



**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS SUELOS  
CEMENTADOS EN EL VALLE DE AGUASCALIENTES**

**PRESENTA**

**Hiram Jhosafat Gaytán Molina**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL  
CON ESPECIALIDAD AMBIENTAL**

**TUTOR**

**Dr. Martín Hernández Marín**

**CO-TUTOR**

**M. en C. Norma González Cervantes**

**COMITÉ TUTORIAL**

**Dra. Iliana Ernestina Medina Ramírez  
Dra. Didilia Ileana Mendoza Castillo**

**Aguascalientes, Ags. junio de 2021.**

Dr. EN C.T.C. HÉCTOR HOMERO POSADA ÁVILA  
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

**PRESENTE**

Por medio del presente como **Miembros del Comité Tutorial** designado del estudiante **HIRAM JHOSAFAT GAYTÁN MOLINA** con ID 177828 quien realizó la tesis titulado: **CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS SUELOS CEMENTADOS EN EL VALLE DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia damos nuestro consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

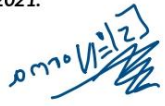
Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 10 de junio de 2021.



Dr. Martín Hernández Marín  
Tutor de tesis



M. en C. Norma González Cervantes  
Co-Tutor de tesis



Dra. Iliana Ernestina Medina Ramírez  
Asesor de tesis



Dra. Didilia Ileana Mendoza Castillo  
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.  
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión de Calidad.  
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-16  
Actualización: 00  
Emisión: 17/05/19



**DICTAMEN DE LIBERACION ACADEMICA PARA INICIAR LOS TRAMITES DEL EXAMEN DE GRADO**



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: \_\_\_\_\_

**NOMBRE:** Hiram Jhosafat Gaytán Molina **ID** 177828

**PROGRAMA:** Maestría en Ingeniería Civil **LGAC (del posgrado):** Aplicación de Ciencias de la Tierra a proyectos de infraestructura

**TIPO DE TRABAJO:** (  ) Tesis (  ) Trabajo Práctico

**TITULO:** Caracterización Físico-Química de los suelos cementados en el Valle de Aguascalientes.

**IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado):** Identificar los principales cementantes que están precipitando en los suelos del valle de Aguascalientes

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>				
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Éxiste coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>				
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Coincide con el título y objetivo registrado
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tiene el CVU del Conacyt actualizado
NO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<i>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</i>				
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	El estudiante es el primer autor
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado: SI   
No

**FIRMAS**

**Elaboró:**

\* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN: DR. MARIO EDUARDO ZERMENO DE LEÓN

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO: DR. MARÍN HERNÁNDEZ MARÍN

\* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

**Revisó:**

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO: DR. ALEJANDRO ACOSTA COLLAZO

**Autorizó:**

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO: DR. EN C.T.C. HÉCTOR HOMERO POSADA ÁVILA

**Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado**  
 En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... **Quitar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, Pesar el seguimiento de los alumnos.**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Dr. Martín Hernández Marín, quien fungió como tutor del presente trabajo y a la M. en C. Norma González Cervantes, quien fungió como cotutora, por la orientación, tiempo y apoyo brindados durante el desarrollo de la tesis.

A los miembros de mi comité tutor: Dra. Iliana E. Medina Ramírez y la Dra. Didilia Ileana Mendoza Castillo. Por ayudarme en las cuestiones de geoquímica, permitirme el uso de las instalaciones de sus laboratorios, así como por sus comentarios constructivos durante los diferentes seminarios profesionales.

Hago un especial agradecimiento a las diferentes personas externas a mi comité que me ayudaron de diferentes formas en las cuestiones de trabajo de laboratorio, de redacción, así como de interpretación de resultados, así como orientaciones en diversos ámbitos.

- Tec. Acad. Juan Tomás Vázquez Ramírez, por la gran ayuda brindada en todo el proceso de la elaboración de las láminas delgadas.
- Al Geólogo Gonzalo Valdivieso, egresado de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), por aclarar la mayoría de mis dudas respecto a la interpretación de los diferentes difractogramas de rayos X.
- Al Dr. Rubén Alfonso López Doncel por su ayuda en las pruebas de porosidad y densidad de las muestras de suelo, así como su ayuda desinteresada en la interpretación de diferentes laminas delgadas.
- A la Dra. Lilia Guerrero Martínez, Dra. Edith Estefanía Orenday Tapia, al M.I. Alfredo Zermeño Villalobos por ayudarme en diferentes aspectos de la tesis, como lo fue la redacción, trabajo en laboratorio, así como el poder plasmar algunas ideas de la tesis.
- Mi gratitud hacia el M. en C. José Guadalupe Cavazos Tovar, por sus atenciones y alojamiento en mi pequeña estancia en el Centro de Geociencias de la UNAM.
- A todas mis nuevas amistades de maestría, así como mis antiguas amistades de licenciatura.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado para poder concluir esta tesis de maestría.

Finalmente, a mis padres Mario Gaytán López y Gabriela Molina López y a mi hermana Dannya Gabriela Gaytán Molina, por apoyarme en todos esos momentos de estrés y esas platicas que me ayudaron a seguir el rumbo.

## **DEDICATORIAS**

Esta tesis tiene una dedicatoria especial a mis padres y a mi hermana que nunca dejaron de creer en mí.



**ÍNDICE**

ÍNDICE ..... 1

ÍNDICE DE TABLAS ..... 3

ÍNDICE DE FIGURAS..... 4

RESUMEN..... 8

ABSTRACT..... 10

CAPÍTULO I: GENERALIDADES ..... 12

    1.1 Introducción ..... 12

    1.2 Planteamiento del problema ..... 12

    1.3 Hipótesis..... 13

    1.4 Objetivos ..... 13

        1.4.1 Objetivo General ..... 13

        1.4.2 Objetivos Particulares ..... 13

CAPÍTULO II: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO ..... 14

    2.1. Formación y procedencia de los cementantes ..... 17

    2.2. Determinación de cementantes (Casos de estudio)..... 17

    2.3 Cementación..... 19

        2.3.1 Cementos de carbonato de calcio ..... 19

        2.3.2. Cementos de sílice. .... 21

        2.3.3. Cementos de filosilicatos ..... 21

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO ..... 22

    3.1 Diagénesis (procesos diagenéticos) ..... 22

    3.2 Difracción de rayos X ..... 24

3.3 Ubicación de la zona de estudio.....	26
3.4 Contexto geológico .....	27
CAPITULO IV: METODOLOGÍA.....	28
CAPITULO V: RESULTADOS .....	36
5.1 Morfología e hidrología de la zona de estudio.....	36
5.2 Descripción de campo de los puntos de muestreo .....	37
5.3 Descripción Petrográfica.....	56
5.4 Cuantificación de cementantes.....	80
5.5 Difracción de rayos X .....	82
5.6 Caracterización física de los suelos .....	86
CAPITULO VI: DISCUSIÓN .....	88
CAPITULO VII: CONCLUSIONES.....	91
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES. ....	92
Referencias.....	93
ANEXOS .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de calizas (Modificado de Folk 1959, 1961).....	20
Tabla 2: Localización de las zonas de muestreo.....	29
Tabla 3: Propiedades físicas observadas en campo. ....	37
Tabla 4: Cementantes inferidos por microscopía óptica.....	60
Tabla 5: Compilado de morfologías y procesos de formación de los cementantes. ....	60
Tabla 6: Resumen de resultados, donde se indican los minerales reconocidos para cada muestra y su fórmula química.....	82
Tabla 7: Resultados de minerales obtenidos en análisis de polvo con orientación aleatoria por DRX. Donde el color verde indica minerales identificados con total seguridad, mientras que el color amarillo es un nivel de claridad intermedio, donde la mayoría de los peaks son correspondientes, .....	84
Tabla 8: Minerales arcillosos identificados mediante Difracción de rayos X (DRX). ....	85
Tabla 9: Cuantificación de minerales encontrados en las muestras de estudio. En amarillo, los porcentajes más altos de los minerales encontrados en cada muestra. ....	86
Tabla 10: Características físicas generales de las muestras de suelo. Donde los valores más altos se indican con color rojo mientras los valores más bajos se indican con el color azul.....	87



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Extraída de Rossi, 2010. Clasificación de calzas de Folk (1959, 1961), basada en la composición. ....	21
Figura 2: Tipos de matrices y/o cementos filosilicáticos en función de su origen y evolución (Arribas Mocoroa, 1987).....	22
Figura 3: Grafica de condiciones de presión y temperatura para diferenciar la diagénesis y el metamorfismo. Modificado de (Worden y Burley, 2003). ....	23
Figura 4: Ilustración geométrica de la Ley de Bragg. Modificado de (Pecharsky y Zavalij, 2008).....	25
Figura 5: Ubicación de la zona de estudio en el estado de Aguascalientes, México. (a) dónde se puede observar sombreado en gris a VA: Valle de Aguascalientes; SMOc= Sierra madre Occidental; MC: Mesa Central. (b) mapa de relieve donde la zona punteada en negritas es el VA, así como las diferentes cabeceras municipales. Acrónimos: AGS =Aguascalientes; JM = Jesús María; SFR = San Francisco de los Romo; PA= Pabellón de Arteaga; RR = Rincón de Romos; T = Tepezalá; C = Cosío.....	26
Figura 6: Mapa geológico de Aguascalientes (datos tomados de INEGI y SGM). ....	27
Figura 7: Localización de los puntos de muestreo, así como de los puntos origen de la parte alta del graben (horst) para una mayor explicación ir al texto en la tabla 2. Acrónimos: AGS =Aguascalientes; JM = Jesús María; SFR = San Francisco de los Romo; PA= Pabellón de Arteaga; RR = Rincón de Romos; T = Tepezalá; C = Cosío.....	30
Figura 8: Collage de fotografías dónde se muestra: a) Cortado de las muestras de suelo mediante una cortadora con disco fino, b) Pulido de las muestras de suelo con la finalidad de obtener una cara lisa que se pegó en los portaobjetos c) Muestras colocadas en los portaobjetos mediante pegamento especial, d) Desbaste de las secciones delgadas mediante el uso de la pulidora petro thin buehler. ....	32
Figura 9: Collage de fotografías donde: a) Selección del material en polvo mediante el tamiz del No. 100 b) Balanza granataria de precisión c) Material para la elaboración de pastillas para el análisis de difracción de rayos X. d) Análisis de las fases minerales mediante el Empyrean II. ....	34
Figura 10: Bomba de extracción y campana de desecación para la extracción del aire de la muestra y absorción de agua al vacío.....	35
Figura 11: Mapa de la zona de estudio con relieve topográfico, hipsometría y principales ríos y arroyos. Acrónimos: SF=Sierra Fría; SL=Sierra del Laurel; CM= Cerro del muerto; T=Tepezalá. ....	36
Figura 12: Afloramiento del Punto “A”. La Palmilla, se observan las intercalaciones de colores y así como alteraciones debido a procesos de oxidación y argilización. ....	38
Figura 13: Columna estratigráfica del punto A: La Palmilla.....	39

Figura 14: a) Estratigrafía detallada del punto B, en donde se observa el cambio abrupto entre un estrato carbonatado y la parte de techo con oxidación, además de contar con un grado alto de erosión y meteorización. ....40

Figura 15: Columna estratigráfica del Punto b) El Águila. ....40

Figura 16: Afloramiento del Punto C), en donde se hace un acercamiento al estrato A), el cual es muy similar al estrato C), y se observan grietas de desecación. ....41

Figura 17: Columna estratigráfica del Punto C): Ojo Zarco.....42

Figura 18: Afloramiento del punto D). ....43

Figura 19: Columna estratigráfica del Punto D) Santiago, Estrato Único.....43

Figura 20: Excavación de Zanja para casa habitación considerada como afloramiento que cuenta con un sedimento detrítico inmediatamente posterior a la capa vegetal de suelo. ....44

Figura 21: Columna estratigráfica del Punto e) Pabellón. ....45

Figura 22: Conglomerado polimítico mal graduado embebido en una matriz de arenas y arcillas, así como intercalaciones de colores cafés debido a lluvias recientes. ....46

Figura 23: Columna estratigráfica Punto G).....46

Figura 24: Afloramiento del Punto I) San Marcos, a) Afloramiento del lado izquierdo del límite oriente del graben de Aguascalientes, b) Afloramiento del lado derecho del límite Oriente del graben de Aguascalientes. ....48

Figura 25: 2 Columnas estratigráficas en el Punto I) San Marcos (la columna a la izquierda de la imagen es el bloque de piso, mientras que la columna de la derecha es el bloque de techo).....48

Figura 26: a) Suelos de tipo arenoso arcilloso denominado Estrato A); b) Arenas mal graduadas con una coloración café denominado Estrato B); c) Contacto de tipo erosional discordante entre el Estrato B) y C), el cual cuenta además con coloraciones rojizas que indican grado de oxidación.....49

Figura 27: Estratigrafía Punto J1. ....50

Figura 28: Estrato uniforme de composición calcárea que tiene un origen aluvial. ....51

Figura 29: Estratigrafía del Punto J2. ....51

Figura 30: Diferentes tipos de suelos en donde los que están en la parte basal son carbonatados, mientras los que están en la cima presentan tonos rojizos debido a un proceso de oxidación. ....52

Figura 31: Columna estratigráfica Punto K).....53

Figura 32: Estrato que se observa con una intemperización considerable, así como un contacto erosional. ....54

Figura 33: Columna estratigráfica Punto L). ....54

Figura 34: Afloramiento del Punto M) Bosque de boso en donde se observa las raíces tiene dificultad para penetrar el mismo, debido a su naturaleza calcárea que rellena los poros.....55

Figura 35: Columna estratigráfica Punto M). .....56

Figura 36: Fotomicrografía de la muestra PA-EA, la cual cuenta con una cementación esparítica .....61

Figura 37: Fotomicrografía de la muestra PA-EB, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria.....62

Figura 38: Fotomicrografía de la muestra PA-EC1, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria y secundaria.....63

Figura 39: Fotomicrografía de la muestra PA-EC2, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria, así como incrustaciones de sílice. ....64

Figura 40: Fotomicrografía de la muestra PB, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos iluviación primaria, y meteorización de minerales secundarios.....65

Figura 41: Fotomicrografía de la muestra PC-EA, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria y meteorización de minerales secundarios.....66

Figura 42: Fotomicrografía de la muestra PC-EB, con un muy pequeño porcentaje de cemento filossilicático (nulo). .....66

Figura 43: Fotomicrografía de la muestra PC-EC, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria y pedoturbaciones (alteraciones).....67

Figura 44: Fotomicrografía de la muestra PD, la cual cuenta con cemento micrítico, así como vitrificaciones de sílice secundario. ....68

Figura 45: Fotomicrografía de la muestra PE, la cual cuenta con cemento micrítico con diferentes colores de interferencia. ....69

Figura 46: Fotomicrografía de la muestra PG, la cual cuenta con una matriz y cemento micrítico con diferentes colores de interferencia. ....69

Figura 47: Fotomicrografía de la muestra PID, la cual cuenta con vestigios de cemento micrítico y esparítico con diferentes colores de interferencia. ....70

Figura 48: Fotomicrografía de la muestra PII, la cual cuenta con una matriz y cemento micrítico con diferentes colores de interferencia. ....71

Figura 49: Fotomicrografía de la muestra PJ1-A, la cual cuenta con cemento esparítico drúsico.....72

Figura 50: Fotomicrografía de la muestra PJ1-B, con un muy pequeño porcentaje de cemento filossilicático (nulo). .....73

Figura 51: Fotomicrografía de la muestra PJ1-B, con un muy pequeño porcentaje de cemento filossilicático (nulo). .....73

Figura 52: Fotomicrografía de la muestra PJ2-A, la cual cuenta con cemento esparítico drúsico.....74

Figura 53: Fotomicrografía de la muestra PJ2-B, la cual cuenta con cemento esparítico drúsico.....74

Figura 54: Fotomicrografía de la muestra KB, la cual cuenta con cemento filosilicático por procesos de iluviación primaria y meteorización de minerales secundarios.....75

Figura 55: Fotomicrografía de la muestra KB, la cual cuenta con una matriz micrítica y cemento esparítico. ....76

Figura 56: Fotomicrografía de la muestra PL-EA, la cual cuenta con cemento filosilicático por procesos de iluviación secundaria. ....77

Figura 57: Fotomicrografía de la muestra PL-EB, la cual cuenta con cemento filosilicático por procesos de iluviación primaria y secundaria.....78

Figura 58: Fotomicrografía de la muestra PL-E2A, la cual cuenta con cemento filosilicático por procesos de iluviación secundaria. ....78

Figura 59: Fotomicrografía de la muestra PM, la cual cuenta con cemento micrítico y esparítico.....79

Figura 60: a) Lamina delgada trabajada mediante el software ImageJ. b) lámina delgada con nicoles cruzados (escala gráfica).....81

Figura 61: Grafica comparativa de los porcentajes de carbonato de calcio en las diferentes muestras. ....81

Figura 62: Grafica comparativa de porosidad y absorción de agua al vacío y densidad aparente de las muestras del valle de Aguascalientes.....87

## RESUMEN

El valle de Aguascalientes se ubica en la parte baja del graben del mismo nombre, en esta área se observan suelos conformados principalmente por sedimentos detríticos provenientes de las partes más altas de las montañas que franquean dicho valle. Se considera que la sedimentación del área de estudio es reciente, ya que tiene una edad asignada de ~11 Ma (Nieto-Samaniego *et al.*, 2005), por lo que se encuentran en un proceso de diagénesis temprana, en donde se ha observado que precipitan minerales que actúan como cementante. El estudio de los cementantes de estos suelos es importante para el campo de la geotecnia, ya que generalmente un suelo cementado tiene una mayor resistencia mecánica que uno que no lo está. Así, el estudio de primera generación o de descubrimiento con detalles en áreas críticamente seleccionadas, estuvieron encaminadas a documentar y reconocer el tipo y origen de estos cementantes.

A partir del trabajo en campo se obtuvieron 33 muestras, de las cuáles nueve fueron tomadas en los horts del graben y el resto provienen de la zona norte y centro del valle de Aguascalientes, mientras que de las observaciones de las muestras se pudo establecer que en su mayoría están parcialmente litificadas y son de granulometría fina (arcillas y limos) con manchas o incrustaciones de color negro (manganeso), y en menor porcentaje se observaron conglomerados con un 50% de clastos subredondeados de rocas oxidadas y color gris que varían de 3 cm a 2 mm embebidos en un 50% de matriz fina de arena y arcilla, así mismo, se observó arenas medias de color pardo.

Los resultados petrográficos sugieren la existencia tres tipos diferentes de cementante en las muestras: carbonato de calcio, arcillas y sílice, aunque éste último en menor proporción. En los suelos de grano fino (limo y arcilla) se tienen cementantes de calcio<arcillas<sílice, en los suelos de conglomerados se observan cementantes de calcio<sílice y en los suelos de arenas cementante de arcilla<sílice. El carbonato de calcio se presenta según la clasificación de Folk (1959, 1962) como lodo micrítico y calcita esparítica con estructura de mosaico drúsico. Considerando el cemento esparítico sin los incluidos en la matriz de lodo micrítico (cementante secundario), la proporción máxima de cementante de carbonatos según el software *imageJ* oscila es de 27 % del total de una la muestra, que

corresponde a una del centro del área de estudio (Punto K), mientras que la menor proporción es de 6 % para una muestra ubicada en la zona central del área de estudio (muestra PII).

Por su parte, los cementantes de sílice y de arcillas identificados en las muestras que se observaron representan un porcentaje menor al 5%. El cemento de sílice se observa rellenando parcial y radialmente los huecos en forma de espadas ya que aún no tiene un crecimiento excesivo, mientras que los cementantes de arcillas se observan de forma envolvente, es decir, rodean todos los granos de suelo y son filosilicatos de tonalidad amarillo-naranja, el modelo de extinción es de buena orientación en algunas partes y se observa su disposición paralela al borde del grano.

Por otro lado, de los resultados de los análisis de difracción de rayos X (DRX), se reconocieron minerales principales como el cuarzo, en menor proporción andesinas (feldespato de la familia de las plagioclasas), y también minerales del grupo de los filosilicatos como la illita, caolinita, montmorilonita, halloysita, así como probablemente vidrios opacos que se identificaron en la mayoría de los suelos sedimentarios. Mientras que las propiedades físicas de las muestras de suelo tienen una porosidad con un rango de 6.9 % a 53.7 % y una densidad aparente con un rango de variación 1.10 g/cm<sup>3</sup> a 2.51 g/cm<sup>3</sup>, lo cual resulta en valores muy fluctuantes y representa suelos con características físicas muy diferentes.

Las características petrográficas y químicas indican que los cementantes arcillosos encontrados en el valle de Aguascalientes se presentan como acumulaciones iluviales (primarias y en menor medida secundarias), debido a la existencia de ferriarcilanes (revestimientos) de colores rojizos o amarillentos (en este caso son amarillentos, lo que indica bajo contenido de hierro); colores que también aparecen con los nicoles cruzados. También se observaron microlaminaciones que sugieren la existencia de fases de acumulación, mientras que los cementantes de sílice son en general cuarzos, la neoformación de estos cementantes requiere de un ambiente natural que aporte sílice y feldespatos, el cuál probablemente ocurrió por disolución intraestratal de silicatos detríticos en ambientes continentales, lo cual provocaría la formación de soluciones alcalinas intersticiales (Arribas, 1987). Mientras que el cemento carbonático probablemente es el producto de calizas ubicadas en la parte alta al noreste del área de estudio.

**Palabras clave:** Valle de Aguascalientes, cementantes, porosidad, mineralogía.

## **ABSTRACT**

The Aguascalientes valley is located in the lower part of the graben of the same name, in this area soils are observed mainly made up of detrital sediments from the highest parts of the mountains that cross said valley. It is considered that the sedimentation of the study area is recent, since it has an assigned age of ~ 11 Ma (Nieto-Samaniego et al., 2005), so they are in a process of early diagenesis, where it has been observed that precipitate minerals that act as cement. The study of the cementitious of these soils is important for the field of geotechnics, since generally a cemented soil has a greater mechanical resistance than one that is not. The mechanical resistance probably depends on the type of cement that the soil has. Thus, the first generation or discovery study with details in critically selected areas was aimed at documenting and recognizing the type and origin of these cementants.

Based on observations in the field and the analysis of 33 samples, of which nine were taken in the horts of the graben and the rest from the north and center of the Aguascalientes valley, soils could be defined in the Aguascalientes valley, most of them partially lithified with fine granulometry (clays and silts) with spots or incrustations of black color (manganese) and to a lesser percentage of conglomerates, which are observed with 50% of sub-rounded clasts of oxidized rocks and gray color that vary from 3 cm to 2 mm embedded in a 50% fine matrix of sand and clay, likewise, medium brown sands were observed.

The petrographic results indicate three different types of cement: calcium carbonate, silica and clays. In fine-grained soils (silt and clay) there are calcium cementitious <clays <silica, in conglomerate soils calcium <silica cementitious soils are observed and in sand soils clay cementing <silica. Calcium carbonate is presented according to Folk's classification (1959, 1962) as micritic mud and sparitic calcite with a drusic mosaic structure. Considering the sparitic cement without those included in the micritic mud matrix (secondary cementitious), the quantification of the carbonate cementitious according to the *imageJ* software oscillates between a maximum value of approximately 27% of the total of one of the samples (Point K center of the area study) and less than 6% for the sample PII located in the central zone of the study area.

On the other hand, the silica and clay cements identified in the samples that were observed represent a percentage lower than 5%. Silica cement is seen to partially fill the spade-shaped voids radially as it is not yet overgrown. The clay cements are observed in an enveloping way, that is, they surround all the grains and are phyllosilicates with a yellow-orange hue, the extinction pattern is of good orientation in some parts its arrangement parallel to the edge of the grain is observed.

On the other hand, from the results of the X-ray diffraction analysis (XRD), main minerals such as quartz were recognized, to a lesser extent andesines (feldspar of the plagioclase family), and also minerals from the group of phyllosilicates such as illite, kaolinite, montmorillonite, halloysite, as well as probably opaque glasses were identified in most of the sedimentary soils. While the physical properties of the soil samples have a porosity with a range of 6.9% to 53.7% and an apparent density with a variation range of 1.10 to 2.51 g / cm<sup>3</sup>, which results in highly fluctuating values and represents soils with very different physical characteristics.

The petrographic and chemical characteristics indicate that the clay cementitious materials found in the Aguascalientes valley appear as illuvial accumulations (primary and to a lesser extent secondary), due to the existence of ferriarclanes (coatings) of reddish or yellowish colors (in this case they are yellowish, indicating low iron content); colors that also appear with crossed nicols. They also show microlaminations that indicate accumulation phases, while silica cementants are generally quartz, the new formation of these cementants requires an environment that provides silica and feldspars which occurs by intrastratal dissolution of detrital silicates in continental environments, which would cause the formation of interstitial alkaline solutions (Arribas, 1987). While carbonatic cement is probably the product of limestone located in the upper part of the northeast of the study area.

**Keywords:** Aguascalientes Valley, cementitious, porosity, mineralogy.



# TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Los agentes cementantes pueden estar presente alrededor de las partículas, en los contactos de las partículas o precipitado en el espacio de los poros formando nódulos de los suelos parcialmente litificados o rocas blandas. Se han encontrado tres clases de cementantes: carbonatos, sílice y sesquióxidos, los cuales actúan solos o en combinación y dan como resultado diferentes tipos de endurecimiento en suelos (Flach *et al.*, 1969), algunos estudios señalan que el agente cementante más abundante en las regiones semiáridas es el carbonato de calcio, sílice, yeso, seguido de óxidos (Reeves, 1976, Martínez-Gamiño y Walthall 2000). los cuales presentaron diversas morfologías (filamentos formados por sílice, óxidos de hierro y yeso entre partículas de suelo y como cubiertas masivas de sílice, óxidos de hierro y calcita uniendo las partículas de suelo) Martínez-Gamiño y Walthall (2000). En la zona denominada “fosa monterrey”, se pueden observar cementos de tipo micrítico y esparítico que se comporta como un reemplazamiento de feldespatos y bordeando granos de cuarzo (Ocampo-Díaz *et al.*, 2012). A parte del clima, la presión y temperatura del suelo ocasionan una cementación desarrollada (Rinaldi *et al.*, 2007), también se reconoce que el ambiente de formación y tipo de los suelos o rocas blandas está ligado al tipo de cementantes (Frenguelli, 1955; Clemence y Finbarr, 1981; Manzur, 1995, Rinaldi *et al.*, 2007), por lo que el tipo y cantidad de cementante, así como su distribución espacial juegan un papel importante en el comportamiento mecánico del suelo cementado (Rinaldi y Santamarina, 2008).

### 1.2 Planteamiento del problema

En el área de la ingeniería civil es importante conocer la resistencia mecánica de los suelos donde se piensa trabajar, esta resistencia está dada probablemente por el tipo de cementante que tenga el suelo (Rinaldi y Santamarina, 2008).

El problema particular en el valle de Aguascalientes es que existen escasos trabajos sedimentológicos que describen de manera específica las características de los agentes cementantes, así como de los procesos de formación. Los trabajos de investigación reportados del valle de Aguascalientes se limitan a lo siguiente:

- Asignar nombres informales a las unidades litoestratigráficas identificadas y describir su litología y los contactos entre ellas.
- Reubicar en el tiempo las unidades litoestratigráficas con base en fechamientos isotópicos y en discordancias identificadas.

Teniendo así, descripciones generales de la litología del estado y que se enfocan principalmente en aspectos como: edades, correlación de estratos y geología estructural, dichos trabajos de investigación no cuentan con información sobre su origen o mecanismo de deposición. La ausencia o escasa información inducen a realizar un estudio que presente una descripción de los cementantes y del origen de ellos en el valle de Aguascalientes.

### **1.3 Hipótesis**

“Los suelos del valle de Aguascalientes, cuentan con compuestos químicos los cuales actúan como cementante, la presentación de estos cementantes varía en composición, forma y características petrográficas revelando sus orígenes, los cuales son potencialmente de regiones topográficamente más altas dentro del valle de Aguascalientes, es decir de sus alrededores”.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Identificar y cuantificar el contenido de cementante(s) en los suelos y rocas sedimentarias en la zona del valle de Aguascalientes, así como su posible origen.

#### **1.4.2 Objetivos Particulares**

- Desarrollar y aplicar una metodología para identificar y cuantificar las sustancias o partículas que actúan como cementantes en las rocas y suelos del valle de Aguascalientes.
- Aportar datos fisicoquímicos para la caracterización de los suelos de los puntos muestreados dentro del valle de Aguascalientes.
- Con base en la información recabada y analizada, establecer el posible origen de los cementantes que se encuentran en los materiales geológicos del valle de Aguascalientes.

## CAPÍTULO II: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

La información geológica sobre el estado de Aguascalientes es relativamente escasa, siendo la región nororiental del estado la más estudiada debido a su gran fuente minera (Hernández-Láscares, 1981).

Informalmente se reconocen tres unidades litoestratigráficas:

- **Riolita Ojo Caliente**

Es la unidad litoestratigráfica más antigua, se encuentra subyaciendo discordantemente la toba Zoyatal.

La unidad consiste en riolitas de color rojizo rosado que intemperiza a rojizo amarillento, muestra pseudestratificación y una textura fluidal aparente, con un espesor de 200 m, se encuentra aflorando en un montículo aledaño al balneario Ojocaliente.

- **Toba Zoyatal**

Esta unidad sobreyace discordantemente a la riolita ojo caliente y infrayace concordantemente a la toba Aguascalientes.

Se conforma por rocas piroclásticas de color pardo amarillento que presenta variaciones a gris oscuro, estratificación masiva, textura vítrea, cristalina o lítica, se subdividió esta unidad en dos tipos diferentes:

a) Toba de roca masiva, semiconsolidada de color amarillo cremoso y aflora únicamente en el Río San Francisco, cerca de la presa Pargas.

b) Toba arenosa, ocasionalmente estratificada, de grano fino a grueso. Aflora en el arroyo de El Cedazo, donde muestra fracturas rellenas de material silíceo.

La presencia de esta unidad es restringida a la zona oriente y sureste de la Ciudad de Aguascalientes y subyace a la llamada toba Aguascalientes.

- **Toba Aguascalientes**

Secuencia de tobas vítreas y vitroclásticas de color pardo amarillento que varía a pardo cremoso y pardo rojizo, estratificación masiva semiconsolidada a bien consolidada, interestratificada con arenas finas y gravas semiconsolidadas, con litificación que recién está

iniciando, además se pueden observar horizontes interestratificados de caliche, lo cual sugiere un depósito de acumulación mecánica o una alternancia entre eventos volcánicos y sedimentarios.

Gran parte de esta unidad se asienta en la ciudad de Aguascalientes, de ahí su nombre y sus mejores afloramientos se encuentran en el arroyo El cedazo y en el río San Francisco.

Existen sedimentos cuaternarios sobreyaciendo sobre las unidades anteriormente descritas como son:

**-Depósitos lacustres:** que son un pequeño cuerpo que aflora cerca del arroyo el Gallo, entre Calvillo y el Duraznillo, es un pedernal calcáreo blanco de grano fino, y con un espesor de 4 m, el marco geológico en el que se encuentra sugiere para su génesis el depósito de cenizas volcánicas que, en conjunto con agua, provocó disolución y recristalización del sílice, a su vez mezclado con la calcita a medida que se evaporaba el agua.

**-Sedimentos aluviales:** Se encuentra en los principales cauces de los ríos, dichos sedimentos consisten en gravas y arenas de rocas preexistentes, así como limos y arcillas. Estos depósitos muestran una aparente estratificación laminar y una litificación pobre.

**-Caliche:** Afloramientos de color claro (blanco), de no menos de 12 m de espesor ubicados al oriente de la ciudad de Aguascalientes, descrita como una acumulación epigenética en condiciones de áridas.

Aunado a esto, realizó estudios químicos (química de elementos mayores) y estudios petrográficos, en donde se observa que el elemento más abundante en las muestras es  $\text{SiO}_2$ , mientras que el mineral más abundante es cuarzo.

Aranda-Gómez (1989), estudió el área del cerro El cabrito-la tomatina (flanco oriente del valle de Aguascalientes), en donde encontró afloramientos de rocas metamórficas de bajo grado, cubiertas por un paquete extenso de rocas riolíticas provenientes de la sierra madre Occidental. Este autor distinguió y destacó 4 unidades litoestratigráficas.

**-Riolita: El venaderito:** Consiste en derrames y domos de riolita rica en fenocristales de sanidino, donde el sanidino y el cuarzo son las facies dominantes, descansa

discordantemente sobre el complejo basal mesozoico, dicha muestra se tomó sobre la carretera Aguascalientes calvillo en la falda oriental del cerro del muerto.

**-Toba El picacho:** Se encuentra entre las fallas cieneguitas y arroyo carboneras, aflora un depósito volcánico de color amarillo paja, con una estratificación que va de burda a perceptible y con una clasificación granulométrica que va mejorando de la base hacia la cima dominan los minerales de cuarzo y sanidina en ese orden.

**-Riolita Peña Blanca:** Descansa discordantemente sobre la toba el picacho o directamente sobre la riolita el venaderito, es una riolita porfídica con matriz vítrea, los minerales ferromagnesianos han sufrido procesos de alteración o remplazamiento.

**-Riolita La tomatina:** Es la unidad volcánica más joven del área, se presentan rocas pobres en fenocristales y con procesos de compactación, piro consolidación y desvitrificación, la composición mineralógica es principalmente cuarzo y sanidino, cuenta con características similares a las descritas en la toba picacho.

De acuerdo con lo descrito anteriormente se podría relacionar la toba Picacho con la toba Zoyatal y la toba Aguascalientes.

Posteriormente se realizó un estudio de fechamiento isópticos de sanidino por K-Ar , en donde lo descrito anteriormente Aranda-Gómez (1989), sufrió una modificación, ya que Nieto-Samaniego *et al.*, (1996) renombró la unidad litoestratigráfica Riolita la tomatina como Ignimbrita presa los arquitos, debido a que los afloramientos donde la riolita la tomatina descansa sobre la riolita Peña no tiene continuidad lateral, por lo que propuso la idea de que son dos unidades distintas, además Nieto-Samaniego *et al.*, (1996) solamente reconoce dos unidades litoestratigráficas: Ignimbrita los arquitos y riolita venaderito con una edad de  $47.2 \pm 1.2$  Ma y  $40.6 \pm 1.0$  Ma.

Fisiográficamente, el valle de Aguascalientes es descrito como un graben asimétrico (semigraben), en el cual, la falla occidental (Falla Occidente) En dicho bloque levantado (horst) afloran rocas volcánicas (principalmente ignimbritas de composición félsica) con un espesor de ~400 m Nieto-Samaniego *et al.*, (2005), mientras que en la falla oriente se encuentran sedimentos con depósito aluvial al lado izquierdo de la falla, mientras que en el lado derecho se encuentran sedimentos con depósito fluvial, cuenta además con separación

de 1m, y en los puntos más críticos se puede observar una alturas de separación de hasta 2 m entre el valle y el horst(Hernández-Marín *et al.*, 2015)

## **2.1. Formación y procedencia de los cementantes**

A partir de soluciones intersticiales pueden precipitar sobre la superficies de granos constituyentes de sedimentos distintos tipos de cementos los cuales están formados a partir de minerales.(Garcia-Garmilla, 1990), a este proceso se le denominó "neoformación" (1974) y no cabe duda de que juega un importante papel en la reducción de la porosidad del sedimento. (Arribas y Soriano, 1984). Existen varias investigaciones en donde se determinan los principales cementantes, de las primeras aportaciones tenemos el estudio de (Bates y Jackson 1980), que señalan tres tipos de cementantes comunes en las areniscas (sílice, óxido de hierro o carbonato de calcio). Posteriormente se identificó que otros minerales tales como el cuarzo, los feldespatos, los carbonatos, las arcillas y algunos minerales autigénicos (zircón, turmalina, etc.), también pueden actuar como cementos típicos de las areniscas. (Garcia-Garmilla, 1990), actualmente se conocen más de 20 especies de cementos, los cuales han sido reconocidos por medio del Microscopio Electrónico de Barrido (Arche, 2010).

Uno de los procesos de cementación más comunes ocurre en ambientes marinos, dado que el agua de mar tiene altos contenidos de carbonato de calcio, por lo que es muy común encontrar cementos tempranos de calcita que precipitaron en rocas sedimentarias como las areniscas (Bjørlykke, 1988 y Brenner, 1989).

Por otra parte en los suelos limosos o arcillosos, generalmente el proceso de formación de la cementación se origina con la presencia de sales que actúan como agentes cementantes en los estratos superficiales, en el que interviene el paso de agua (ligeramente ácida) percolando en el suelo y provocando la precipitación de minerales (Rinaldi *et al.*, 2007).

## **2.2. Determinación de cementantes (Casos de estudio)**

En este apartado se presentan algunos de los estudios previos que se han llevado a cabo para conocer la composición química y origen de los suelos y rocas que incluyen la utilización de diferentes técnicas y análisis, que van desde mineralógicos, petrográficos, y

químicos, en estos casos se han estudiado horizontes endurecidos, en donde el agente cementante, así como su morfología varía de acuerdo con la zona de estudio.

En el caso de estudio de los procesos diagenéticos Bouza (2012), se enfocó en estudiar la génesis de las acumulaciones de carbonatos, a través del análisis de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas (difracción de rayos X, secciones delgadas) llegando a la conclusión de que las acumulaciones de carbonatos estudiadas son de origen pedogenético, esto debido a varios factores dentro de los cuales resaltaremos la morfología y rasgos típicos de calcretas pedogenéticas, como su estructura laminar, nódulos calcícos, grietas circungranulares, y la existencia de pellets y ooides, otro estudio similar se realizó en el lago de Texcoco, el cual cuenta con un clima de árido a semiárido, además de que se encuentra rodeado por cadenas montañosas compuestas por rocas ígneas y tobas volcánicas, de acuerdo a estas consideraciones se formaron horizontes endurecidos de suelo con carbonato de calcio actuando como cementante. Gutiérrez-Castorena *et al.*, (1998) encontró dos tipos de acumulaciones de carbonatos de calcio primeramente las de tipo lacustre que tienen morfología nodular (debido a aguas agitadas y ricas en carbonato de calcio, así como fuertes evaporaciones) y laminar (debido a la intensa actividad biológica y altas concentraciones de calcio y aguas tranquilas y moderadamente profundas, que provocaron que el carbonato se precipitara micríticamente), y acumulaciones pedogenéticas que rellenan huecos y no tienen una morfología definida.

Los suelos del estado de México y de la CDMX cuentan con un alto contenido de arcillas, Gutiérrez-Castorena y Ortiz (1999) reportan que dichos suelos tienen un origen lacustre y aluvial, Por otro lado, Gutiérrez-Castorena y Ortiz (1992) establecen que dichos horizontes están cementados por arcillas esmectíticas y sílice amorfa (polimorfos de sílice) debido a procesos de migración de arcillas (iluviación), dichos cementantes trabajan de manera conjunta en donde la sílice libre (amorfa), es absorbida por las arcillas, reforzando dichos horizontes endurecidos (Zebrowski, 1992; Acevedo-Sandoval *et al.*, 2004).

Existen otros casos particulares en donde se hace estudio de la formación de costras superficiales (encostramientos) que son formadas a partir de mecanismos físicos o químicos que generan la precipitación de minerales, las cuales generan capas impermeables superficiales y pueden sellar la superficie del suelo, Martínez-Gamiño y Walthall (2000),

reportaron estudios realizados en los encostramientos superficiales en el Altiplano Potosino-Zacatecano en el Centro-Norte de México y Louisiana, EU, las cuales son zonas con un clima y geomorfología similar a la zona de estudio, se identificaron varios agentes cementantes como el calcio, sílice, yeso y óxido de hierro, además de que dichos cementantes presentaron diversas morfologías (filamentos formados por sílice, óxidos de hierro y yeso entre partículas de suelo y como cubiertas masivas de sílice, óxidos de hierro y calcita).

### **2.3 Cementación**

El cemento es un material postsedimentario el cual precipita en los espacios situados entre los granos, es el principal material litificante que transforma un sedimento móvil (no consolidado) en una roca sedimentaria (Adams *et al.*, 1984).

Algunos de los aspectos que afecta la cementación es el comportamiento del cambio volumétrico, rigidez a bajas deformaciones, fenómenos dinámicos y resistencia drenada y no drenada (Rinaldi y Santamarina, 2003).

Su existencia en los suelos limosos es uno de los factores que producen una reducción en su porosidad y, en general, un mayor grado de resistencia mecánica y de cohesión entre sus componentes clásticos y matriz siempre que la naturaleza del cemento sea adecuada (Rinaldi *et al.*, 2007).

#### **2.3.1 Cementos de carbonato de calcio**

La acumulación del carbonato de calcio en los suelos es un rasgo característico de las regiones áridas y semiáridas, es importante señalar que muy poca agua, como en los desiertos, permite solo acumulaciones superficiales de carbonato; mientras que demasiada agua y alivio provoca la disolución de las sales (Reeves Jr, 1970, Chadwick *et al.*, 1987), así como que el principal mecanismo para la precipitación del carbonato de calcio pedogenético es a través de la pérdida de agua mediante la evaporación (proceso que consiste en la disolución a partir de una roca madre, su transporte, y su posterior precipitación) (Rabenhorst *et al.*, 1984).

Los procesos de precipitación y disolución de carbonatos están controlados primeramente por las concentraciones relativas de CO<sub>2</sub> y de iones H<sup>+</sup> en las aguas intersticiales, como el agua de mar está saturada con respecto al carbonato cálcico (aragonito



o calcita), los cementos tempranos de calcita son frecuentes en areniscas depositadas en ambientes marinos abiertos (Bjørlykke, 1988 y Brenner, 1989).

La clasificación más utilizada para los diferentes formaciones de cementos de carbonato de calcio son las de Folk (1959) que denomina a los constituyentes esenciales de las calizas como alquímicos y ortoquímicos (Tabla 1), en donde presentan diferentes formas y estructuras de acuerdo con sí son producto de un transporte, o sí son de ambientes marinos o continentales (figura 1).

Tabla 1: Clasificación de calizas (Modificado de Folk 1959, 1961)

Diferentes estructuras de cemento calcíticos.	
Ortoquímicos: Son precipitados químicos normales que se acumulan en el interior de la cuenca sin sufrir desplazamiento o transporte.	Micrita: Lodo microcristalino de calcita de tamaño de 1 a 4 micras, se forman por precipitación química rápida y pueden ser el constituyente único de algunas calizas.
	Esparíta: Cristales de calcita de 10 micras o más, normalmente presentan estructura de mosaico.
Alquímicos: Son precipitados en estructuras o granos que muestran signos de transporte dentro de la misma cuenca de depósito.	Intraclastos: Fragmentos de sedimentos carbonatados contemporáneos, arrancados de capas del fondo poco consolidadas.
	Oolitas: Esferas de 1 a 0.1 de mm, tienen un núcleo que puede ser un fragmento de cuarzo, de fósil, de dolomita, alrededor del cual se agrega la calcita microcristalina formando estructuras concéntrica y radial.
	Fósiles: Restos carbonatados de organismos que constituyen calizas, los más comunes son: corales, foraminíferos, algas, briozoarios, braquiópodos, moluscos, etc.
	"Pellets": Agregados de calcita microcristalina en esferas de 0.2 a 0.03 mm, posiblemente correspondan a coprolitos de organismos, son homogéneos y no presentan núcleos.

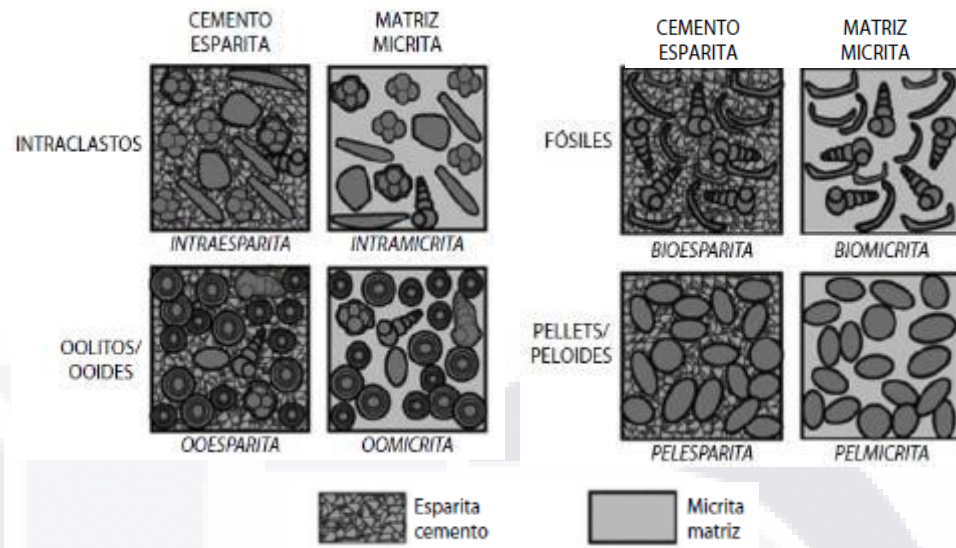


Figura 1: Extraída de Rossi, 2010. Clasificación de calzas de Folk (1959, 1961), basada en la composición.

### 2.3.2. Cementos de sílice.

De acuerdo a lo señalado por Arribas Mocoeroa (1987), la sílice generadora del cemento de cuarzo en areniscas puede ser concretado en un origen (autóctono) el cual es a partir de procesos de presión y disolución, y un origen (alóctono) a partir de soluciones sobresaturadas en sílice.

### 2.3.3. Cementos de filosilicatos

La formación de este cemento es de manera temprana y se produce antes que otro tipo de cementos, tales como el que está conformado por sílice(cuarzo), otra característica física es que suelen encontrarse a menudo deformados por la acción de compactación mecánica Arribas-Mocoeroa (1987).

Los cementos filosilicáticos se han identificado principalmente conformados por ilita y caolinita. La caolinita generalmente forma un “rellenado de poros” (*pore fillings*), en donde se rellena totalmente el hueco que se genera entre minerales agrupados, existen dos momentos de la formación: uno temprano, el cual nos ayuda a predecir la evolución de los procesos diagenéticos, y otro más tardío Arribas-Mocoeroa (1987).

Los “revestimientos de poro” (*pore lining*) están constituidos por cementos filosilicáticos y se diferencian por dos tipos de formaciones: Los bordes de arcilla (*clay rims*) y las capas de arcilla (*clay coats*), los primeros son cementos de ilitas que no llegan a formar una capa envolvente de manera completa, en la mayoría de los casos se desarrollan en granos (generalmente cuarzo), mientras que los segundos son el producto típico de un proceso de iluviación resultado de una diagénesis temprana (Arribas-Mocoroa 1987).

En la figura 2 se puede observar las diferentes formaciones de cementos filosilicáticos.

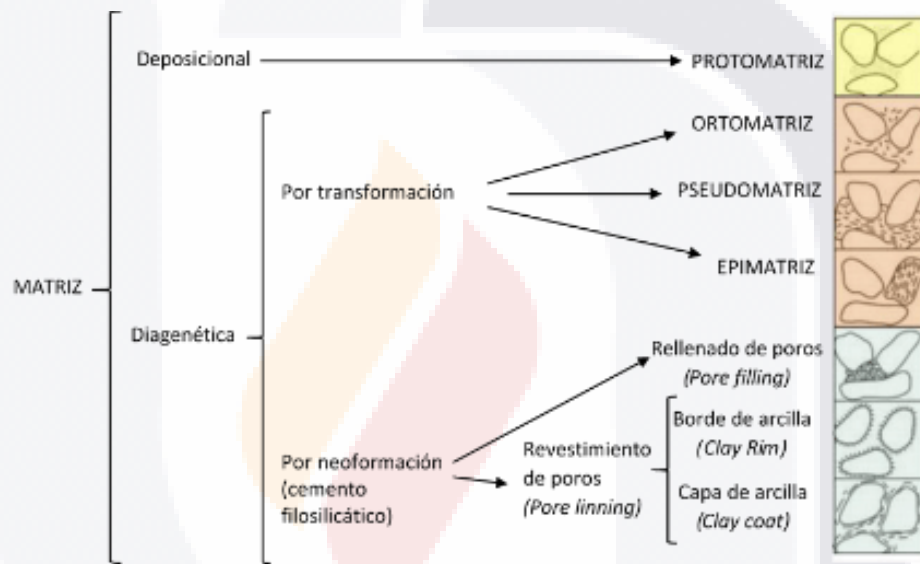


Figura 2: Tipos de matrices y/o cementos filosilicáticos en función de su origen y evolución (Arribas Mocoroa, 1987).

## CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

### 3.1 Diagénesis (procesos diagenéticos)

La diagenesis se define como todos los cambios o transformaciones que sufren los sedimentos desde el proceso de deposición de los sedimentos, hasta todo el proceso de litificación o metamorfismo, se desarrolla desde condiciones superficiales hasta los 20 km de profundidad y temperaturas menores a 300 °C (Bates y Jackson, 1987; Larsen y Chilingar, 1979; Boggs, 2009).

Sí dichos valores son superiores a los señalados, se estaría hablando de metamorfismo (figura 3).

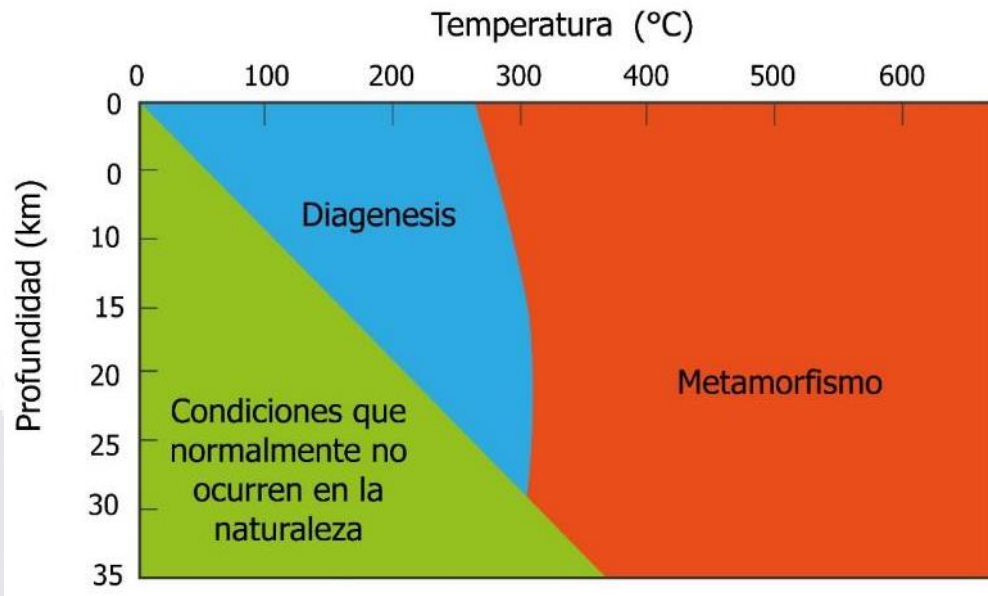


Figura 3: Grafica de condiciones de presión y temperatura para diferenciar la diagénesis y el metamorfismo. Modificado de (Worden y Burley, 2003).

La diagénesis involucra todos los procesos que afectan a los sedimentos luego de la deposición, y hasta que sufren los efectos incipientes del metamorfismo (Choquette y Pray 1970; Worden y Burley, 2003).

A continuación, se define de forma general los principales procesos y productos diagenéticos según la terminología utilizada por (Burley *et al.*, 1985):

- Autogénesis: Crecimiento mineral “In situ”.
- Cementación: Crecimiento o precipitación de minerales en los poros (porosidad secundaria).
- Compactación: Colapso de los espacios vacíos (poros), producto principalmente de la presión
- Deshidratación: Pérdida de agua de minerales y materia orgánica por efectos de la temperatura.
- Disolución: Destrucción de un mineral por interacción con los fluidos intersticiales.
- Precipitación: Cristalización de un mineral a partir de una solución.
- Recristalización: Disolución seguida de precipitación y que involucra un cambio en el tamaño de los cristales originales.

- Reemplazamiento: Crecimiento de un mineral autigénico químicamente diferente dentro de otro mineral preexistente.

### 3.2 Difracción de rayos X

La Difracción de Rayos X es una técnica no destructiva basada en las interferencias ópticas que se generan una vez que cierta radiación atraviesa una rendija de espesor equiparable a la longitud de onda de la radiación, esto permite identificar la estructura cristalina de los minerales.

Los análisis de DRX se crean mediante la difracción de rayos monocromáticos a diferentes ángulos sobre una muestra pulverizada. El espaciamiento de los picos detectados, así como los ángulos entre planos atómicos es lo que genera un patrón característico para cada mineral (Brink, 1991).

El propósito de la aplicación de la técnica de Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina, así como el análisis cuantitativo de compuestos cristalinos (Zhang *et al.*, 2003), de igual manera ayuda a la identificación de minerales que poseen características similares bajo la observación del microscopio, por ejemplo los minerales arcillosos (Justo y Morillo González, 1999).

La ecuación para analizar los resultados de difracción es la ley de Bragg (ecuación 1), La DRX permite medir las distancias interplanares “d” (figura 4) de la red cristalina de los minerales, cada mineral posee una red cristalina y distancias interplanares únicas, así una vez que se lanza un haz de rayos, este genera un ángulo de entrada y de salida ( $2\theta$ ), el cual relaciona la longitud de onda de la radiación emitida (Brindley y Brown, 1980; Moore y Reynolds, 1989). La ley de Bragg se describe en la siguiente (ecuación 1):

$$n\lambda=2d\sin\theta \text{ (ecuación 1)}$$

n: número entero denominado orden de difracción;

$\lambda$ : longitud de onda del haz incidente de rayos X;

d: distancia entre los planos difractantes, es decir, la distancia entre los planos reticulares sobre el cual incide la radiación.

$\theta$ : ángulo de incidencia (ángulo de Bragg) medido entre los planos en consideración y el haz incidente.

Esta ecuación es conocida como la Ley de Bragg, siendo fundamental para la DRX.

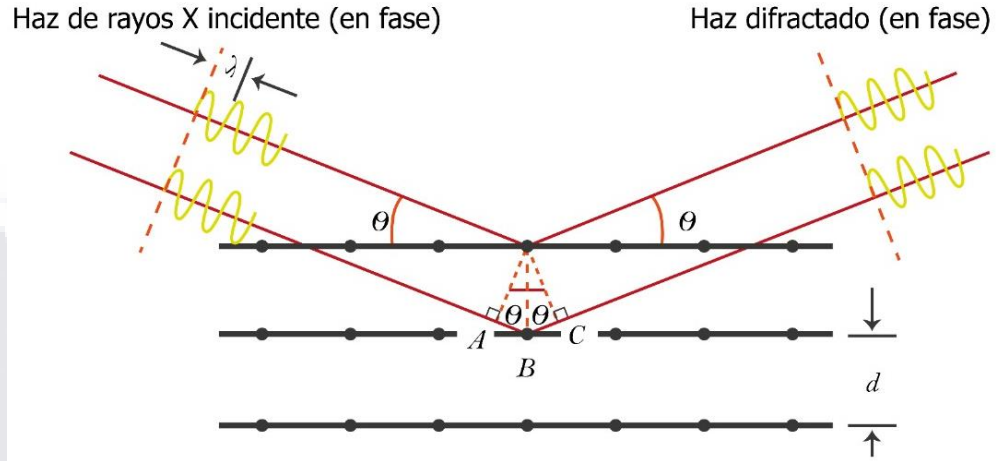


Figura 4: Ilustración geométrica de la Ley de Bragg. Modificado de (Pecharsky y Zavalij, 2008).

### 3.3 Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra dentro del estado de Aguascalientes, en la zona del graben de Aguascalientes (figura 5).

Esta zona abarca parte de los municipios de Cosío, Tepezalá, Rincón de Romos, Pabellón de Arteaga, San Francisco de los Romo, Jesús María y Aguascalientes (figura 5), con una extensión promedio de 89 km de longitud en su orientación Norte-Sur y un promedio de 23 km de ancho, con un área total de 1, 657 km<sup>2</sup>.

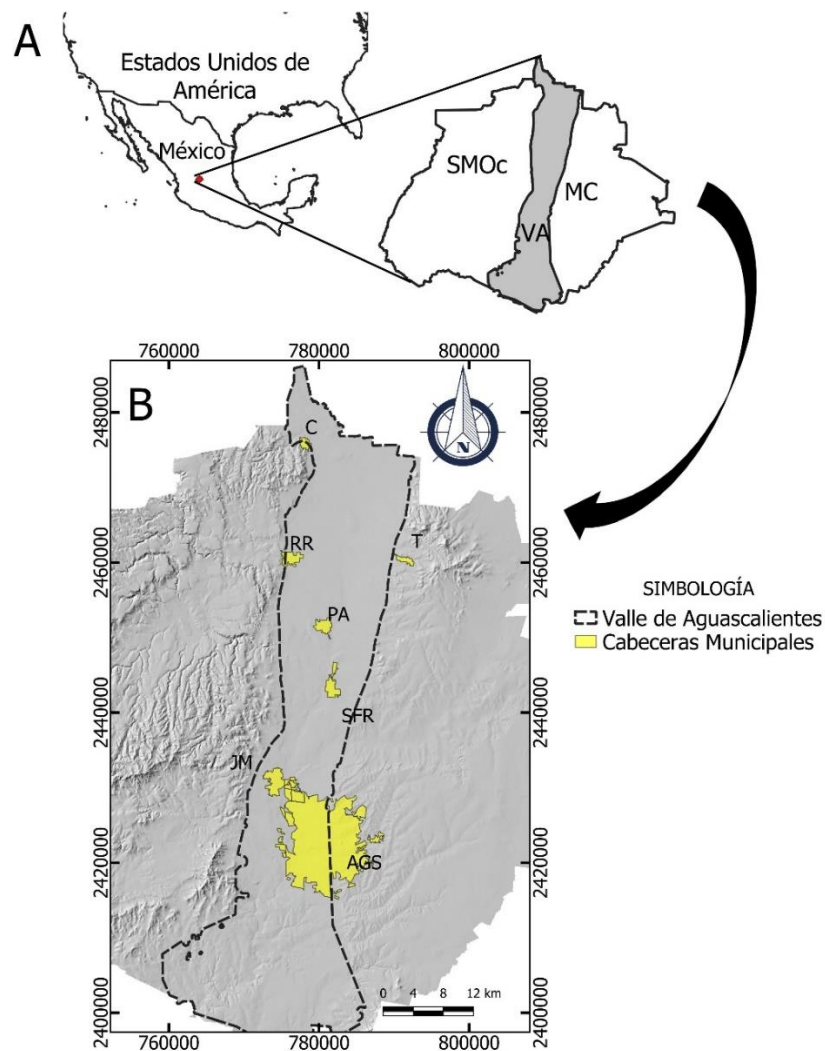


Figura 5: Ubicación de la zona de estudio en el estado de Aguascalientes, México. (a) dónde se puede observar sombreado en gris a VA: Valle de Aguascalientes; SMOc= Sierra madre Occidental; MC: Mesa Central. (b) mapa de relieve donde la zona punteada en negritas es el VA, así como las diferentes cabeceras municipales. Acrónimos: AGS =Aguascalientes; JM = Jesús María; SFR = San Francisco de los Romo; PA= Pabellón de Arteaga; RR = Rincón de Romos; T = Tepezalá; C = Cosío.

### 3.4 Contexto geológico

El graben de Aguascalientes se localiza en dos provincias, la Sierra Madre Occidental ubicada al poniente, y en la Mesa Central ubicada en la parte centro y oriente:

De acuerdo con varios estudios realizados (por ejemplo: Aranda-Gómez, 1989; Nieto-Samaniego *et al.*, 2005; Loza-Aguirre *et al.*, 2008; González-Cervantes *et al.*, 2019), la estratigrafía del graben de Aguascalientes son tres conjuntos principales: El basamento antiguo constituido por riolita, las cuales se encuentra expuestas en el norte del horst oriente y al sur del horst poniente, una cubierta volcánica constituida por ignimbritas de composición félsica las cuales se encuentran el horst poniente y que se reconoce como la Sierra Madre Occidental (SMOc) y la secuencia sedimentaria Cuaternaria la cual está constituida por depósitos de lodolita (con intercalaciones de caliza) y se localiza en valle del graben, reconocido como valle de Aguascalientes. En el mapa de la figura 6, se puede observar la geología simplificada del valle de Aguascalientes.

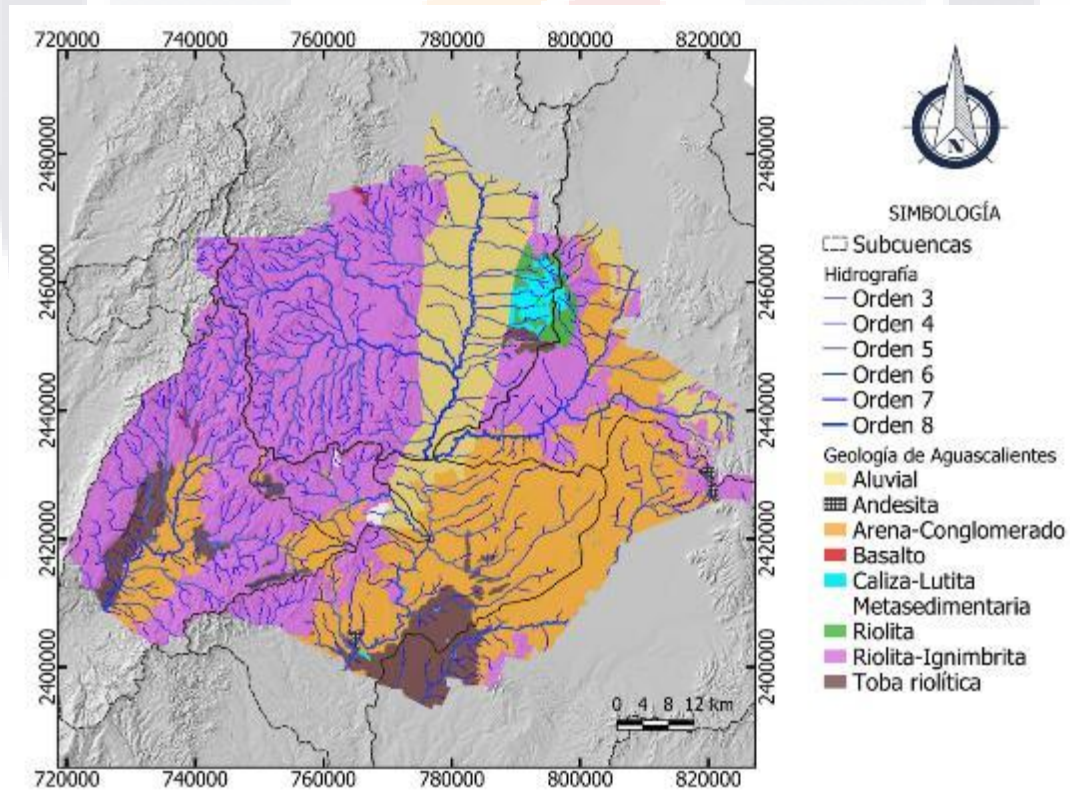


Figura 6: Mapa geológico de Aguascalientes (datos tomados de INEGI y SGM).



## **CAPITULO IV: METODOLOGÍA**

La metodología de trabajo se resume: 1) Determinación de las zonas de estudio mediante el uso de mapas geológicos o Google Earth, 2) trabajo de campo, que consistió en la recuperación de las muestras de material. 3) trabajo de laboratorio, que incluyó el uso de la petrografía con la finalidad de conocer los minerales principales de las muestras extraídas, la técnica de difracción de rayos (DRX) para tener un margen más amplio de los compuestos químicos y la prueba de densidad y porosidad y, 4) el trabajo de gabinete, en el cual se analizaron los resultados de las pruebas.

La primera etapa estuvo orientada a definir las zonas o puntos de muestreo, dichos puntos fueron definidos con base a la geología observada a los alrededores de puntos previamente conocidos: bancos de materiales abandonados o puntos que se definieron mediante la fotointerpretación por medio de Google Earth.

En la segunda etapa, se realizó el trabajo de campo, en donde se comenzó con un reconocimiento general del área de estudio, posteriormente en cada uno de los puntos de muestreo se describió las características principales de los afloramientos, se realizó el levantamiento las columnas estratigráficas en cada punto, en el cual se describen las propiedades físicas de cada uno de los estratos, así como la obtención de muestras (Tabla 2).

Tabla 2: Localización de las zonas de muestreo.

No.	Muestra	Punto	Localidad o Fraccionamiento	Coordenadas (UTM)	
				X	Y
1	PA-EA				
2	PA-EB	A	La palomilla	778635	2459224
3	PA-EC1				
4	PA-EC2				
5	PB	B	El águila	781587	2457441
6	PC-EA				
7	PC-EB	C	Ojo Zarco	782518	2447742
8	PC-EC				
9	PD	D	Santiago	778304	2451595
10	PE	E	Pabellón	780301	2450041
11	PG	G	José María Morelos	786120	2433978
12	PII	I	San Marcos	782572	2431834
13	PID				
14	PJ1-A				
15	PJ1-B	J	Vistas del Sauz	774678	2430007
16	PJ1-C				
17	PJ2-A	J2		774898	2429977
18	PJ2-B				
19	KA	K	Arborada	779147	2430001
20	KB				
21	PL-EA	L	Peñuelas	774322	2413699
22	PL-EB				
23	PL2-EA				
24	PM	M	Bosque de Cobos	785900	2413913
25	T1	O1	Tepezalá	792128	2457954
26	T2				
27	T3				
28	T4				
29	T5				
30	Rincon	O2	La camada	768315	2463078
31	Flores	O3	Santa rosa	807538	2429214
32	To	O4	La tomatina	766989	2424086
33	Palo	O5	Las flores	796969	2432070

En esta campaña se recolectaron 33 números de muestras, dónde 9 pertenecen a las partes elevadas del graben de Aguascalientes y 24 muestras pertenecen a la parte baja del valle de Aguascalientes (Tabla 2 y figura 7).

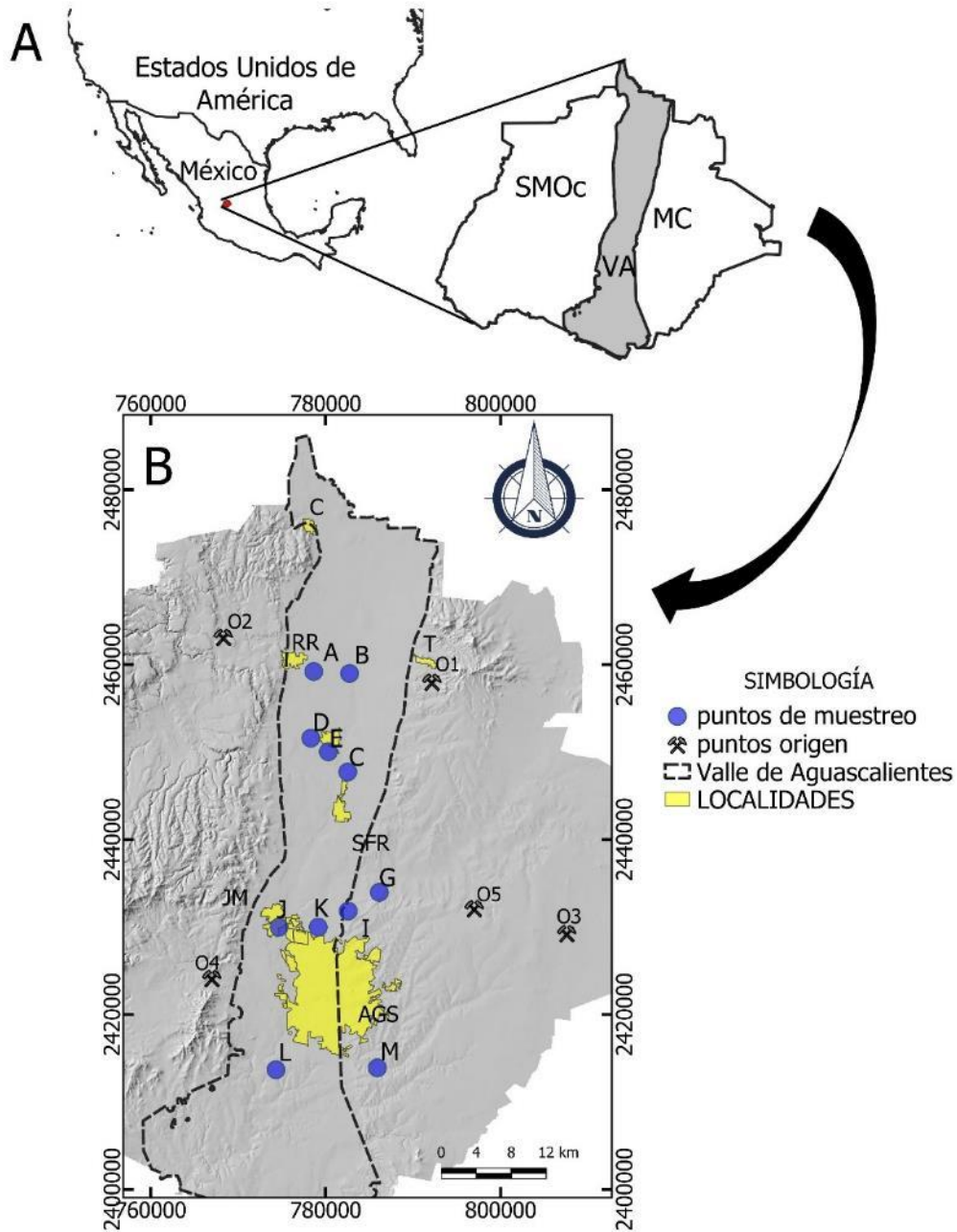


Figura 7: Localización de los puntos de muestreo, así como de los puntos origen de la parte alta del graben (horst) para una mayor explicación ir al texto en la tabla 2. Acrónimos: AGS =Aguascalientes; JM = Jesús María; SFR = San Francisco de los Romo; PA= Pabellón de Arteaga; RR = Rincón de Romos; T = Tepezalá; C = Cosío.

La tercera etapa se divide en tres partes:

#### **A. Metodología para el análisis petrográfico.**

Las láminas delgadas de las muestras se realizaron en el taller de Corte y de Laminación del Centro de Geociencias, Campus Juriquilla (CGEO). Primeramente las muestras fueron cortadas de manera rectangular aproximada a lo que sería posteriormente la lámina delgada (27 x 48 mm.), con un espesor aproximado de 3 a 5 cm, para lo cual se utilizó una cortadora de disco de 8" de diámetro, posteriormente las muestras fueron cortadas mediante la cortadora de disco fino con un tamaño de corte de ~ 2mm de espesor y se rotula el corte de la muestra (Figura 8a) posteriormente por la cara no rotulada del corte de la muestra se realizó el pulido con abrasivo de #320 y posteriormente con lijas de agua de diferentes calibres (400, 600, 1000) hasta quitar las posibles imperfecciones, para un mayor acabado las muestras se pusieron en una lijadora giratoria (figura 8b). Por otra parte, se tomó un portaobjetos limpio y se realizó el pulido de una de sus caras con un abrasivo #400, esto con la finalidad de una mejor adherencia entre la muestra y el portaobjetos. A continuación, en el fragmento de roca/suelo por la cara que fue pulida se pone adhesivo Loccitt 3492 Foto-endurecedor sensible a luz UV, y se coloca en la cara pulida del portaobjetos (figura 8c). Así se unen las dos partes con mucho cuidado para evitar que queden burbujas de aire entre estos. Ya adherida la muestra al portaobjetos se rotularon los portaobjetos con un lápiz con punta de diamante para posteriormente lavar y secar la muestra. Enseguida se procedió a cortar la roca sobrante mediante la cortadora, ya cortadas a un grosor pequeño mediante el uso de la pulidora *petro thin buehler*, (figura 8d) se desbastó la muestra hasta el espesor de micras, se continuó, con el desbaste de manera manual con los abrasivos #400 y #600, cuidando de no desaparecer las muestras mediante un pulido excesivo, esto se logró observando las muestras al microscopio y tablas de birrefringencia mineralógica. Una vez que los cristales se observaron óptimamente en el microscopio petrográfico de luz transmitida, se lavó y secó la muestra y se le colocó un cubreobjetos con el adhesivo Loccitt 3492.



Figura 8: Collage de fotografías dónde se muestra: a) Cortado de las muestras de suelo mediante una cortadora con disco fino, b) Pulido de las muestras de suelo con la finalidad de obtener una cara lisa que se pegó en los portaobjetos c) Muestras colocadas en los portaobjetos mediante pegamento especial, d) Desbaste de las secciones delgadas mediante el uso de la pulidora *petro thin buehler*.

### B. Metodología para los análisis de difracción de rayos X

El Análisis de difracción de rayos X se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Aguascalientes (ITA) en el laboratorio de Ingeniería y tecnología del Agua, las muestras recolectadas en la campaña de campo fueron trituradas mediante herramientas mecánicas (pisones, martillos, etc), posteriormente se tomó el material que paso la malla #100, esto con la finalidad de eliminar las partículas de arena y gravas de las muestras (figura 9a). Posteriormente se pesó 20 gramos de cada muestra que paso la malla #100 en una balanza Analítica, con la finalidad de obtener el “polvo” necesario para la prueba (figura 9b), para después ser colocadas en un horno a 105°C por 24 horas, esto con la finalidad de retirar todas las partículas de agua de las muestras. Después ya secas las muestras, se colocó el polvo en unas pastillas circulares que alojan aproximadamente de 5 a 10 gr (figura 9c), posteriormente se compactó con la ayuda de un pequeño pisón, en este procedimiento se asegura que quede muy compacto y con una superficie plana, esto es con la finalidad de que no salgan picos de difracción

inadecuados. Posteriormente, las pastillas se colocaron sobre un dispositivo de acero inoxidable con la ayuda de una pequeña espátula hasta llenar el porta muestras tipo *philips shave*.

A continuación, las muestras en “polvo” colocadas en su portaobjetos se colocan en medio del difractómetro *Empyrean II* de la empresa *Malvern Panalytical* (figura 9d), en donde se configuran los parámetros necesarios: radiación Cu Ka, y una longitud de onda ( $2\theta$ ) que se tomó desde los  $20^\circ$  hasta los  $60^\circ$ .

Una vez que se registraron todos los datos se colocaron en el software *Diffac.eva*, software especializado en encontrar las similitudes de nuestra muestra, con las fases de minerales ya definidos, además de cuantificar el porcentaje aproximado de cada fase mineral.

La identificación de minerales se dificultó debido a la interferencia de diversos picos (peaks) o predominancia de algún mineral en concreto. En muestras con una amplia variedad de minerales o varios tipos de arcillas las reflexiones de ondas pueden interferir entre sí, es importante señalar que hay varias razones por las que existen interferencias:

- Cuando existen abundantes cuarzo o feldespatos. En estos casos los picos (peaks) de ondas de los minerales de arcilla serán retenidos en el background del difractograma (Moore y Reynolds, 1989).
- Diversos minerales pueden compartir un mismo pico (peak), entonces resulta complicado saber de cuál de los varios minerales es el correcto.
- La existencia de vidrios (minerales amorfos), así como lo que serían espumas volcánicas (pómez).



Figura 9: Collage de fotografías donde: a) Selección del material en polvo mediante el tamiz del No. 100 b) Balanza granataria de precisión c) Material para la elaboración de pastillas para el análisis de difracción de rayos X. d) Análisis de las fases minerales mediante el *Empyrean II*.

### C. Metodología para la caracterización petrofísica de los suelos

El Análisis de densidades y porosidades se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) en el laboratorio de petrofísica del Instituto de Geología de la UASLP, para la prueba de densidad aparente, densidad de matriz y porosidad, se utilizó la metodología de Arquímedes, con el cual se puede medir el empuje que actúa sobre la muestra una vez que está sumergida en agua destilada, las muestras se colocaron en un horno de secado a una temperatura constante de 60 °C un mínimo de 24 horas para después sacarlas y pesarlas, teniendo como resultado el valor del “peso en seco” las muestras ( $P_s$ ), a continuación, debe obtenerse el “peso sumergido” ( $P_{sum}$ ) para esto, las muestras se colocan en una cámara de vacío (de vidrio refractario), (figura 10) para extraer el aire de los poros internos de las muestras por un lapso mínimo de 12 horas, después el desecador se satura con agua destilada. Para asegurar la completa saturación de agua en la muestras, se dejan bajo el agua por un intervalo de tiempo de 24 a 48 horas, una vez obtenido el peso saturado ( $P_{sum}$ ), se le quita el excedente de agua y se obtiene el “peso Húmedo” ( $P_{hum}$ ). Con estos valores, se calculó, la porosidad en porcentaje,

densidad de matriz y densidad aparente en g/cm<sup>3</sup>, y la absorción de agua al vacío en porcentaje de peso, como lo indican las siguientes fórmulas.

$$\text{Porosidad (\%)} = \left( \frac{P_{hum} - P_{seco}}{P_{hum} - P_{sum}} \right) (100)$$

$$\text{Densidad de matriz} \left( \frac{gr}{cm^3} \right) = \left( \frac{P_{seco}}{P_{seco} - P_{sum}} \right)$$

$$\text{Densidad aparente} \left( \frac{gr}{cm^3} \right) = \left( \frac{P_{seco}}{P_{hum} - P_{sum}} \right) (100)$$

$$\text{Absorción al vacío (\%)} = \left( \frac{P_{hum} - P_{seco}}{P_{seco}} \right) (100)$$



Figura 10: Bomba de extracción y campana de desecación para la extracción del aire de la muestra y absorción de agua al vacío.



## CAPITULO V: RESULTADOS

### 5.1 Morfología e hidrología de la zona de estudio

Geomorfológicamente, el área de estudio es relativamente plana con pequeñas colinas distribuidas dentro del área y pendientes crecientes hacia el montañas. El valle está ubicado entre varias cadenas montañosas al oeste (Cerro del muerto, Sierra del laurel y la Sierra Fría), mientras que al este se encuentran las cadenas montañosas del municipio de Tepezalá.

Los afluentes principales dentro del Estado son, por la margen derecha y de norte a sur, el río Pabellón, El Blanco y el Prieto que conforman al Santiago y, finalmente, el río Morcinique, así como los arroyos El Saucillo, Milpillas, El Pastor y La Virgen.

Por la margen izquierda confluye un sólo río el Chicalote, y los siguientes arroyos, también en sentido norte a sur: Chiquihuite, Ojo Zarco, San Nicolás o La Hacienda, el Cedazo, San Francisco o Calvillito y Las Venas o Salto de Montoro.

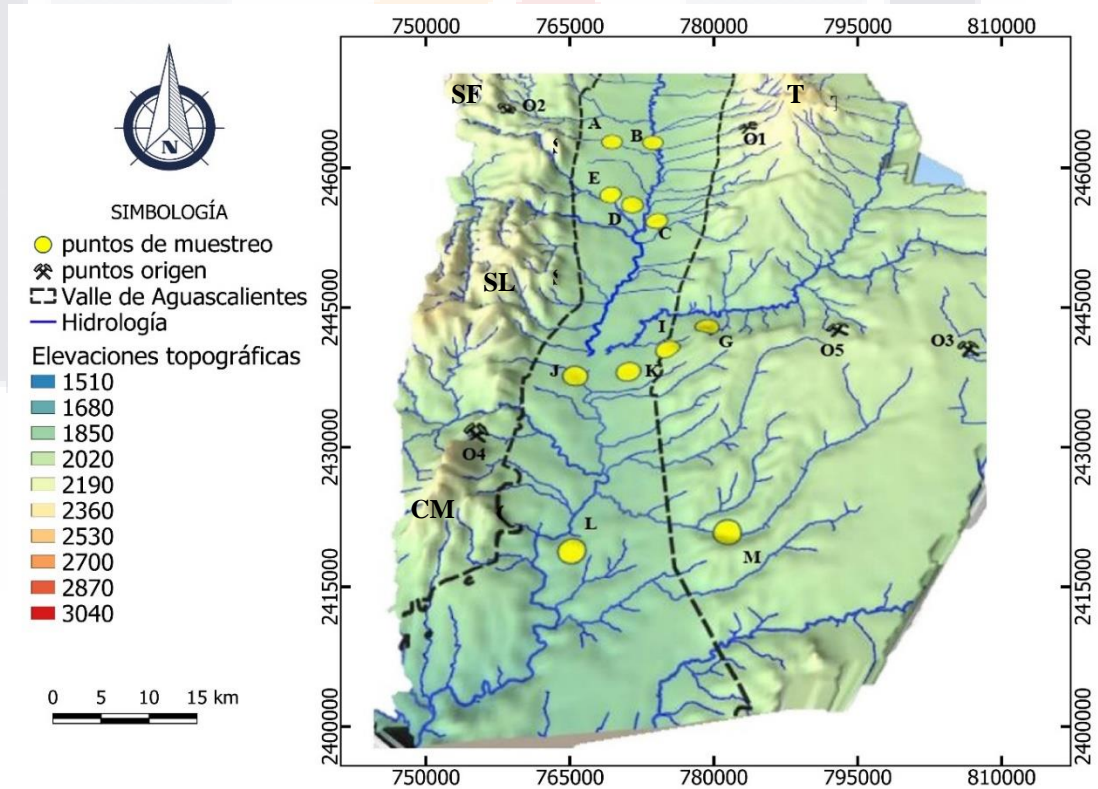


Figura 11: Mapa de la zona de estudio con relieve topográfico, hipsometría y principales ríos y arroyos. Acrónimos: SF=Sierra Fría; SL=Sierra del Laurel; CM= Cerro del muerto; T=Tepezalá.

## 5.2 Descripción de campo de los puntos de muestreo

Los afloramientos descritos presentan alturas que oscilan entre los 2 y hasta los 15 m de altura, los estratos presentan una tendencia general de estratificación masiva por su naturaleza climática. La litología es muy variada, pues presenta diferencias en cuanto a la granulometría, color y mineralogía ya que es una zona que ha atravesado diversos eventos climáticos en su historia edafológica y geológica, la mayoría de los suelos presenta una granulometría intermedia, es decir, dominan las arenas finas limosas y en menor medida concentración las arcillas.

En la tabla 3 se señalan los diferentes colores registrados en campo, en donde los más comunes son colores rojizos y pardo.

Tabla 3: Propiedades físicas observadas en campo.

No.	Localidad o Fraccionamiento	Punto	Muestra	Color
1			PA-EA	Pardo/grisáceo
2	La Palmilla	A	PA-EB	Pardo
3			PA-EC1	Rojo pálido
4			PA-EC2	Blanco
5	El águila	B	PB	Rojo
6			PC-EA	Pardo Claro
7	Ojo Zarco	C	PC-EB	Blanco
8			PC-EC	Pardo Claro
9	Santiago	D	PD	Pardo
10	Pabellón	E	PE	Rojo pálido
11	José María Morelos	G	PG	Pardo Claro
12	San Marcos	I	PII	Pardo con blanco
13			PID	Rojo
14			PJ1-A	Gris con Blanco
15		J	PJ1-B	Pardo
16	Vistas del Sauz		PJ1-C	Blanco con amarillo
17		J2	PJ2-A	Pardo
18			PJ2-B	Pardo
19	Arborada	K	KA	Rojo
20			KB	Pardo
21			PL-EA	Amarillo
22	Peñuelas	L	PL-EB	Amarillo
23			PL2-EA	Blanco
24	Bosque de Cobos	M	PM	Pardo

**Punto A): La Palmilla**

**Localización y Acceso:** Banco de material localizado en el municipio de Rincón de Romos, a 2.7 km al sureste de la cabecera municipal, sus coordenadas UTM son: 778635 m E, 2459224 m N, y una elevación de 1,920 msnm. El acceso es por la carretera 45 (carretera Panamericana), seguido de la carretera federal No. 22 Rincón de Romos – Loreto (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** El afloramiento se localiza en un banco de material (principalmente de tepetates), el cual está cercano a un arroyo (Rincón de Romos para este estudio), cuenta con tonalidades que van desde colores grisáceos, hasta rojizos pardos y blanquecinos asociados a un periodo de alta erosión y estrés climático, ya que se aprecian óxidos de hierro y carbonatos de calcio, presenta una matriz ligeramente arcillosa, con intercalaciones de limo-arenas (salvo el estrato b que cuenta con una matriz arenosa), cuenta con alto grado de meteorización, así como una estratificación masiva, el espesor del afloramiento es de ~12 m (figura 12).

En la figura 13 se describe la columna estratigráfica del punto “A” llamado “La Palmilla”, de dónde se recolectaron las muestras PA-EA, PB-EB, PA-EC1, PA-EC2 que corresponden los horizontes A, B y C.a y C.b., respectivamente.

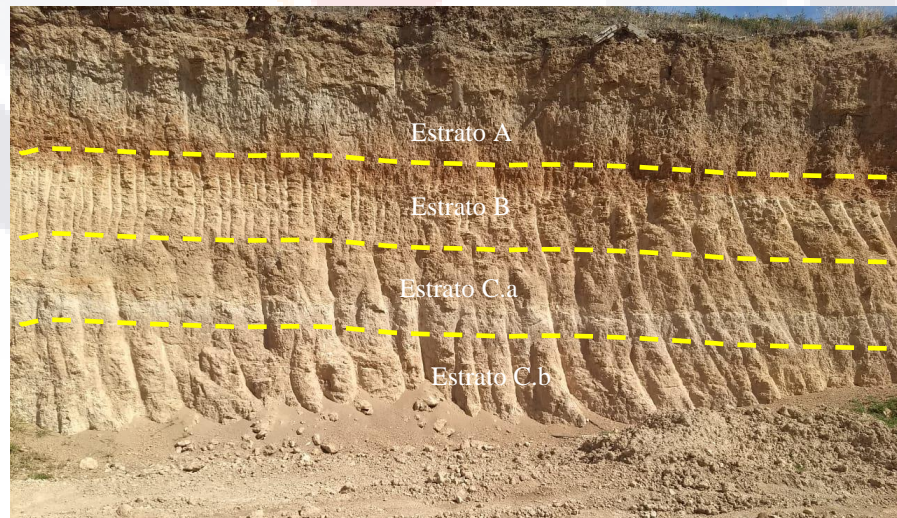


Figura 12: Afloramiento del Punto “A”. La Palmilla, se observan las intercalaciones de colores y así como alteraciones debido a procesos de oxidación y argilización.

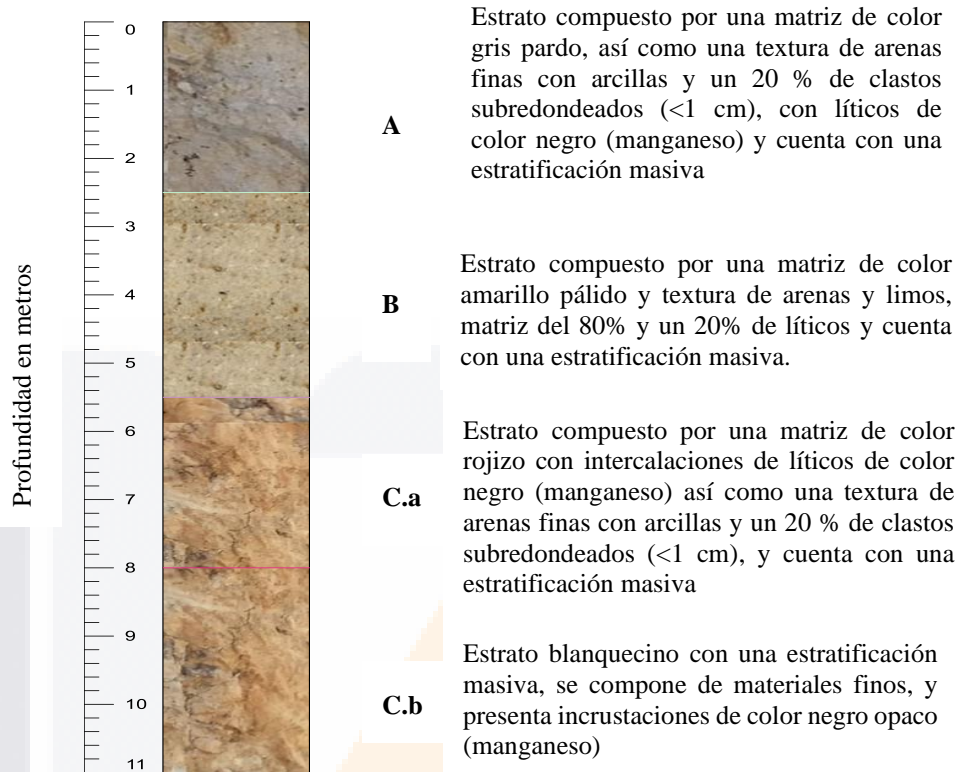


Figura 13: Columna estratigráfica del punto A: La Palmilla.

**Punto B) El águila**

**Localización y Acceso:** Banco de material localizado en el municipio de Rincón de Romos, a 6.7 km al este en línea recta de la cabecera municipal, sus coordenadas UTM son: 782730.00 m E, 2458998.00 m N, y una elevación de 1,912 msnm. El acceso principal es por la carretera federal No. 22 Rincón de Romos – Loreto, donde se intercepte con la carretera 132 se debe dirigir 1.5 km hacia el sur (Tabla 2, figura 6.).

**Descripción del afloramiento:** El afloramiento se localiza en una zona rodeada por terrenos de cultivo, cuenta con tonalidades que van desde rojo hasta anaranjados y pardo, asociados a un proceso de erosión y estrés climático, ya que se aprecian óxidos de hierro, así como icnofósiles con precipitaciones de carbonato de calcio, además presentan una matriz de arena fina con arcillas, cuenta además con un grado de meteorización alto, así como una estratificación masiva, el espesor del afloramiento es de ~5 m (figura 14).

En la figura 15 se describe la columna estratigráfica del punto “A” llamado “El Águila”, de dónde se recolectaron las muestras PB que corresponden al horizonte A respectivamente.

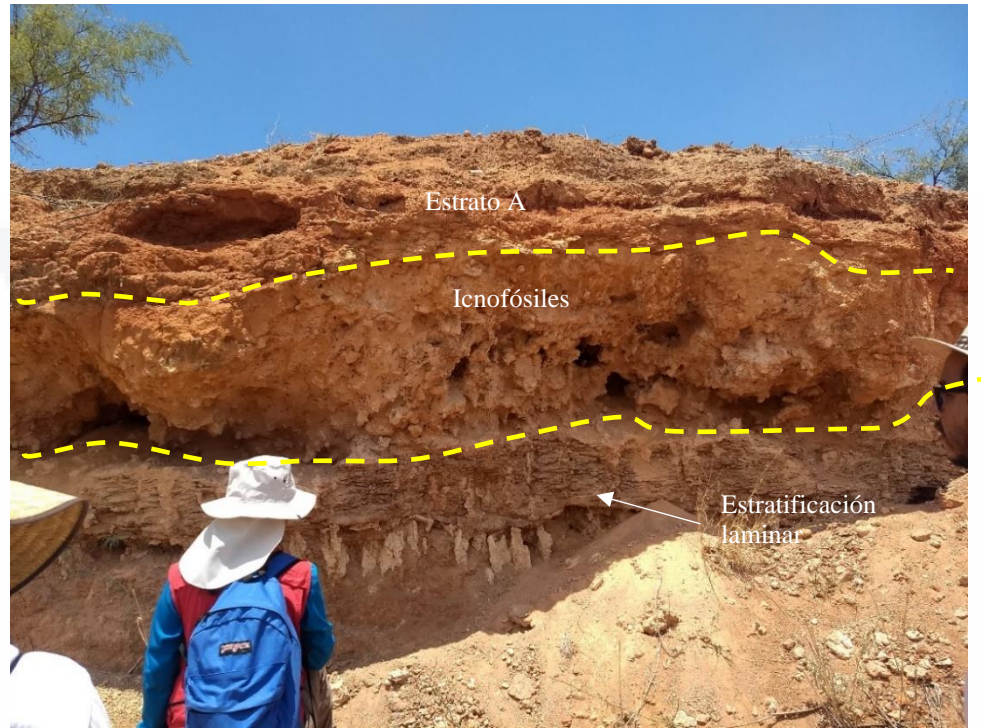
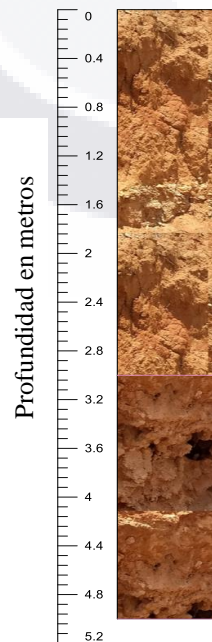


Figura 14: a) Estratigrafía detallada del punto B, en donde se observa el cambio abrupto entre un estrato carbonatado y la parte de techo con oxidación, además de contar con un grado alto de erosión y meteorización.



**A** Estrato compuesto por una matriz de color rojizo pardo con textura de arcillas. Presenta clastos pequeños (~3 mm.), cuenta con una estratificación masiva.

**B** Estrato compuesto de Icnofósiles con una textura grumosa compuestos por una matriz arcillosa.

Figura 15: Columna estratigráfica del Punto b) El Águila.

**Punto C) Ojo Zarco**

**Localización y Acceso:** Banco de material localizado en el municipio de Pabellón de Arteaga, a 3.9 km al sureste en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 782529.00 m E, 2447754.00 m N, y una elevación de 1,904 msnm. El acceso principal es por la carretera federal No. 71 Pabellón de Arteaga – San Francisco de los Romos a la altura de la comunidad de Ojo Zarco (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** El afloramiento se localiza en lo que parece un banco de material el cual está abandonado, dicho punto se encuentra a un costado del arroyo el Muerto, cuenta con horizontes de paquete masivos debido a que son suelos antiguos (paleosuelos), se observa una textura de arena fina con limos de tonalidades que van desde los colores grisáceos a pardos y pardos, cuenta con un espesor de ~18m, presenta una estratificación masiva y deposición horizontal (figura 16).

En la figura 17 se describe la columna estratigráfica del punto “C” llamado “Ojo Zarco”, de dónde se recolectaron las muestras PC-EA, PC-EB, PC-EC que corresponden al horizonte A, B Y C respectivamente.

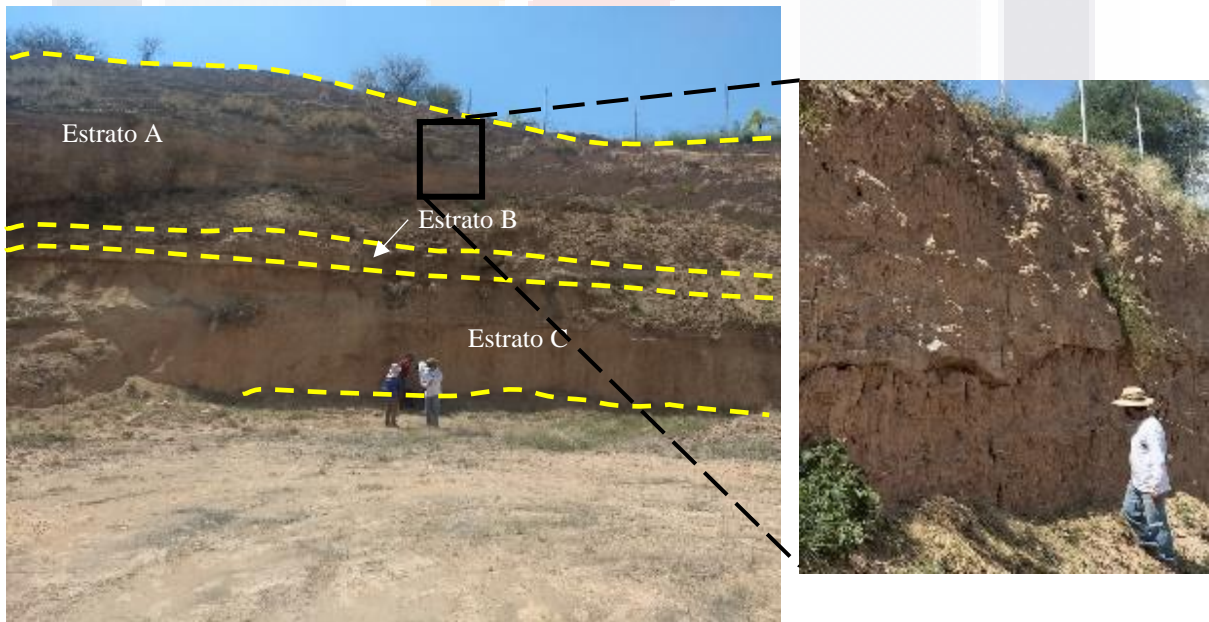
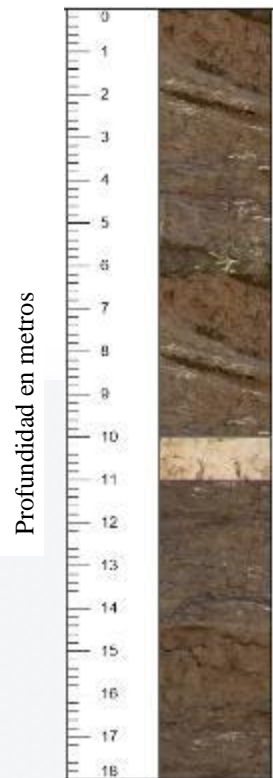


Figura 16: Afloramiento del Punto C), en donde se hace un acercamiento al estrato A), el cual es muy similar al estrato C), y se observan grietas de desecación.



**A** Estrato compuesto por una matriz arcillosa de color pardo, cuenta con una estratificación masiva y una geometría tabular.

**B** Estrato que esta como un contacto irregular, el cual se considera como una “costra”, está compuesto por una arcilla y con una estratificación masiva (generada por un proceso diferente de depósito diferente al estrato A y C).

**C** Estrato compuesto por una matriz arcillosa de color pardo, cuenta con una estratificación masiva y una geometría tabular.

Figura 17: Columna estratigráfica del Punto C): Ojo Zarco.

**Punto D) Santiago**

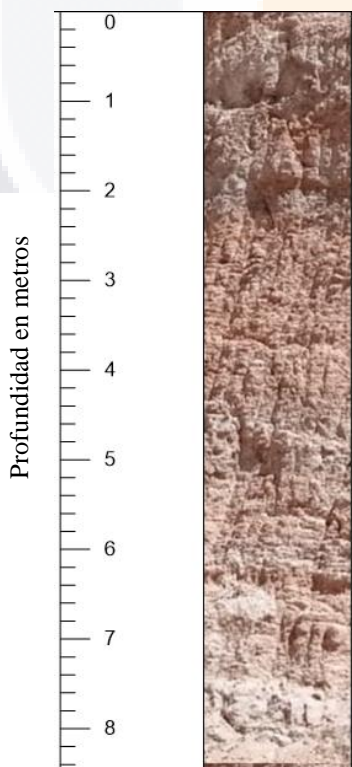
**Localización y Acceso:** Punto localizado en el municipio de Pabellón de Arteaga, a 2.8 km al oeste en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 778304.00m E, 2451595.00 m N, y una elevación de 1,904 msnm. El acceso es por la carretera 45 (carretera Panamericana), posteriormente por la avenida Enrique Olivares Santana (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** El afloramiento se localiza en un banco de materiales, cuenta con varias tonalidades que van desde los colores grisáceos hasta los colores pardos tiene una textura de arenas finas y arcillas (figura 18).

En la figura 19 se describe la columna estratigráfica del punto “D” llamado “Santiago”, de dónde se recolectaron la muestra PD que corresponden al estrato único observado.



Figura 18: Afloramiento del punto D).



**A** Estrato compuesto por una matriz arcillosa que consta de intercalaciones de color de varias tonalidades (rojizo, gris, pardo claro). Cuenta con una estratificación masiva.

Figura 19: Columna estratigráfica del Punto D) Santiago, Estrato Único.



### **Punto E) Pabellón**

**Localización y Acceso:** Punto localizado en el municipio de Pabellón de Arteaga, a 1.5 km al suroeste en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 780301.00 m E, 2450041.00m N, y una elevación de 1,914 msnm. El acceso es por la carretera 45 (carretera Panamericana) (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** Este afloramiento es un punto en particular, ya que fue una excavación se encuentra rodeado por varios campos de cultivo.

El afloramiento está compuesto por una matriz de arcillas con intercalación de varios colores, blanco, pardo y manchas de color negro opaco, cuenta con una estratificación masiva, cuenta con un espesor de ~3m, cuenta como un estrato único (figura 20).

En la figura 21 se describe la columna estratigráfica del punto “E” llamado “Pabellón”, de dónde se recolectaron la muestra PE que corresponden al estrato único observado.



Figura 20: Excavación de Zanja para casa habitación considerada como afloramiento que cuenta con un sedimento detrítico inmediatamente posterior a la capa vegetal de suelo.



**A** Estrato de matriz arcillosa con colores predominantemente pardos, en diferentes tonalidades, se ven también colores blanquecinos y rojizos, se puede observar una estratificación masiva.

Figura 21: Columna estratigráfica del Punto e) Pabellón.

**Punto G) José María Morelos**

**Localización y Acceso:** Punto localizado en el municipio de Pabellón de Arteaga, a 12.8 km al noreste en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 786120.00m E, 2433978.00 m N, y una elevación de 2,000 msnm. en el techo del afloramiento.

El acceso es por la carretera 45 (carretera Panamericana), tomando la desviación hacia la carretera 25 (cañada Honda), y se ubica 3 km antes de la comunidad antes mencionada (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** Esta afloramiento se encuentra en la parte alta del valle (horst), además de que es una zona de vegetación de arbustos, pastizales y nopales.

Afloramiento compuesto por una conglomerado polimíctico compuesto por una matriz arenosa-limosa y cuenta con clastos angulosos de granulometría variada (mal graduado), intercalación de tonalidades, blanco, gris y predominantemente pardo claro, Presenta una estratificación masiva y un grado bajo de meteorización, este afloramiento se consideró como un estrato único.(figura 22)

En la figura 23 se describe la columna estratigráfica del punto “G” llamado “José María Morelos”, de dónde se recolectaron las muestras PG.



Figura 22: Conglomerado polimíctico mal graduado embebido en una matriz de arenas y arcillas, así como intercalaciones de colores cafés debido a lluvias recientes.



A

Estrato de matriz arcillosa con tonalidades blancas, grises y predominantemente pardo claro, cuenta con clastos angulosos de diferentes colores, así como de diferente granulometría (entre 2mm, hasta mayores a 1 cm), una estratificación masiva.

Figura 23: Columna estratigráfica Punto G).

### **Punto I) San Marcos**

**Localización y Acceso:** Punto localizado en el municipio de Pabellón de Arteaga, a 9 km al este en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 782572.00 m E, 2431834.00 m N, y una elevación de 1930 msnm. (al techo del afloramiento). El acceso es por la carretera 45 (carretera Panamericana), tomando la desviación hacia la carretera 25 (cañada Honda) (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** Este punto se encuentran dos afloramientos, dado que el límite del graben de Aguascalientes en su zona oriente (falla oriente).

El afloramiento ubicado al lado izquierdo de dicho limite, este afloramiento se considera el bloque de piso el estrato basal cuenta con una matriz arcillosa con una intercalación de colores que abarca diferentes tonalidades de colores rojizos y blancos, se observa una estratificación gradada, (el tamaño de clastos redondeados va aumentando del techo hacia la base), mientras que el estrato de techo cuenta con una matriz arcillosa de colores rojizos más oscuros comparados con el estrato de base, se observa un contacto erosional discordante y una estratificación masiva (figura 24a).

El afloramiento del lado derecho del límite oriente del graben de Aguascalientes se considera como bloque de techo el cual se compone de una matriz arcillosa con tonalidades pardo claro e intercalaciones de color blanco, se puede observar una estratificación masiva, y se consideró como un estrato único (figura 24b).

En la figura 25 se describe la columna estratigráfica del punto “I” llamado “San Marcos”, de dónde se recolectaron las muestras PII (afloramiento a la izquierda del límite del graben), y PID (afloramiento a la derecha del límite del graben) (Tabla 2, figura 6).

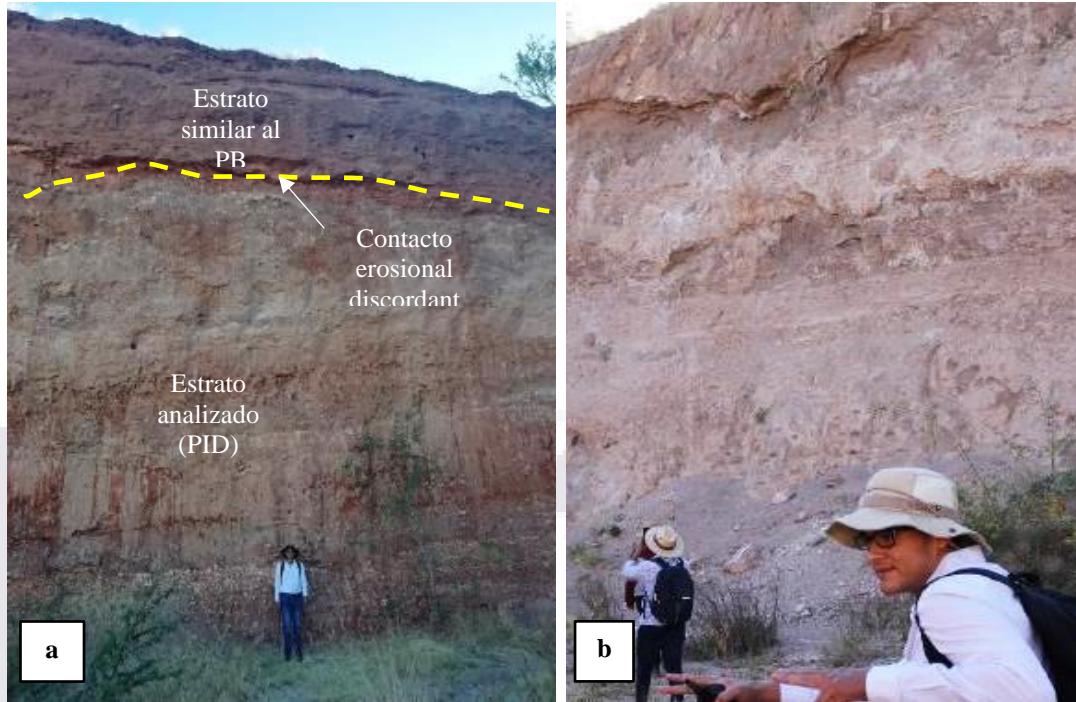


Figura 24: Afloramiento del Punto I) San Marcos, a) Afloramiento del lado izquierdo del límite oriente del graben de Aguascalientes, b) Afloramiento del lado derecho del límite Oriente del graben de Aguascalientes.

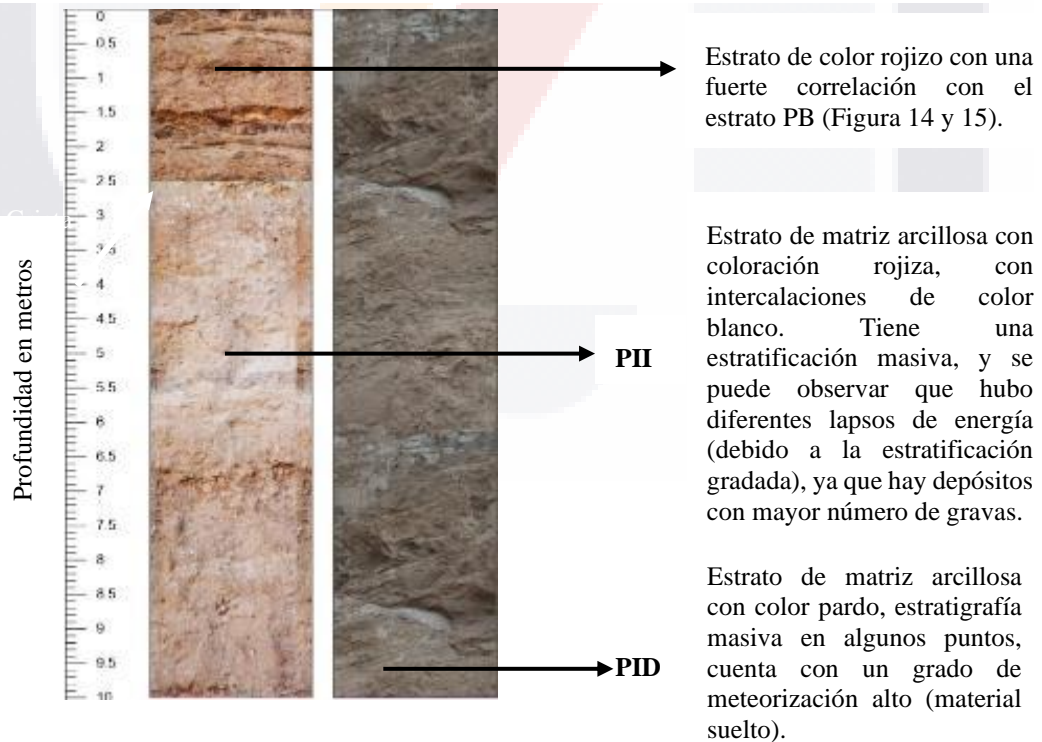


Figura 25: 2 Columnas estratigráficas en el Punto I) San Marcos (la columna a la izquierda de la imagen es el bloque de piso, mientras que la columna de la derecha es el bloque de techo).

**Punto J1 Vistas del Sauz**

**Localización y Acceso:** Punto localizado en el municipio de Jesus María 1.8 km al sureste en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 774626.00 m E, 2429959.00 m N, y una elevación de 1863 msnm. El acceso es por Av. Universidad esquina con la Av. Jesus maría (El punto J2 se encuentra aproximadamente 500 mts al este del punto J1) (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** Este afloramiento se encuentra a un costado del cauce del arroyo El Chaveño, cuenta con tonalidades que van de los grisáceos y blancos hasta colores pardos asociados a ambientes principalmente fluviales y eólicos, (figura 26.a), presenta una granulometría muy variada, ya que se observan limos arcillas, arenas y gravas (debido a que el afloramiento está a un costado del rio), así como estratificaciones masivas, con contactos erosionales discordantes entre los estratos (figura 26.b y c.).

En la figura 27 se describe la columna estratigráfica del punto “J” llamado “Vistas del Sauz”, de dónde se recolectaron las muestras PJ1-A, PJ1-B Y PJ1-C (Tabla 2, figura 6.)

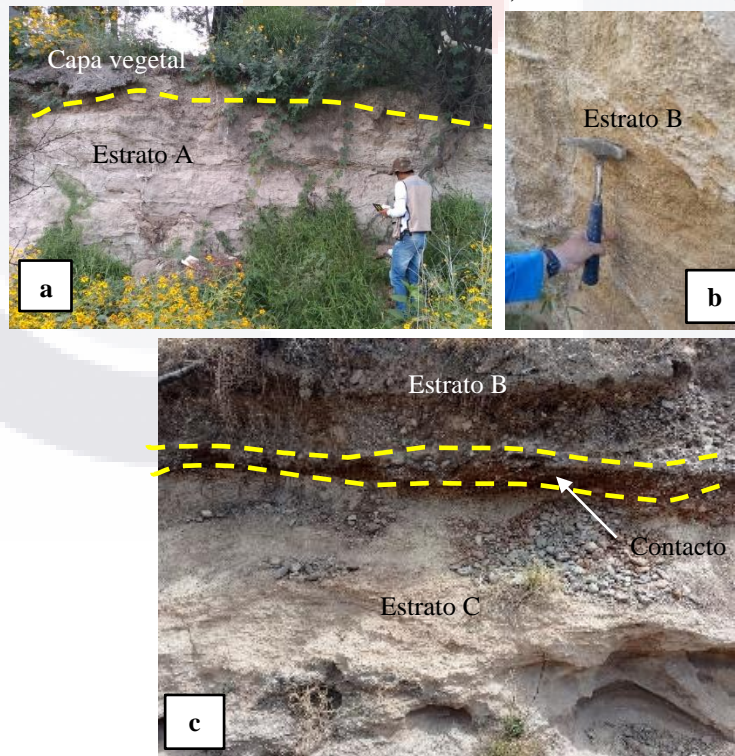


Figura 26: a) Suelos de tipo arenoso arcilloso denominado Estrato A); b) Arenas mal graduadas con una coloración café denominado Estrato B); c) Contacto de tipo erosional discordante entre el Estrato B) y C), el cual cuenta además con coloraciones rojizas que indican grado de oxidación.

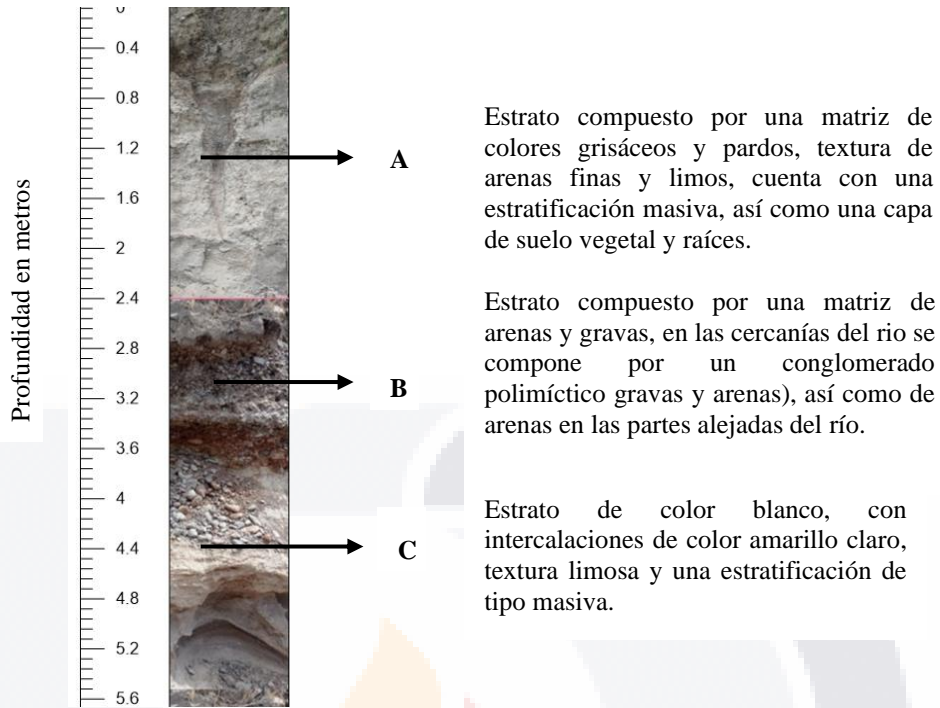


Figura 27: Estratigrafía Punto J1.

**Punto J2 Vistas del Sauz**

**Localización y Acceso:** Punto localizado en el municipio de Jesus María 1.8 km al sureste en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 774626.00 m E, 2429959.00 m N, y una elevación de 1863 msnm. El acceso es por Av. Universidad esquina con la Av. Jesus maría (El punto J2 se encuentra aproximadamente 500 mts al este del punto J1) (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** Este afloramiento se encuentra a 500 m costado del cauce del arroyo El Chaveño, en lo que parece ser un banco de material de caliche, cuenta con tonalidades con coloraciones pardo con pequeñas intercalaciones de color blanco, presenta una matriz de arena fina con limos y una estratificación masiva, así como una gradación constante en todo el afloramiento (figura 28).

En la figura 29 se describe la columna estratigráfica del punto “J2” llamado “Vistas del Sauz de dónde se recolectaron las muestras PJ2-A Y PJ2-B.

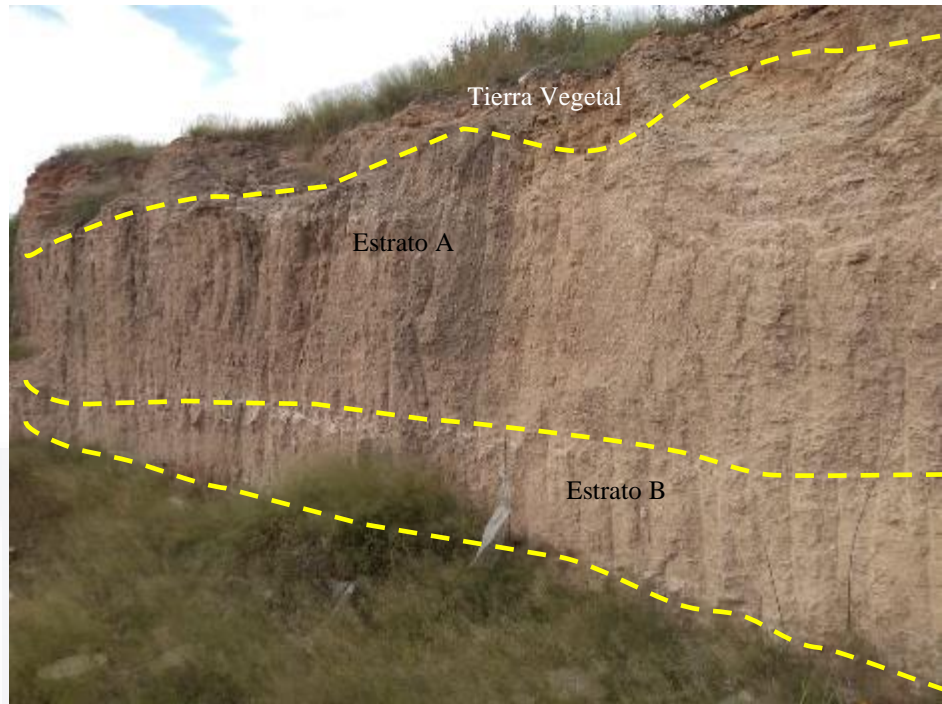


Figura 28: Estrato uniforme de composición calcárea que tiene un origen aluvial.

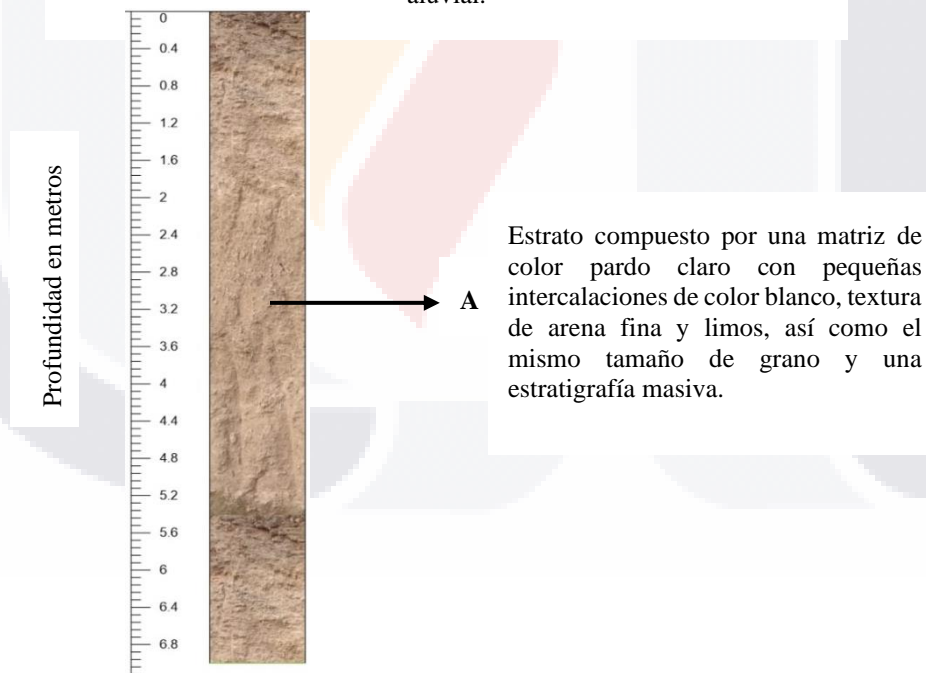


Figura 29: Estratigrafía del Punto J2.



**Punto K) Independencia**

**Localización y Acceso:** Punto localizado en el municipio de Jesús María, a 5.7 km al sureste en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 779147.00m E, 2430001.00 m N, y una elevación de 1886 msnm. El acceso es por Av. Independencia 750 mts después de pasar avenida siglo XXI (tercer anillo) (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** El afloramiento se localiza en un banco de material para uso en la construcción (tepetate), cuenta con tonalidades que van desde los colores rojizos en el techo, los cuales están asociados paleosuelos que sufrieron un grado de oxidación debido a la existencia de agua, blanquecinos que son más del tipo aluvial y pardos que se asocian más a depósitos lacustres, los suelos presentan una matriz de arena fina con limos, así como una estratificación masivas con contactos de erosión, el espesor del afloramiento es de ~18m (figura 30).

En la figura 31 se describe la columna estratigráfica del punto “K” llamado “Arborada” de dónde se recolectaron las muestras KA y KB (Tabla 2, figura 6).

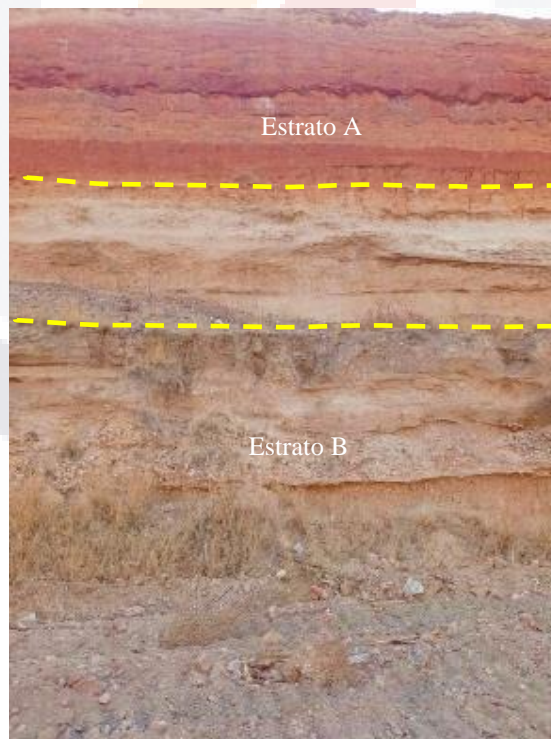


Figura 30: Diferentes tipos de suelos en donde los que están en la parte basal son carbonatados, mientras los que están en la cima presentan tonos rojizos debido a un proceso de oxidación.

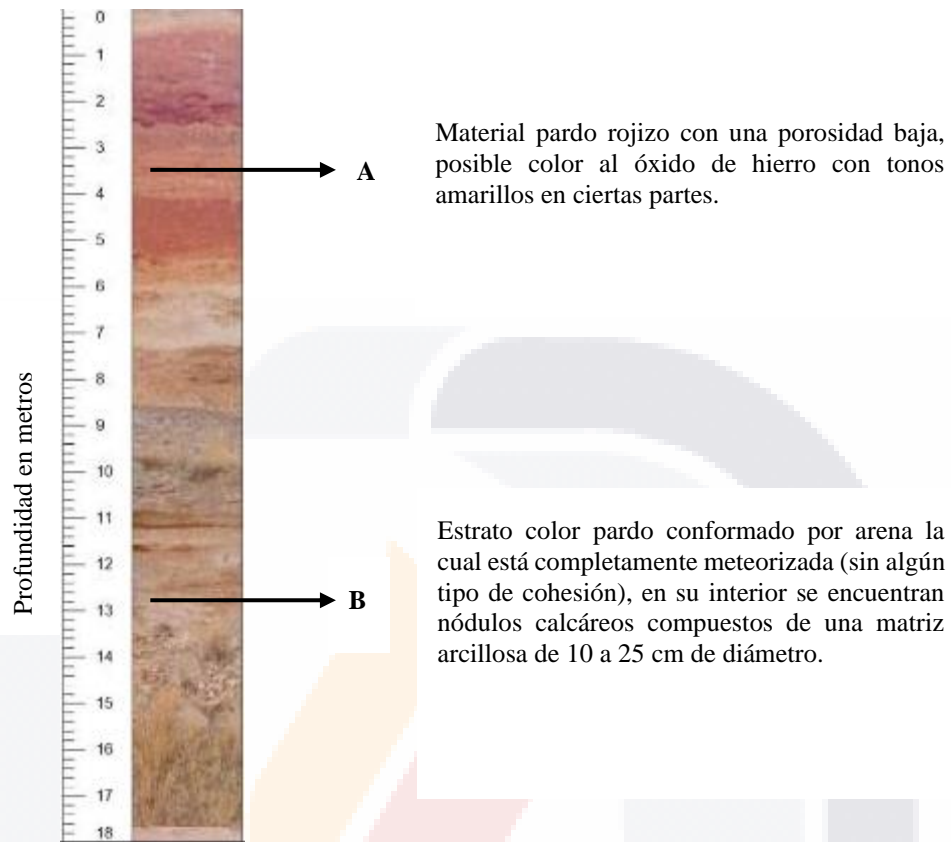


Figura 31: Columna estratigráfica Punto K).

**Punto L) Peñuelas.**

**Localización y Acceso:** Punto localizado en el municipio de Aguascalientes, a 10 km al suroeste en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 774322.00 m E, 2413699.00 m N, y una elevación de 1886 msnm. El acceso es por la carretera 42, esquina con la carretera 70 (libramiento de Aguascalientes) (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** El afloramiento se encuentra a una distancia aproximada de 1.5 a 2 km en línea recta del cauce principal del río San Pedro y a 500 mts de varias ramificaciones del mismo, cuenta con tonalidades de colores blanquinoso a grisáceos, sedimento detrítico que cuenta además con una textura de arenas y limos y una estratificación masiva (figura 32).

En la figura 33 se describe la columna estratigráfica del punto “L” llamado “Peñuelas” de dónde se recolectaron las muestras PL-EA,PL-EB,PL2-EA (Tabla 2, figura 6).



Figura 32: Estrato que se observa con una intemperización considerable, así como un contacto erosional.

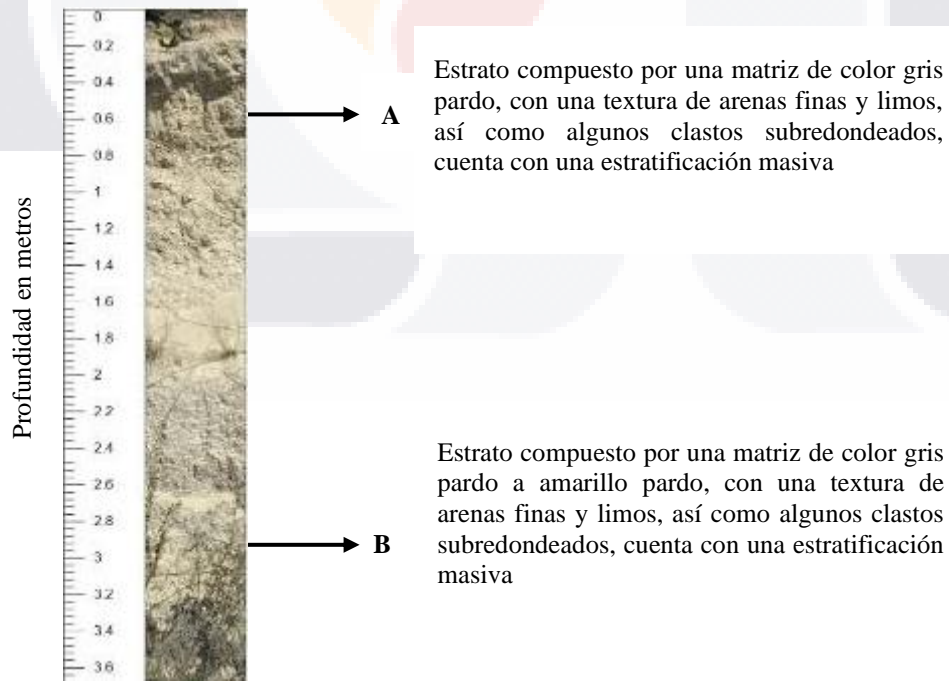


Figura 33: Columna estratigráfica Punto L).

**Punto M) Bosque de Cobos**

**Localización y Acceso:** Punto localizado en el municipio de Aguascalientes, a 10.5 km al sureste en línea recta de la cabecera municipal., sus coordenadas UTM son: 785900.00 m E, 2413913.00 m N, y una elevación de 1918 msnm. El acceso es por la Av. Héroe inmortal, posteriormente tomar rumbo hacia el poblado de las animas (en la cercanía de la presa Parga (Tabla 2, figura 6).

**Descripción del afloramiento:** El afloramiento se localiza en la cercanía del arroyo Parga, cuenta con tonalidades de pardos con intercalaciones blancas y blancas con intercalaciones pardos, cuenta con una textura mediana a moderadamente fina, de matriz arcillo limosa. Asociados a un origen está ligado a la precipitación de carbonato cálcico, que procede del lavado (disolución y transporte por el agua de circulación edáfica).

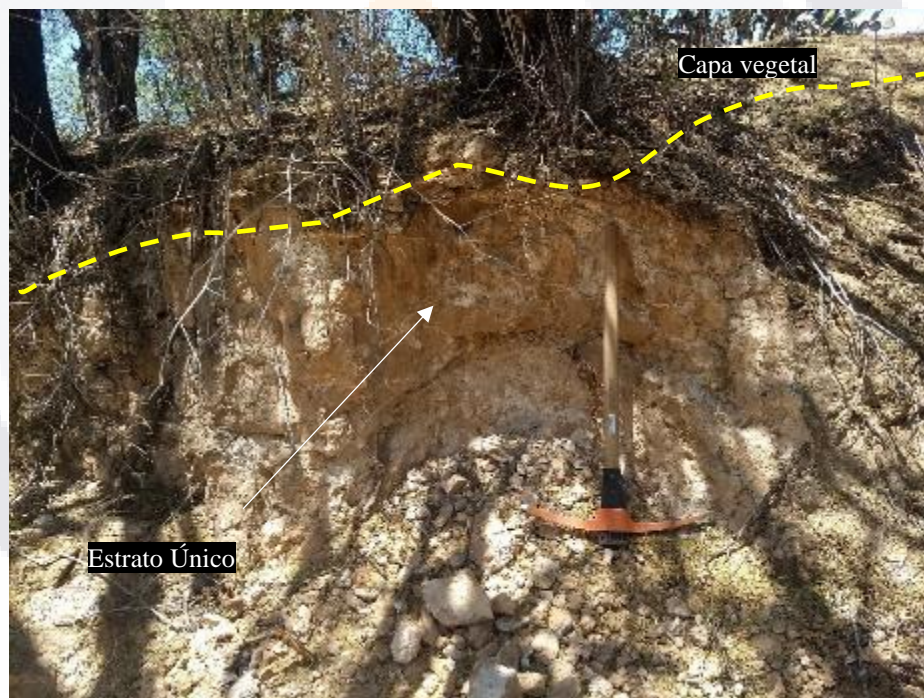
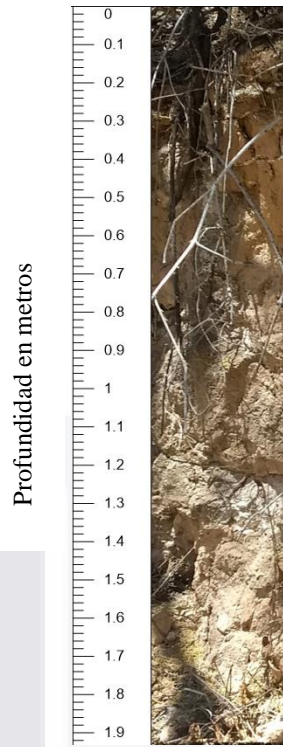


Figura 34: Afloramiento del Punto M) Bosque de boso en donde se observa las raíces tiene dificultad para penetrar el mismo, debido a su naturaleza calcárea que rellena los poros.



- A** Material café rojizo con una porosidad baja, posible color al óxido de hierro con tonos amarillos en ciertas partes.

Figura 35: Columna estratigráfica Punto M).

### 5.3 Descripción Petrográfica

Los análisis petrográficos de 33 muestras de las cuales 9 pertenecen a las partes altas del área de estudio presentan alteraciones principales como: argilización, desvitrificación y silicificación y en menor grado cloritización. Las muestras de las partes altas (horst) se clasifican en ígneas extrusivas (riolita), sedimentarias (caliza y hulla) y metamórficas de bajo grado, mientras que las muestras de suelos tienen cristales de origen ígneo, sedimentario y metamórfico.

Con ayuda del microscopio petrográfico se logró distinguir un tipo de cemento de calcita, 2 tipos diferentes de cementos de arcillas y dos tipos de cemento de sílice.

El cemento de carbonato de calcio se observa de la siguiente manera:

- 1) Cemento esparítico (ortoesparita) con colores de interferencia azul, rosa, naranja, y hasta tonos amarillentos, así como también colores negros y varias gamas de grises. El tamaño de sus cristales oscila desde grano fino que va de 10 a 20  $\mu\text{m}$  hasta cristales desarrollados de 2 a 3 cm (Muestra PG). Este cemento se presenta

usualmente relleno de poros matriciales y bordeando minerales diversos, presenta una estructura de mosaico en el que el tamaño de los cristales aumenta desde el borde hacia el centro de los poros (mosaicos drúsicos, Tucker y Wright, 2009), también presenta un maclado (líneas diagonales), lo que indica probablemente deformaciones (Arche Miralles, 2010).

Los cementos de arcillas se dividen en dos tipos:

- 1) Cemento de arcilla con colores de interferencia (amarillo, naranja o rojizo, dependiendo del hierro (Fe) que las acompaña, se encuentran recubriendo las paredes de los macroporos o las superficies de los agregados. Se observan de forma envolvente, es decir, rodean todos los granos y son filosilicatos (laminados), se observa además una disposición paralela al borde del grano, de acuerdo a las características se considera que se formaron mediante una iluviación primaria (que puede ser considerada como la iluviación normal), la cual se presenta típicamente en suelos desarrollados sobre material original sedimentario no consolidado, con buenas condiciones de drenaje, en medios débilmente humíferos, neutros o débilmente ácidos y biológicamente activos.

En algunas muestras también se observaron procesos de pedoturbación (proceso por el cual se produce la destrucción de las acumulaciones de arcilla iluvial.), dichas muestras se observan con una morfología laminar, pero sin estar bordeando o rodeando ningún grano, esto probablemente debido a un proceso de humedad de la muestra, lo que provocó hinchamientos y contracciones (Dorronsoro y Aguilar, 1988).

- 2) Cemento de arcilla que se forma como consecuencia del primer tipo (iluviación primaria), al que se le denomina iluviación secundaria se observan arcillas de color blanco o gris verdoso, que son heterogéneas y presentan limos, este cementante a diferencia del anterior no llega a revestir totalmente los granos, además de que presenta porosidades visiblemente más altas comparados con el anterior, lo que nos indica que está en una etapa de transición del primero al segundo tipo de cemento (Dorronsoro y Aguilar, 1988).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto en cuanto a los cementantes de arcillas, sus características y propiedades tales como la morfología, textura, coloración y procesos de formación y después de haber hecho un análisis de las aportaciones de algunos autores tales como (Zapata-Hernández, 2002) señala que se necesita un alto grado de porosidad para permitir la libre circulación de las suspensiones acuosas, que permiten la migración mecánica de arcillas que se encuentran en horizontes superficiales hacia los horizontes profundos, así como suelos geomorfológicamente estables que cuenten con una antigüedad considerable, y un relieve llano y/o suavemente inclinado.

Dicho autor también sostiene que los procesos de pedoturbación (alteración o destrucción de las acumulaciones de arcillas), tiene dos posibles causas; en las muestras que cuentan con ausencia de carbonatos de calcio, es debido a causas mecánicas, provocadas a partir de los cambios de humedad, lo cual provoca hinchamientos y contracciones, y en el caso de las muestras que contienen carbonato de calcio, es debido a un proceso de neoformación, más concretamente debido a la precipitación de los mismos carbonatos. lo que nos estaría diciendo que las arcillas contenidas en muestras que tienen cementante de carbonato de calcio son más antiguas.

En el caso del cemento de sílice se presenta como dos variantes:

- 1) Se manifiesta como pequeñas incrustaciones cuarzo vidrioso (se puede observar en la lámina delgada), las se encuentran rellenando huecos y adheridas a paredes de granos minerales, son incrustaciones demasiado pequeñas y escasas que se encontraron en solo dos muestras de estudio (PA-EC1 y PA-EC2), dicho cuarzo, es muy probable que se haya generado a partir de un metamorfismo de contacto hidrotermal, por lo que se formó a partir de la descomposición de un cuarzo primario de alguna roca origen o roca madre, así que se consideraría como un proceso de recristalización.
- 2) Como pequeños vidrios que están rellenando de forma parcial los huecos con una formación fibrosa y radial, se cree que también es parte de un procesos de recristalización y este se manifestó en los puntos D y E.

En el caso particular del cementante de sílice no se consideraría como tal un cementante, debido a que solamente es un mineral secundario depositado en la matriz de la muestra de suelo, sin embargo, considerando lo señalado por (Rinaldi *et al.*, 2007), en donde un cementante, reduce la porosidad y genera un aumento en la resistencia, dicho mineral cumple con la definición de cementante, por lo tanto, para este estudio si lo consideraremos como tal.

Cabe señalar que en algunas muestras se encontraron pequeñas incrustaciones de biotita y clorita, (muestra PJ1-A, <5%), lo cual no llega a ser representativo, en caso de que realicen la función de cementante.

En la tabla 4, tenemos un compilado de los tres tipos de cementantes detectados en cada una de las muestras, es interesante observar cómo los cementantes arcillosos son más abundantes en los puntos A, B y C los cuales se ubican al norte de la zona de estudio en los municipios de Rincón de Romos y Pabellón, mientras que en la zona centro y sur se manifiestan en menor medida solamente en los puntos K y L, contrastando con los cementantes de carbonatos de calcio los cuales son más abundantes en los puntos de muestreo que se ubican en el centro de la zona de estudio (puntos I, J, K), en menor medida al norte de la zona de estudio (Puntos D y E), y al sur solamente en el punto M.

En el caso del cementante de sílice solamente se encontró en el punto A como un cementante que se encuentra rellenando los poros, mientras que en los puntos D y E.

En la tabla 5 se muestra un resumen de las figuras de las muestras microscópicas en donde se observan las diferentes morfologías, así como procesos de formación de los cementantes encontrados en este trabajo de investigación.



Tabla 4: Cementantes inferidos por microscopía óptica.

No.	Localidad o Fraccionamiento	Punto	Muestra	Sílice	Carbonatos	Arcilloso
1			PA-EA		X	
2	La Palmilla	A	PA-EB			X
3			PA-EC1	X		X
4			PA-EC2*	X		X
5	El águila	B	PB			X
6			PC-EA			X
7	Ojo Zarco	C	PC-EB			X
8			PC-EC			X
9	Santiago	D	PD	X	X	
10	Pabellón	E	PE	X	X	X
11	José María Morelos	G	PG		X	
12	San Marcos	I	PII		X	
13			PID		X	
14			PJ1-A		X	
15	Vistas del Sauz	J	PJ1-B			
16			PJ1-C			
17			PJ2-A		X	
18		J2	PJ2-B		X	
19	Arborada	K	KA			X
20			KB		X	
21			PL-EA			X
22	Peñuelas	L	PL-EB			X
23			PL2-EA			X
24	Bosque de Cobos	M	PM		X	

\* Arcillas con alto contenido de hierro (color rojizo)

Tabla 5: Compilado de morfologías y procesos de formación de los cementantes.

Tipo de cementante	Morfología del cementante	Figura
Carbonato de calcio	Micrita	44,45,46,47,48,59
	Esparita	36,47,49,52,53,55,59
Arcilloso (filosilicatos)	Iluviación Primaria	37,38,39,40,41,43,54,57
	Iluviación Secundaria	38,56,57,58
Sílice	Vitrificación	39,44

Muestras microscópicas

Muestra PA-EA

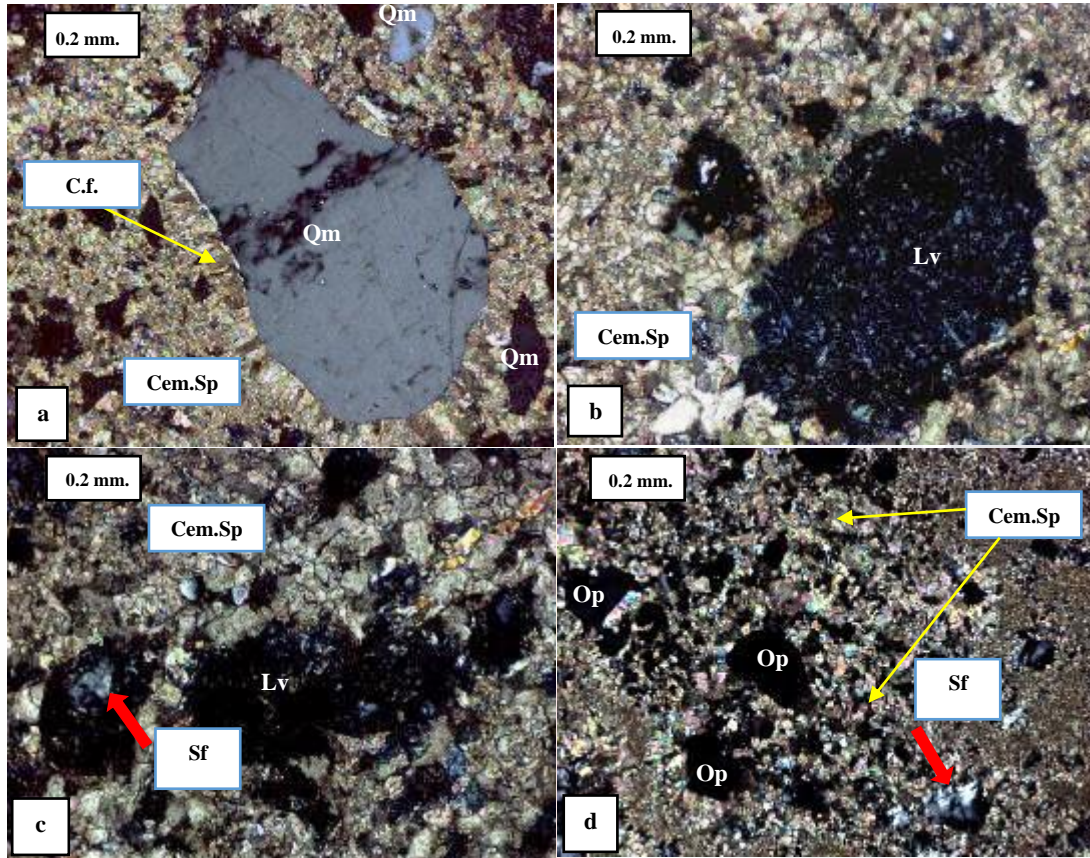


Figura 36: Fotomicrografía de la muestra PA-EA, la cual cuenta con una cementación espáritica

a) Cuarzo monocristalino subredondeado (Qm) envuelto de cemento espáritico (cem.Sp) que está actuando como envolvente, se observan dos etapas de precipitación (cemento fibroso bordeando el cuarzo (C.f.) y posteriormente espáritica drúsica (cem.Sp)), ambos con diversas tonalidades de colores), Nícoles cruzados (NC), 10X b) se observan líticos volcánicos (Lv) subredondeados alterados con incrustaciones de plagioclasas y calcita espáritica (Cem.Sp), actuando como envolvente, NC, 10X c) Calcita espáritica (Cem.Sp.) formando una red de mosaicos bordeando líticos volcánicos (Lv) NC, 10X d) Matriz arcillosa (Matr. arc.) en donde se observan silicificación (Sf), junto a la matriz micrítica, se pueden observar algunos opacos (Op), que probablemente sean óxidos.

Muestra PA-EB

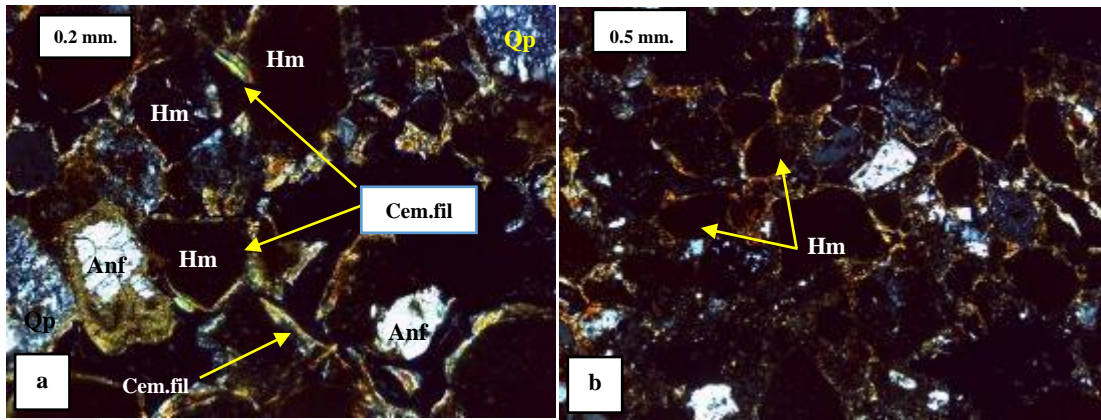


Figura 37: Fotomicrografía de la muestra PA-EB, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria.

a y b) Minerales diversos que incluye minerales opacos como hematita (Hm), y otros cristales como cuarzo policristalino (Qp), y anfíboles (Anf) que están aparentemente en un proceso de argilización (recristalización a minerales arcillosos), debido a la capa de color pardo que se encuentra bordeando el mineral. Todos estos minerales se encuentran embebidos en una masa básica (cemento) de lo que parece ser filossilicatos de color amarillo que se originaron por un proceso de iluviación primaria, esto debido a la estructura laminar y su buena orientación, así como su disposición paralela, además está actuando como un cementante, cem.fil, (NC), 10X .

Muestra PA-EC1

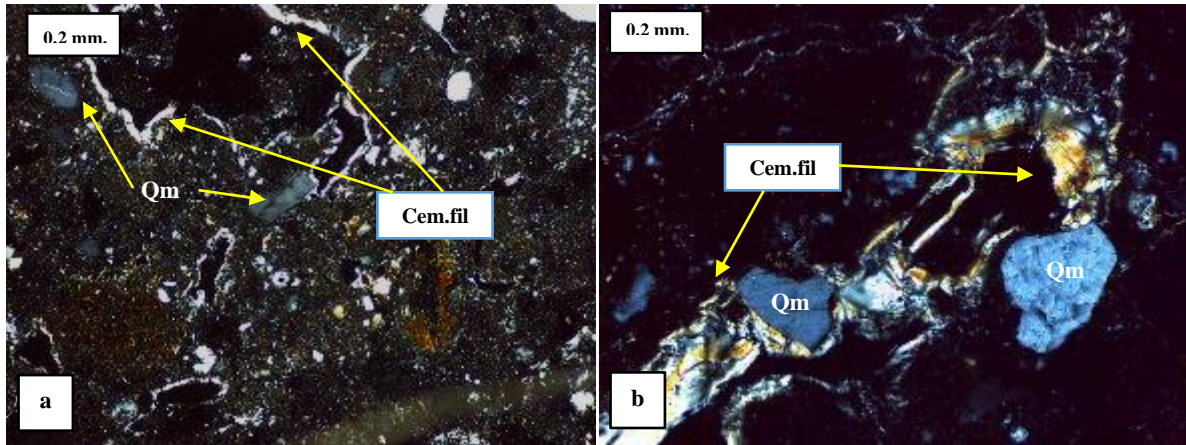


Figura 38: Fotomicrografía de la muestra PA-EC1, la cual cuenta con cemento filosilicático por procesos de iluviación primaria y secundaria.

a) Matriz arcillosa (Matr. arc.), que debido a la fracción de los cristales se presenta en estado cuasi-opaco, ya que la luz polarizada es birrefractada extensamente y en donde se pueden ver halos de color blanco (cem.fil), los cuales se infiere que fueron originados por un proceso de iluviación secundaria debido a que son heterogéneos y se dificulta observar la orientación o laminación de las arcillas, producto también de limos y materia orgánica, además de cuarzos monocristalinos (Qm) con extinción ondulante, (NC), 10X b) Se pueden observar a detalle los filosilicatos (cem.fil) los cuales aparentemente sufrieron un procesos de pedoturbación (alteración), y se encuentran envolviendo los cuarzos monocristalinos (Qm) con extinción ondulante, dicho cementante aparentemente sufrió cambios de humedad, esto considerando deformación que tiene. Dichos filosilicatos actúan como cementante, (NC), 10X.

Muestra PA-EC2

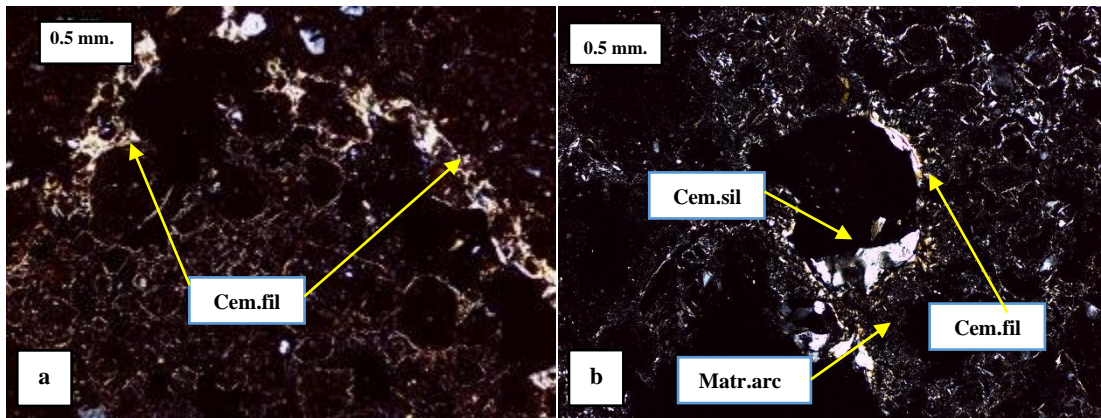


Figura 39: Fotomicrografía de la muestra PA-EC2, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria, así como incrustaciones de sílice.

a) Matriz arcillosa (matr.arc) en donde se pueden ver halos de color rojizo, los que nos indica que los cementantes arcillosos (cem.fil), cuentan con un porcentaje de óxidos, estos se encuentran bordeando varios minerales de color negro (Op), que probablemente sean óxidos. NC, 10X b) Mineral de cuarzo secundario (formado por proceso de recristalización, debido a un proceso de metamorfismo de contacto hidrotermal, (cem.sil)), esto debido a la textura vidriosa que se observa, este mineral se encuentra bordeando el poro, además se observan cementantes de arcillas que se originaron por procesos de iluviación primaria y secundaria (cem.fil), NC, 10X.

Muestra PB

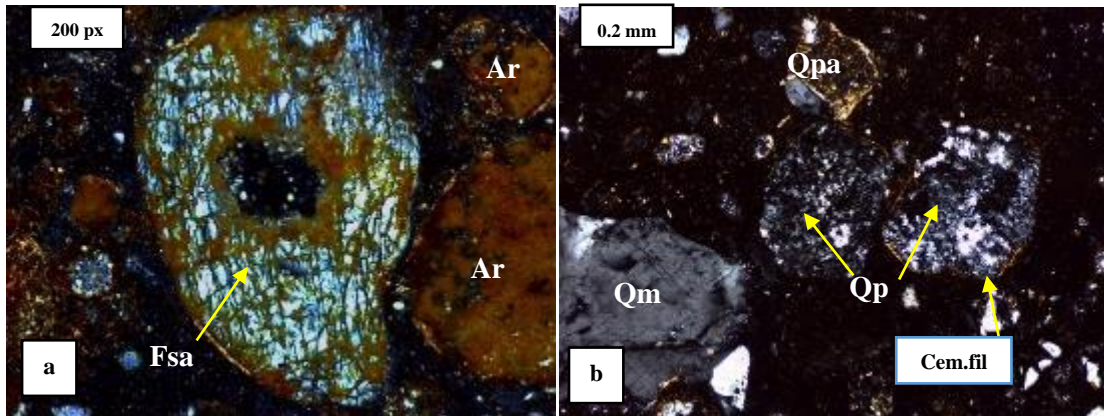


Figura 40: Fotomicrografía de la muestra PB, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos iluviación primaria, y meteorización de minerales secundarios.

a) Se observa un feldespato alterado (Fsa), en el cual se observa una argilización, que se desarrolla preferentemente a lo largo de las maclas (polisintéticas), características de este mineral, alrededor podemos ver minerales en una etapa final de argilización (Ar), esto debido a la similitud del color (pardo claro). NC,10X b) Se pueden observar a detalle los filossilicatos que se encuentran envolviendo los cuarzos policristalinos (Qp), que cuentan con esferulitas de ópalo (pedernal), que muestran una desvitrificación. Los filossilicatos actúan como cementante (Cem.fil), e incluso se observan cuarzos completamente envueltos por estos filossilicatos (cuarzo policristalino alterado) (Qpa). NC, 10X.

Muestra PC-EA

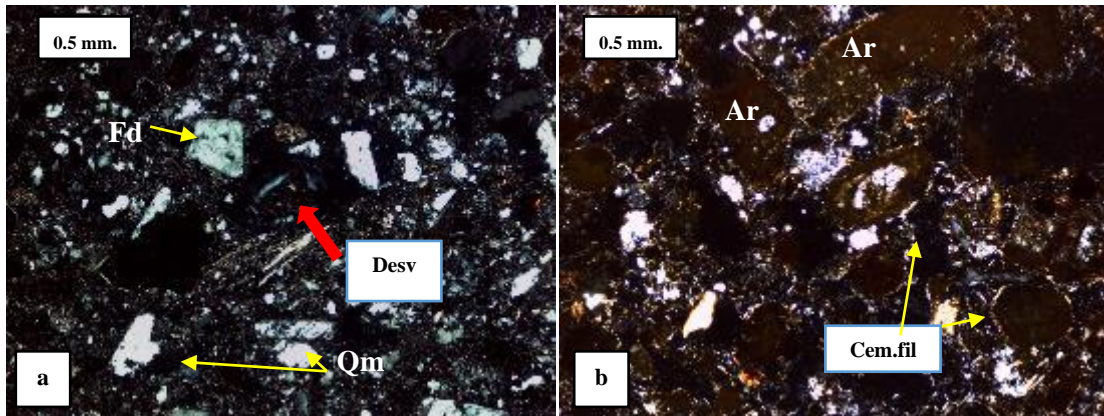


Figura 41: Fotomicrografía de la muestra PC-EA, la cual cuenta con cemento filosilicático por procesos de iluviación primaria y meteorización de minerales secundarios.

a) Esta muestra se puede observar una matriz arcillosa, además de un carácter fragmentario de minerales (cuarzo (Qm) y feldespatos (Fd)), se pueden observar procesos de desvitrificación de sílice (desv.). NC,10X b) Minerales que han sufrido un proceso de alteración hidrotermal (argilización, Ar en la imagen), los cuales se encuentran envueltos por cementante de filosilicatos (es de un espesor muy pequeño, casi nulo). NC, 10X.

Muestra PC-EB

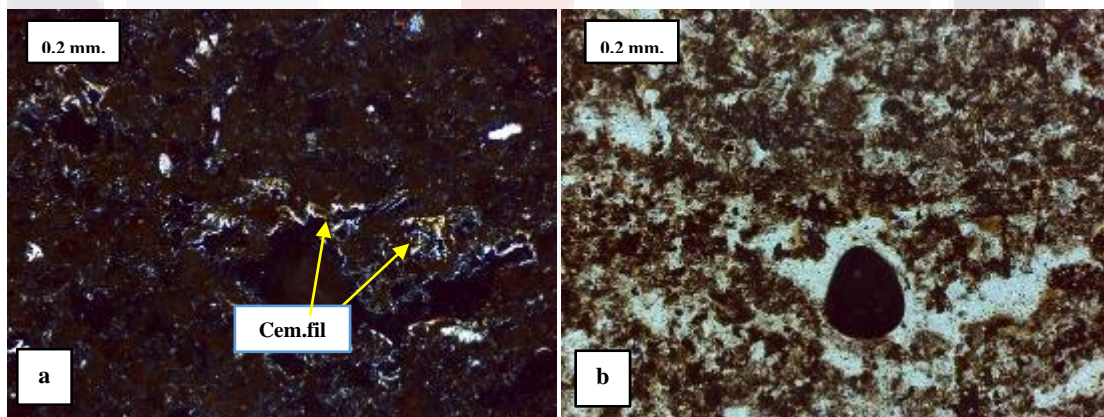


Figura 42: Fotomicrografía de la muestra PC-EB, con un muy pequeño porcentaje de cemento filosilicático (nulo).

Fotomicrografías de la muestra PC-EB del Punto C Ojo Zarco. a) Esta muestra se encuentra compuesta únicamente por una matriz arcillosa, y se alcanzan a observar algunos

cementantes de filosilicatos (cem.fil), en general se observa una porosidad con un cierto grado de interconexión.

Muestra PC-EC

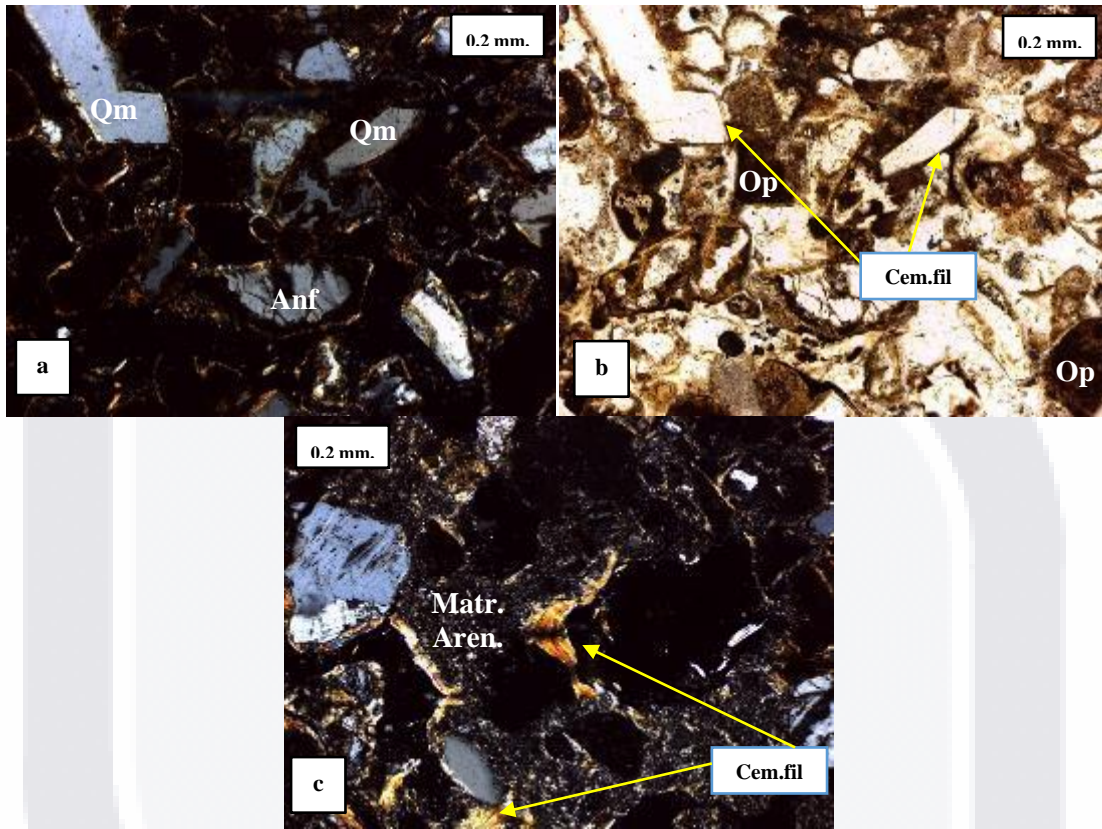


Figura 43: Fotomicrografía de la muestra PC-EC, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria y pedoturbaciones (alteraciones).

a y b) Aunque la clasificación de Folk se aplica principalmente a las areniscas, también pueden extenderse a las limolitas. En esta muestra se puede ver una arenisca muy fina con poca o ninguna matriz (Matr.aren). La muestra tiene una clasificación de granos regular y está conformada principalmente de minerales de cuarzo monocristalino (Qm) y anfíboles (anf) los cuales tienen cemento de arcilla espesa con revestimiento de grano (cem.fil) NC, 10X b) se pueden observar algunos opacos (Op), ya que en ambas imágenes se observan de color negro, se puede además ver con mayor detalle las envolventes de arcillas en los minerales (cem.fil) NC, 10X c) En esta fotografía se pueden observar los filossilicatos con mayor detalle, y se reconoce que es producto de iluviación primaria, debido al ordenamiento de las arcillas, su morfología, así como el color amarillo, así como algunas



pedoturbaciones (alteraciones), además de una matriz de color grisáceo (limosa arcillosa (Lim-ar). Se pueden observar algunos cuarzos con extinción ondulante y lo que parece ser una alteración polimórfica de cuarzo, el cemento de filosilicatos (cem.fil), esta rellena los poros y envolviendo perimetralmente los minerales. NC, 10X.

Muestra PD

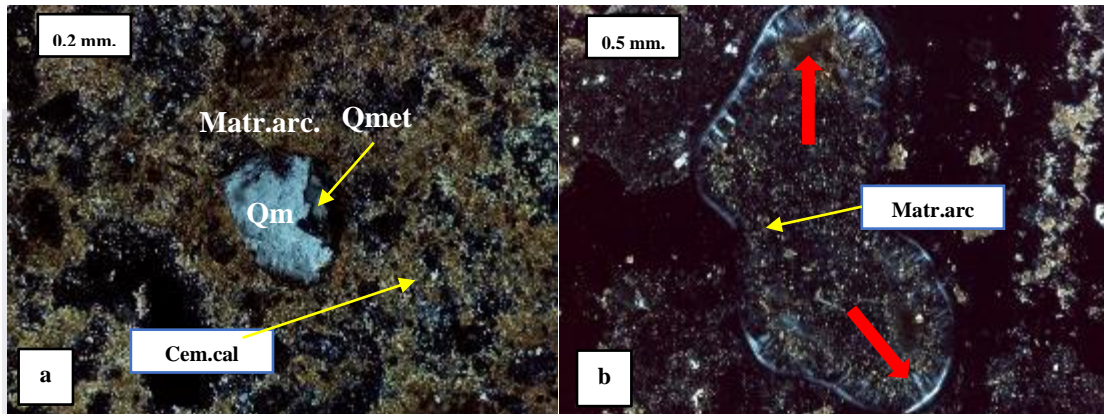


Figura 44: Fotomicrografía de la muestra PD, la cual cuenta con cemento micrítico, así como vitrificaciones de sílice secundario.

a) Matriz arcillosa (matr.arc.) con intercalaciones de fragmentos de calcita micrítica (cem.cal), en donde se puede ver en el centro un cuarzo monocristalino (Qm) y un pequeño cuarzo metamórfico (a la derecha, Qmet), NC, 10X b) Sílice que sufrió un proceso de recristalización (vitrificación), debido al metamorfismo de contacto hidrotermal, considerándose un mineral secundario, mediante un proceso que se encuentra bordeando parte de la matriz arcillosa(matr.arc). NC, 10X.

Muestra PE

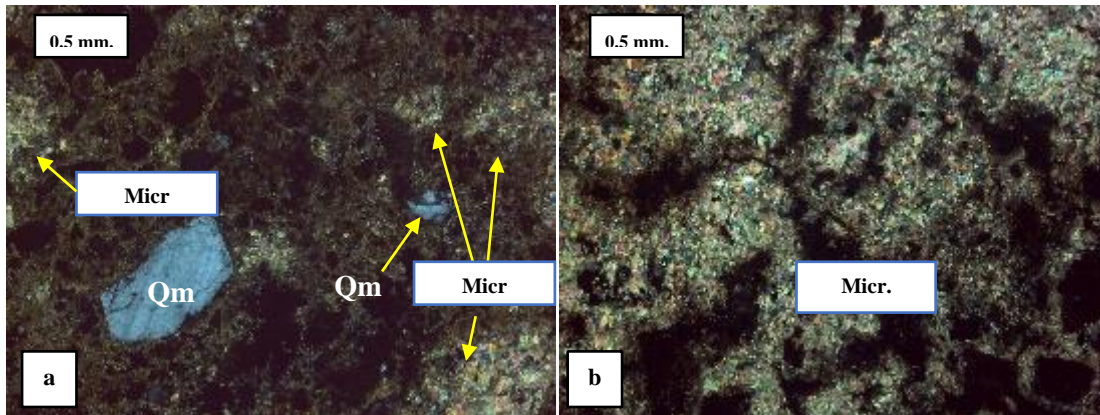


Figura 45: Fotomicrografía de la muestra PE, la cual cuenta con cemento micrítico con diferentes colores de interferencia.

a) Matriz de lodo micrítico (Micr.) donde se puede en el centro un cuarzo monocristalino (Qm) NC, 4X b) Se observa un lodo de calcita microcristalina que se manifiesta en un color pardo denso, con algunos rombos presentan colores de interferencia azul, rosa, naranja, y hasta tonos amarillentos, NC, 4X.

Muestra PG

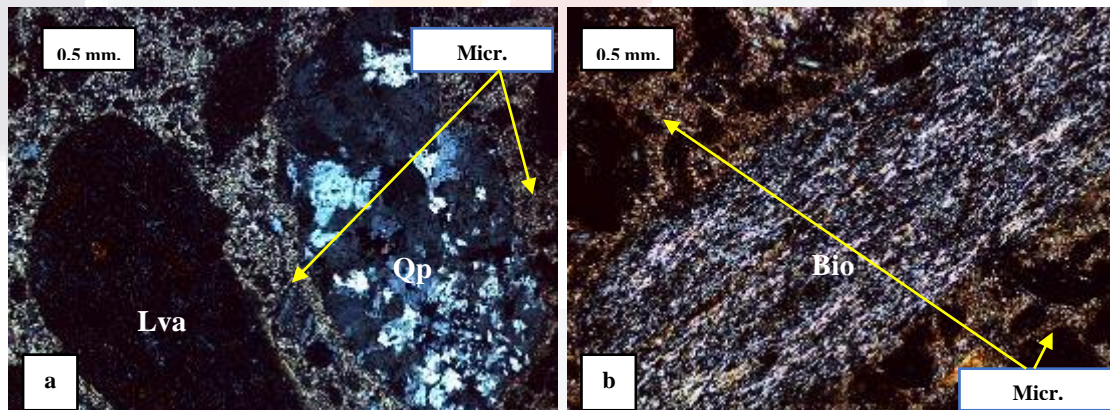


Figura 46: Fotomicrografía de la muestra PG, la cual cuenta con una matriz y cemento micrítico con diferentes colores de interferencia.

a) Matriz micrítica (Micr.) que contiene dos granos de diferentes orígenes, a la izquierda de la imagen se observa un litoclasto volcánico alterado (Lva), redondeado, donde los bordes están clorotizados (bordes de color amarillo), e interiormente se pueden observar plagioclasas muy alteradas. A la derecha de la imagen se observa un cuarzo policristalino (Qp), característico para cuarzos de rocas metamórficas. Se detectaron pequeños crecimientos de esparíta dentro de las escasas porosidades. NC, 4X. b) En la imagen se

observa lo que parece ser un mineral de clorita formado a partir de la alteración de la biotita (Bio, así otros silicatos ferromagnesianos, además de varios granos que parecen ser litoclastos, envueltos en la matriz de lodo micrítica (Micr.), NC, 4X.

Muestra PID

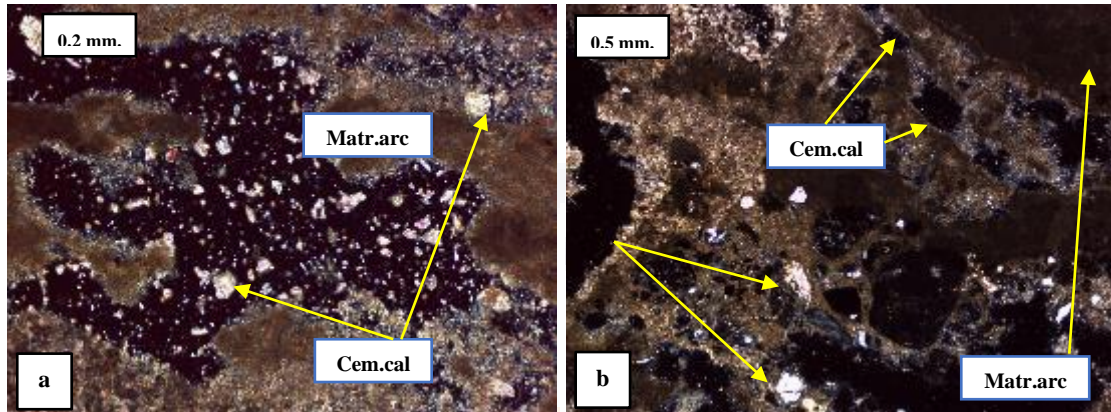


Figura 47: Fotomicrografía de la muestra PID, la cual cuenta con vestigios de cemento micrítico y esparítico con diferentes colores de interferencia.

a) Matriz arcillosa (matr.arc) con intercalaciones de cemento de carbonato de calcio tiene formaciones de calcita micrítica y calcita esparítica (cem.cal.) se pudiera decir que apenas estaba precipitando el cementante en forma de cristales romboédricos de lo que parece ser vestigios de calcita que se manifiesta de colores de interferencia azul, rosa, naranja, y hasta tonos amarillentos., pero al parecer se desbasta en el proceso de formación de la lámina, NC, 10X, b) Matr.arc. con diferentes tonalidades de color pardo, así como el cemento micrítico que no se sabe con certeza si está en un proceso temprano de precipitación o es un cemento que se desbasta con facilidad ante la elaboración de la lámina delgada.

Muestra PII

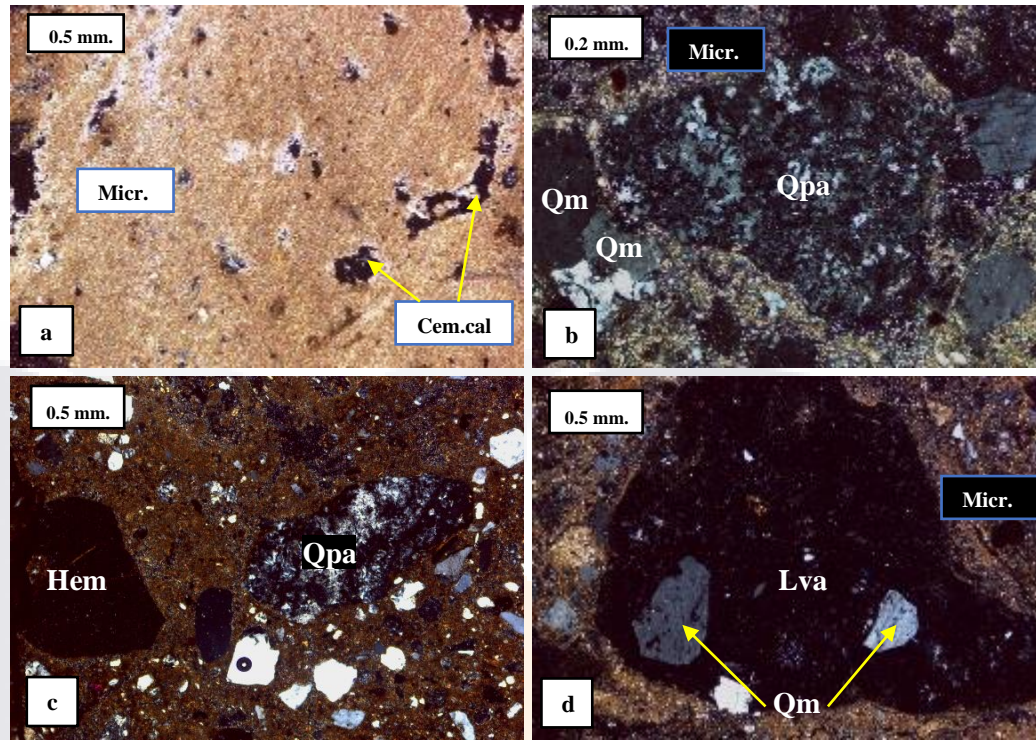


Figura 48: Fotomicrografía de la muestra PII, la cual cuenta con una matriz y cemento micrítico con diferentes colores de interferencia.

a) Matriz constituida por lodo micrítico (Micr.), se puede ver que los poros se están rellenando con cemento de calcita. (cem.cal) NC, 4X b) En el centro se puede observar una posible variedad polimórfica del cuarzo (Qpa), el cual puede ser tridimita o cristobalita esto debido a la forma en la que se presenta el maclado (en tejas), así como la débil birrefringencia, además de cuarzos monocristalinos comprimidos, todos embebidos en un lodo micrítico. (micr.), NC, 10X. c) se observa la misma posible alteración de cuarzo (Qpa), además de un cristal subredondeado de hematita (Hem), envueltos en una matriz arcillosa. d) Lítico volcánico alterado (Lva) subredondeado con incrustaciones de plagioclasas que se encuentra envuelto en una matriz de lodo micrítico (Micr.).

Muestra PJ1-A

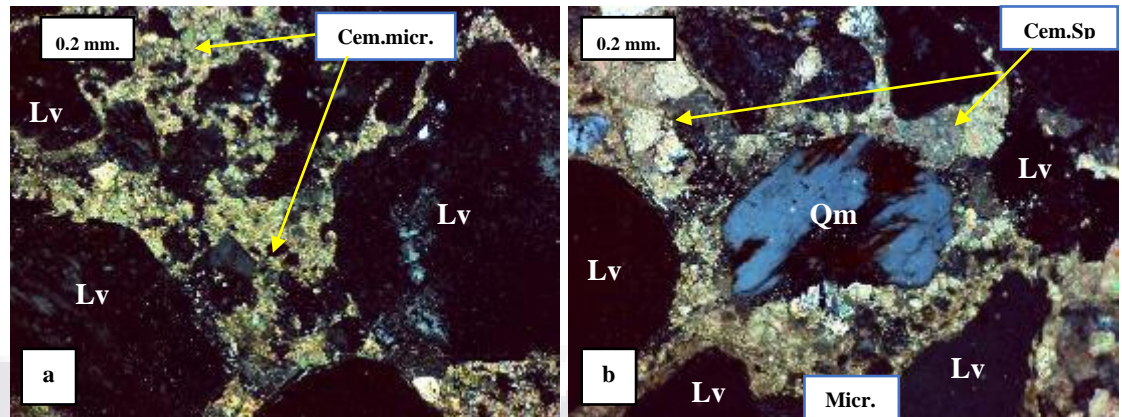


Figura 49: Fotomicrografía de la muestra PJ1-A, la cual cuenta con cemento esparítico drúsico.

a) y b) Se observan varios líticos de origen volcánico (Lv), con morfologías subredondeadas, estos minerales se encuentran envueltos por una matriz de cemento micrítico (cem.micr.), NC, 10X. b) Se pueden observar varios líticos volcánicos , además de un cuarzo monocristalino en el centro con alteración de color rojiza (debido a oxidación), rodeado por calcita micrítica (Micr.), en la parte superior de la lámina se observa calcita esparítica(cem.Sp) , lo que indica un la precipitación de la misma en un tiempo posterior. NC, 10X.

Muestra PJ1-B

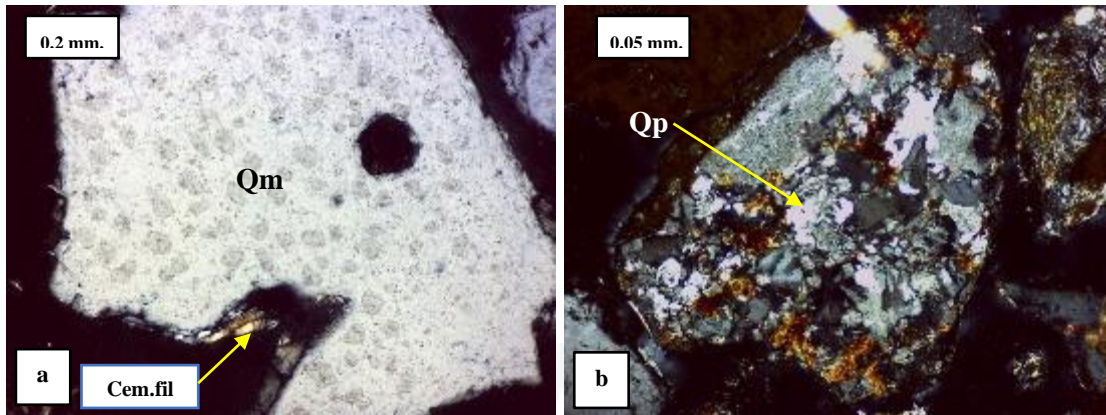


Figura 50: Fotomicrografía de la muestra PJ1-B, con un muy pequeño porcentaje de cemento filossilicático (nulo).

a) Se puede observar un cuarzo monocristalino (Qm) con golfos o bahías de corrosión, el cual es de origen volcánico debido a las pequeñas incrustaciones de gas, cuenta además en su parte inferior, con una pequeña incrustación de cementante de filosilicatos por envolvimiento (cem.fil) NC, 10X b) Se puede observar un cuarzo policristalino (Qp) de origen metamórfico con algunas manchas de color rojo debido a la oxidación. NC, 40X.

Muestra PJ1-C

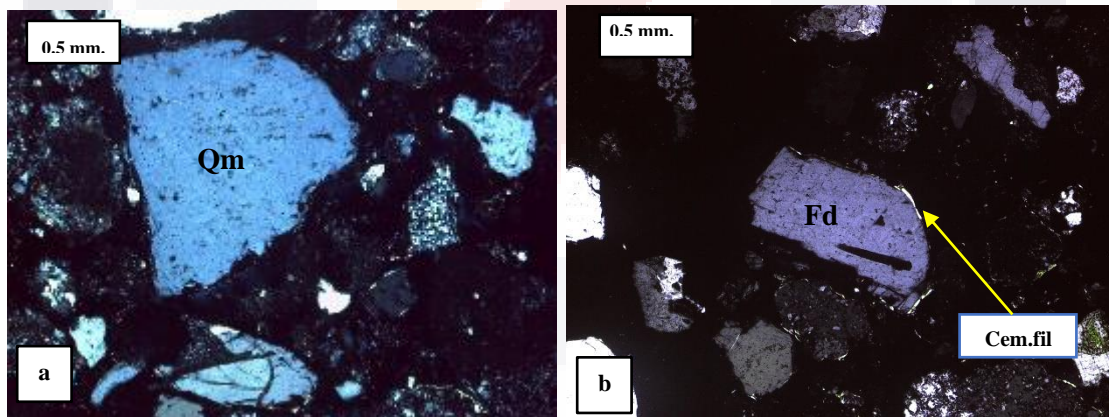


Figura 51: Fotomicrografía de la muestra PJ1-B, con un muy pequeño porcentaje de cemento filossilicático (nulo).

a) y b) Se pueden observar varios minerales carentes de una matriz tales como un cuarzo monocristalino (Qm) con el cual es de origen volcánico, así como feldespatos (Fd), se alcanza a observar una pequeña muestras de cementante de filosilicatos (cem.fil). NC, 10X.

Muestra PJ2-A

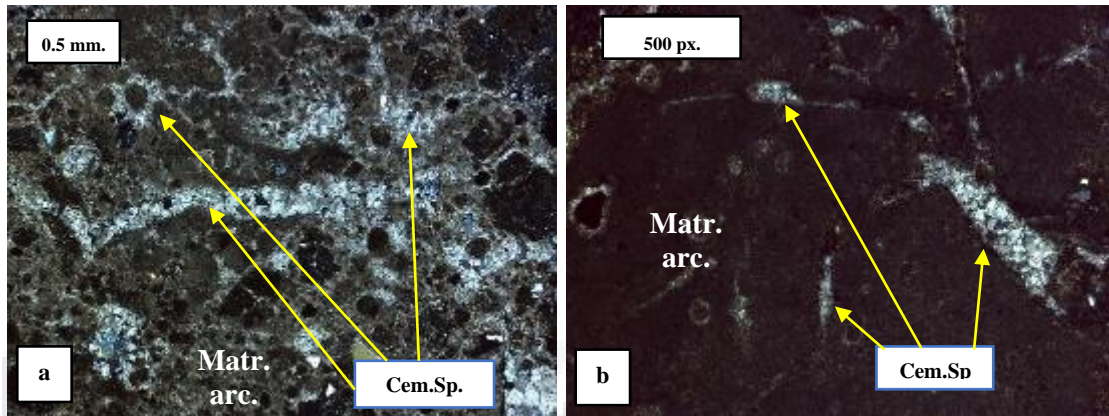


Figura 52: Fotomicrografía de la muestra PJ2-A, la cual cuenta con cemento esparítico drúsico.

a) Matriz arcillosa (matr.arc.) de color pardo y aspecto turbio, se observan además porosidades interconectadas que se encuentran rellenas por el cemento de esparíta (cem.Sp). NC, 4X. b) Es una matriz arcillosa (Matr.arc) en donde se observan cementos esparíticos (cem.Sp) relleno los poros y fracturas (intercalaciones), NC, 4X.

Muestra J2B

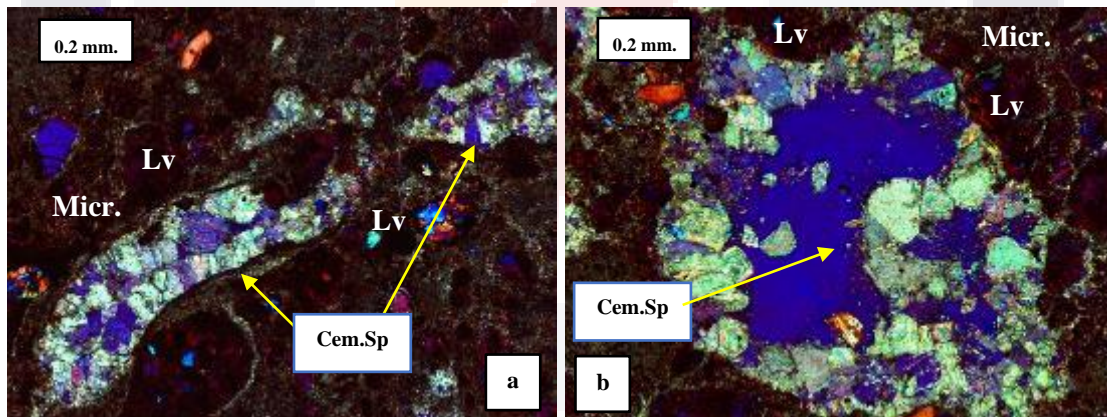


Figura 53: Fotomicrografía de la muestra PJ2-B, la cual cuenta con cemento esparítico drúsico.

a) y b) Lodo de calcita microcristalina (micr.) de color pardo y aspecto turbio, además se observan varios minerales de color rojizo (líticos volcánicos, Lv) así como procesos de rellenos de porosidades mediante cemento esparítico con forma de mosaico (cem.Sp), en la imagen de la izquierda se observa una estructura tubular que se llama bivalvos (que indican la presencia de fósiles) y ahí está alojada la calcita esparítica drúsica.

Muestra KA

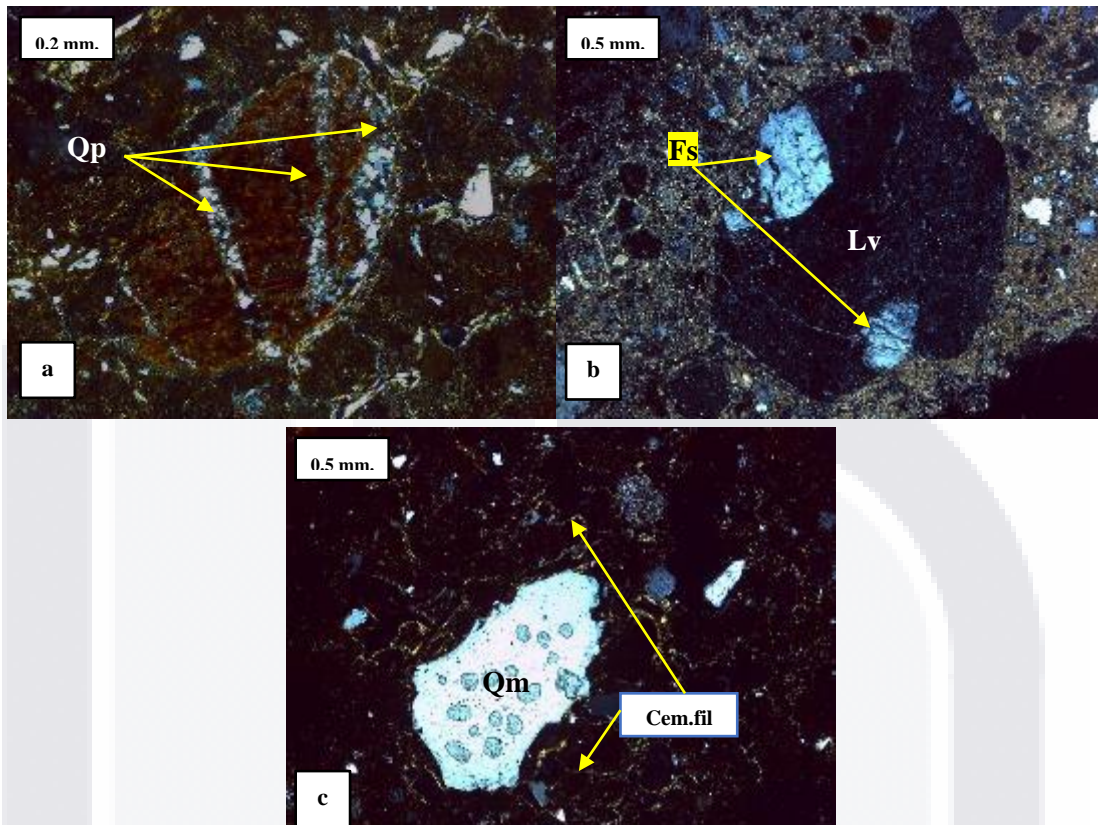


Figura 54: Fotomicrografía de la muestra KB, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria y meteorización de minerales secundarios.

a) La muestra carece de matriz en esa parte, sin embargo, cuenta con minerales de colores rojizos los cuales están meteorizados por procesos de disolución, así como un mineral de hematita (hem) con fracturaciones que se encuentran rellenas por cristales de cuarzo. NC, 10X. b) Matriz arcillosa, en donde se pueden ver algunos líticos volcánicos subredondeados y particularmente el que se ubica al centro de la imagen que cuenta con incrustaciones de algunos feldespatos (Fs.) NC, 4X. c) Se puede observar un cuarzo monocristalino (Qm) con golfos de corrosión, así como inclusiones fluidas secundarias e incrustaciones de gas, por lo que se determina su origen como volcánico, se puede ver además que hay filossilicatos actuando como cementante (cem.fil) envolviendo varios minerales de hematita (Hem). NC, 4X.



Muestra KB

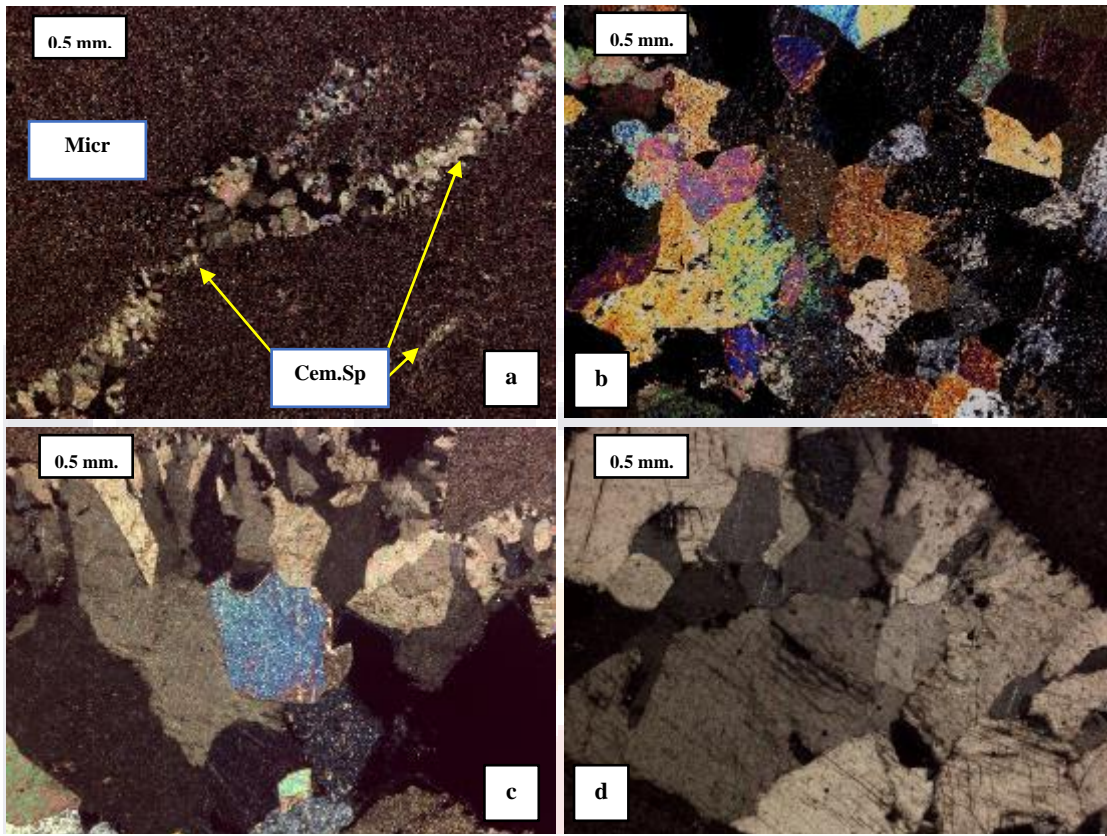


Figura 55: Fotomicrografía de la muestra KB, la cual cuenta con una matriz micrítica y cemento esparítico.

a y b) Matriz micrítica (micr.) en donde se observa una fracturas con dos bifurcaciones, las cuales están rellenas con cementos de calcita esparítica (cem.Sp) dicho cementante cuenta con morfologías y tamaño de mineral diversos (desde redondeadas hasta indefinidas), presentan colores de interferencia azul, rosa, naranja, y hasta tonos amarillentos y blancos, característicos para colores del tercer orden., NC, 4X. c) y d) Vista detallada de la fractura con al menos dos generaciones de calcita (calcita fibrosa temprana con borde de fractura seguida de calcita más tardía con morfología de bloque o mosaico)., que está actuando como cementante (cem.Sp), y que cuenta con colores predominantemente grises así con maclas finas y rectas, que son típicas de deformaciones leves. (Díaz y Govea, 2009) NC, 4X.

Muestra PL-EA

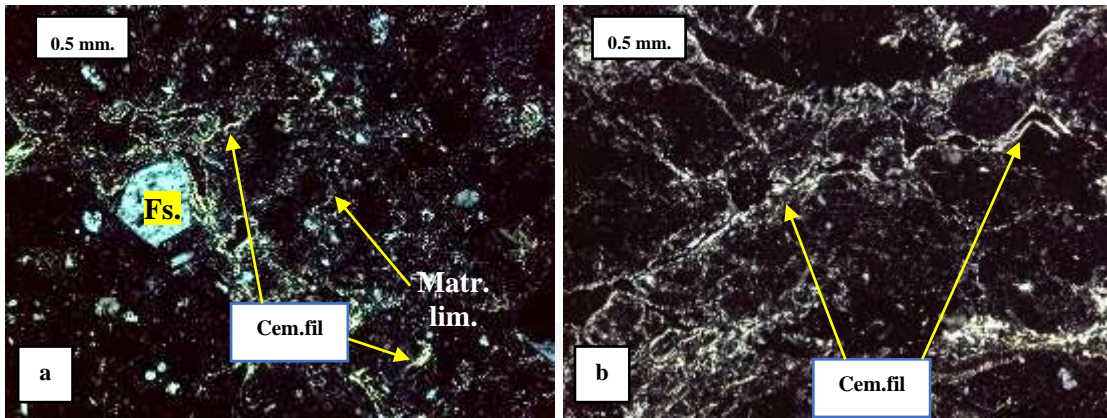


Figura 56: Fotomicrografía de la muestra PL-EA, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación secundaria.

a y b) La muestra cuenta con matriz limosa (matr.lim), alrededor de dicha matriz en donde existen porosidades se muestran filossilicatos que están actuando como un cementante (cem.fil) en este caso en particular se pueden ver colores blancos y amarillos, por lo que está sufriendo un cambio de iluviación primaria a secundaria (en la imagen de la derecha es más claro el color que obtiene el cementante en el proceso de iluviación secundaria), se pueden observar también algunos granos de feldespatos (Fs.) en los cuales el cementante de filossilicatos (cem.fil) bordea solo una parte del mismo. NC, 4X.

Muestra PL-EB

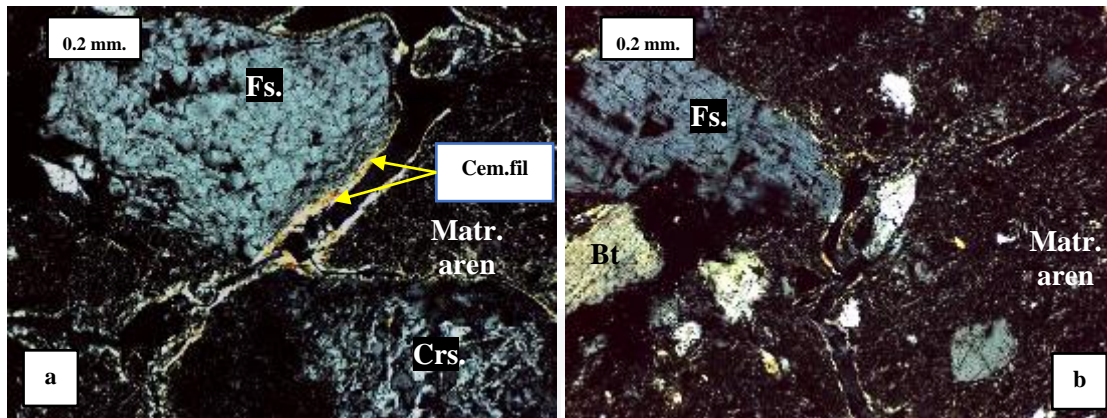


Figura 57: Fotomicrografía de la muestra PL-EB, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación primaria y secundaria.

a) Se observa el cementante de filossilicatos (cem.fil), que se encuentra bordeando un filossilicato (Fs), así como relleno del poro que se encuentra entre dicho mineral y parte de la matriz de arena muy fina (Matr.aren), también se observa un mineral de cristobalita (Crs.) NC, 10X b) La muestra cuenta con matriz de arena fina (Matr.aren.), se pueden observar feldespatos (Fs.), envueltos por filossilicatos que están actuando como un cementante (cem.fil) producto de una iluviación primaria, así como un mineral de Biotita (Bt). NC,10X.

Muestra PL-E2A

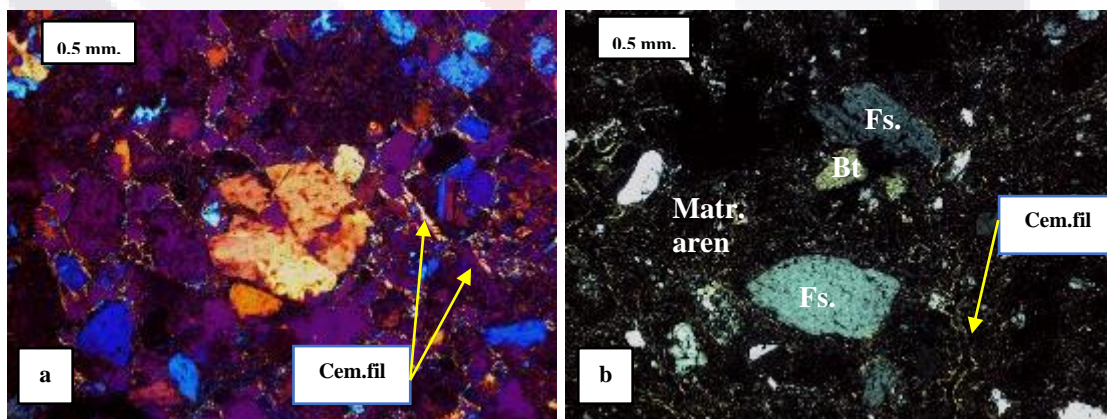


Figura 58: Fotomicrografía de la muestra PL-E2A, la cual cuenta con cemento filossilicático por procesos de iluviación secundaria.

a y b) La muestra cuenta con una matriz de arena fina (Matr. Aren) que debido al pequeño tamaño de los cristales aparece semi-opaca, embebidos en la matriz se reconocen feldspatos (Fs.), envueltos por filosilicatos que están actuando como un cementante (cem.fil) debido al proceso de iluviación. Se detectaron también algunos minerales de Biotita (Bt).

Muestra PM

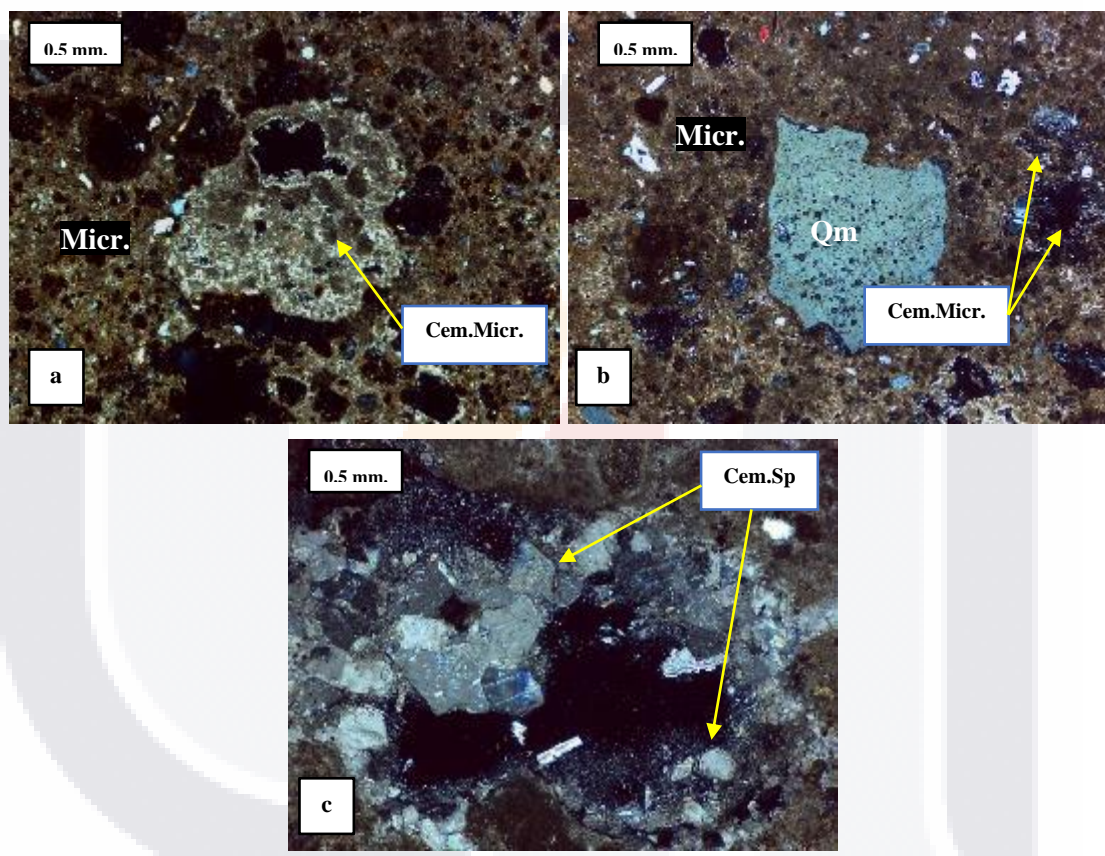


Figura 59: Fotomicrografía de la muestra PM, la cual cuenta con cemento micrítico y esparítico.

a) Matriz compuesta por lodo de calcita microcristalina de color pardo y aspecto turbio(Micr.), además se ven varios poros sin rellenar (Color negro), en el caso del centro donde se pueden observar un cambio de coloración en la aparente matriz a un color pardo más claro, así como halos de color blanco que es cemento micrítico (cem.micr). NC, 4X. b) Es un lodo de micrítico igual que en la imagen anterior, en el centro se puede observar lo que es un mineral de cuarzo monocristalino que cuenta con inclusiones fluidas NC, 4X c)

Acercamiento del cemento esparítico (cem.Sp) de tipo drúsico (crecimiento hacia el centro con estructura de mosaico), además de que se pueden ver algunos colores de tercer orden (negro y azul). NC, 4X.

#### **5.4 Cuantificación de cementantes**

Se realizó una cuantificación general de los tres tipos de cementantes con la ayuda del Software *Image J*, mediante la herramienta “*Binary*”, la cual sirvió de apoyo para separar los pixeles blancos (matriz) de los pixeles negros (cementante) (figura 59), y así poder realizar una cuantificación y sumatoria de áreas mediante la ayuda de *Excel*, lo cual nos permite hacer una aproximación de manera relativamente sencilla.

En el caso de los cementantes de carbonato de calcio, al contar con colores de interferencia tan variados, el software identifico fácilmente la diferencia de color entre la matriz y el cementante (cabe señalar que en todas las muestras que hay cementante de carbonato de calcio, también hay micrita de manera conjunta con la matriz, así que la cuantificación de carbonato de calcio es de manera general, este actuando como cementante o no).

En la figura 60 podemos observar la gráfica comparativa de las muestras con contenido de carbonato de calcio y su porcentaje, es importante señalar que las muestras con porcentajes son debido a que presentaron un cemento esparítico más definido, mientras que las muestras con menor porcentaje (PD, PE), es por que contienen un cemento micrítico, el cual resulta difícil de calcular con este software.

Las muestras que reportaron porcentajes más altos de cementante con este software (PA-EA, PJ1-A, PJ2-APJ2,B, KB, y PM), son muestras que se encuentran en las cercanías de ríos y arroyos, (salvo por la muestra KB, que no se encuentra en las cercanías de ningún afluente de agua).

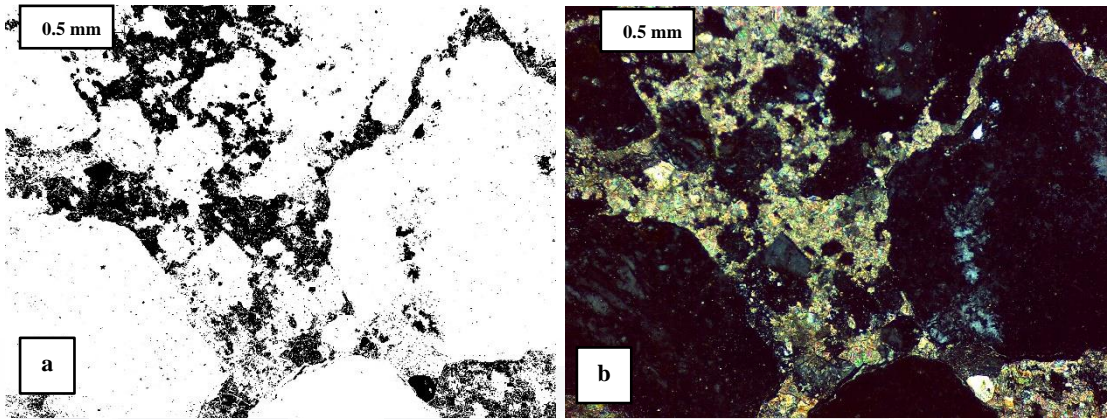


Figura 60: a) Lamina delgada trabajada mediante el software ImageJ. b) lámina delgada con nicoles cruzados (escala gráfica).

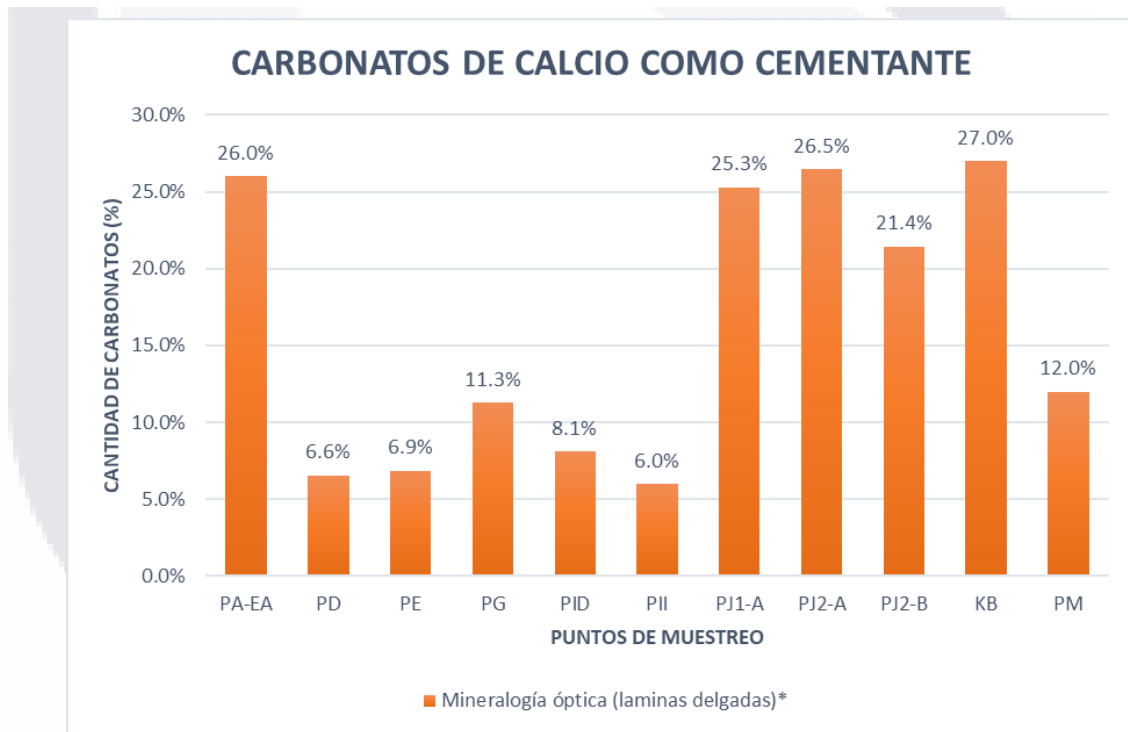


Figura 61: Grafica comparativa de los porcentajes de carbonato de calcio en las diferentes muestras.

En lo que concierne a los cementantes arcillosos y de sílice se hizo uso de la herramienta anteriormente seleccionada, pero se registraron valores tan bajos que esa muestras se agruparon en una cuantificación general por debajo del 5%, ya que no se pudo determinar a ciencia cierta el porcentaje exacto de dichos cementantes.

En general, todos los tipos de cementantes arcillosos tienen aproximadamente el mismo porcentaje, dado que todos se encuentran en una morfología de envolvimiento o capa de arcilla (*Clay Rim*), y dichas capas son de un espesor similar en todas las muestras (aun si consideramos una iluviación primaria o secundaria).

### 5.5 Difracción de rayos X

La identificación de las fases minerales en todas las muestras de campo se realizó comparando la base de datos de minerales puros que se encuentra en el programa de análisis *Driffrac.eva*, en dicho análisis se arrojaron los siguientes minerales: cuarzo, calcita, andesina (plagioclasa), arcillas (minerales pertenecientes al grupo de los filosilicatos), celestina, hematita, y sanidina (Tabla 5).

En el caso de los minerales de cuarzo no se encontró ningún tipo de alteración polimórfica del mismo (tales como tridimita o cristobalita), mientras que en los carbonatos de calcio si se identificó su alteración polimórfica (aragonito), así como la Ankerita que es del grupo de los carbonatos.

Por otro lado, la sanidina también se considera un polimorfismo de los feldespatos potásicos, así como la halloysita es un polimorfismo de la caolinita.

Tabla 6: Resumen de resultados, donde se indican los minerales reconocidos para cada muestra y su fórmula química.

<b>Mineral</b>	<b>Grupo</b>	<b>Nombre químico</b>	<b>Fórmula Química</b>
Cuarzo	Silicatos	Dióxido de Silicio	Si <sub>2</sub> O
Andesina	Plagioclasas	Silicato de sodio o calcio	Na,Ca(Al <sub>1-2</sub> Si <sub>3-2</sub> O <sub>8</sub> )
Caolinita	Filosilicatos	Hidróxido de Aluminio silicato	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
Ilita	Filosilicatos	Hidróxido aluminio silicato de Potasio	(K,H <sub>3</sub> O)(Al,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> [(OH) <sub>2</sub> , (H <sub>2</sub> O)]
Halloysita	Filosilicatos	Hidróxido de Aluminio silicato	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
Celestita	Sulfatos	Sulfato de estroncio	Sr(SO <sub>4</sub> )
Calcita	Carbonatos	Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>
Hematita	Óxidos	Óxido Férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Sanidina	Feldespatos	Feldespato potásico	K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
Ankerita	Carbonatos	Carbonato	Ca(Fe,Mg,Mn)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Aragonito	Carbonatos	Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>

De acuerdo con la tabla 7 se pone en duda la existencia de algunos minerales debido a que no presentan picos o características definidas que nos hagan validar la existencia de estos, ya que se realizó una división por colores de acuerdo con el nivel de certeza con el que se puede correlacionar los picos (*peaks*) obtenidos en las muestras con los de una base de datos ya establecida.

El color verde indica que existe un 100% de certeza de que los minerales identificados se encuentran en las muestras (debido a la similitud que existe con la base de datos), mientras que el color amarillo es un nivel de certeza intermedio, donde existe una cierta duda en la comparativa de los picos (*peaks*), esto se debe principalmente a que en las muestras analizadas existen ciertos ruidos (*background*), que pudo ser confundido con alguna medición no especificada.

En dicha tabla, también se observa cómo el cuarzo es el mineral con el nivel más alto de certeza, según los difractogramas observados con claridad y los picos de intensidad que se graficaron de dicho mineral (véase anexo 2).

Mientras que minerales como la sanidina, Ankerita y aragonito cuentan con un grado de duda medio a alto, pues sus picos obtenidos en el difractograma son difusos y pueden ser resultado de interpretaciones dudosas.



Tabla 7: Resultados de minerales obtenidos en análisis de polvo con orientación aleatoria por DRX. Donde el color verde indica minerales identificados con total seguridad, mientras que el color amarillo es un nivel de claridad intermedio, donde la mayoría de los peaks son correspondientes,

No.	Localidad o Fraccionamiento	Punto	Muestra	Cuarzo	Andesina**	Arcillas*	Celestina	Calcita	Hematita	Sandina	Ankerita	Aragonito
1	La Palmilla	A	PA-EA	Green	Green	Green	Yellow	White	White	White	White	White
2			PA-EB	Green	Green	Green	White	White	White	White	White	White
3			PA-EC1	Green	Green	Green	Yellow	White	White	White	White	White
4			PA-EC2	Green	Green	Green	Green	White	White	White	White	White
5	El águila	B	PB	Green	Green	Green	White	White	Green	White	White	
6	Ojo Zarco	C	PC-EA	Green	Green	Green	White	White	Green	White	White	
7			PC-EB	Green	Yellow	Green	Yellow	White	White	White	White	
8			PC-EC	Green	Green	Green	Green	White	Yellow	White	White	
9	Santiago	D	PD	Green	Green	Green	Yellow	White	White	White		
10	Pabellón	E	PE	Green	Green	Green	White	Green	White	White		
11	José María Morelos	G	PG	Green	Green	Green	White	White	Green	White		
12	San Marcos	I	PII	Green	Green	Green	White	Green	White	White	White	
13			PID	Green	Green	Green	White	White	White	White	Yellow	
14	Vistas del Sauz	J	PJ1-A	Green	Green	Green	Green	Green	White	White	White	
15			PJ1-B	Green	Yellow	Yellow	White	White	White	White	White	
16			PJ1-C	Green	Green	Green	Green	White	White	White	White	
17		J2	PJ2-A	Green	Green	Green	White	White	White	White	White	
18			PJ2-B	Green	Green	Green	Green	White	White	White	White	
19	Arborada	K	KA	Green	Green	Green	White	White	White	Yellow	White	
20			KB	Green	Green	Green	Yellow	Green	White	White	White	
21	Peñuelas	L	PL-EA	Green	Green	Green	White	White	White	White	White	
22			PL-EB	Green	Green	Green	White	White	White	White	White	
23			PL2-EA	Green	Green	Green	White	White	White	White	White	
24	Bosque de Cobos	M	PM	Green	Green	Green	White	Green	White	White	Yellow	

\*Mineral del grupo de los silicatos, perteneciente a las plagioclasas

\*\* Todas las arcillas como Illita, Illita-montmorilonita, caolinita, Halloysita.

En el caso específico de los minerales arcillosos el que se encontró en todas las muestras fue la illita , teniendo además un espectro de difracción de rayos X definido, seguido por la caolinita, la cual cuenta con interpretaciones variadas y picos no tan definidos.

En el caso de la halloysita fue el mineral arcilloso en el que la intensidad o altura de los picos registrados fue muy baja (casi nula), por lo que existe una alta incertidumbre si realmente existe este mineral en las muestras de suelo (Tabla 8).

Tabla 8: Minerales arcillosos identificados mediante Difracción de rayos X (DRX).

No.	Localidad o Fraccionamiento	Punto	Muestra	Caolinita	Illita	Halloysita
1	La Palmilla	A	PA-EA	■	■	■
2			PA-EB	■	■	■
3			PA-EC1	■	■	■
4			PA-EC2	■	■	■
5	El águila	B	PB	■	■	■
6	Ojo Zarco	C	PC-EA	■	■	■
7			PC-EB	■	■	■
8			PC-EC	■	■	■
9	Santiago	D	PD	■	■	■
10	Pabellón	E	PE	■	■	■
11	José María Morelos	G	PG	■	■	■
12	San Marcos	I	PII	■	■	■
13			PID	■	■	■
14	Vistas del Sauz	J	PJ1-A	■	■	■
15			PJ1-B	■	■	■
16			PJ1-C	■	■	■
17		J2	PJ2-A	■	■	■
18			PJ2-B	■	■	■
19		Arborada	K	KA	■	■
20	KB			■	■	■
21	Peñuelas	L	PL-EA	■	■	■
22			PL-EB	■	■	■
23			PL2-EA	■	■	■
24	Bosque de Cobos	M	PM	■	■	■

En la tabla 9 se muestra un comparativo cuantitativo de los minerales encontrados y nos hace saber los porcentajes obtenidos de las muestras analizadas para este trabajo.

Podemos señalar que los minerales con los porcentajes más altos son: Cuarzo, andesina, arcillas(ilita, caolinita, halloysita), calcita y hematita.

Tabla 9: Cuantificación de minerales encontrados en las muestras de estudio. En amarillo, los porcentajes más altos de los minerales encontrados en cada muestra.

No.	Punto	Localidad o Fraccionamiento	Muestra	Cuarzo	Andesina	Arcillas*	Celastina	Calcita	Hematita	Sanidina	Ankerita	Aragonito	Total
1	A	La Palmilla	PA-EA	20.7 %	36.8 %	38.9 %	3.6 %						100.0 %
2			PA-EB	39.9 %	32.7 %	24.5 %	2.9 %						100.0 %
3			PA-EC1	27.8 %	25.5 %	43.7 %	3.0 %						100.0 %
4			PA-EC2	39.5 %	36.1 %	21.8 %	2.6 %						100.0 %
5	B	El águila	PB	22.8 %	11.4 %	15.2 %	1.6 %		49.0 %				100.0 %
6			PC-EA	22.4 %	15.0 %	15.1 %	2.0 %		45.5 %				100.0 %
7	C	Ojo Zarco	PC-EB	12.5 %	52.2 %	30.9 %	4.4 %						100.0 %
8			PC-EC	16.9 %	19.5 %	14.3 %	1.9 %		47.4 %				100.0 %
9			PD	33.2 %	28.5 %	29.7 %	3.7 %	4.9 %					100.0 %
10	E	Pabellón	PE	11.7 %	23.9 %	31.5 %		32.9 %					100.0 %
11	G	José María Morelos	PG	13.4 %	51.2 %	33.3 %			2.1 %				100.0 %
12	I	San Marcos	PII	5.7 %	46.0 %	5.8 %		42.5 %					100.0 %
13			PID	21.5 %	26.1 %	13.4 %		36.1 %		2.9 %			100.0 %
14			PJ1-A	18.4 %	61.1 %	9.0 %	1.6 %	9.9 %					100.0 %
15			PJ1-B	14.0 %	27.7 %	58.3 %							100.0 %
16	J2	Vistas del Sauz	PJ1-C	33.7 %	46.1 %	17.5 %	2.7 %						100.0 %
17			PJ2-A	36.5 %	31.7 %	31.8 %							100.0 %
18	K	Arborada	PJ2-B	13.2 %	13.2 %	9.6 %	1.4 %	62.6 %					100.0 %
19			KA	26.3 %	27.1 %	23.6 %	3.3 %			19.7 %			100.0 %
20			KB	9.8 %	13.5 %	7.0 %	1.4 %	68.3 %					100.0 %
21	L	Peñuelas	PL-EA	25.4 %	40.3 %	30.5 %	3.8 %						100.0 %
22			PL-EB	39.4 %	32.6 %	28.0 %							100.0 %
23			PL2-EA	46.3 %	26.5 %	24.1 %	3.1 %						100.0 %
24	M	Bosque de Cobos	PM	13.4 %	35.5 %	12.5 %		33.8 %			4.8 %		100.0 %

\* Todas las arcillas como Illita, caolinita, Halloysita.

### 5.6 Caracterización física de los suelos

Los resultados de densidad aparente para las muestras del valle de Aguascalientes muestran de manera general, en donde dos muestras de suelo son las que tienen los valores más bajos y altos en la mayoría de las pruebas.

En la tabla 8 se observa que la muestra PC-EB presenta los valores más altos, con relación a la porosidad y absorción de agua al vacío, así como los valores más bajos de densidad aparente, esto es debido a que dicha propiedad va en relación con la porosidad.

Mientras que la muestra KB presenta características totalmente opuestas, esto se traduce en valores bajos de porosidad y absorción de agua al vacío, así como valores altos de densidad.

La figura 47, nos muestra una gráfica con el comparativo de porosidades, absorción de agua al vacío y densidad entre lo correspondiente a la zona norte de estudio y la zona centro y sur.

Tabla 10: Características físicas generales de las muestras de suelo. Donde los valores más altos se indican con color rojo mientras los valores más bajos se indican con el color azul.

Muestra	Porosidad [%]	Densidad de Matriz (g/cm3)	Densidad Aparente (Bulk)(g/cm3)	Absorción de agua al vacío (prom.%)	Cementante identificado
PA-EA	15.25	2.64	2.23	6.82	Carbonato de calcio
PA-EB	31.14	2.45	1.68	18.49	Arcillas
PA-EC1	32.12	2.43	1.65	19.46	Arcillas/sílice
PA-EC2	39.60	2.38	1.43	27.60	Arcillas/sílice
PC-EB	53.70	2.37	1.10	48.83	Arcillas
PC-EC	31.19	2.39	1.65	18.93	Arcillas
PD	36.34	2.37	1.51	24.06	Carbonato de calcio
PE	43.86	2.44	1.37	32.00	Carbonato de calcio
PG	13.21	2.63	2.28	5.78	Carbonato de calcio
PJ1-A	13.07	2.52	2.19	5.98	Carbonato de calcio
PJ2-A	18.02	2.63	2.16	8.36	Carbonato de calcio
PJ2-B	19.96	2.60	2.08	9.59	Carbonato de calcio
KA	29.11	2.53	1.80	16.21	Arcillas
KB	6.93	2.70	2.51	2.76	Carbonato de calcio
PM	24.16	2.59	1.96	12.30	Carbonato de calcio

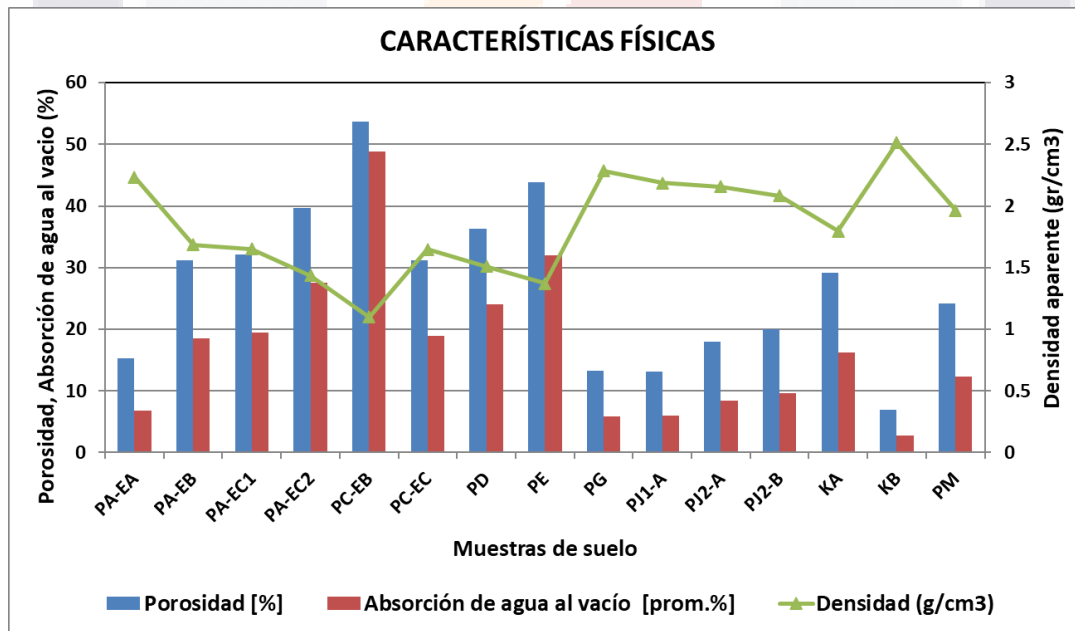


Figura 62: Grafica comparativa de porosidad y absorción de agua al vacío y densidad aparente de las muestras del valle de Aguascalientes.

## CAPITULO VI: DISCUSIÓN

En este capítulo se discuten y comparan los procesos geológicos que se llevaron a cabo para la formación y deposición de los diferentes cementantes encontrados en las muestras analizadas, asociándolos con las propiedades macroscópicas y microscópicas de las muestras tanto físicas como químicas de dichos cementantes.

A nivel macroscópico, algunas características generales que resaltan de las muestras es el hecho de que la mayoría de las muestras analizadas presentan cierto grado de intemperismo, incrustaciones de sustancias negras (posiblemente manganeso), y blancas que rellenan los poros, éstas últimas debido probablemente al proceso de hidromorfismo (saturación del suelo con agua) de acuerdo con lo señalado por (Gama Castro *et al.*, 2007).

Dos de los cementantes más comunes reportados en la literatura son las arcillas y precipitados de carbonato de calcio (*i. e.* Bouza, 2012), los cuales son comunes en suelos de origen pedogenético o edáfico, actuando algunas veces de manera simultánea. Sin embargo, Poch *et al.*, (2013) observaron en algunos horizontes de suelo que cuando el carbonato de calcio estaba ausente como cementante, la presencia de arcilla como cementante era notable. Al igual que en ese trabajo, en el desarrollado en esta investigación difícilmente se encontraron estos dos cementantes interactuando en una misma muestra (salvo por una muestra con cementante de carbonato de calcio, la cual contenía pequeñas cantidades de arcilla con alteraciones).

Benet *et al.*, (1988) señaló que la iluviación de arcilla se inicia una vez alcanzado un buen grado de descarbonatación de los horizontes o estratos superiores (de techo), de igual manera, indica que la materia orgánica tiene un fuerte impacto en la primera etapa de dicho proceso. En este trabajo en particular se observaron columnas estratigráficas con estratos de techo que presentaban cementante arcilloso mediante proceso iluvial, sobreyaciendo a estratos con cementante de carbonato de calcio, y viceversa, columnas estratigráficas con cementantes de calcio en el estrato superior y procesos de cementación por iluviación de arcilla en la base de esta.

En cuanto a la geomorfología y propiedades físicas de los suelos (Zapata-Hernández, 2002) señala que se necesita un alto grado de porosidad para permitir la migración mecánica de arcillas que se encuentran en horizontes superficiales hacia los horizontes profundos. En

este trabajo, las pruebas de porosidad resultaron con valores de (30% a 40%), los cuales se consideran valores relativamente altos, además de que se localizan sobre un relieve llano y/o suavemente inclinado. Estas características se pueden ver reflejadas en los horizontes con tonalidades rojizas en donde se observaron los cementantes arcillosos. Dicho autor también sostiene que los procesos de pedoturbación (alteración o destrucción de las acumulaciones de arcillas), tiene dos posibles causas; siendo una de ellas los cambios de humedad y consecuentes procesos de hinchamiento y contracción. Dichos minerales arcillosos son el resultado final de alteraciones de feldspatos que experimentaron diferenciados o simultáneos tipos de transporte (Por ejemplo: fluvial-ríos, Aluvial-gravedad y eólicos- vientos) según el análisis morfológico e hidrológico, desde la roca madre (riolitas e ignimbritas ubicadas en las partes altas del valle (horst)), hasta las zonas bajas del valle de Aguascalientes.

Observando la distribución de los estratos que cuentan con carbonato de calcio como cementante, se percibe que los que cuentan con una estructura micrítica (Muestras PD, PG, PII, PID) presentan un proceso de formación que está vinculado con la formación de carbonato pedogenético, el cual se está formando a partir de los carbonatos lacustres (por saturación) por procesos de disolución y evaporación (Castorena *et al.*, 1998). Por otro lado, se extrajeron muestras que contaron con los dos tipos de morfologías de cementos de carbonatos de calcio, una es micrítica (de origen "primario", es decir, heredado de la roca madre) y la otra esparíta (de origen "secundario", es decir, desarrollada o formada en el suelo mismo o *in situ*) (Sehgal y Stoops, 1972). Las muestras PJ1-A Y PJ2B, presentan rasgos morfológicos de raíces rellenas, lo que sugiere que el proceso de formación de carbonatos pudo deberse a un proceso combinado, es decir, tanto heredado de la roca madre como por procesos posteriores de formación *in situ*. En muchos casos resulta difícil determinar con certeza el origen de los cementos de carbonato de calcio, sin embargo, para este trabajo se sugiere que, por las características observadas, la mayoría de las muestras han experimentado procesos combinados para generar carbonatos primarios y secundarios. De acuerdo con el análisis morfológico, hidrológico y petrológico, la roca madre está constituida por rocas sedimentarias, las cuales se localizan al noreste del área de estudio. La desintegración de estos minerales de la roca madre y su redepositación en las partes más bajas da como resultado a lo aquí planteado.

Particularmente se puede observar que los cementos de sílice son producto de una recristalización, por lo que se considera un cementante secundario, cuentan además con una textura vidriosa, por lo que se podría asociar con varias alteraciones de cementos de sílice, en cuyo caso podría considerarse un cemento de calcedonia, ya que es un mineral secundario que se forma a partir de la recristalización mediante altas temperaturas (Meyers, 1977), aunque no se puede asegurar, debido a que como se mencionó anteriormente existen una gran infinidad de variantes de cementante de sílice.

Un hecho a resaltar de los resultados de rayos X es que para las muestras PA-EA, PG, y PJ2-A, los difractogramas no detectaron la calcita (carbonato de calcio), así como ningún tipo de carbonato (aragonito), a pesar de que las muestras efervescieron al contacto con ácido clorhídrico, indicando la presencia de carbonato de calcio. Esto pudo deberse al tratamiento que recibe la muestra antes de someterse a difracción de rayos X, y a que la presencia de vidrios volcánicos pudo evitar la detección de los cementantes de carbonato de calcio (Justo y Morillo González, 1999).

A través de la difracción de rayos X se identificaron la presencia de fases minerales como lo son (halloysita, caolinita, ilita), que pertenecen al grupo de las arcillas de filosilicatos, sin embargo, se necesitarían más pruebas de difracción de rayos x (enfocadas únicamente en arcillas), y así poder identificar el tipo de arcilla dominante en los procesos de iluviación que generan cementantes de filosilicatos. Esto debe incluir los tratamientos para eliminar cementantes y componentes amorfos (Justo y Morillo González, 1999).

## CAPITULO VII: CONCLUSIONES

De acuerdo con los estudios realizados y a las muestras analizadas se puede establecer que los principales cementantes observados en la zona de estudio son el carbonato de calcio y las arcillas, seguido por el sílice, el cual se encontró en 4 muestras de suelo y en cantidades sumamente pequeñas, dichos cementes principales no se encuentran de manera conjunta en la mayoría de las muestras (solo por un caso observado).

Cabe mencionar que en este trabajo los valores de porosidad para los suelos con cementantes arcillosos van desde el 30 al 40%, los cuales se consideran relativamente altos. La alta porosidad podría estar favoreciendo la incrustación de arcillas, y que estas a su vez estén actuando como cementantes, los cuales presentan una morfología de envolvimiento de minerales.

La tonalidad rojiza en los estratos de suelo, podría ser producto de un proceso de oxidación, esto a su vez indica que dichos suelos estuvieron expuestos por largos periodos a saturación de agua, este factor es determinante para el proceso de formación de cementantes arcillosos mediante iluviación.

Los cementantes de carbonato de calcio tienen dos morfologías principales micrita y esparíta. La primera se considera un cementante primario y probablemente se produjo debido al transporte de los minerales de calcio a partir de una roca madre proveniente de las partes altas del valle. La segunda morfología es considerada como cementante secundario, ya que su probable formación ocurrió el mismo lugar de depósito (in situ.). En este trabajo se sugiere que la mayoría de las muestras tuvieron morfologías combinadas en la formación de los cementantes de calcio.

Las alteraciones arcillosas (pedoturbaciones), encontradas en las muestras de suelo, nos dan indicios de que el suelo ha estado involucrado en procesos de saturación y desecación, lo que da lugar a una estratigrafía con intercalaciones de los dos tipos de cementantes dominantes en el valle, que son las arcillas y los carbonatos de calcio.

En el caso del cementante de sílice, se encuentra en cantidades muy pequeñas y con una forma vidriosa (sílice amorfo), y presentan morfologías varias, que son esferulitas, y



formas de agujas radiales, lo que nos da indicios de que es un mineral secundario y se encuentra en una etapa de cementación temprana.

## **CAPITULO VII: RECOMENDACIONES.**

- Realizar pruebas de PH en las muestras de suelo, esto con la finalidad de poder correlacionar la cantidad de cementante calcáreo y su proceso de formación, esto porque de acuerdo con Quantin *et al.* (1993), al aumentar el porcentaje de encostramiento calcáreo, aumenta el PH.
- Realizar estudios mediante el microscopio electrónico de barrido, con la finalidad de poder observar con lujo de detalle si los cementantes están teniendo algún proceso de reemplazamiento, disolución, etc.
- Realizar pruebas de difracción de rayos X únicamente a los minerales de fracción arcillosa, ya que esto nos indicara con mejor detalle que tipo de arcillas son las que están actuando como cementante de acuerdo con su disposición posterior a dichas pruebas.
- Análisis granulométrico detallado de la fracción arcillosa, esto con la finalidad de conocer el tamaño de clasto y poder catalogar cual es el tamaño promedio de dicho mineral que está generando la cementación por filosilicatos.

## Referencias

- Acevedo-Sandoval, O., Ortiz-Hernández, E., Cruz-Sánchez, M., Cruz-Chávez, E., y Flores-Castro, K. (2004). Mineralogía, petrografía y micromorfología de horizontes árgicos endurecidos en Luvisoles. *Terra Latinoamericana*, 22(2), 143-151.
- Adams, A., Mackenzie, W., y Guilford, C. (1984). Atlas of Sedimentary Rocks Under the Microscope: Longman Group Limited. *London, England*.
- Aranda-Gómez, J. J. A. (1989). Geología preliminar del graben de Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 8(1), 22-31.
- Arche Miralles, A. (2010). *Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Arribas Mocoroa, J. (1987). Origen y significado de los cementos en las areniscas de las facies Buntsandstein (Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica). *Cuadernos de geología ibérica*, 11, 535-556.
- Arribas Mocoroa, J., y Soriano Carrillo, J. (1984). La porosidad en las areniscas triásicas (Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica). *Estudios Geológicos*, 40, 341-353.
- Bates, R. L., y Jackson, J. A. (1987). *Glossary of geology*. Elsevier Science Pub. Co. Inc., New York, NY. <https://www.osti.gov/biblio/5128638>
- Benet, A. S., Brugués, R. J., y Llonch, E. B. (1988). Micromorfología y Mineralogía de un paleosuelo pleistoceno del Pla de Barcelona. *Acta Geologica Hispanica*, 23(3), 197-207.
- Bjørlykke, K. (1988). Sandstone diagenesis in relation to preservation, destruction and creation of porosity. En *Developments in sedimentology* (Vol. 41, pp. 555-588). Elsevier.
- Bouza, P. J. (2012). Génesis de las acumulaciones de carbonatos en Aridisoles Nordpatagónicos: Su significado paleopedológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69(2), 300-315.
- Brenner, R. L. (1989). *Stratigraphy, petrology, and paleogeography of the upper portion of the Cherokee Group (Middle Pennsylvanian), eastern Kansas and northeastern Oklahoma*. Kansas Geological Survey.
- Brindley, G., y Brown, G. (1980). Quantitative X-ray mineral analysis of clays. *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*, 5, 411-438.
- Brink, S. (1991). *Application of petrographic techniques to assess in situ leach mining potential* (Vol. 9295). US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Burley, S., Kantorowicz, J., y Waugh, B. (1985). Clastic diagenesis. *Geological Society, London, Special Publications*, 18(1), 189-226.
- Castorena, M. del C. G., Stoops, G., y Solorio, C. O. (1998). Carbonato de calcio en los suelos del ex lago de Texcoco. *Terra Latinoamericana*, 16(1), 11-19.
- Chadwick, O., Hendricks, D., y Nettleton, W. (1987). Silica in duric soils: I. A depositional model. *Soil Science Society of America Journal*, 51(4), 975-982.

- Choquette, P. W., y Pray, L. C. (1970). Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *AAPG bulletin*, 54(2), 207-250.
- Clemence, S. P., y Finbarr, A. O. (1981). Design considerations for collapsible soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 107(3), 305-317.
- Díaz, A. I. D., y Govea, D. C. (2009). Las maclas de calcita en los metacarbonatos. Significado tectónico y su empleo para la determinación de temperaturas de deformación. *Minería y Geología*, 25(2), 1-31.
- Dorronsoro, C., y Aguilar, J. (1988). *El proceso de iluviación de arcilla*. 47(1-2), 311-350.
- Flach, K., Nettleton, W. D., Gile, L., y Cady, J. (1969). Pedocementation: Induration by silica, carbonates, and sesquioxides in the Quaternary. *Soil Science*, 107(6), 442-453.
- Folk, R. L. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *AAPG bulletin*, 43(1), 1-38.
- Folk, R. L. (1962). *Spectral subdivision of limestone types*.
- Frenguelli, J. (1955). Loess y limos pampeanos. Universidad Nacional de la Plata. *Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata. Serie Técnica y Didáctica*, 7, 88.
- Gama Castro, J. (2007). Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental: El caso del Glacis de Buenavista, Morelos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 59(1), 133-145. <https://doi.org/10.18268/BSGM2007v59n1a11>
- García-Garmilla, F. G. (1990). Diagénesis de las arenitas: Ejemplos del Cretácico, Terciario y Cuaternario de la zona de Bilbao. *Kobie. Ciencias naturales*, 19, 85-104.
- González-Cervantes, N., Aranda-Gómez, J. J., Carranza-Castañeda, O., y Ortega-Obregón, C. (2019). Edad y origen de la paleocuenca continental de Teocaltiche, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(3), 393-410. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2019.3.1391>
- Gutiérrez-Castorena, Ma. D. C., y Ortiz, C. (1992). CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS ANTROPOGENICOS CON PROBLEMAS DE LABRANZA EN EL EX-LAGO DE TEXCOCO. *Agrociencia*, 3.
- Gutiérrez-Castorena, Ma. D. C., y Ortiz, C. (1999). ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS SUELOS DEL EX LAGO DE TEXCOCO, MÉXICO. *Agrociencia*, 33.
- Gutiérrez-Castorena, Ma. D. C., Stoops, G., y Ortiz, C. (1998). Carbonato de calcio en los suelos del ex lago de Texcoco. *Terra*, 16, 11-19.
- Hernández-Lázcares, D. (1979). *Geología de la región central de Aguascalientes, Aguascalientes, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería*.
- Hernández-Marín, M., González-Cervantes, N., Pacheco-Martínez, J., Frías-Guzmán, D. H. (2015). Discussion on the origin of surface failures in the Valley of Aguascalientes, México. *Proc. IAHS*, 372, 235-238. <https://doi.org/10.5194/piahs-372-235-2015>
- Justo, Á., y Morillo González, E. (1999). *Técnicas de difracción de rayos X para la identificación cualitativa y cuantitativa de minerales de la arcilla*.

- Larsen, G., y Chilingar, G. V. (1979). Introduction-diagenesis of sediments and rocks. En *Developments in Sedimentology* (Vol. 25, pp. 1-29). Elsevier.
- Loza-Aguirre, I., Nieto-Samaniego, A. F., y Alaniz-Álvarez, S. A. (2008). *Relaciones estratigráfico-estructurales en la intersección del sistema de fallas San Luis-Tepehuanes y el graben de Aguascalientes, México central*. 18.
- Manzur, A. (1995). Aspectos genéticos de los suelos presentes en Atum Pampa y Athos Pampa, Sierras Grandes, Córdoba, Argentina. *Unpublished Ph. D. Thesis, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba*.
- Martínez Gamiño, M. A., y Walthall, P. M. (2000). Agentes cementantes en el encostramiento de la superficie de suelos de México y Louisiana, EU. *Terra Latinoamericana*, 18(3), 199-209. Redalyc.
- Meyers, W. J. (1977). Chertification in the Mississippian Lake Valley Formation, Sacramento Mountains, New Mexico. *Sedimentology*, 24(1), 75-105.
- Moore, D. M., y Reynolds Jr, R. C. (1989). *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford University Press (OUP).
- Nieto-Samaniego, Á. F., Alaniz-Álvarez, S. A., y Camprubí í Cano, A. (2005). La Mesa Central de México: Estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 285-318. <https://doi.org/10.18268/BSGM2005v57n3a3>
- Nieto-Samaniego, Á. F., Macías-Romo, C., y Alaniz-Álvarez, S. A. (1996). Nuevas edades isotópicas de la cubierta volcánica cenozoica de la parte meridional de la Mesa Central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(1), 117-122.
- Ocampo-Díaz, Y. Z. E., Guerrero-Suastegui, M., y Jenchen, U. (2012). Petrografía y procedencia del miembro arenoso galeana (Formación Taraises, Valanginiano-Hauteriviano Temprano), sierra madre oriental, NE México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(3), 335-352.
- Palacios Salinas, H.-A. (2010). *Manual para el estudio microscópico de rocas sedimentarias*.
- Pecharsky, V., y Zavalij, P. (2008). *Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials*. Springer Science y Business Media.
- Poch, R. M., Simó, I., y Boixadera Llobet, J. (2013). Benchmark soils on alluvial, fluvial and fluvio-glacial formations of the upper-Segre valley. *Spanish Journal of Soil Science*, 2013, vol. 3, núm. 2, p. 73-94.
- Quantin, P., Arias, A., Etchevers, J., Ferrera, R., Oleschko, K., Navarro, A., Werner, G., y Zebrowski, C. (1993). Tepetates de México: Caracterización y habilitación para la agricultura. *Terra*, 11(special).
- Rabenhorst, M. C., Wilding, L. P., y West, L. T. (1984). Identification of pedogenic carbonates using stable carbon isotope. *Soil Science Society of American Journal*, 48, 125-132.
- Reeves, C. C. (1976). *Caliche: Origin, classification, morphology and uses*. Estacado Books.

- Reeves Jr, C. (1970). Origin, classification, and geologic history of caliche on the southern High Plains, Texas and eastern New Mexico. *The Journal of Geology*, 78(3), 352-362.
- Rinaldi, V., y Santamarina, J. (2008). Cemented soils: Small strain stiffness. *Deformational Characteristics of Geomaterials*, 1, 267-273.
- Rinaldi, Víctor A, Clariá, J. J., y Capdevila, J. (2007). Consideraciones experimentales a nivel microestructural en la generación de modelos constitutivos para suelos loéssicos parcialmente cementados. *Mecánica Computacional*, 26, 2832-2849.
- Rinaldi, Victor A, y Santamarina, J. C. (2003). Cemented soils: Behavior and conceptual framework. *Reporte Especial. Georgia Institute of Technology. Atlanta. USA.*
- Sehgal, J. L., y Stoops, G. (1972). Pedogenic calcite accumulation in arid and semi-arid regions of the Indo-Gangetic alluvial plain of erstwhile Punjab (India)—Their morphology and origin. *Geoderma*, 8(1), 59-72.
- Torrence, M., Germaine, J., Zhang, G., y Whittle, A. (2003). A simple sample-mounting method for random powder X-ray diffraction. *Clays and Clay Minerals*, 51(2), 218-225.
- Tucker, M. E., y Wright, V. P. (2009). *Carbonate sedimentology*. John Wiley y Sons.
- Worden, R., y Burley, S. (2003). Sandstone diagenesis: The evolution of sand to stone. *Sandstone diagenesis: Recent and ancient*, 4, 3-44.
- Zapata Hernández, R. D. (2002). Química de los procesos pedogenéticos del suelo. *Facultad de Ciencias*.
- Zebrowski, C. (1992). Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. *Terra*, 10(especial).

**ANEXOS**

Anexo A) Muestras Macroscópicas

Anexo B) Difractogramas de Rayos X



## **Anexo A) Muestras macroscópicas**

### **Muestra PA-EA**

La matriz rocosa está conformada principalmente por arena limosa de color pardo, cuenta con un 5% aproximadamente de líticos de color negro (manganeso), además, la matriz arenosa posee una aproximadamente un 10% de grava pequeña (gravilla), lo que nos indica que muy probablemente proviene de un ambiente fluvial y aluvial, además de que las arcillas tienen un transporte eólico, (presenta pequeñas manchas rojas que indican oxidación, 3%). Presenta un grado de meteorización bajo.

### **Muestra PA-EB**

Arenisca de color gris y pardo (presenta una división de colores), roca sedimentaria detrítica con dureza de 3 en la escala de Mohs y tiene un grado de meteorización medio, cuenta con un grado de cohesión de medio a bajo.

### **Muestra PA-EC1 Y PA-EC2**

La matriz rocosa cuenta con un color rojizo pardo producto de la oxidación y procesos argílicos, cuenta con una gran cantidad de minerales de color negro con brillo opaco (manganeso), y una meteorización alta (cuenta además con una estructura medianamente laminar).



### Muestra PB

Muestra de color rojizo, conformada por arenas finas y limos lo que nos indica la presencia de minerales con hierro, cuenta con demasiados poros, incluso hasta oquedades de radio considerable (0.5 a 1 mm), es un material muy deleznable y se disuelve con el agua.



### Muestra Icnofósil

Es una roca que cuenta con una dureza muy alta considerando que es liviano además de tener una resistencia considerable, cuenta además con varias oquedades por lo que es catalogado como un icnofósil.



### Muestra PC-EA

Es una muestra de suelo que tiene un color pardo claro, conformada por arenas finas y limos con pequeñas intercalaciones o decoloraciones grises, homogéneo, medianamente consolidado, cuenta con líticos rojos, negros (manganeso) y blancos.



### Muestra PC-EB

Es un estrato blanquecino bien consolidado, no cuenta con porosidad visible, cuenta con microcristales (3-5%) de la muestra, además de contar con unas betas naranjas, es un suelo limoso de posible ambiente eólico.





### Muestra PC-EC

Muestra color pardo claro, conformada por arenas finas y limos, es poroso, intemperizado, cuenta con lentes de clastos subredondeados bien clasificado, tiene líticos negros, rojos y blancos, En la parte basal del estrato cuenta con lentes de grava, y en la parte superior cuenta con un contacto erosional debido a la intemperie.



### Muestra PD

Muestra de suelo de color pardo oscuro, cuenta con pequeñas vetas que son de color blanco (cementante), (tiene las características de un tepetate), ambiente de transporte eólico.



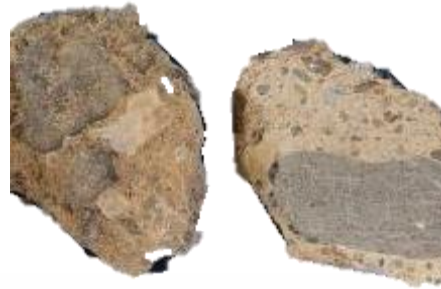
### Muestra PE

Muestra de color rojizo (muestra evidencias de oxidación), contiene partes con arcilla de color gris, además líticos de color negro (manganeso), cuenta con clastos subredondeados que nos indican un ambiente de transporte eólico /fluvial.



Muestra PG

Muestra con matriz arenosa de color pardo claro, que cuenta además con clastos de diversas granulometrías (desde 5 o 6 cm hasta 0.4 cm, aproximadamente), es prácticamente un conglomerado polimíctico (prácticamente es una roca considerando la compactación y dureza que se observa).



Muestra PID

Muestra de matriz arenosa fina de color blanco, cuenta con una laminacion paralela en los que se observan láminas de color rojizo, pardo claro, y pardo oscuro, y presenta un grado de meteorización alto.



Muestra PII

Muestra de matriz arcillosa de color rojizo, se pueden manchas de color negro con brillo opaco(manganeso), cuenta con clastos angulosos lo que nos indica un ambiente de formación fluvial.



Muestra PJ1-A

Muestra de color blancecino conformada por arenas finas y limoso, presenta varios nodulos o concreciones (planos de debilidad), se puede observar una porosidad considerable.



Muestra PJ1-B

Estrato conformado por una matriz arenosa con nulo grado de litificación, muy deleznable, la cual presenta una, además de conglomerados subredondeados de tamaño aprox. 1 a 2 mm. (que aumentan conforme se acerca al arroyo). Se muestran indicios de varias paleo corrientes, además de ciertas microfracturas dentro del mismo estrato.



Muestra PJ1-C

Estrato conformado por limos, muy deleznable, al parecer es una ceniza volcánica de color blanco que tiene intercalaciones de color amarillo, que al parecer son coloraciones de azufre.



Muestra PJ2-A

Estrato que está conformado de una matriz de arenas finas arcillas y limos de color pardo claro, cuenta con una porosidad importante, tiene un grado de litificación y dureza de Mohs considerables.



Muestra PJ2-B

Estrato que está conformado por una matriz arcillosa pardo claro, cuenta con un grado de consolidación, litificación y dureza muy altos, es interesante observar las diferentes tonalidades de pardo que se observan al interior de la muestra.



**Muestra KA**

Muestra de matriz arcillosa de color rojizo, debido a una oxidación, también se pueden observar manchas de color negro con brillo opaco(manganeso), se observan también clastos subredondeados lo que nos indica un ambiente de formación eólico/fluvial.



**Muestra KB**

Nódulo de 15 a 30 cm de altura y 10 a 15 cm de diámetro, cuentan con vetas de calcita que rellenan las porosidades, es una muestra completamente litificada, cuentan con un gran contenido de calcio, además de una alta cantidad de minerales como el cuarzo en el interior (cabe señalar que los nódulos se encontraban dentro de una matriz arenosa con un alto grado de meteorización).



**Muestra PL-EA**

Muestra de suelo con una matriz arcillosa de color amarillento, cuenta con manchas de color negro (manganeso), es un suelo deleznable y muy poroso, de origen volcánico-clástico.



**Muestra PL-EB**

Es una muestra de suelo muy similar a la anterior, Muestra de suelo con una matriz arcillosa de color amarillento, cuenta con manchas de color negro (manganeso), es un suelo deleznable y muy poroso, de origen volcánico-clástico.



### Muestra PL2-EA

Es una muestra de suelo de color blanquecino, que cuenta con algunos clastos del tamaño de gravas (Wentworth), es un suelo deleznable y poroso.



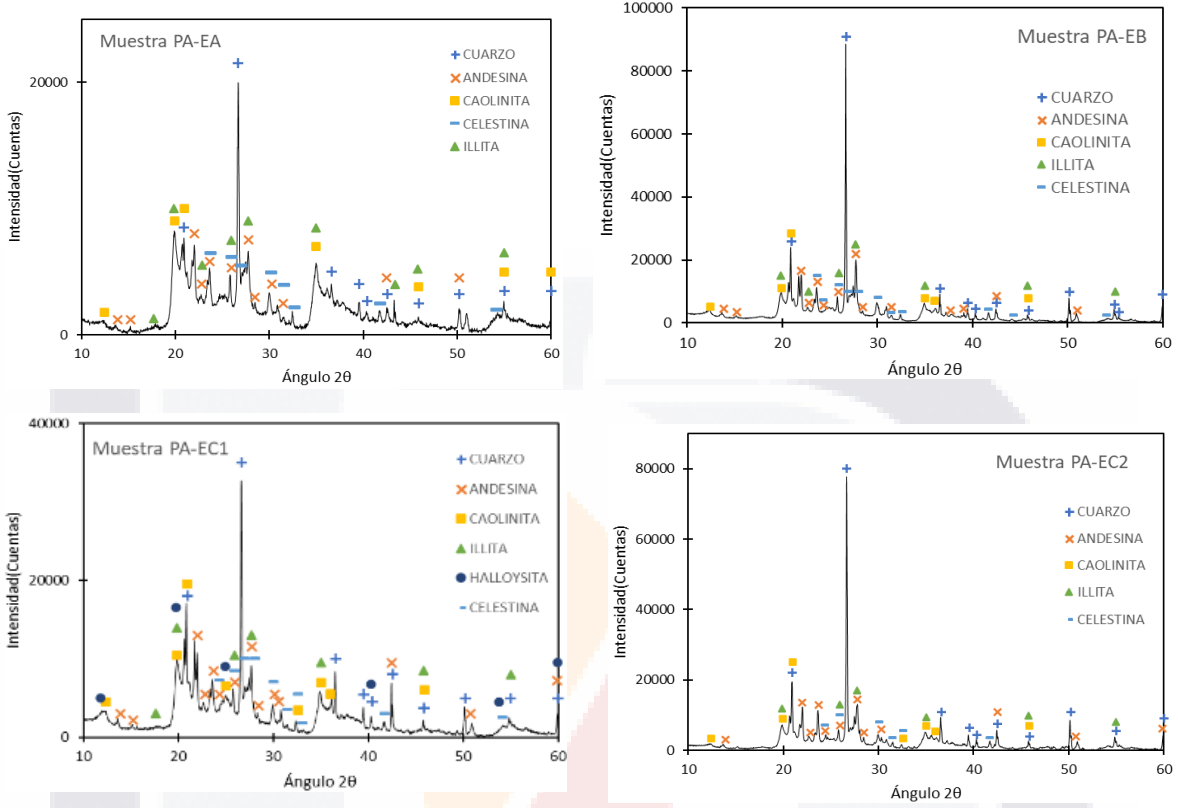
### Muestra PM

Muestra conformada por una matriz arcillosa de color pardo claro, la cual cuenta con un grado de litificación alto, es un suelo de transporte fluvial o aluvial.

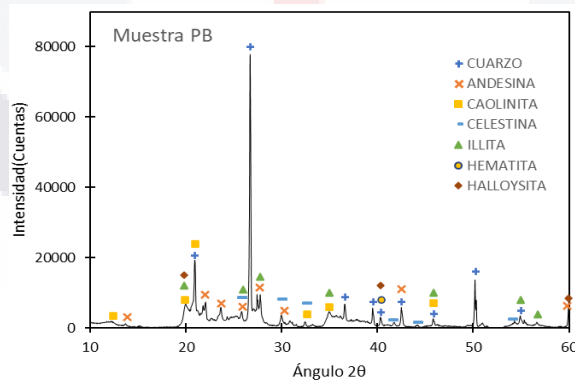


**Anexo B) Difractogramas de Rayos X.**

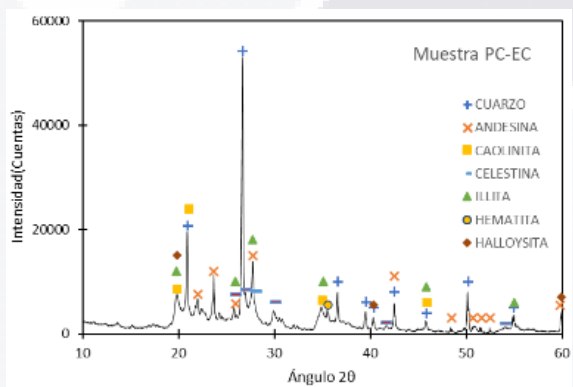
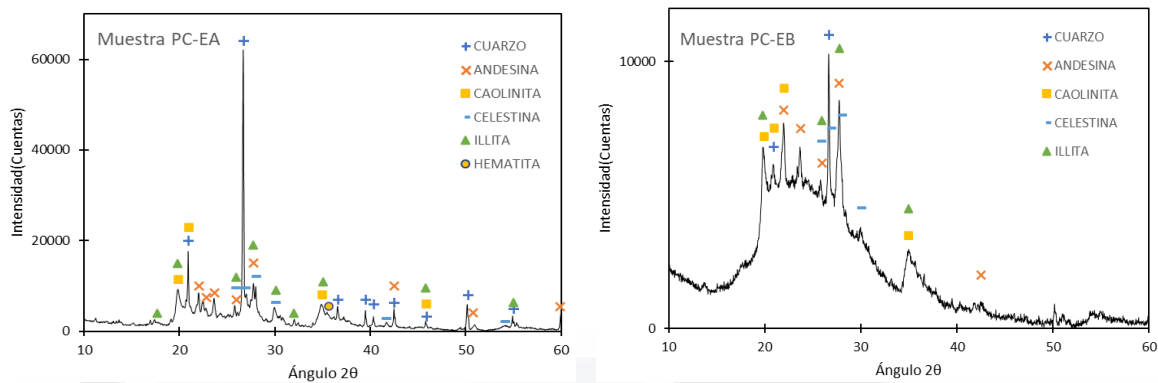
**Punto A: La Palmilla**



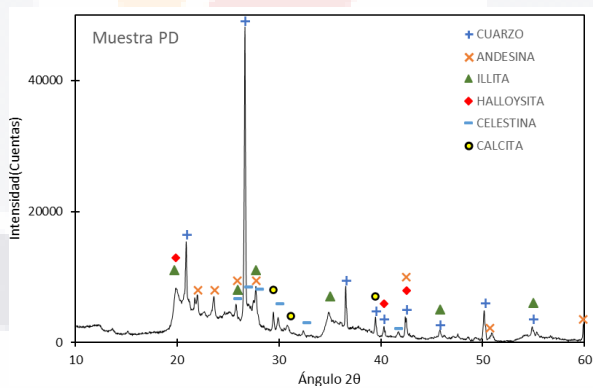
**Punto B: El Águila**



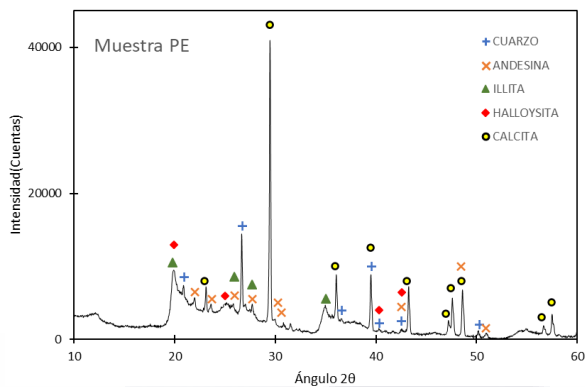
Punto C: Ojo Zarco



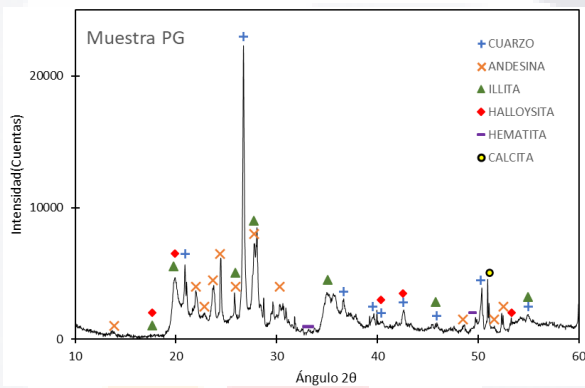
Punto D: Santiago



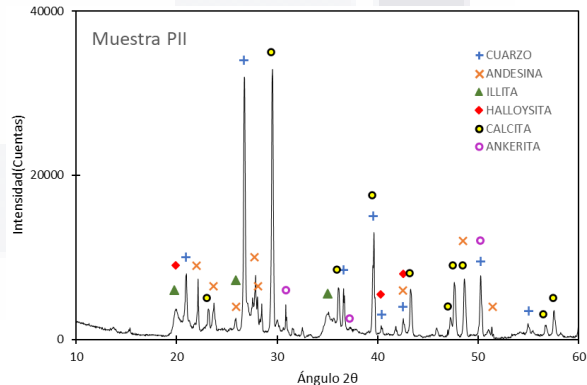
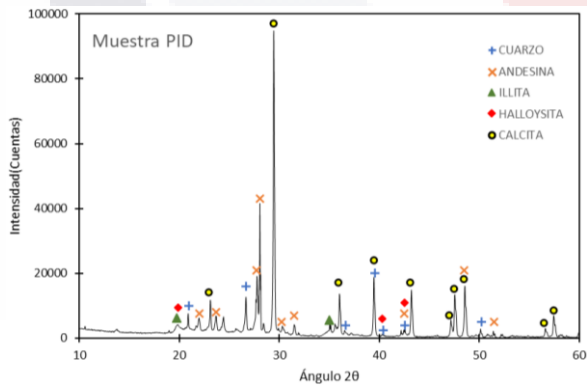
Punto E: Pabellón



Punto G: José María Morelos.

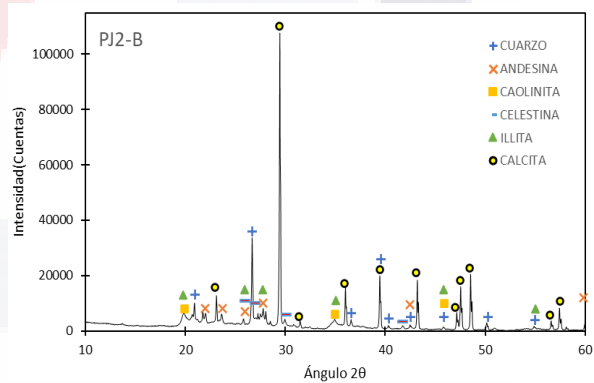
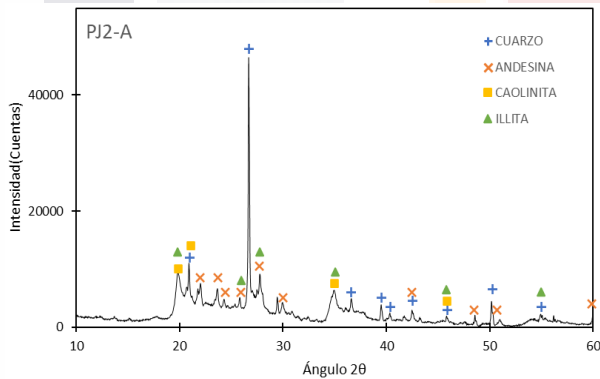
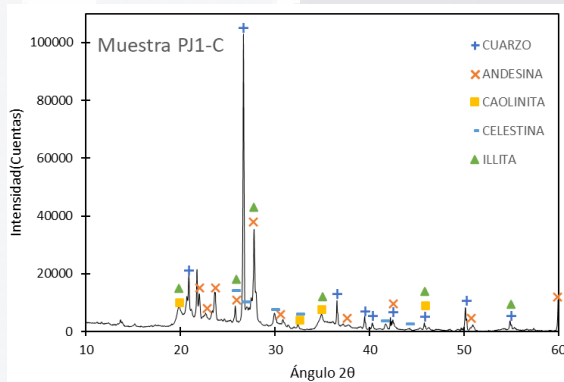
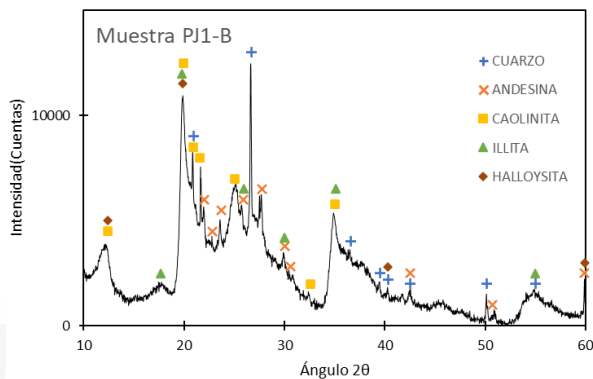
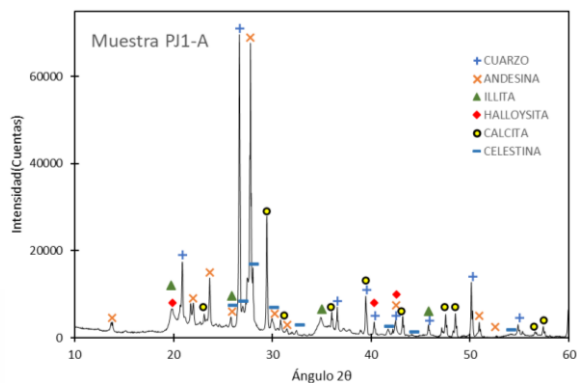


Punto I: San Marcos

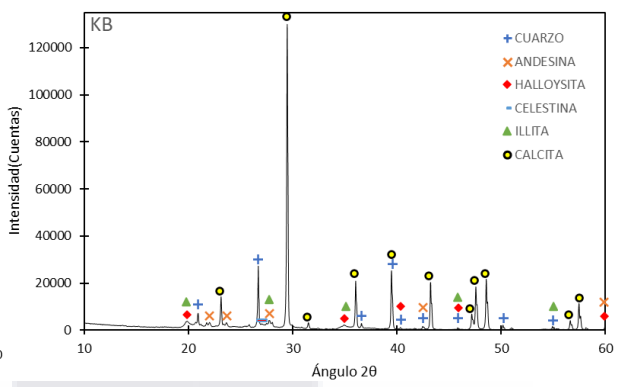
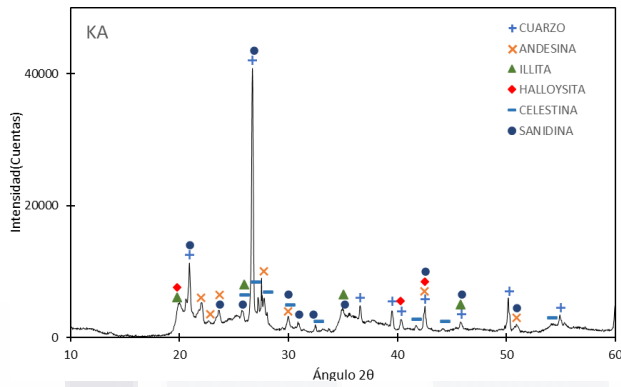




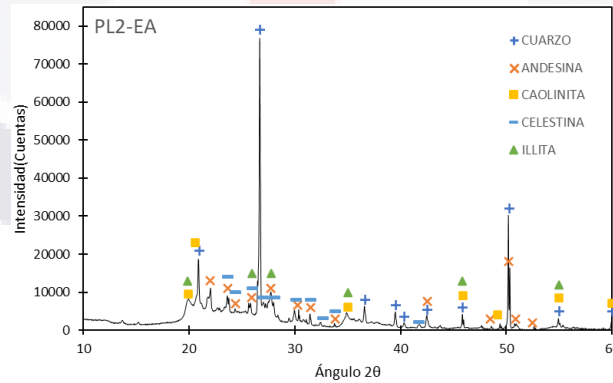
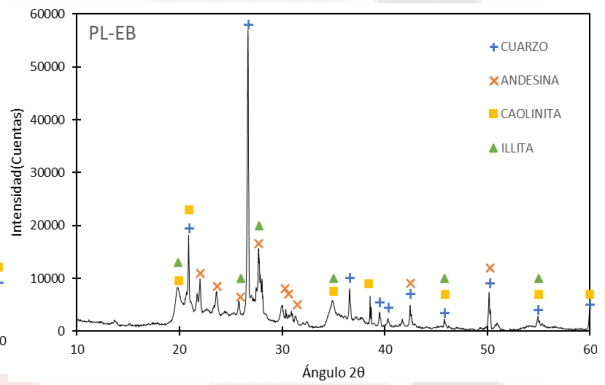
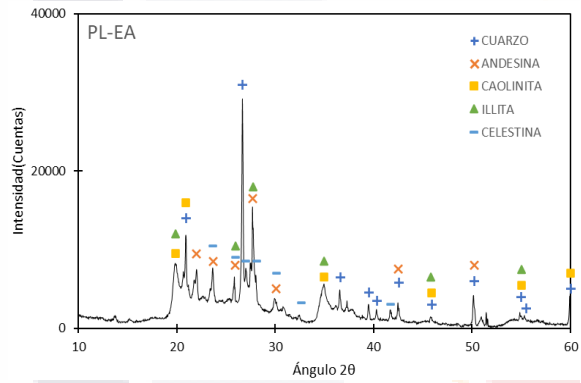
Punto J: Vistas del Sauz



Punto K: Independencia



Punto L: Peñuelas



Punto M: Bosque de Cobos.

