de feldespato y cuarzo en una matriz de ceniza muy fina. Con fragmentos angulosos de feldespato y plagioclasa (30%) y cuarzo pequeño (15%), fragmentos líticos de rocas volcánicas micro cristalinas (10%), en una matriz fina de cenizas y productos de alteración, con una textura tobacea a microbrecha se clasifico como un flujo piroclástico de composición riolítica (Figura 22).

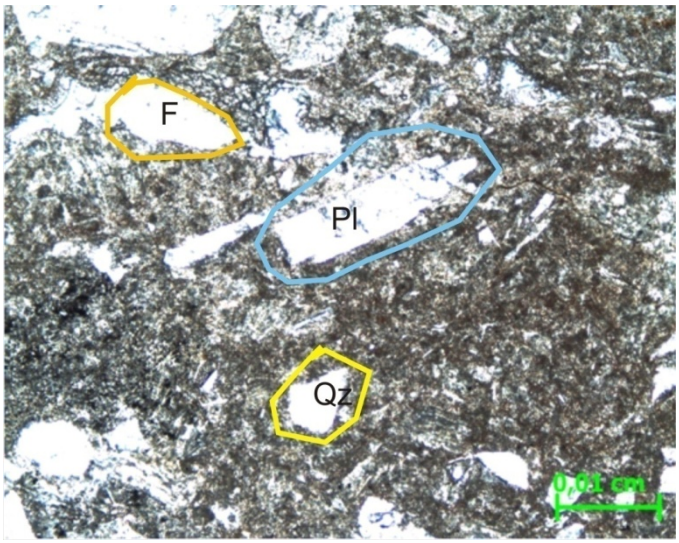

Figura 22.-Fenocristales de feldespato y plagioclasa en matríz fina de ceniza. Ancho de la foto ≈0.5 cm. Polarizadores cruzados.

En su base puede tener un vitrófido delgado de color verdoso. Su espesor es variable debido a que se depositó sobre una topografía irregular, es más gruesos donde había depresiones. En la zona de Álamos de Martínez tiene unos 35 m. En esta área puede alcanzar los 40m en el afloramiento al sur de la boquilla de la presa.

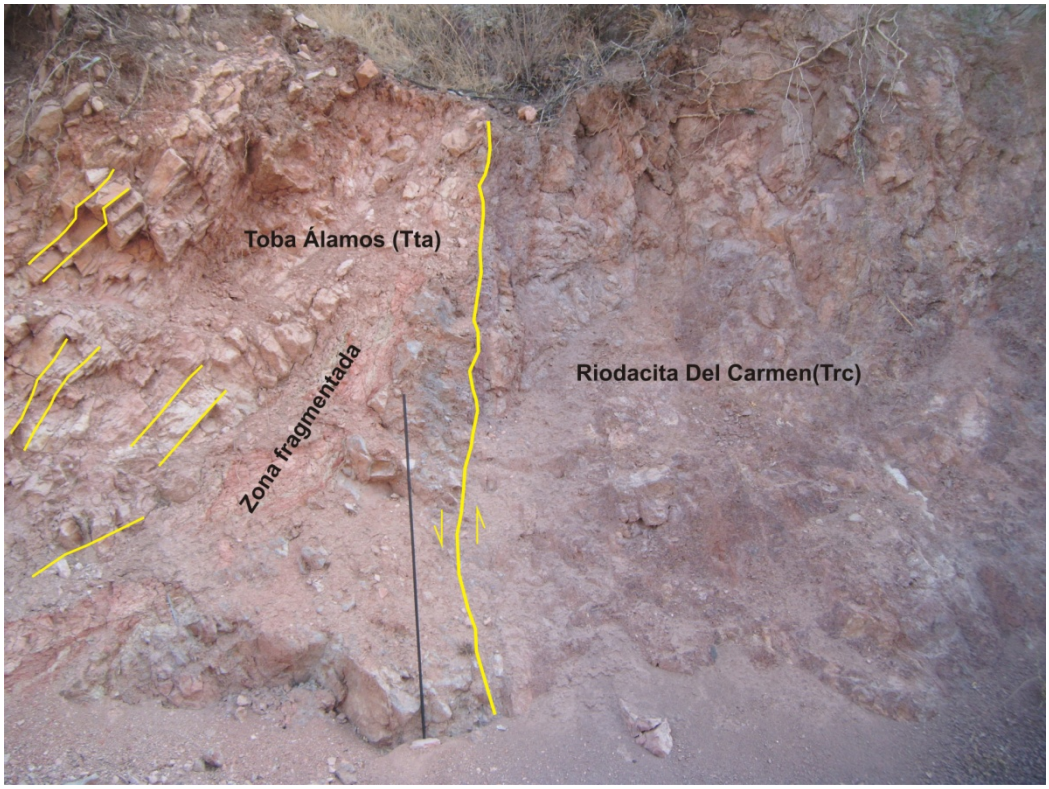

Figura 23.-Contacto por falla de la toba Álamos y un bloque de la riodacita Del Carmen, donde el piroclástico se encuentra fragmentado por el acomodo de bloque.

Estas oleadas en la margen izquierda se encuentran descansando de forma irregular sobre la riodacita Del Carmen (Figura 23 y 24), donde en algunos sitios se aprecia, que las capas están basculadas casi a la vertical debido a que el bloque de ignimbrita El Órgano se acomodó en diferentes posiciones sobre los bloques de riodacita. En otros segmentos la toba Álamos no se aprecia por

quedar incrustados en la base de los bloques. Lateralmente estos horizontes de oleadas no tienen continuidad por el hundimiento deferencial que presentan los bloques al colapsar.

Se puede considerar este flujo piroclástico como pulsos previos a la erupción voluminosa de la ignimbrita El Órgano que le suprayace. Por lo que su edad será semejante (Oligoceno temprano).

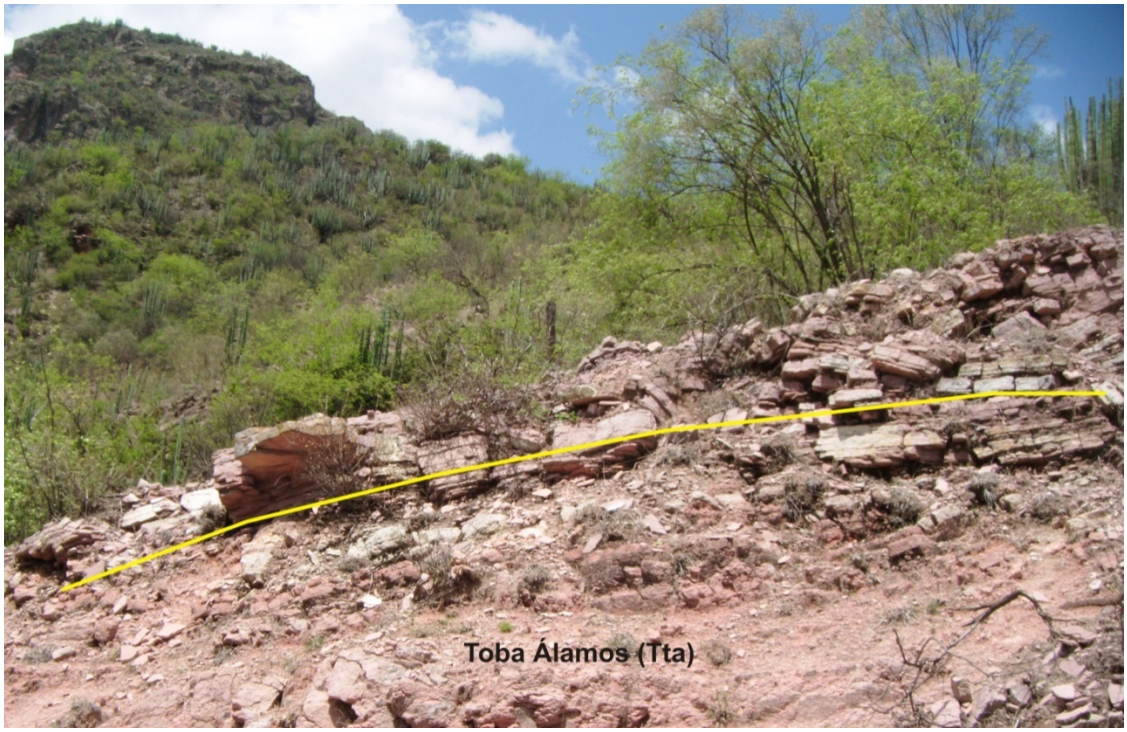

Figura 24.-Basculamiento de la toba Álamos por reacomodo dentro de un bloque de la riodacita Del Carmen.

C) Ignimbrita El Órgano (Tor)

Se describió con este nombre a una secuencia de flujos piroclásticos de composición riolítica, que afloran a 1.5 km al oriente de la mina de fluorita Las Cuevas, en el poblado de La Salitrera. En este sitio se trata de una roca de color gris rosáceo de textura porfirítica con un 10-15% de fenocristales de cuarzo y sanidino, pómez colapsada y líticos aislados en una matriz desvitrificada soldada.
En la zona del vaso de la Presa El Realito se encuentra en las partes altas de ambas márgenes, donde está en posición normal, mientras que en las partes bajas de las márgenes se encuentra como bloques colapsados, que inclusive alcanzaron el fondo del cauce del Río Santa María.

Una descripción general de la ignimbrita El Órgano es la de una roca de color gris a gris rosáceo, de textura porfirítica, con 15-20% de fenocristales de de 2-3 mm de cuarzo>sanidino y ferromagnesianos alterados, contiene pómez muy colapsada de estructura tipo “fiame”. La matriz está desvitrificada y tiene estructura columnar.

La base de esta ignimbrita es un vitrófido negro verdoso lenticular de máximo un metro de espesor, que en ocasiones está muy alterado, desintegrándose para formar una arcilla de color rojizo. Sobre el vitrófido empieza la zona desvitrificada, formada por un flujo de ceniza muy soldado de aspecto bandeado de 2-3 m de espesor (Figura 27).

M1-Tor

Componentes: Feldespatos (10%) y algunos cuarzos (<3%), en una matriz vítrea, con esquirlas y textura vitrofírica con una textura porfirítica vitrofírica; se clasifico como una roca piroclástica ignimbrítica bien soldada (Figura 25).

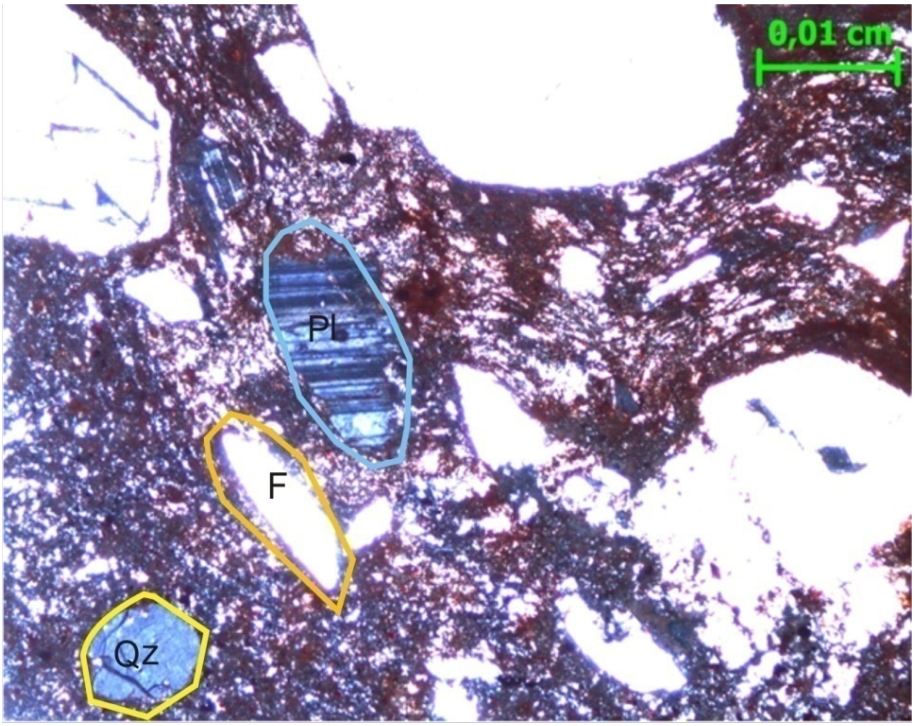

Figura 25.-Cristales de feldespato reabsorbidos en una matríz vítrea. Polarizadores cruzados. (Ancho de la imagen 0.5 cm).

Es de color café rojizo con 10% de fenocristales de cuarzo y sanidino de 2-4 mm, con algunos líticos aislados en una matriz desvitrificada. Su base tiene una estructura fluidal y forma pliegues, lo que sugiere que la base de la ignimbrita El Órgano es *reomórfica* de alto grado (Figura 26).

Figura 26.-Base de la ignimbrita El Órgano, donde se aparecían los pliegues formados por reomorfismo.

Sobre el horizonte reomorfico la estructura del el flujo cambia transformándose en un paquete diaclasado formando la estructura de *palizada* que puede alcanzar los 15 m (Figura 27).

A partir del horizonte anterior el flujo se hace más denso formando columnas lo cual caracteriza al resto del flujo (Figura 28). Los bloques que se encuentran colapsados sobre las márgenes del Río Santa María, se caracterizan por estar muy fracturados y totalmente brechados como consecuencia de colapso y deslizamiento (Figura 29 A y 29 B).

La ignimbrita El Órgano descansa sobre la toba Álamos y en la zona de la Presa El Realito solo está cubierta por depósitos coluviales, Su espesor en las partes

altas de las márgenes puede alcanzar los 300 m, y en los bloques colapsados sobre el cauce tienen diferente espesor.

Figura 27.-Secuencia basal de la ignimbrita El Órgano, donde se distinguen los dos miembros basales.

La edad de la ignimbrita El Órgano fue determinada por Ruiz (1980) por el método K/ Ar para una muestra de los alrededores de la mina de fluorita Las Cuevas de 29.12+0.32 Ma. Tristán-González *et al.* (2009) determinaron una edad para la parte distal de esta ignimbrita (ignimbrita Santa María) con el método K-Ar de roca completa de 32.5±0.8 Ma, Labarthe-Hernández *et al*. (1984) consideraron que la erupción de este paquete de ignimbrita voluminosa ocasionó la formación de una caldera de colapso que nombraron como Caldera de Milpa Grande.

Figura 28.-Estructura columnar típica, que muestra gran parte del paquete de la ignimbrita El Órgano.

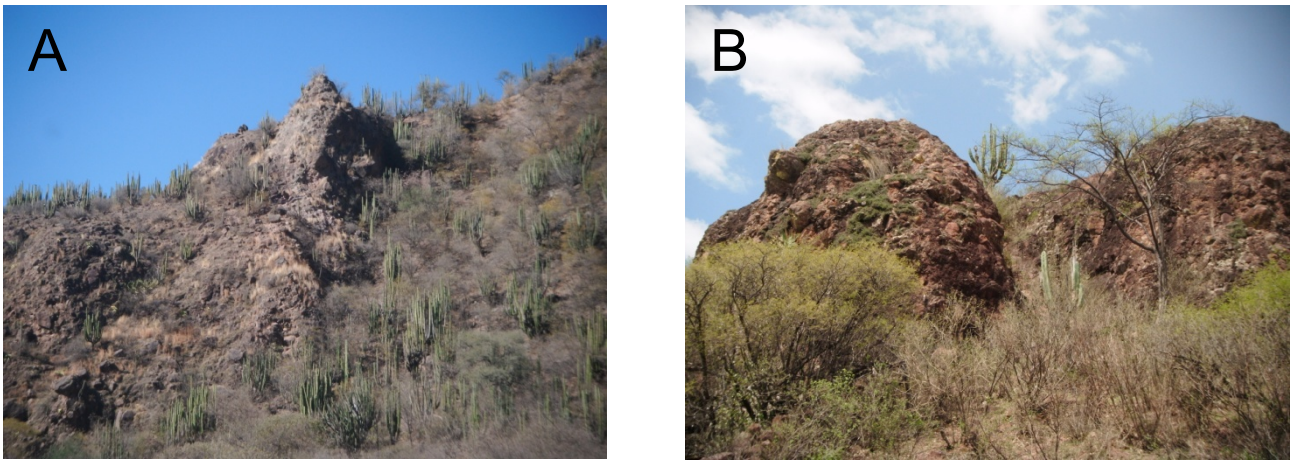

Figura 29.-Aspecto del brechamiento que presentan los bloques basculados de la ignimbrita El Órgano, que se encuentra en el lecho y márgenes del Río Santa María.

D) Depósito Coluvial (Qcl)

Mucha de la morfología de las laderas aguas arriba de la cortina en la margen derecha del Río Santa María, está ocupado por depósitos coluviales que se deslizaron sobre las laderas de los cerros y se pueden clasificar en dos categorías: Los que se encuentran formando terrazas en la márgenes del cauce del río, las cuales están formadas por una serie de bloques que pueden alcanzar el metro de diámetro, y están en los meandros del cauce, compuestos por fragmentos redondeados producto de la actividad fluvial, combinados con fragmentos y bloques sin redondear que se derivaron de las laderas de los cerros. Estos depósitos pueden alcanzar hasta unos 10 m de espesor (Figura 30).

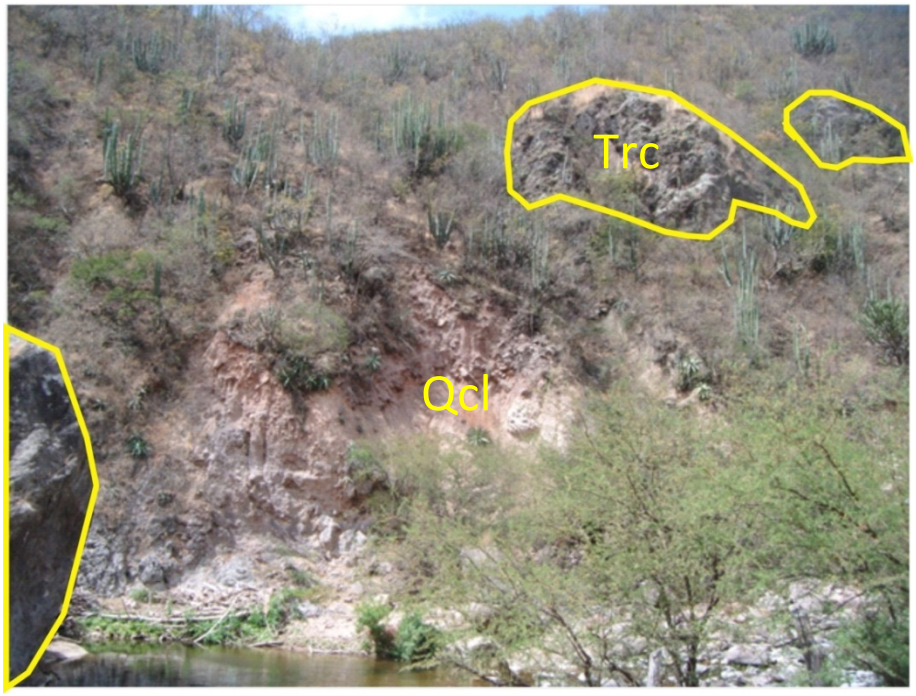

Figura 30.-Bloques de la riodacita Del Carmen (Trc) envueltos en fragmentos angulares soportados en material arcilloso (Qcl).

La segunda categoría son aquellos depósitos deslizados en las laderas que se encuentran descansando sobre las pendientes y son una combinación de fragmentos pequeños combinados con suelo y algunos bloques que pueden alcanzar hasta 20 m de diámetro. Estos fragmentos y bloques están sin consolidar y corresponden tanto a la riodacita Del Carmen como a los flujos piroclásticos de la toba Álamos e ignimbrita El Órgano.

Figura 31.-Depósitos coluviales localizados en la margen derecha aguas arriba del Río Santa María.

Figura 32.-Bloques de la riodacita Del Carmen envueltos en fragmentos angulares soportados en material arcilloso.

En la porción más al poniente aguas arriba de la cortina de la presa, toda la ladera sur del río está ocupada por un depósito grueso de estos detritos, en donde se observa una mezcla de fragmentos y bloques de la riodacita Del Carmen e ignimbrita El Órgano sin consolidar, cuyos fragmentos son de formas angulares, envueltos en una matriz limosa de color rosáceo (Figura 31 y 32). Los bloques de ambas litologías pueden alcanzar hasta 20 m (Figura 33). El componente limoso puede sugerir que en esta zona en algún tiempo pudo haber una represa natural.

Figura 33.-Bloques de la ignimbrita El Órgano, como parte del depósito coluvial.

IV.-MODELO GEÓLOGICO ESTRUCTURAL

Como en toda obra civil, es necesario contar con un modelo gelógico-estructural-geotécnico que garantice que la obra sea construida con seguridad. Para el caso de la construcción de la cortina de la Presa El Realito, fue necesario realizar un estudio geológico de detalle del vaso de la presa y en el sitio de la cortina debido a que durante el decapote para la preparación de la obra, se empezó a tener ciertas dificultades por la alteración ,fracturamiento y brechamiento que presenta la roca riodacítica en ambas margenes. El primer paso fue el de identificar el origen de las zonas de brechas: en la literatura se han reportado diferentes tipos de brechas entre las que figuran: brechas de falla, brechas hidrotermales, brechas de desintegración basal en los flujos de lava, brechas de caparazón en domos de lava, avalanchas*, lahares*, brechas de colapso, etc. Todas ellas tienen diferente origen y características físicas que la distinguen unas de otras. En el caso de las brechas que se encuentran en la zona donde se construirá la cortina de la presa El Realito están distribuidas en cuerpos irregulares (bloques) dentro de los afloramientos de la riodacita Del Carmen, y se pudieron reconocer dos tipos, 1) las que se encuentran con aspecto triturado y con fragmentación interna quedando los fragmentos con un arreglo caótico sin matriz dentro de los megabloques resultado de colapsos diferenciales, 2) las brechas que se formaron durante el flujo de lava, quedando principalmente en la base (brechas de desintegración) o en el caparazón de los flujos, aunque también pueden desarrollarse en ciertas zonas internas de la colada durante su desplazamiento.

Los megabloques que se localizan en ambas margenes del Río Santa María están limitados por fracturas y/o fallas producto de colapso, las cuales no guardan un arreglo predominante. Los megabloques, sobre todo en la margen izquierda de la zona donde se construirá la presa El Realito, es un conjunto de bloques colapsados y deslizados, alcanzando a depositarse hasta el fondo donde hoy está el cauce del Río Santa María; algunos de estos bloques corresponden a la ignimbrita El Órgano (Figura 34). Esta ignimbrita se localiza en las partes topográficamente más altas de la región coronando las sierras.

Figura 34.-En la márgen izquierda dentro de lo que será el vaso de la presa, se aprecia un patrón de drenaje orientado casi norte sur y que refleja el límite de la mayoría de los bloques colapsados y deslizados. Trc- riodacita Del Carmen; Tor- ignimbrita El Órgano. Las flechas indican la dirección de colapso y deslizamiento.

En la margen izquierda cercana a la zona donde se construirá la cortina de la presa, los cauces fluyen hacia el Río Santa María y se alinean en un patrón casi N-S, formando los límites de los bloques.

El colapso de los bloques ocasionó fallas internas por el deslizamiento de un bloque contra otro. El plano de despegue de algunos de ellos adquirió la forma lístrica, como es el caso de los bloques de ignimbrita El Órgano localizados aguas arriba de donde se construye la cortina de la presa.

Para el sitio de la cortina y margenes del vaso de la presa se asume que el origen de las brechas de colapso se relaciona principalmente a estructuras vulcanotectónicas, las cuales se pueden relacionar principalmente a las margenes donde se forman escarpes elevados producto de fallas de colapso localizadas en las periferia de estructuras vulcano-tectónicas relacionadas con calderas de colapso.

Estas estructuras se originan cuando una cámara magmática desaloja volumenes grandes de rocas piroclásticas (ignimbritas), dejando un espacio sobre la cúpula de la cámara magmática ocasionando un colapso de la columna de rocas que se encuentran sobre ella.

Este proceso de vulcanismo y colapso da como resultado que las rocas preexistentes y piroclásticas que se depositaron intra-caldera se colapsen adquiriendo la forma de la cúpula de la camára magmática y limitadas por fallas (*rim* de la caldera). Es en los escarpes del *rim* donde se desprenden megabloques, formando lo que se conoce como mega-brechas, las cuales se

depositan caoticamente en la parte hundida de las margenes de la caldera (Figura 35).Bloques grandes se deslizan hacia el interior de la caldera alcanzando distancias considerables. Los bloques internos producto del colapso se acomodan caoticamente con inclinaciones y direcciones diferentes.

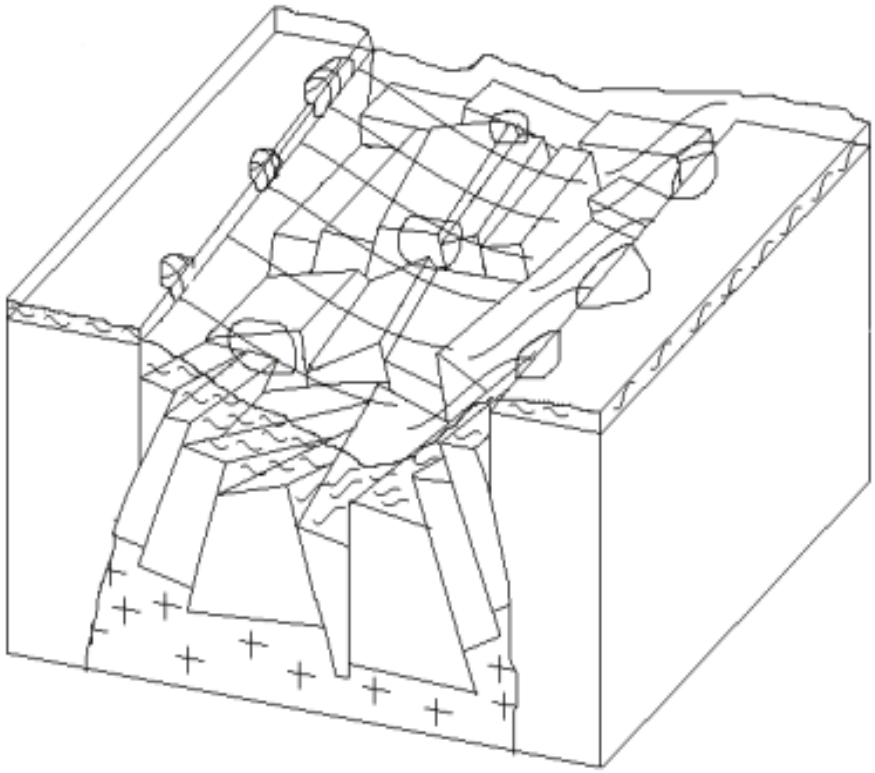

Figura 35.-Bloque diagramático de una depresión vulcano-tectónica tipo caldera de colapso, mostrando el acomodo que sufre la secuencia intra-caldera, formando una serie de bloques dispuestos de forma caótica (Tomado de Aguirre-Díaz *et al*., 2010).

Las margenes donde quedará asentada la cortina de la presa, la roca se encuentra muy afallada/fracturada, brechada y con zonas argilizadas, en algunos planos de falla se encuentra material cataclástico fino u aún molido (arcilla), presentado zonas con oxidación importante (Figuras 36 y 37), lo cual originará problemas al anclar la cortina.

Figura 36.-Planos de falla con desarrollo de brecha cataclástica fina, en la margen derecha de la cortina de la presa.

Figura 37.-Bloques fracturados y argilizados margen derecha en la zona donde se anclará la cortina.

En la zona del cauce del río, en el sitio de la cortina, se encuentra una zona de cizalla entre dos fallas con movimiento lateral derecho, nombradas como fallas del cauce uno y dos, donde la uno se localiza paralela al fondo de cauce y la dos en la margen izquierda, las cuales no revisten problema en la construcción de la cortina (Figura 38).

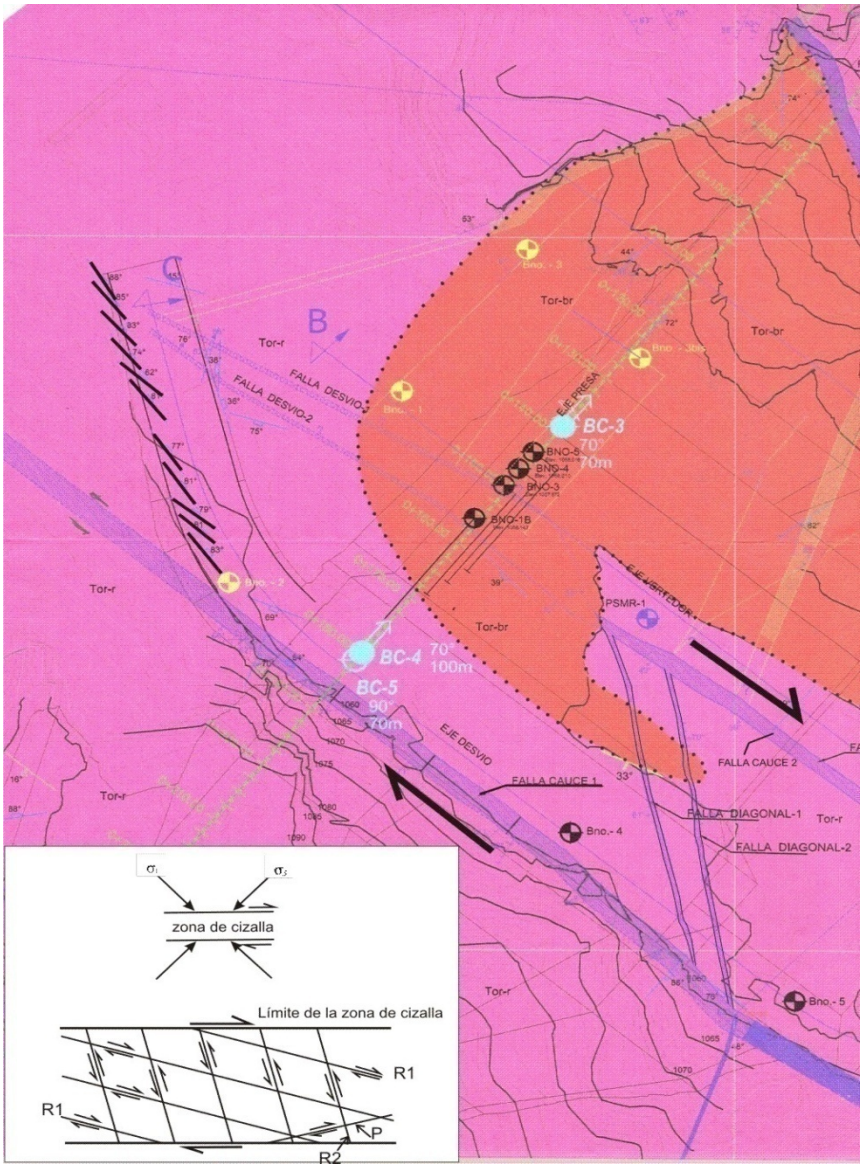

Figura 38.-mapa de la zona de cizalla sobre el cauce del Río Santa María (base mapa geológico complementario del proyecto Presa de Almacenamiento El Realito, realizado por CONAGUA).

Para explicar el modelo propuesto se presenta en la Figura 39, una secuencia de eventos que sucedieron en la región del CVRSM en la zona donde se construye la Presa El Realito, **A)** La base de la secuencia volcánica es un paquete de calizas arrecifales de la Formación El Abra del Cretácico tardío, la cual ya poseía una topografía muy irregular antes del depósito de las rocas volcánicas terciarias, sobre esa topografía se depositaron lavas voluminosas de la riodacita Del Carmen (Trc) que formaron domos muy extensos que cubrieron gran parte del CVRSM, **B)** en esta etapa tiene lugar la erupción gigante de flujos piroclásticos riolíticos, cuya etapa inicial fue un depósito piroclástico sin soldar delgado de no más de 50 m de espesor correspondiente a la toba Álamos (Tta), que se extendió sobre la porción sur y oriente del CVRSM. Sobre la toba Álamos se encuentra el paquete grueso de flujos de la ignimbrita El Órgano (Tor) que llega a tener unos 300 m de espesor en el centro del CVRSM, cubriendo todo el campo e inclusive transgrede sus límites, **C)** Como consecuencia de la erupción piroclástica voluminosa de la ignimbrita El Órgano, tiene lugar un colapso gravitacional como consecuencia del vaciado de la cámara magmática, dando lugar a una estructura tipo caldera de colapso. El reacomodo de megabloques producto del colapso es más notorio en sus bordes, donde las rocas de la secuencia se reacomodan caóticamente formando megabloques brechados. La zona donde se está construyendo la presa corresponde a una de las márgenes de la caldera, **D)** En la margen izquierda del vaso de la presa, se pude apreciar claramente el acomodo caótico de los megabloques de la ignimbrita El Órgano que se encuentran embebidos dentro de bloques de riodacita del Carmen, algunos de estos megabloques de ignimbrita se encuentran descansando en lo que hoy es el lecho del Río Santa María.

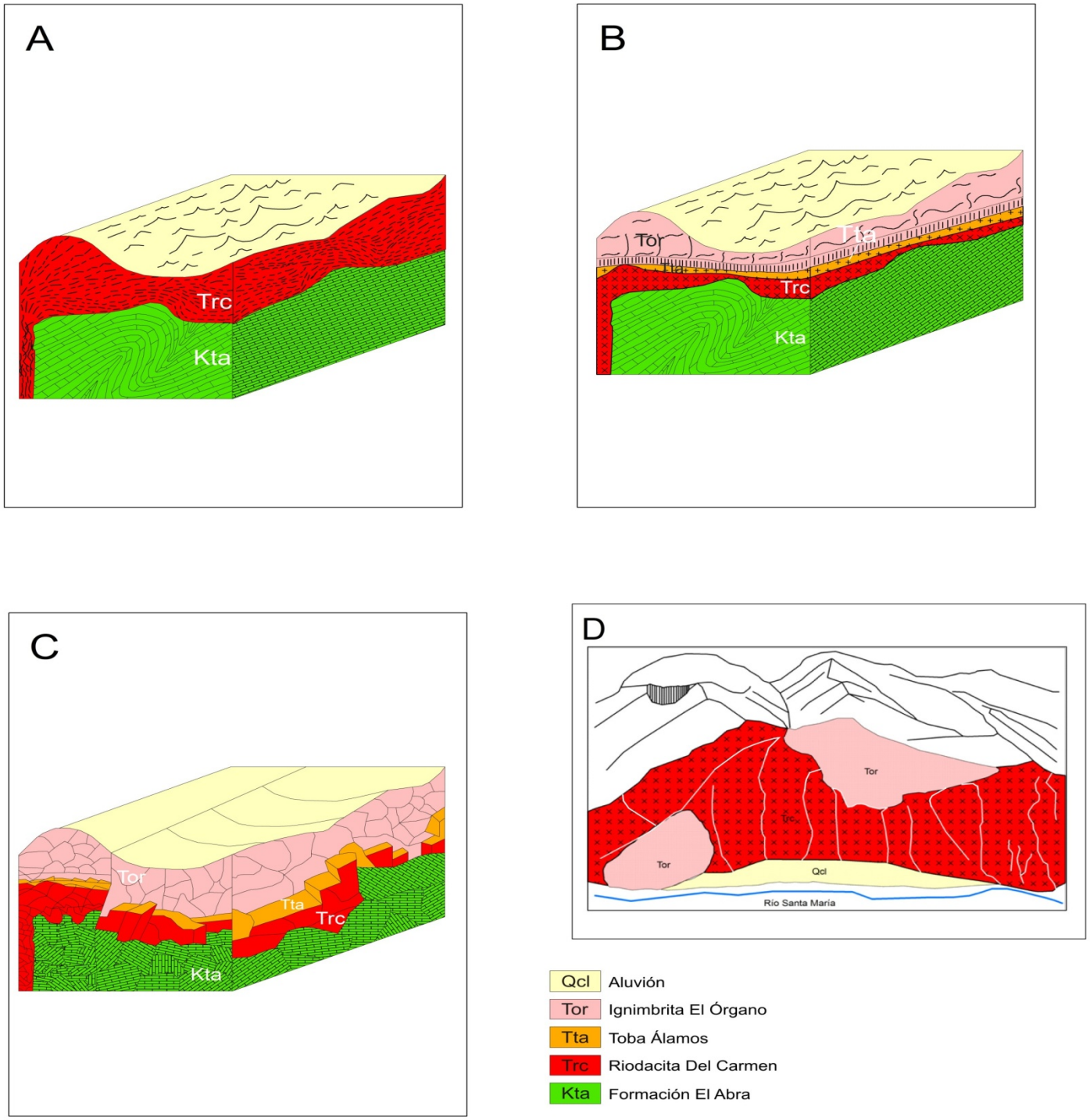

Figura 39.-Explicación del modelo volcánico-tectónico de la región El Realito.

CONCLUSIONES

 Las rocas sedimentarias marinas que corresponden a la Formación El Abra que afloran aguas abajo del sitio de la cortina, no revisten problema para la construcción de la presa, ya que la presencia de estas rocas no se encuentran al menos en los primeros 300 m debajo del lecho del río (comprobado por barrenación).

 El estudio geológico a detalle del vaso de la presa El Realito, consistió en detallar la estratigrafía y estructura de las rocas que se localizan por debajo del NAME. Las rocas que forman la secuencia del vaso corresponden a la riodacita Del Carmen, toba Álamos, ignimbrita El Órgano y depósitos coluviales.

 La riodacita Del Carmen es la roca predominante en la zona del vaso, la cual se encuentra en megabloques casi en su totalidad brechados con diferente densidad y con fracturamiento intenso en algunas partes.

 La mayor parte de la roca en la zona del vaso, se encuentra dispuesta en megabloques, sobresaliendo los de riodacita Del Carmen y en menor cantidad de ignimbrita El Órgano., Algunos de los megabloques colapsados de ignimbrita se encuentran en el fondo del lecho del Río Santa María, los cuales están totalmente brechados; y su base totalmente triturada.

- La mayoría de las fallas son los límites de bloques, dejando planos estriados de tipo falla normal. El rumbo preferencial es de N10°W y N20°E. Se observan con mayor intensidad en la margen izquierda.

- El modelo geológico-estructural está basado en el colapso gravitacional de megabloques producto de la formación de una caldera de colapso, sugerida por la erupción voluminosa de flujos piroclásticos de la ignimbrita El Órgano. El vaciado de la cámara magmática ocasionó la formación de la estructura caldérica, quedando en su interior los bloques acomodados caóticamente. El sitio donde se construye la presa correspondería a uno de los bordes de la caldera.

- Se localizó una zona de cizalla limitada por las fallas del cauce, con movimiento lateral derecho, las cuales no revisten peligro para la construcción de la presa.

BIBLIOGRAFÍA

Aguillón-Robles, A., Tristán-González, M., Torres-Hernández, J.R., Bustos-Gutiérrez, L.A., Carrizales-Aguilar, A., 2004, Carta Geológico-Minera Santa María del Río F14-C14, San Luis Potosí y Guanajuato, escala 1:50,000: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa.

Aguirre-Díaz, G.J., Marti, J., Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Nieto-Obregón. J, 2010, The eruption of giant ignimbrites Nature (en prensa).

Carrillo-Bravo, J, 1971, La Plataforma Valles-San Luis Potosí: Boletín de la Sociedad Mexicana de Geólogos Petroleros, 23(1), p. 21-46.

Campa, M.F., and Coney, R.J., 1983, Tectono-Stratigraphyc Terranes and Mineral Risource Distribution in Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 20, p. 1040-1051.

Espinosa-Guillen, A., 1974, Reconocimiento geológico del área Capulín-Mesa Prieta, zona Los Cayos, Municipio de Victoria, Guanajuato: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Escuela de Ingeniería (Tesis de Licenciatura), 25p.

Galván-Castillo, J., 1974, Estudio geológico de la zona Guerrero 7- Huizachal, municipio de Victoria, Guanajuato: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Escuela de Ingeniería (Tesis de Licenciatura), 22p.

Grassel, P.C., 1979, The reconnaissance geology of La Salitrera Mining District, San Luis Potosí, México: Tesis de Maestría, Univ. Of Houston, 251 p. (inédita).

Labarthe, H, G, y Tristán, G. M., 1978., Cartografía Geológica Hoja San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 59, 41 p.

Labarthe, G. y Tristán, M., 1980, Cartografía geológica Hoja Santa María del Río, S.L.P.: Inst. Geol. Metal. Univ.Aut. S.L.P., Folleto Técnico N° 67,32p.

Labarthe, H. G., Tristán, G. M., y Aguillón, R. A., 1982., Estudio Geológico Minero del área de Peñón Blanco, estados de San Luis Potosí y Zacatecas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 76, 63 p.

Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, Martínez-Ruiz, V.J., 1983, Estudio Geohidrológico de la Hoja Melchor, Estados de San Luis Potosí y Guanajuato: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología, Folleto Técnico no. 92, 110 p.

Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Aguillón-Robles, A., 1984, Cartografía geológica 1:50,000 Salitrera, S.L.P.: Instituto de Geología, UASLP, Folleto Técnico no. 94, 85 p.

Labarthe-Hernández, G., Aguillón-Robles, A., Tristán-González, M., Jiménez-López, L.S., Romero, A., 1989, Cartografía geológica 1:50,000, de las Hojas El Refugio y Mineral El Realito, estados de San Luis Potosí y Guanajuato: Instituto de Geología, UASLP, Folleto Técnico no. 112, 76 p.

Raísz, E., Land forms of Mexico, scale 1:3,000 000: Cambridge, Massachusetts, U.S., Office of Naval Research, Geography Branch, 1 mapa.

Ruiz., Kesler , S.E.,Jones,L.M, L.M. y Sutter,J.F.,1980, Geology and geochemistry of the Las cuevas fluorite deposit, San Luis Potosí ,México:Econ.Geol.V.75,N°8,p.1200-1209.

Servicio Geológico Mexicano, 2001, Carta Geológica-Minera Mineral El Realito F14-C26, S.L.P.-Gto., Esc. 1:50,000.

Stewart, J.H., 1978, Basin-range structure western North America: a review: Geol. Soc. America, Mem.152, p.1-30.

Stewart, J.H., 1998, Regional characteristics, tilt domains, and extensional history of the late Cenozoic Basin and Range province, western North America: geological society of America special paper 323, p.47-74.

Tardy, M., 1980, Contribution á l´etude géologique de la Sierra Madre Oriental du Mexique: Université Pierre et Marie Curie de Paris (tesis doctoral) ,459p.

Tristán-González, M., 1987, Cartografía geológica “Hoja Tierra Nueva”, S.L.P., Esc. 1:50,000: Instituto de Geología, UASLP, Folleto Técnico no. 109, 103 p.

Tristán-González, M., Aguillón-Robles, A., Bellon, H., Barboza-Gudiño, J.R., Labarthe-Hernández, G., Torres-Hernández, J.R., López-Doncel, R.A., Rodríguez-Ríos, R.,2008 Geocronología y distribución espacial de los centros eruptivos del Campo Volcánico de San Luis Potosí. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, V.60, N° 1. (En prensa).

Tristán-González, M., Aguillón-Robles, A., Barboza-Gudiño, J.R., Torres-Hernández, J.R., Bellon, H., López-Doncel, R.A., Rodríguez-Ríos, R., Labarthe-Hernández, G., 2009, Geocronología y distribución espacial del Campo Volcánico de San Luis Potosí: Boletín de la Sociedad Geológica Mexica, v. 61, no. 3, p. 287-303.

Wilson, V. W., Hernández, J.P., y Meave, T. E., 1955, Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del Estado de Querétaro: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v.18, p. 1-10.