



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Divulgación de la Ciencia a partir del
estudio del origen de los colores de la
tierra en el Geoparque Global UNESCO
Mixteca Alta.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN
CIENCIAS DE LA TIERRA

P R E S E N T A:

DIANA SAMANTHA SALGADO ORTIZ

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. SILKE CRAM HEYDRICH



Ciudad Universitaria, CD. MX., 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la DGAPA por su apoyo con el proyecto PAPIME clave PE216218, “La diversidad de los colores de la Tierra como una estrategia para la enseñanza de las Geociencias”. El cual también ha sido parte del proyecto Mixteca Alta.

A mis sinodales, el Dr. Carles Canet, la Dra. Irama Núñez, la M. en C. Pilar Fernández y la M. en C. Oralia Oropeza quienes amablemente aceptaron revisar este trabajo y cuyas acertadas observaciones me permitieron mejorar la tesis para su versión final.

A la Dra. Silke, quien me permitió conocer el geoparque e involucrarme en diferentes actividades relacionadas con este increíble sitio y quien me asesoró durante el presente trabajo y a su vez fue muy comprensiva en los momentos complicados a través del desarrollo de este. A todos los involucrado en este proyecto, tanto miembros del Instituto de Geografía como habitantes del geoparque quienes me abrieron sus puertas para conocer su experiencia en el desarrollo del proyecto.

A la Dra. Lucy Mora, la Quim. Patricia Girón, el M. en I. Gustavo Gutiérrez y el M. en C. Víctor Dávila, quienes me apoyaron en el tratamiento y análisis de mis muestras en el Instituto de Geología.

A mis padres, cuyo apoyo a lo largo de mi vida académica me ha llevado a culminar con éxito mis estudios hasta este punto. A mis hermanos, Víctor y Luis, quienes también me apoyaron en este camino. A Liz y mis sobrinas Luna y Liany, quienes han hecho más grande a mi familia y la han llenado de alegría.

A todos mis amigos. Rubi con quien he crecido y ha estado para mí en estos 20 años de amistad. A Coorl quien también ha estado en los buenos y malos momentos. A todos los terrólogos que me brindaron su amistad, compañerismo y momentos de aprendizaje a lo largo de la carrera: Zyanya, Álex, Jacobo, Aaron, Aura, Ale, Sara, Dany, Malí, Pawwis quien siempre estará en nuestro corazón, el fabuloso equipo osho: Ari, Morita y Marito, un agradecimiento especial a este último cuya invitación me permitió presentar el cortometraje documental de este trabajo en la tierra del Sol naciente y cuyo apoyo y cariño ha sido importante para culminar con este trabajo.

Finalmente, quiero agradecer a la UNAM, quien se volvió mi segunda casa por 7 años, desde la ENP 6 hasta la Facultad de Ciencias, al igual que la ENAC y la Filmoteca que me han permitido formarme en mi pasión como creadora de material audiovisual.

Índice

Lista de Figuras	1
Lista de Tablas	2
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO 1. DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA	8
1.1 ¿Qué es la ciencia?	8
1.1.1 Las Ciencias de la Tierra.....	10
1.2 Divulgación de la Ciencia	11
CAPÍTULO 2. COLOR	15
2.1 ¿Qué es el color?	15
2.2 Caracterización del color.....	16
2.3 Uso de pigmentos minerales en el arte.....	18
2.4 El color como un indicador	20
2.5 El ciclo de las rocas.....	21
CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO	23
3.1 Ubicación	23
3.2 Características generales del geoparque.....	24
3.3 Formación Yanhuitlán.....	35
3.4 Metamorfismo de contacto.....	38
CAPÍTULO 4. MÉTODO	43
4.1 Muestreo.....	43
4.2 Caracterización del color.....	51
4.3 Petrografía.....	51
4.4 Difracción de Rayos X.....	52
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
5.1 Caracterización de los sedimentos de la Formación Yanhuitlán.....	54
5.2 Caracterización del metamorfismo de contacto.....	59
CAPÍTULO 6. USO DE LA INFORMACIÓN PARA LA DIVULGACIÓN DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA	69
6.1 Fichas técnicas para los guías.....	69
6.2 Taller pintando con los colores de la Tierra.....	72
6.3 Cortometraje documental “Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta”.....	74

CONCLUSIONES	76
LITERATURA CITADA	78
ANEXOS	85
Anexo 1. Difractogramas	85
Anexo 2. Interpretación de los difractogramas.	102
Anexo 3. Guion descriptivo del cortometraje documental.....	111

Lista de Figuras

Figura 2.1. Región visible del espectro electromagnético (fuente: Domínguez, 2012).

Figura 2.2 Tabla de Color Munsell, nombres de colores para combinaciones de matiz, claridad y pureza (fuente: Chesworth, 2008).

Figura 2.3. a, Azul egipcio en “Hunting Birds in a Papyrus Thicket”, b, azul egipcio. Pintura de pared de la tumba de Nebamun, 8° Dinastía (1567-1320 a.C.), Thebes (fuente: British Museum, Londres).

Figura 3.1. Ubicación y Territorio del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (fuente: Rosado, 2016).

Figura 3.2. Distribución de climas en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (fuente: elaboración propia).

Figura 3.3. Regiones hidrológico-administrativas y ríos en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (fuente: Romero, 2018).

Figura 3.4. Mapa geológico y configuración de los terrenos tectonoestratigráficos del estado de Oaxaca (fuente: Centeno, 2004).

Figura 3.5. Columna estratigráfica del GMMA (fuente: Ferrusquía, 1970 y Santamaría, 2009).

Figura 3.6. Cartografía geológica del GMMA (fuente: Santamaría, 2009).

Figura 3.7. Formación Yanhuatlán (fotografía: Ricardo Garnica, Dron).

Figura 3.8. Formas erosivas (fotografía: Felipe D. Guzmán).

Figura 3.9. Diagrama de una aureola de contacto debido a metamorfismo por un cuerpo plutónico (fuente: Carter, (s/a))

Figura 3.10. Ejemplo de una aureola de contacto con facies de corneana (fuente: Strekeisen, 2018).

Figura 3.11. Diques atravesando la formación Yanhuatlán (fotografías: Ricardo Garnica, Dron).

Figura 4.1 Localización de los sitios de muestreo.

Figura 4.2 Sitios de muestreo en la Formación Yanhuatlán.

Figura 4.3 Puntos de muestreo del cuerpo intrusivo en Camino a Marcos Pérez 1 (CMP 1)

Figura 4.4 Puntos de muestreo del cuerpo intrusivo en Camino a Marcos Pérez 2 (CMP 2)

Figura 4.5 Puntos de muestreo del cuerpo intrusivo en San Pedro Añañe (SPA)

Figura 4.6. Diagrama de las partes fundamentales de un difractor (fuente: Malgrejo, 2010).

Figura 5.1 Mineralogía observada en DRX para los sitios de “Las Conchas” y “Las Cucharas”.

Figura 5.2 Mineralogía observada en DRX para los sitios de “CMP1”, “CMP2” y “SPA”.

Figura 5.3 Lámina delgada de la zona B1 para el sitio CMP1.

Figura 6.1 Ficha técnica para la Formación Yanhuatlán.

Figura 6.2 Ficha técnica para la presencia de diques.

Figura 6.3 Talleres impartidos de “Pintando con los colores de la Tierra”.

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Propuesta de glosario de términos relacionados con la divulgación de acuerdo con Sánchez & Sánchez, (2003).

Tabla 3.1 Sistemas geológicos presentes en el Geoparque Mixteca Alta Fuente: Ferrusquía, 1970 y Santamaría, 2009.

Tabla 3.2 Tipos de metamorfismo.

Tabla 4.1. Relación de muestras recolectadas de la Formación Yanhuatlán.

Tabla 4.2. Relación de muestras recolectadas de metamorfismo de contacto.

Tabla 5.1 Colores de las muestras de la Formación Yanhuatlán.

Tabla 5.2 Láminas delgadas de la Formación Yanhuatlán.

Tabla 5.3 Colores de las muestras en los sitios de metamorfismo de contacto.

Tabla 5.4 Láminas delgadas de Láminas delgadas de las muestras tomadas en los sitios de contacto con los diques CMP1, CMP2 y SPA.

RESUMEN

En el presente trabajo se lleva a cabo la caracterización de algunos de los colores más representativos de algunas formaciones geológicas del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta como lo son la Formación Yanhuitlán y las zonas alteradas de dicha formación por cuerpos magmáticos hipabisales. Para realizar la caracterización fue necesaria la descripción de los sitios en campo al igual que la toma de muestras para identificar su color respecto a una base (Tabla de color Munsell). A las muestras tomadas se les realizó un análisis de petrografía y difracción de rayos X para determinar su mineralogía. A partir de los resultados y la bibliografía consultada se llevó a cabo la descripción de los procesos que dieron lugar a los diferentes colores de las muestras. Finalmente, los resultados obtenidos se emplearon para la propuesta de actividades de divulgación de las Ciencias de la Tierra como talleres, fichas técnicas y la elaboración de un cortometraje documental.

Palabras clave: divulgación de la ciencia, color, mineralogía, procesos geológicos.

INTRODUCCIÓN

En 2017 el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) en conjunto con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) llevaron a cabo la Encuesta sobre la Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología en México (ENPECYT). En dicha encuesta es posible obtener información respecto a cómo los mexicanos ven y comprenden las actividades relacionadas con la ciencia y la tecnología.

A grandes rasgos, la mayor parte de la población encuestada (90%) está de acuerdo en que debe existir un mayor apoyo para la ciencia e investigación en el país; sin embargo, el 8.4% asegura que tiene un gran interés en la ciencia, en contraste con un 25% que tiene un nulo interés por estos temas. De igual forma, los lugares culturales y de diversión más frecuentados: la Semana Nacional de Ciencia y Tecnología, los planetarios y las exposiciones tecnológicas reciben una asistencia del 6.9%, 10.9% y 13.1% del total de encuestados, respectivamente (“El 90% de mexicanos apoya”, 2018).

Ante este escenario, es importante que la ciencia sea vista como algo que forma parte de nuestra vida cotidiana y que puede ayudarnos a comprender nuestro entorno y no sólo como una materia más a lo largo de la educación básica. Es por ello que la divulgación de la ciencia puede desempeñar un papel importante en modificar la percepción que tienen las personas respecto a estos temas y la utilidad que pueden tener en su vida.

Los Geoparques Mundiales UNESCO tienen la finalidad de proteger y promover el patrimonio geológico de un área geográfica. El manejo de los geoparques tiene un enfoque “bottom-up”, es decir, que las comunidades locales son alentadas para que se involucren de manera activa en el manejo de los proyectos mediante la toma de decisiones al igual que en el desarrollo de actividades que permitan cumplir con los propósitos de conservación y geoturismo responsable, al igual que en la generación de actividades económicas sustentables (UNESCO, 2016).

Existen 10 principales áreas de enfoque en los Geoparques Mundiales UNESCO, de las cuales me gustaría destacar 2 para el presente trabajo: *educación* y *ciencia*. Es un

prerrequisito para los geoparques que desarrollen actividades de educación formal e informal para todas las edades, en las cuales se promueva el patrimonio geológico y su relación con los aspectos naturales y culturales del área en la que se encuentran. Por otro lado, los geoparques deben colaborar con instituciones de investigación científica que permitan ampliar el conocimiento de la Tierra y sus procesos, de tal forma que “los geoparques no son un museo, si no un laboratorio activo donde las personas se ven involucradas en la ciencia desde el más alto nivel académico hasta el nivel de un visitante curioso” (UNESCO, *op. cit.*). Los geoparques son, entonces, sitios ideales para la divulgación de las Ciencias de la Tierra.

El Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (GMMA), en el estado de Oaxaca, México, se caracteriza por la gran diversidad de formas del relieve que en él se presentan, al igual que por la relación que ha existido entre los habitantes de la zona y el medio físico que los rodea.

Los diferentes colores presentes en la tierra son de las características más llamativas de la región Mixteca, y resalta las formaciones presentes en el sitio, dicha característica podría promoverse como atractivo para el turismo. De la misma manera, es una propiedad aprovechable para la divulgación científica, ya que es el producto y reflejo de procesos particulares que le han dado origen.

Para fines del presente trabajo se le llamara “colores de la tierra” a aquellos pigmentos provenientes de compuestos inorgánicos “de cualquier suelo, arcilla, roca o mineral que produce un polvo con color y la capacidad de teñir” (Watts, 2017 pp: 664). Algunos de los principales usos etnográficamente documentados de estos pigmentos o colores de la tierra fueron para pinturas corporales, cosméticos, decoración de artefactos rituales, herramientas y utensilios, al igual que pintura de rocas, lo cual puede rastrearse a lo largo del Pleistoceno tardío y el Holoceno (Siddall, 2018; Watts, 2017).

En el caso de México el uso de colores o pigmentos naturales ocurre desde la época prehispánica, posteriormente el uso de dos de estos pigmentos se daría a conocer en otras partes del mundo, el azul añil extraído de la planta *Indigofera suffruticosa* y el rojo del insecto grana cochinilla (*Dactylopius coccus*). Los colores utilizados durante la época prehispánica

estaban asociados a un cierto simbolismo dependiendo de la cultura que los empleaba; en el caso de los mexicas, así como en muchas otras culturas, el color azul representaba al agua y a los dioses asociados a ella, el amarillo representaba la luz de las estrellas y el negro a lo nocturno (Guzmán y Rodríguez, 2011; Martí, 1960).

El GMMA fue nombrado como tal en el año 2017, dicha designación se tiene durante un periodo de 4 años después de los cuales se lleva a cabo un proceso de reexaminación para determinar si el sitio conservará o no la categoría de Geoparque Mundial. Al tratarse de un geoparque nuevo, hay mucho trabajo que hacer para promover la importancia geológica y cultural del lugar. Es por ello que las actividades de investigación que se realicen en el geoparque serán importantes para la reevaluación de la UNESCO.

El estudio propuesto buscará conocer cuál es la relación entre el color y los procesos geológicos que han ocurrido en el sitio, partiendo de una caracterización mineralógica de materiales geológicos de colores representativos de lugares en el geoparque. Una vez teniendo estos resultados se tendrá la base del conocimiento científico para la propuesta de actividades de divulgación a implementar, tanto en el GMMA como en otros lugares, que permitan resaltar y promover el patrimonio geológico de esta bella y compleja región.

Partiendo del enfoque “bottom-up” que caracteriza a estos proyectos, algunos de los habitantes de la región han sido capacitados como guías, de tal forma que se busca complementar sus saberes locales con la información científica pertinente del sitio. Los guías son una de las fuentes principales de información que tienen los visitantes del geoparque, debido a esto uno de los principales productos de divulgación será dirigido a los guías como material de apoyo para sus recorridos.

Durante la realización del presente trabajo se abrió una convocatoria para participar en la 8th Global Summit of the World Student Environmental Network (Cumbre global de la red mundial ambiental de estudiantes), dentro de la cual se debía presentar una propuesta de un trabajo en el que un estudiante esté involucrado relacionado con el medio ambiente y la sustentabilidad. Debido a mi gran interés por la realización de productos audiovisuales envié

una propuesta de un cortometraje documental en donde se muestre a grandes rasgos las características y el propósito del GMMA.

Dicha propuesta fue aceptada por lo que el documental se realizó durante el mes de agosto de 2018 bajo mi dirección y con el apoyo de algunos investigadores al igual que habitantes del geoparque. El producto fue presentado en la universidad de Doshisha, en Kioto, Japón. Debido a su buena recepción, también fue presentado como propuesta para las Jornadas de Patrimonio Cultural y Natural Ñuu Savi del 14 al 17 de noviembre de 2018 en el Museo del Ex Convento Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

Parte del contenido de dicho trabajo audiovisual está respaldada en los capítulos esta tesis, es por ello que se ha considerado como uno de los productos de divulgación resultado del presente trabajo.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Caracterizar algunos de los colores de la tierra más representativos presentes en el GMMA como apoyo a la divulgación de las Ciencias de la Tierra.

Objetivos particulares:

- Describir los colores y la mineralogía de la roca en diferentes estratos de la Formación Yanhuitlán (40.5 ± 1.7 Ma)
- Describir el proceso de metamorfismo de contacto con base en los colores y la mineralogía en tres zonas del geoparque dónde afloran cuerpos magmáticos hipabisales (diques) en la Formación Yanhuitlán.
- Hacer una propuesta para la utilización de la información para la divulgación de las Ciencias de la Tierra.

CAPÍTULO 1. DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

1.1 ¿Qué es la ciencia?

Existen numerosas definiciones para la ciencia. Etimológicamente ésta quiere decir “conocimiento”. Pérez (1989) propone la siguiente definición: “La ciencia es una actividad humana creativa cuyo objetivo es la comprensión de la naturaleza y cuyo producto es el conocimiento, obtenido por medio de un método científico organizado en forma deductiva y que aspira a alcanzar el mayor consenso posible”. La labor científica además de la generación de conocimiento consiste en una forma crítica de pensar y ver al mundo

Bunge (1959) presenta la división entre ciencias formales y ciencias fácticas. Las primeras hacen referencia a enunciados formales y las relaciones que tienen entre signos de tal forma que utilizan a la lógica para demostrar sus teoremas. Las ciencias fácticas, por otro lado, hacen referencia a sucesos y procesos que se adecúan a hechos perceptibles. De igual forma la *racionalidad* y la *objetividad* son dos de los rasgos esenciales de las ciencias naturales y sociales.

Pérez (1989) propone seis componentes principales de la ciencia:

- I. Actividad humana creativa: hacer ciencia involucra el observar el mundo que nos rodea, pero también tener la capacidad de “imaginar” y plantear modelos e hipótesis que permitan explicar lo que está ocurriendo.
- II. Comprensión de la naturaleza: la ciencia tendrá como principal objetivo una explicación de la realidad a partir de la racionalidad humana.
- III. Conocimiento: será el producto obtenido a partir de la observación de los fenómenos a estudiar, éste es de carácter teórico, inacabado y siempre estará en continua transformación.
- IV. Método Científico: es un proceso conformado por una serie de pasos sistemáticos y reproducibles que permitirán la generación de conocimiento, el cual puede o no dar lugar a leyes o teorías y parte de la observación del entorno.

- V. Deducción: es una derivación de lo general a lo particular, a partir de esto se pueden hacer predicciones de hechos específicos a partir de principios generales o leyes.
- VI. Consenso generalizado: es necesaria la discusión y aprobación del conocimiento por parte de un público con la formación adecuada en el campo de estudio de interés. Por lo tanto, la ciencia cuenta con un carácter social importante.

Complementando la idea del método científico, Bunge (1959, pp: 41-42) propone los siguientes componentes como parte de dicho método:

- Planteamiento del problema.
- Construcción de un modelo teórico.
- Deducción de consecuencias particulares.
- Prueba de las hipótesis.
- Introducción de las conclusiones en la teoría.

Por otro lado, Chalmers (1976) menciona que toda creación de conocimiento científico ocurre siempre en un contexto social de tal forma que se relaciona con otras prácticas que no necesariamente persiguen los mismos propósitos como pueden ser las metas profesionales de los científicos, las finalidades de las instituciones que otorgan financiamientos, los intereses ideológicos de grupos políticos, etc.

Conforme la ciencia ha avanzado a lo largo de los años su relación con la sociedad se ha vuelto más estrecha. Hace algunos siglos se creía que la ciencia “resolvería los problemas de la sociedad”, si bien hay problemas que se han agravado, como la degradación ambiental, la ciencia nos ha permitido comprender a mayor detalle los elementos involucrados en las problemáticas, de igual forma, actualmente se reconoce que una sola disciplina no dará solución a una problemática, sino que mientras más se encuentren conectadas las diferentes áreas científicas y sociales es mejor (Latour, 2003).

1.1.1 Las Ciencias de la Tierra

Dentro de las diferentes áreas de interés de la ciencia, las Ciencias de la Tierra son un conjunto de disciplinas que tienen como finalidad el estudio del Planeta Tierra, y su interacción con el Sol y cuerpos del Sistema Solar, así como la evolución de los seres vivos que habitan en éste.

Para facilitar su estudio, la Tierra puede ser dividida en esferas que comprenden a los sistemas: agua, aire, rocas, y biota. Dichas esferas son respectivamente: hidrósfera, atmósfera, litósfera, biósfera y la que resulta de la interacción de éstas, la edafósfera.

La hidrósfera comprende a toda el agua líquida del planeta, el hielo de las regiones polares y los glaciares, el agua en la capa superior del suelo y las pequeñas cantidades de vapor de agua en la atmósfera de la Tierra (Araya, 2005). Por otro lado, la atmósfera es una capa gaseosa que recubre al planeta Tierra y que ha variado en su composición y forma durante las épocas geológicas, sus principales componentes son el nitrógeno (78.08%), oxígeno (20.95%) y el argón (0.93%), a partir de los diferentes procesos que en ella ocurren se pueden delimitar las regiones climáticas en el planeta y es de gran importancia para la vida en la Tierra debido a la absorción de la radiación solar dañina y también nos protege del ingreso de materiales provenientes del espacio (Zuleta, 2017).

La litósfera está conformada por la capa rígida exterior del planeta y se compone por la parte superior del manto y la corteza terrestre en su totalidad. Estudiar esta capa nos permitirá entender la historia geológica de la Tierra y los riesgos geológicos a los que la sociedad está expuesta por la dinámica de esta esfera (Artemeva, 2011). Una de las definiciones más aceptadas de la biósfera es la de Vernadsky propuesta en 1926, donde se define a la biósfera como una capa de la Tierra que comprende la totalidad de todos los organismos vivos, y la parte del planeta que está en un constante intercambio de material con estos organismos (Levchenko, Kazansky & Semenova, 2012). Finalmente se encuentra la edafósfera como resultado de la interacción con las esferas anteriores. En ella se encuentra el suelo como una delgada capa sobre la superficie de la Tierra que cumple funciones vitales para el desarrollo

de los seres vivos, porque sostiene la productividad biológica, mantiene la calidad del aire y del agua, mantiene la salud de las plantas y del ser humano (Pankhurst *et al.*, 1997).

Entender como funcionan estos distintos sistemas tiene también un impacto en la sociedad, ya que al tener el conocimiento del medio natural se podría participar en la toma de decisiones de distintas situaciones, por ejemplo: tener un mejor manejo de los recursos naturales, evaluar situaciones de riesgo ante fenómenos naturales a las que se encuentran expuestas poblaciones, considerar los efectos del cambio climático para el manejo de sistemas agrícolas y forestales, tomar en cuenta las condiciones del medio natural para el desarrollo de proyectos de infraestructura, entender el flujo de contaminantes en el agua cercana a sitios de pesca, etc.

Finalmente, las Ciencias de la Tierra buscan tener un enfoque multidisciplinario con el cual se puedan visualizar las distintas interacciones que existen entre los componentes de la Tierra y el impacto que pueda tener sobre el ser humano y viceversa.

1.2 Divulgación de la Ciencia

Si bien para la palabra ciencia se encuentra una gran variedad de definiciones, también las hay para definir a la divulgación científica. Para este trabajo se tomará la definición propuesta por Sánchez (2002): “labor multidisciplinaria cuyo objetivo es comunicar, utilizando una diversidad de medios, el conocimiento científico a distintos públicos voluntarios, recreando ese conocimiento con fidelidad, contextualizándolo para hacerlo accesible.

Sánchez & Sánchez (2003) proponen un glosario de términos relacionados con la divulgación (Tabla 1.1)

Tabla 1.1 Propuesta de glosario de términos relacionados con la divulgación de acuerdo con Sánchez & Sánchez (2003).

Divulgación Científica	Es una labor multidisciplinaria cuyo objetivo es comunicar utilizando una diversidad de medios, el conocimiento científico a distintos públicos voluntarios, recreando ese conocimiento con fidelidad y contextualizándolo para hacerlo accesible.
Popularización de la ciencia	Se utiliza como sinónimo de divulgación en otros países de habla hispana. En inglés a menudo se le llama “science popularization” a la divulgación de la ciencia.
Vulgarización	Se utiliza como sinónimo de divulgación en otros países de habla hispana, aunque en México se usa con un sentido peyorativo. En francés a menudo se le llama “vulgarisation scientifique” a la divulgación de la ciencia.
Comunicación de la ciencia	Es la transmisión del conocimiento científico desde sus fuentes hacia los receptores más diversos (a públicos de los distintos niveles educativos).
Cultura científica	El mínimo de conocimientos científicos que un ciudadano actual debería manejar
Educación formal	Es la educación escolarizada, jerárquica, basada en el currículum, evaluada sobre metas curriculares y que se lleva normalmente a cabo en una institución reconocida.

Educación no formal	Es la educación sistemática, planificada y evaluada, pero no jerárquica, que puede llevarse a cabo tanto en instituciones escolares como en ámbitos abiertos y rurales.
Educación informal	Es la educación cotidiana, voluntaria o no, pero que puede ser encauzada en sitios como los museos.

La divulgación de la ciencia puede concentrarse en tres niveles (Díaz, 2011):

- I. Público general: se encarga de informar al grueso de la población sobre los temas de interés científico y se hace mediante los medios de comunicación.
- II. Público medio: va enfocado a un público con mayor preparación académica, es decir, población con formación educativa media, incluye el nivel medio superior y superior, se lleva a cabo mediante museos, exposiciones, etc.
- III. Público especialista: va dirigido a un público completamente especializado con un amplio conocimiento científico y se realiza mediante libros o revistas especializadas.

Uno de los principales objetivos de la divulgación de la ciencia será el ofrecer al público receptor una imagen realista de la ciencia, tanto los logros como tropiezos, para así fomentar un pensamiento crítico, divulgar debe ir más allá de la mera traducción del lenguaje especializado de la ciencia a un lenguaje llano, o simplificar contenidos científicos y hacerlos accesibles; divulgar la ciencia debe permitir recrearla (Valek, 2009).

Bonfil (2002), concuerda con esto último y hace notar la importancia de la creatividad, conocimiento e imaginación del divulgador. Este mismo autor concibe a la divulgación como una actividad de difusión de la cultura, que permita fomentar la cultura científica en la población.

Stephen Hawking, un físico teórico al igual que un divulgador de la ciencia comentaba lo siguiente (Hawking, 1989): “Si admitimos que no es posible impedir que la ciencia y la tecnología cambien el mundo, podemos al menos intentar que esos cambios se realicen en la dirección correcta. En una sociedad democrática, esto significa que los ciudadanos necesitan tener conocimientos básicos de las cuestiones científicas, de modo que puedan tomar decisiones informadas y no depender únicamente de los expertos”

Es por ello que la divulgación de la ciencia toma un papel importante en la difusión del conocimiento en beneficio de la sociedad, de tal forma que las personas cuenten con las herramientas para tener una opinión crítica e informada respecto a los avances de la ciencia y tecnología, que permita el desarrollo de la sociedad, así como una participación activa en la toma de decisiones responsables sobre los problemas globales actuales.

De manera general, existe poco conocimiento de las Ciencias de la Tierra en la población, hay vagas nociones respecto a la fuente de algunos materiales, los fenómenos naturales al igual que de conceptos más abstractos como pueden ser el tiempo geológico y la evolución del planeta (Justice, 2018; Stewart y Nield 2013).

Debido a lo anterior, los geoparques juegan un papel importante en la divulgación de las Ciencias de la Tierra, por lo que tienen la responsabilidad de transmitir información básica para que los visitantes al igual que la población local tenga un conocimiento general de estas ciencias. Los geoparques son “laboratorios activos” en donde las personas pueden por un lado obtener información a partir de charlas o carteles elaborados por especialistas, y por otro, explorar junto con los guías de las visitas aquellos aspectos de la Tierra en los geositios (Justice, 2018).

CAPÍTULO 2. COLOR

2.1. ¿Qué es el color?

La luz forma parte del espectro electromagnético y corresponde a aquellas radiaciones que son capaces de interactuar con el sistema de visión humano; las longitudes de onda de esta radiación se encuentran en la zona conocida como “luz visible” y abarca aproximadamente de 380 a 780 nm (CIE, 2011).

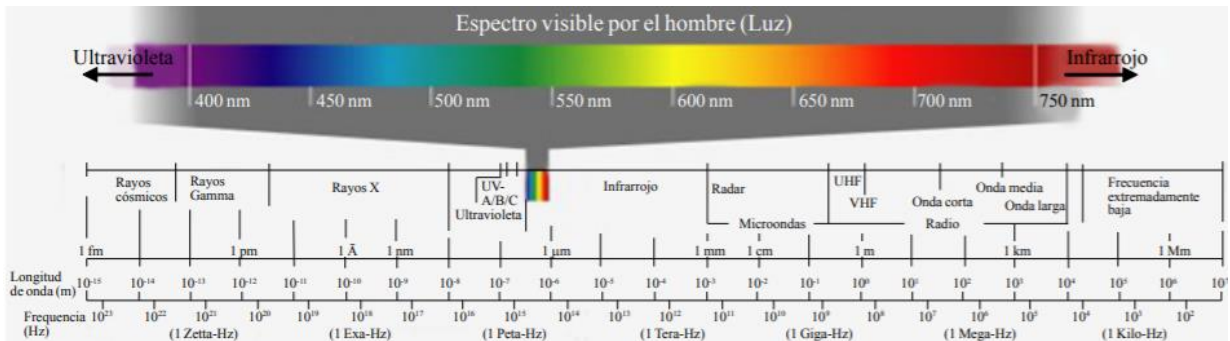


Figura 2.1. Región visible del espectro electromagnético (fuente: Domínguez, 2012).

El color es aquella percepción visual que tienen las personas y algunos animales cuando la luz es absorbida a través de células sensoriales (fotorreceptores) en la retina del ojo, las cuales transforman la luz en energía eléctrica que es transportada mediante impulsos eléctricos a lo largo de los nervios ópticos hacia el cerebro en donde la información es interpretada y permite distinguir las diferentes longitudes de onda del “espectro visible” (Rainwater, 1971; Wolfe, 2018).

De igual forma se suele considerar al color como una propiedad de los objetos. Un objeto presenta una coloración debido a que absorbe una o más longitudes de onda que pertenecen a la región visible del espectro electromagnético (380 nm a 780 nm) y refleja las otras longitudes de onda (Figura 2.1). El *color espectral* es aquel asociado con las longitudes de onda de la luz que son absorbidas, mientras que el *color complementario* es el color asociado con las longitudes de onda que no son absorbidas por la muestra y que por lo tanto permanecen visibles para nosotros (Domínguez, *et al.*, 2012). Asimismo, todo cuerpo que se encuentre por encima del 0 absoluto emite radiación en forma de fotones, dicha radiación

varía dependiendo de la temperatura superficial del cuerpo, su absorptividad, reflectividad y emisividad estarán en función de la longitud de onda de la radiación (Siegel y Howell, 1992).

2.2 Caracterización del color

Para identificar un color es necesario hacer una comparación con una guía preestablecida en donde se caractericen y clasifiquen los diferentes colores de acuerdo con ciertos criterios. En el caso de las artes gráficas, existe el *Pantone Matching System*, basado en una numeración y siglas para el tipo de material sobre el que se aplicará el color. Por otro lado, el modelo de color *RGB* es utilizado principalmente para sistemas electrónicos en los cuales los colores son representados a partir de la combinación de los colores rojo, verde y azul (Hirsch, 2004).

En aspectos geológicos y edafológicos se utilizan las tablas de color Munsell, las cuales incluyen todos los matices del rango visible del espectro electromagnético, y suelen utilizarse para designar un nombre estándar a una cierta coloración que se presenta en suelos, rocas o sedimentos. Dentro de ellas se encuentran aproximadamente 171 recuadros de colores ubicados en hojas, donde cada una de ellas representa un matiz (*hue*) específico que aparece en la parte superior derecha de dicha página. Cada hoja contiene una serie de segmentos con diferentes colores ordenados de manera sistemática y representan la claridad (*value*) ubicadas en sentido vertical, de lo más claro a lo más oscuro, y la pureza (*chroma*) se presenta en sentido horizontal en la parte inferior de la hoja, incrementando su valor de izquierda a derecha (Figura 2.2) (Chesworth, 2008).

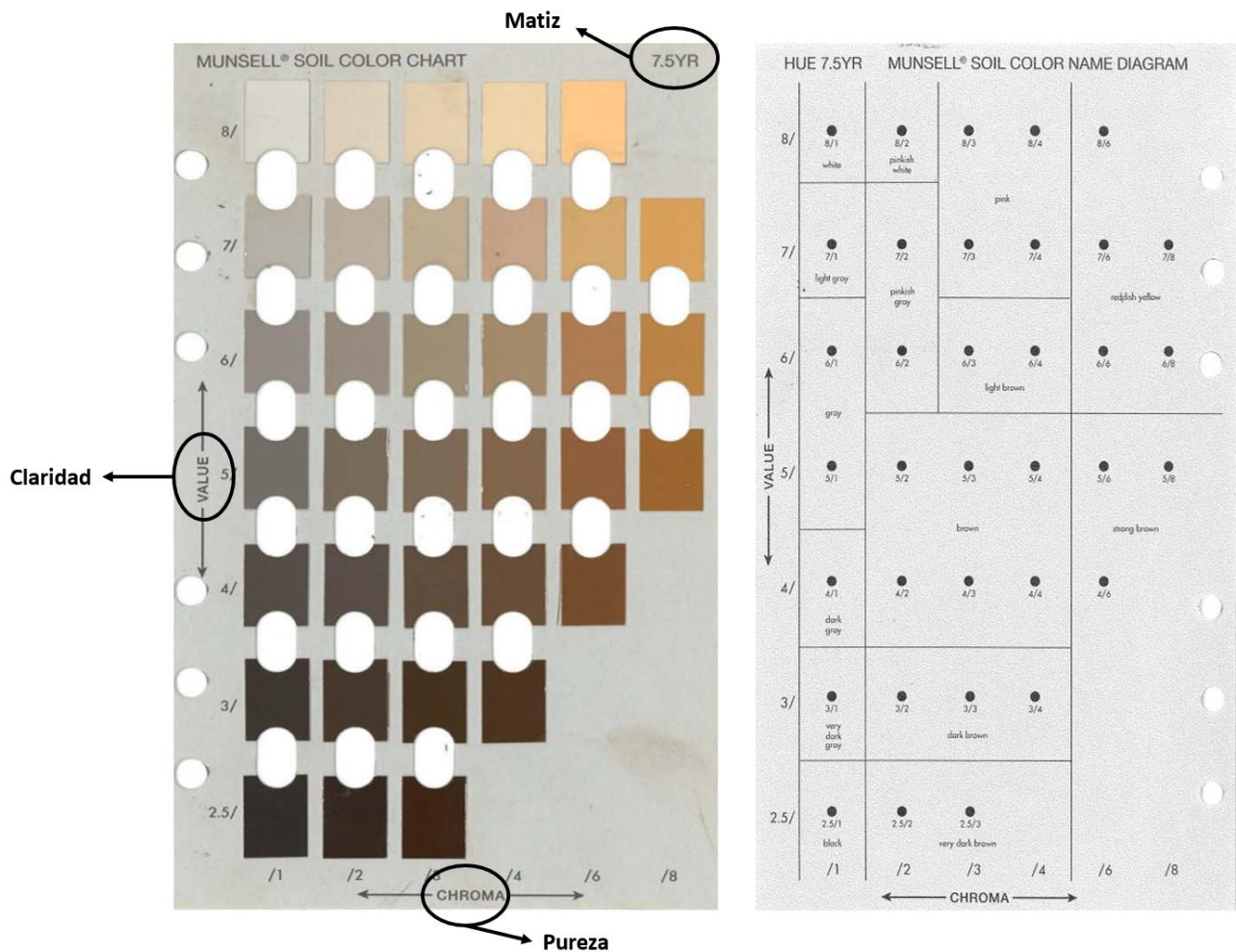


Figura 2.2 Tabla de Color Munsell, nombres de colores para combinaciones de matiz, claridad y pureza (fuente: Chesworth, 2008).

El símbolo que se emplea para el matiz es la abreviación del color en inglés, por ejemplo “R” para *red* (rojo) o YR para *yellow-red* (amarillo-rojo). Precediendo a la abreviación se coloca un número de 0 a 10, conforme este número incrementa en el caso de YR, por ejemplo, implica que será más amarillo y menos rojo. El punto medio del matiz “yellow-red” se encuentra en 5YR, y va desde 10R a 10YR.

DE acuerdo con Chesworth (2008), la notación para la claridad (*value*) va desde 0 (totalmente negro) hasta 10 (completamente blanco). Por otro lado, los valores de la pureza (*chroma*) se encuentran entre el 0 (gris neutral) a un máximo de 8 (Figura 2.2). Para la notación completa de Munsell, el orden adecuado es: matiz, claridad y pureza, añadiendo un espacio entre las

letras del matiz y la numeración de la claridad, se coloca una diagonal entre la claridad y la pureza. Ejemplo de ello es la notación “5YR 5/6 (yellowish-red)” que indica un color intermedio rojo amarillento con una claridad de 5 y pureza de 6.

El uso de esta tabla de colores es importante para poder tener un consenso en los parámetros del color, de tal forma que pueda ser comparable para diferentes trabajos y que no sea subjetivo respecto al observador.

2.3 Uso de pigmentos minerales en el arte

La pintura ha comenzado a utilizarse desde hace aproximadamente 35 000 años por el hombre prehistórico, quién aprovechaba y mezclaba los pigmentos de las arcillas y tiza con grasa animal para representar sus cacerías en las cavernas (Clark, 2017). Las pinturas en las cuevas de Lascaux en Dordoña, Francia, son una de las obras más representativas de este tipo.

Con el paso del tiempo el uso de los pigmentos fue perfeccionado por diferentes civilizaciones. Por ejemplo, el “azul egipcio” (figura 2.3) es un pigmento famoso obtenido a partir de la azurita (carbonato de cobre), mezclado con goma, cera y albúmina como aglutinantes y solventes (Ball, 2003; Clark, 2017).



Figura 2.3. (a), Azul egipcio en “*Hunting Birds in a Papyrus Thicket*”, (b), azul egipcio. Pintura de pared de la tumba de Nebamun, 8° Dinastía (1567-1320 a.C.), Thebes. Fuente: British Museum, Londres.

Al ir evolucionando las civilizaciones, así como la ciencia, se encontraron nuevas formas de mezclar los colores provenientes de los minerales, así como de componentes orgánicos para dar lugar a nuevas tonalidades que pudiesen durar por más tiempo. Actualmente se crean pinturas a partir de compuestos sintéticos.

En cuanto al color de los pigmentos utilizados en la antigüedad y que podemos observar tanto en los suelos y las rocas, el principal origen de éstos es debido a sus componentes, los minerales. De acuerdo con la IMA (International Mineralogical Association) los minerales “son los bloques inorgánicos de los que se componen las rocas y se caracterizan por una composición química particular y una estructura cristalina definida” (IMA, s/f).

Ya que las rocas se encuentran constituidas por minerales, éstos serán los principales encargados de brindar una coloración a las rocas. Según Wenk, & Bulakh (2004), el color de los minerales es nuestra percepción de las ondas de luz que son reflejadas o transmitidas a través del material y que llega a nuestros ojos (Tabla 2.1). Si bien se trata de una de las propiedades más notorias de los minerales, no se puede tomar como uno de los criterios más

importantes para su identificación, ya que el color suele depender de los elementos traza, así como de la presencia de impurezas o defectos dentro del cristal, por lo que será necesario tomar en cuenta otras propiedades para llevar a cabo una identificación mineralógica.

2.4 El color como un indicador

En los suelos el color es una característica importante a partir de la cual se puede obtener información para la identificación de horizontes, el tono y la intensidad de dichos horizontes pueden permitir hacer inferencias sobre características edáficas y procesos pedogenéticos (Siebe *et al.*, 1996). Por ejemplo, el color negro en los suelos se debe principalmente a la presencia de materia orgánica, mientras que los tonos rojizos suelen atribuirse a la presencia de minerales ricos en Fe^{3+} , de igual forma es posible encontrar tonalidades azules en los suelos debido a la presencia de hierro en una forma reducida y puede estar combinado con sulfuro en forma de S^{-2} .

Los colores que presentan los suelos, entre otros elementos, de acuerdo con Jenny, 1980 serán el resultado de los procesos de formación dados por los factores climáticos, material parental, relieve, biota y tiempo. La fracción mineral de los suelos proviene principalmente del material parental que incluye diferentes tipos de rocas alteradas por intemperismo, de tal forma que se preservarán los minerales más estables como el cuarzo y los feldespatos. En el caso de los minerales enriquecidos en hierro y manganeso (olivino, piroxenos, anfíboles, biotita) de origen ígneo al ser alterados liberan Fe y Mn, que dependiendo de las condiciones del suelo podrán oxidarse y dar lugar a la precipitación de nuevos minerales (Ugolini 2009).

La goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$) es uno de los minerales formados a partir de óxidos de hierro más comunes en los suelos se presenta en muchas regiones climáticas y brinda una coloración café amarillenta a la matriz del suelo (7.5YR – 2.5Y). El segundo mineral con óxido de hierro más abundante es la hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) con un color rojo brillante (5R a 2.5 YR) y se encuentra en regiones de climas cálidos (Schwertmann & Taylor, en Ugolini 2009). Existen minerales de óxido de hierro llamados “óxido verde”, que contienen hierro en sus formas reducidas y oxidadas, que da lugar a una coloración verdosa (Trolard 1996, en Ugolini 2009).

La fougérita, se puede encontrar en gleysoles, su color bajo condiciones reductoras es verde azulado y puede cambiar a matices rojizos/amarillos cuando es expuesta al aire

La materia orgánica usualmente encontrada en los primeros horizontes del suelo brinda una coloración oscura debido al contenido de carbono; sin embargo, habrá variaciones en las tonalidades dependiendo del grado de descomposición de dicha materia. Por ejemplo, la turba cruda es café, mientras que la materia orgánica descompuesta en su forma más estable, humus, es prácticamente negra (Chesworth, 2008).

Los minerales arcillosos, pertenecientes al grupo mineral de los filosilicatos, son muy comunes en los suelos y de igual forma pueden ser responsables de una coloración distintiva en los suelos. La caolinita y muscovita dan lugar a tonalidades blancas, mientras que las micas glauconita y celadonita brindan una coloración verdosa (Landa *et al*, 2009).

2.5 El ciclo de las rocas

El ciclo de las rocas es una forma esquemática y simplificada que busca explicar los procesos que ocurren con los tres tipos de rocas que existen en la corteza terrestre. Las alteraciones que sufren las rocas se manifiestan primordialmente en los minerales, que son los principales componentes de las rocas. Si bien el ciclo de las rocas no tiene un comienzo o final definido y no atraviesa siempre los mismos caminos puede explicarse de la siguiente forma:

El magma ubicado a grandes profundidades con el paso del tiempo puede llegar a enfriarse y dar lugar a las *rocas ígneas*. El enfriamiento puede ser bajo la superficie o mediante una erupción volcánica sobre la superficie. Dependiendo de la composición del magma la roca formada podrá tener minerales félsicos (ricos en Si, Al, Na, O y K con tonalidades claras) o máficos (ricos en Mg y Fe con tonalidades oscuras).

Los afloramientos rocosos estarán bajo acción de procesos de meteorización, ya sea física como la reducción del tamaño de la roca o química como la oxidación (brindando una tonalidad rojiza en caso de tratarse de minerales de hierro) y la hidrólisis en la cual el agua

interacciona con los componentes de la roca; los iones de H^{++} del agua actúan como un ácido débil de manera que altera a la red cristalina y da lugar a la formación de nuevos minerales. Los materiales que resultan de la meteorización, llamados *sedimentos* pueden ser transportados por agentes como el agua, el viento, los glaciares, etc. Al depositarse dichos sedimentos ocurre el proceso de litificación en el cual se convertirán en una *roca sedimentaria*. Este nuevo proceso puede ocurrir por una compactación del material debido al enterramiento por capas superiores y a la acción de los cementantes.

Las rocas sedimentarias pueden conservar minerales con las características de las rocas que les precedieron o pueden tener nuevas agregaciones minerales, que pueden incluir aquellos de origen biológico, como las calizas ricas en carbonatos de calcio $CaCO_3$ (usualmente con coloraciones blanquecinas) o el carbón (coloración oscura), ambos producidos por organismos vivos. Cuando estos mueren y se acumulan en grandes cantidades pueden dar lugar a sedimentos que conformarán futuras rocas tras el paso de miles o millones de años.

Cuando los sedimentos son sepultados por otros debido a su acumulación o por la misma tectónica de placas, los materiales son expuestos a condiciones de altas presiones o temperaturas que alterarán la estructura y composición de la roca, lo que dará lugar a una *roca metamórfica*, dichas rocas pueden estar en diferentes facies dependiendo de las condiciones de presión y temperatura a las que se encuentran; más adelante se hablará de un tipo particular de metamorfismo de contacto que puede alterar a las rocas adyacentes y que influirá en la coloración de las mismas.

Finalmente, si las rocas metamórficas se encuentran a mayores temperaturas o altos niveles de presión, la roca será fundida para dar lugar a un magma, el cual eventualmente puede enfriarse y reiniciar el ciclo.

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

3.1 Ubicación

El GMMA se localiza en la porción noroeste del estado de Oaxaca dentro de la región Mixteca, la cual se divide en Mixteca Alta, Mixteca Baja y Mixteca de la Costa, siendo la primera el lugar en el que se ubica el GMMA.

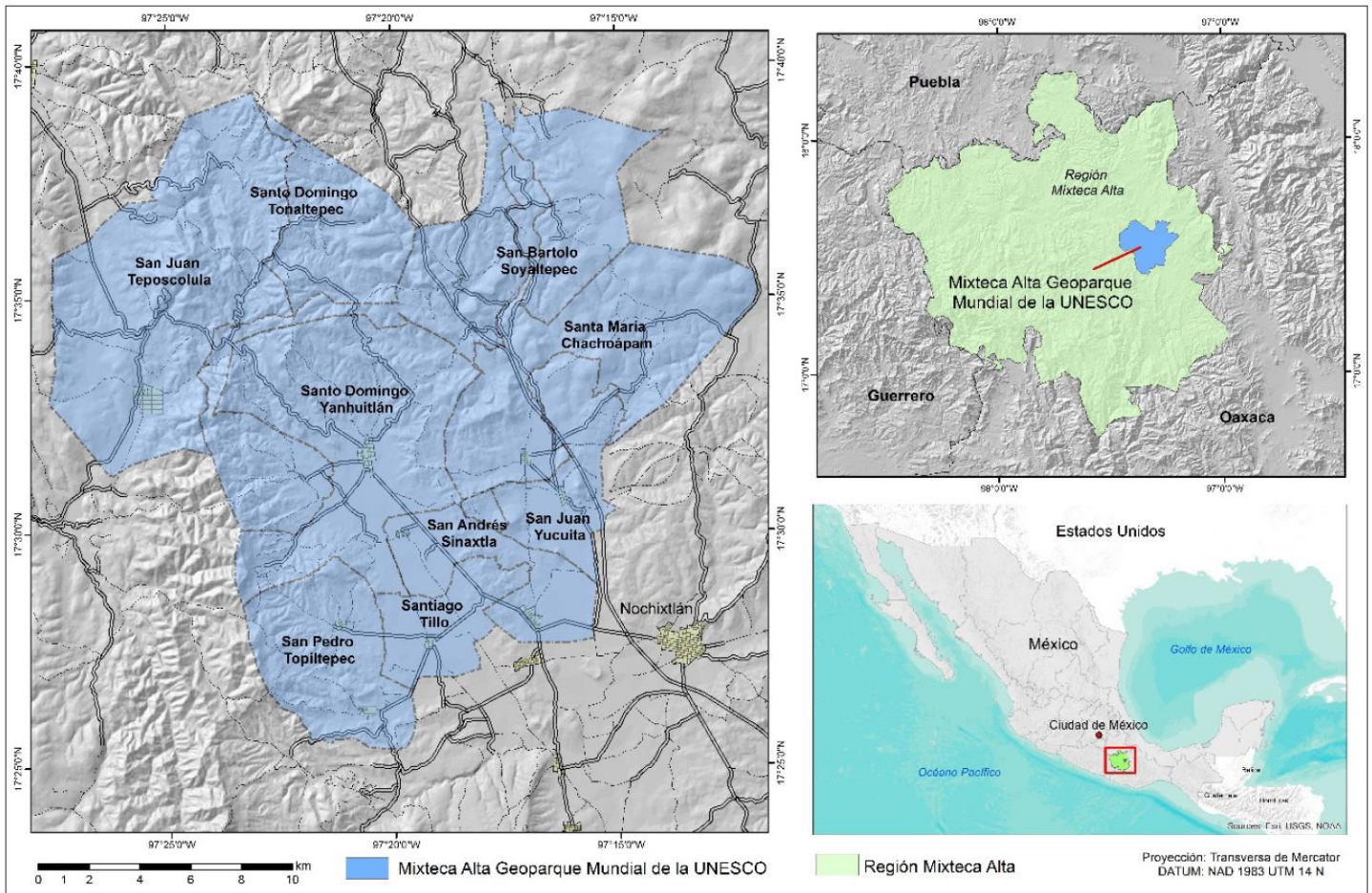


Figura 3.1. Ubicación y Territorio del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (fuente: Rosado, 2016).

El geoparque abarca un área de 415.4 km² que corresponden a nueve municipios enteros (San Andrés Sinaxtla, San Bartolo Soyaltepec, San Juan Teposcolula, San Juan Yucuita, San Pedro Topiltepec, Santa María Chachoapam, Santiago Tillo, Santo Domingo Tonaltepec y Santo Domingo Yanhuitlán). Sus coordenadas extremas son: 17° 25' 20'' y 17° 39' 27'' N,

y 97° 11' 53'' y 97° 27' 40'' W, y se encuentra a una distancia en carretera de 80 km de la ciudad de Oaxaca y ~350 km de la Ciudad de México.

3.2 Características generales del geoparque

Es importante considerar tres conceptos al hablar de los geoparques, uno de ellos es el de *geopatrimonio*, el cual comprende al conjunto de elementos geológicos que destacan por su valor científico, cultural y educativo (Carcavilla *et al*, 2008). El siguiente es el de *geodiversidad*, Kozłowski (2004) menciona que incluye a la variedad de aspectos geológicos, geomorfológicos, suelos y aguas superficiales que se encuentran en la superficie y han sido creados tanto por procesos naturales como antrópicos. Finalmente, la *geoconservación*, involucra al geopatrimonio y la geodiversidad para su conservación y manejo, que resultará en la protección de sitios importantes por la ley, sin embargo, en las leyes mexicanas aún no de contempla. (Brocx & Semeniuk, 2007).

El propósito general de los Geoparques Mundiales de la UNESCO es delimitar territorios en donde convergen la ciencia, la educación y la cultura para promover y conservar el geopatrimonio relacionado con los demás aspectos tanto naturales como culturales del sitio, y que sean manejados bajo un enfoque comunitario y holístico de desarrollo sostenible (UNESCO 2016)

El GMMA obtuvo su reconocimiento ante la UNESCO en el año 2017 al igual que el Geoparque Comarca Minera, hasta la fecha son los únicos geoparques de México. El GMMA es coordinado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en estrecha relación con las comunidades pertenecientes al geoparque en especial Santo Domingo Yanhuitlán, que es donde se encuentra el centro de información. Uno de los aspectos que han llevado al desarrollo exitoso del geoparque ha sido el enfoque de proyecto comunitario donde ha existido una participación activa de los ciudadanos y autoridades locales en asociación con las instituciones académicas (Rosado y Ramírez, 2017).

En la región de la Mixteca Alta se presenta una baja densidad poblacional, de acuerdo con el INEGI, en 2010 la cantidad de habitantes en el territorio del GMMA fue de 7061. Por otro lado, el estado de Oaxaca tiene un importante flujo migratorio hacia el extranjero, siendo Estados Unidos de América (EUA) uno de los principales destinos. De acuerdo con datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO) los municipios de la región Mixteca tienen un índice de muy alta intensidad migratoria hacia EUA (Alvarado, 2008). Es por ello que el proyecto del GMMA puede ser un detonante para una mejora en la economía local y pueda ayudar a disminuir la migración de la zona.

Por otro lado, en la región de la Mixteca Alta es posible encontrar habitantes pertenecientes al grupo indígena de los mixtecos, el cuarto grupo más numeroso en el país tras los nahuas, los mayas y los zapotecos (Armella *et al.*, 2008). la organización política en el territorio está basada en los “usos y costumbres”. Las autoridades son elegidas mediante tradiciones locales y se realiza el *tequio*, una forma de trabajo comunitario en la cual participan los miembros de una localidad para mejorar aspectos del sitio en el que viven, esto permite que haya una mayor cohesión social entre los miembros participantes (Palacio *et al.*, 2016).

En cuanto a las características físicas de la zona de estudio podemos considerar los siguientes aspectos:

Clima

La precipitación anual oscila entre 800 y 700 mm, la mayor parte de ésta ocurre desde junio hasta septiembre, con una disminución a la mitad del verano conocida como la canícula. La temperatura media anual se encuentra entre los 15.5°C y 17°C, mientras que las temperaturas mínimas y máximas son de -8°C y 32°C respectivamente. Las heladas son comunes desde octubre hasta mayo en las grandes elevaciones del geoparque (Oropeza *et al.*, 2016; Rogé *et al.* 2014).

El clima de la región puede describirse a partir de la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (INEGI, 2005), de tal manera que en la región sureste del GMMA se

encuentra una pequeña zona cuyo clima es BS1kw (w) semiseco con lluvias en verano. Por otro lado, existen tres regiones de climas templados subhúmedos con lluvias en verano, diferenciados cada una por la humedad; en la zona central hacia el este y de norte a sur se presenta un clima con baja humedad C(w0)(w), mientras que en la zona central hacia el oeste se tiene una humedad media C(w1)(w), por último la región correspondiente al oeste del geoparque presenta un régimen con alta humedad C(w2)(w).

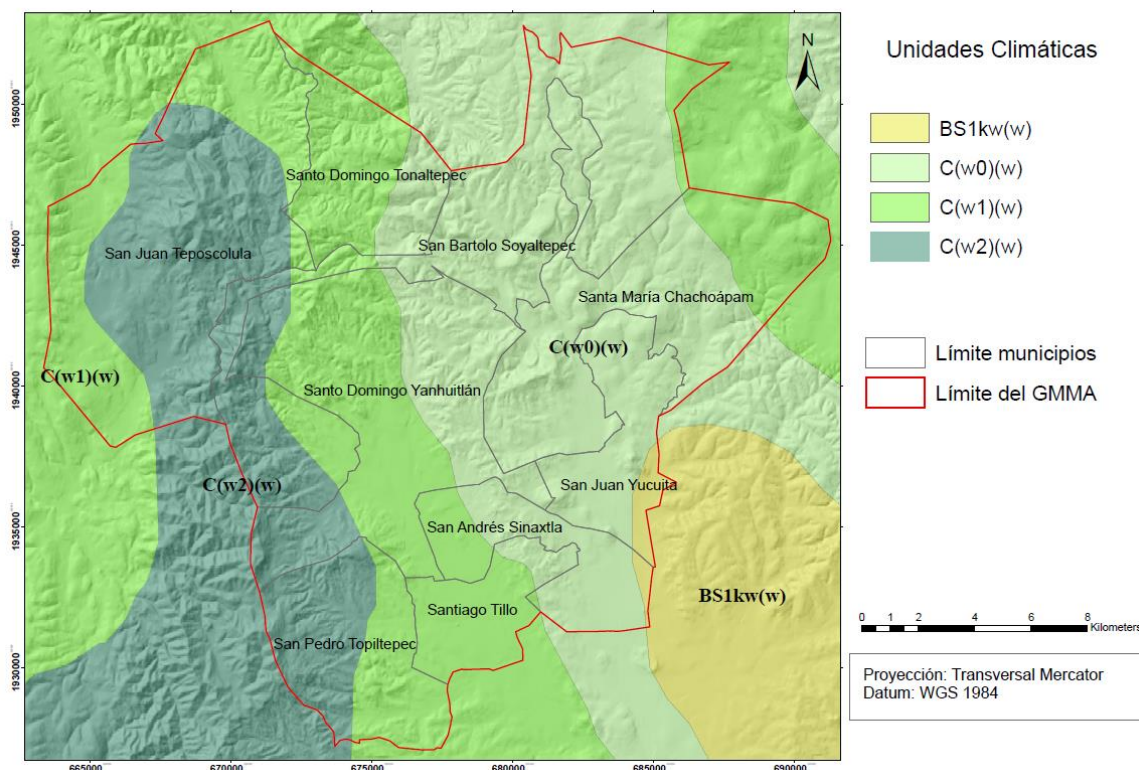


Figura 3.2. Distribución de climas en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (fuente: elaboración propia).

Hidrología

En la Mixteca Alta se encuentran tres regiones hidrológico-administrativas (RHA): la del río Balsas (116 439 km²), la Costa Chica-río Verde (82 775 km²) y la del río Papaloapan (102 354 km²).

El río Balsas y el río Verde tienen su desembocadura en el Océano Pacífico, mientras que el Papaloapan desemboca en el Golfo de México. Las cabeceras de dichos ríos confluyen en el Cerro Verde, también llamado Nudo Mixteco, que es el punto más alto en el área de estudio y también una zona de división de aguas continentales (Palacio *et al.*, 2015).

Dentro del geoparque hay nueve corrientes principales: río Mixteco (afuente de la cuenca del Balsas), los ríos Negro, Chachoapan, Chiquito, Yodocono y Xaltepec pertenecientes a la cuenca del río Verde; y los ríos Saldo, Grande, Suchixtlahuaca y Otlá, afluentes de la cuenca del Papaloapan (Ferrusquía, 1976; INEGI, 2010b).

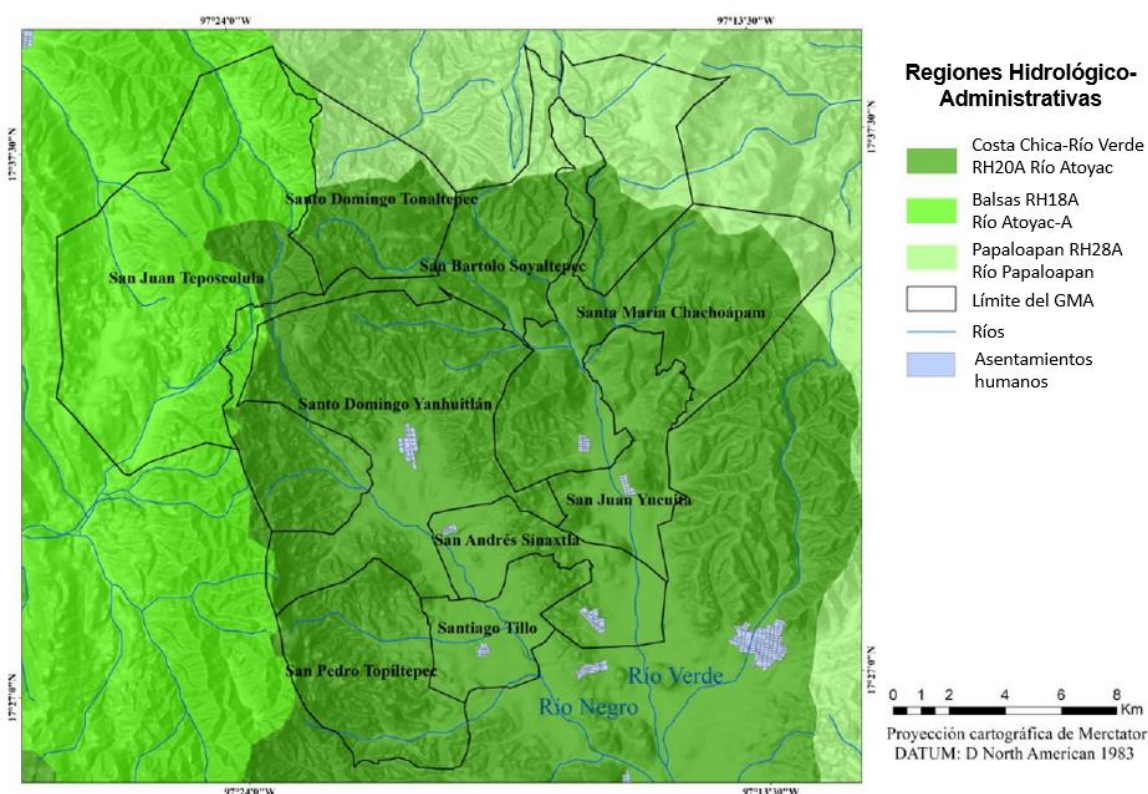


Figura 3.3. Regiones hidrológico-administrativas y ríos en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (fuente: Romero, 2018).

Vegetación y uso de Suelo

De acuerdo con Torres (2004), a grandes rasgos podemos encontrar cuatro tipos de vegetación dentro del geoparque, siendo éstos: bosque de encino, bosque de pino-encino, matorral xerófilo y pastizal inducido.

A lo largo de grandes extensiones la vegetación se encuentra severamente dañada e incluso puede llegar a ser nula en varias partes debido al alto impacto que las actividades humanas han tenido en la zona y a los intensos procesos erosivos (Oropeza *et al.*, 2016).

Las comunidades pertenecientes al bosque de encino (*Quercus spp*), forman grupos aislados, cuya distribución se restringe a las cumbres de los lomeríos altos y laderas de montaña en la zona este y oeste del polígono, este tipo de vegetación tiene un gran valor ecológico, tiene una gran diversidad de plantas y especies vegetales, constituyen el hábitat de distintas orquídeas, epifitas y terrestres, de las cuales algunas son endémicas del estado o de la región, como *Laelia furfuracea* (lirio morado). En la parte del sotobosque se pueden encontrar distintas crasuláceas como la *Echeveria mucronata*, empleada para ornato. De igual forma esta zona es de gran relevancia por ser un sitio en donde se capta una gran cantidad de agua (Oropeza *et al.*, 2016).

Por otro lado los bosques de pino-encino se presentan en forma de manchones principalmente en una pequeña área en la zona centro. Se encuentran especies de *Pinus pseudostrobus* y el *Pinus oaxacana*, la cual suele utilizarse para la reforestación; se cree que anteriormente en grandes áreas del Valle de Nochixtlán era posible encontrar este tipo de vegetación; sin embargo se vio disminuida para dar paso a la actividad agrícola en la región (Contreras *et al.*, 2003).

Los matorrales especie se observan en gran parte del área de estudio, se presentan como manchones en zonas de planicies y lomas, al igual que en las zonas de mayor grado de degradación, éstos se distribuyen en la zona centro y límites del polígono y funcionan como agostaderos para el ganado caprino y ovino (C-CBC, 2009).

Finalmente, los pastizales, que corresponden a un tipo de vegetación inducida-secundaria, se desarrollan sobre las costras de caliche y en terrenos agrícolas abandonados. Éstos son aprovechados para llevar a cabo la ganadería extensiva (Oropeza *et al.*, 2016).

En cuanto al uso de suelo, éste se divide en: agricultura de temporal y de riego, bosques así como los asentamientos humanos.

Geología

De acuerdo con Centeno (2004: pág 29) “El estado de Oaxaca, es uno de los estados más complejos y con mayor variedad geológica, lo cual es clave para la historia y evolución geológica de la Tierra”. Dentro del territorio del geoparque es posible encontrar elementos que forman parte de esta gran diversidad geológica presente en la entidad.

México se encuentra dividido en 17 terrenos tectonoestratigráficos propuestos por Sedlock, *et al* (1993), los cuales son entidades geológicas de extensión regional caracterizadas por una secuencia estratigráfica coherente pero distinta a la de los bloques adyacentes y delimitados por grandes discontinuidades tectónicas (Coney, 1989).

El Geoparque está ubicado sobre los terrenos Mixteco y Zapoteco, delimitados por la falla Caltepec (edad pérmica) de la cual es posible observar un afloramiento aproximadamente a 50 km al noroeste del área del GMMA (Palacio *et al.*, 2016). Dicha falla es una zona de cizalla que refleja la convergencia que configuró a Pangea en su porción centro-occidental. Es el contacto tectónico entre los basamentos cristalinos Acatlán del Paleozoico del terreno Mixteco y el basamento Oaxaqueño del Mesoproterozoico del terreno Zapoteco (Elías *et al.*, 2005).

Terreno Zapoteco

El basamento del terreno Zapoteco consiste en un fragmento de corteza continental del Proterozoico. Su unidad más antigua es el complejo Oaxaqueño, un conjunto metamórfico

con a mayor variedad litológica de México, las rocas que lo integran son metamórficas cristalinas con un bandeamiento mineral bien desarrollado, hay mármoles, granulitas y meta-anortositas (Centeno, 2004).

El Complejo Oaxaqueño tiene estructuras que han pasado por eventos de deformación, siendo predominantes uno ocurrido hace 1100 Ma (Olmecano) y el otro de 979 a 1004 Ma (Zapotecano) (Solari *et al*, 2003). De manera discordante subyace una secuencia del Paleozoico, cubierta por secuencias marinas y continentales del Cretácico y del Cenozoico (Ferrusquía, 1976; Ortega *et al*, 1995).

Según Ortega (1995) el Complejo Oaxaqueño formó parte del bloque continental llamado Oaxaquia, cuya evolución tectónica se encuentra asociada a rocas proterozoicas de Sudamérica (Gondwana), las cuales en el Paleozoico tardío durante la formación de Pangea se acrecentaron a Norteamérica. Debido a la formación del supercontinente Rodinia y con la orogenia Grenville, las rocas pertenecientes a este Complejo han sido metamorfizadas (Centeno, 2004).

Terreno Mixteco

Se formó a partir de rocas oceánicas atrapadas en la zona de choque entre continentes. La unidad más antigua en este terreno corresponde al Complejo Acatlán, conformado por rocas ígneas y sedimentarias que presentan metamorfismo de bajo a alto grado. Areniscas, lutitas, conglomerados, rocas volcánicas, de composición basáltica a riolítica, volcanoclásticos, granitos deformados y rocas ultramáficas son los componentes principales de este complejo (Ortega, 1978; Campa y Coney, 1983).

Las rocas que originalmente componían al Complejo Acatlán se formaron en ambientes marinos de aguas profundas como un piso oceánico, en arcos de islas volcánicas y en zonas de trinchera asociadas a subducción, este evento corresponde a edades del pre-Devónico medio (Centeno, 2004).

Las orogenias Acatecana y Ouachita, pertenecientes al Ordovícico Tardío- Silúrico temprano y Pérmico temprano respectivamente, corresponden a las primeras fases de deformación del terreno Mixteco. Durante el Mesozoico se propone una deformación que ha dado lugar a pliegues y cabalgaduras convergentes al oriente y asociadas a la orogenia Laramide. Por otro lado, durante el Cenozoico a lo largo del Eoceno tardío-Oligoceno temprano, se presentaron dos eventos de deformación transcurrente ubicados en la zona de Taxco, Guerrero con una extensión al NNO-SSE para la primera y NE-SO en el caso de la segunda (Alaniz *et al*, 2002; Morán *et al*, 2004).

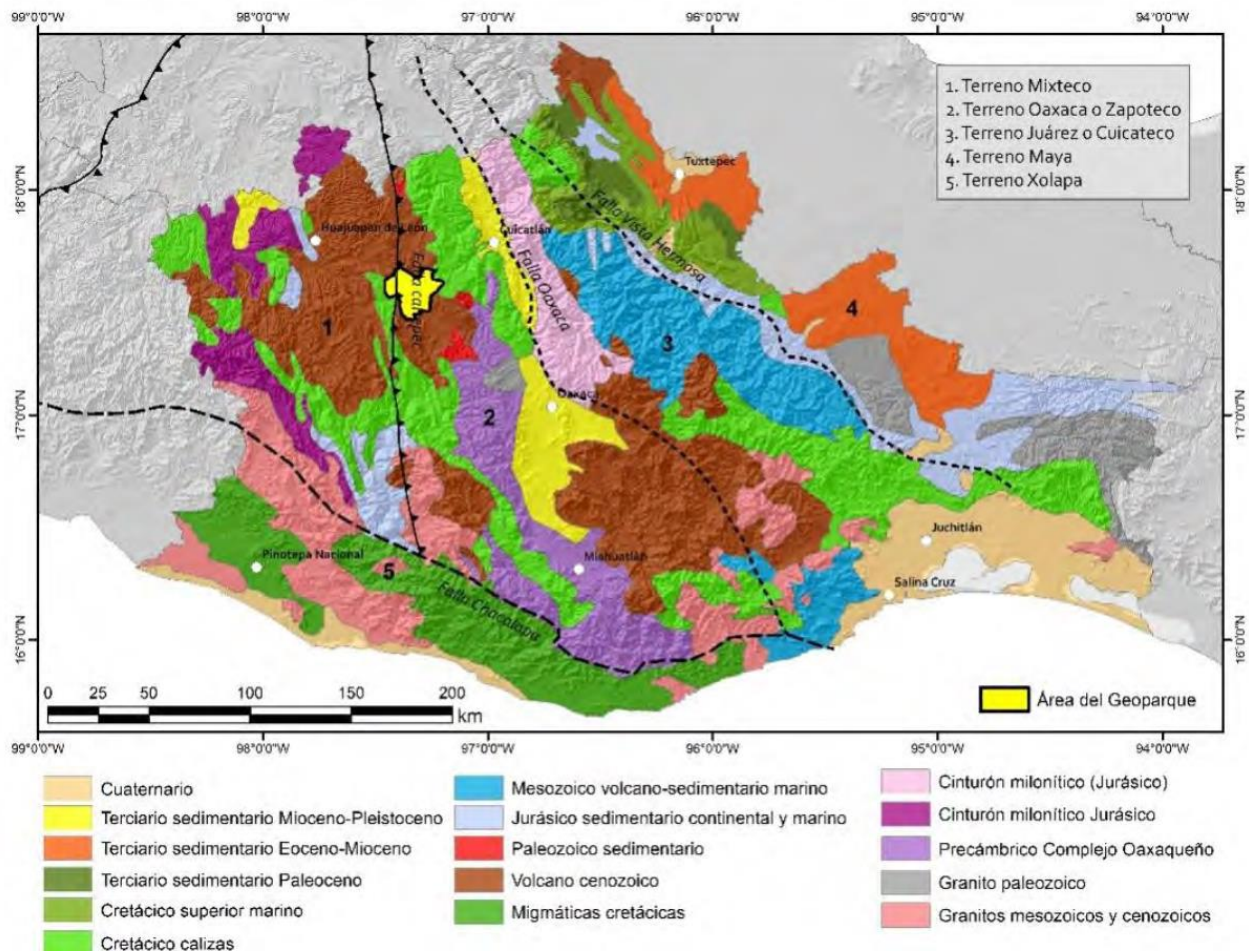


Figura 3.4. Mapa geológico y configuración de los terrenos tectonoestratigráficos del estado de Oaxaca (fuente: Centeno, 2004).

La historia de los últimos 65 millones de años en Oaxaca comprende dos procesos principales que dan lugar a lo que hoy en día puede observarse en la fisiografía del estado. Por un lado,

la formación de montañas de origen volcánico tras grandes emisiones de lava y por otro, fallas regionales que dieron lugar a montañas y valles (Centeno, 2004).

A partir de los terrenos descritos anteriormente, es posible identificar diferentes unidades litoestratigráficas que afloran en el GMMA, las cuales se agrupan en tres sistemas geológicos, cada uno con sus correspondientes formaciones (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Sistemas geológicos presentes en el Geoparque Mixteca Alta (fuente: Ferrusquía, 1970 y Santamaría, 2009).

Sistema Geológico	Formaciones
Cretácico	San Isidro
	Caliza Teposcolula
Terciario	Conglomerado Tamazulapam
	Yanhuitlán
	Depósitos Teotongo
	Toba Llano de Lobos
	Andesita Yucudaac
	Rocas ígneas intrusivas (cuerpos hipabisales)
Cuaternario	Depósitos aluviales y de caliche

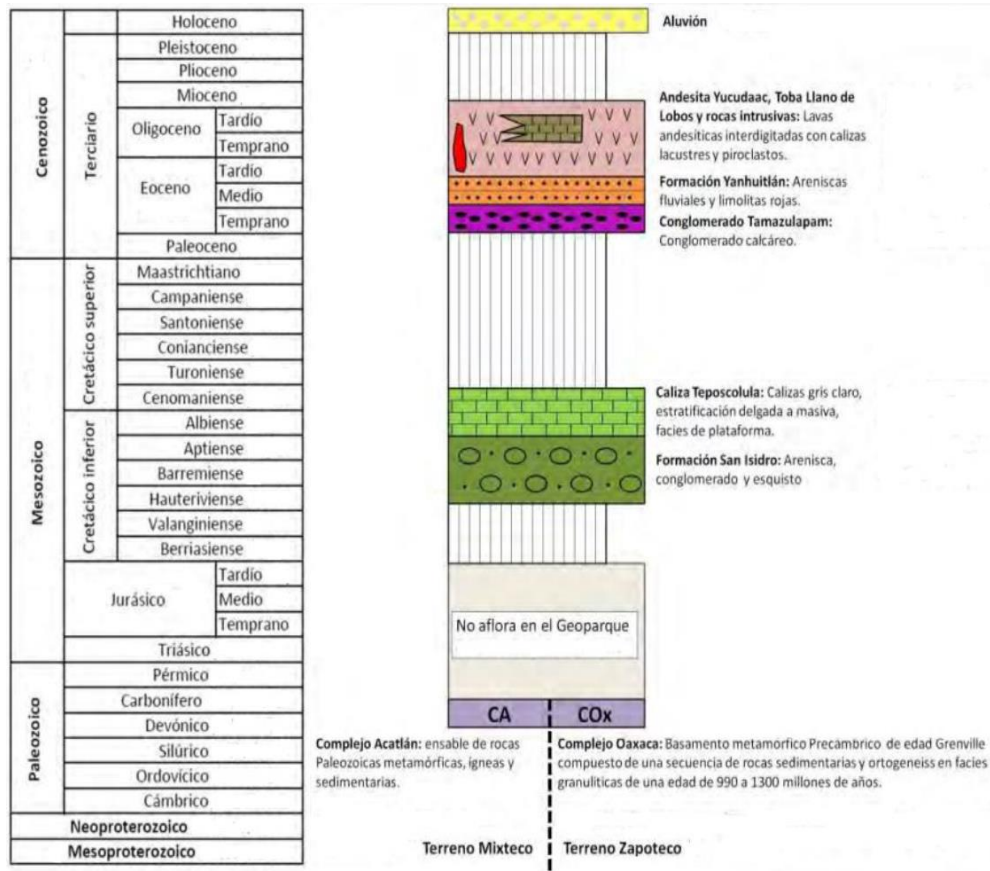


Figura 3.5. Columna estratigráfica del GMMA (fuente: Ferrusquía, 1970 y Santamaría, 2009).

De estas unidades litoestratigráficas las que afloran en el GMMA son: Formación Yanhuitlán, Toba Llano de Lobos, Toba Cerro Verde, Intrusivos Suchixtlahuaca y Andesita Yucudaac (Ferrusquía, 1976), siendo las primeras dos las que tienen una mayor distribución dentro del polígono del geoparque.

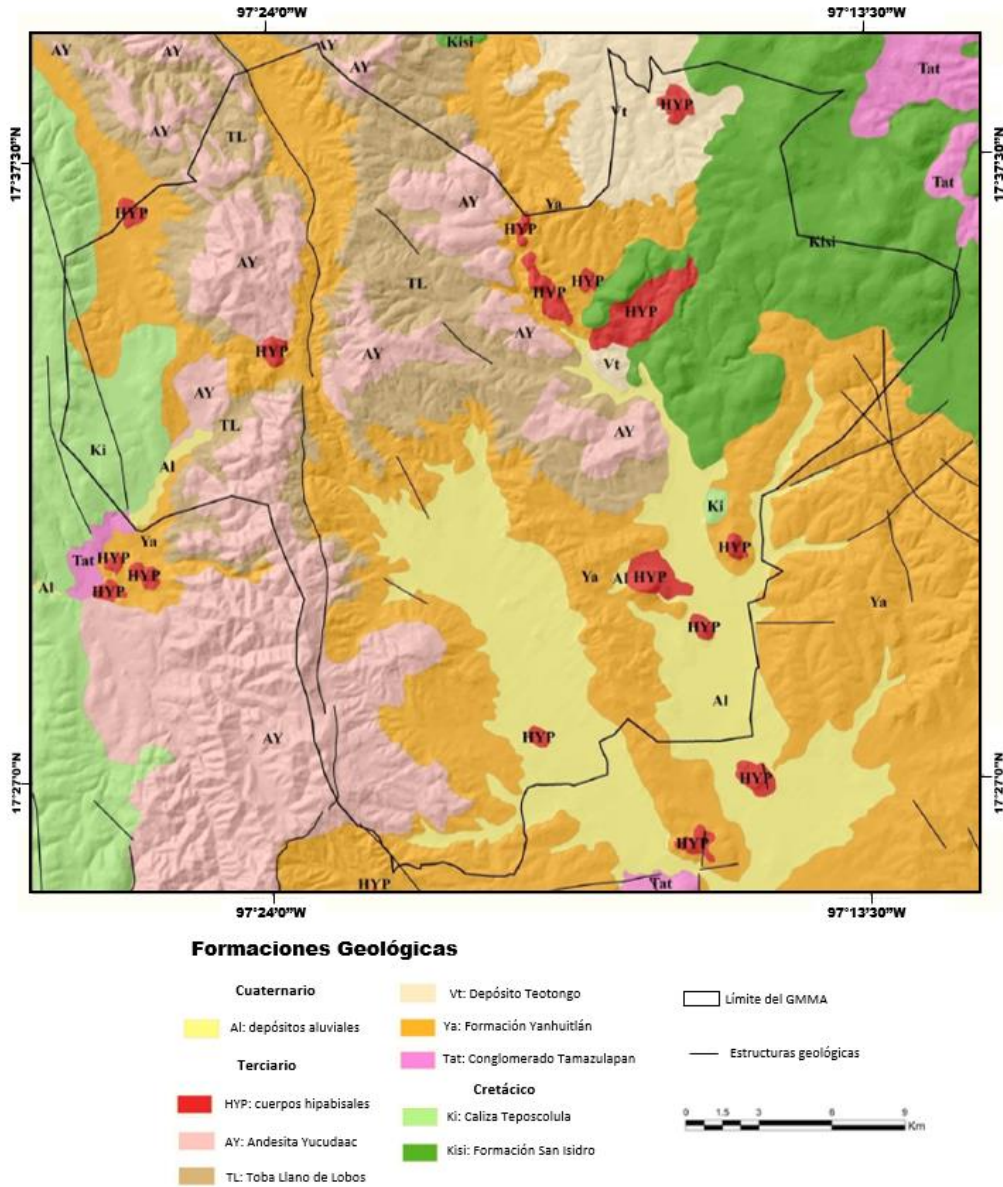


Figura 3.6. Cartografía geológica del GMMA. Fuente: Santamaría, 2009.

Debido a la presencia de esta gran diversidad geológica en la zona se delimitaron 37 geositios conectados en 12 rutas con una extensión total de 90 km. Estos geositios muestran procesos de erosión, depositación y accidentes geográficos (Palacio et al, 2016).

Dentro de estos sitios se observan barrancas, “badlands” (cárcavas), zonas de remoción de masa, paleosuelos al igual que estructuras hipabisales (diques), ejemplos de erosión

esferoidal e incluso estructuras hechas por el hombre llamadas *lamabordos*, que consisten en represas ubicadas de manera perpendicular al cauce de los ríos en la parte baja de los valles para dar lugar a terrazas agrícolas para el cultivo de alimentos. De acuerdo con Spores (1969) estas estructuras permitieron el abastecimiento de comida para hasta 50,000 habitantes en la época prehispánica en los años 1000 a 1520 d.C. A partir de esto puede observarse una de las relaciones existentes entre el medio geológico y el sociocultural de la zona.

Dados los alcances del presente trabajo se hará un especial énfasis en la formación Yanhuítlán y en los cuerpos intrusivos que pudieron dar lugar a metamorfismo de contacto.

3.3 Formación Yanhuítlán

Como se mencionó anteriormente, la formación Yanhuítlán es la que ocupa la mayor extensión dentro del GMMA y también es la más llamativa debido a su coloración. Hisazumi en 1932, (en Schlaepfer, 1970) fue quien propuso por primera vez el nombre de Formación Yanhuítlán a la serie de depósitos terciarios de la Mixteca Oaxaqueña, sin embargo, en 1949, Salas utiliza el término de “capas Yanhuítlán” para aquellas rocas ubicadas al oriente del poblado con el mismo nombre. Finalmente, Ferrusquía (1976) decide darle el nombre de Formación Yanhuítlán a la serie de capas rojizas en la región mixteca y se le asignó una edad aproximada al Paleoceno Tardío-Eoceno Medio (~40 millones de años).

Durante el Eoceno-Oligoceno (56-23 Ma) en lo que hoy es el estado de Oaxaca existieron una gran cantidad de edificios volcánicos, domos y derrames en forma de mesetas, que cerraron el drenaje y con ello dieron lugar a distintos lagos (Centeno, 2004). Esta Formación puede asociarse a una antigua cuenca endorreica de un cuerpo lenticular y con una baja profundidad expuesto a oxidación subaérea, lo que favoreció la formación de las capas rojas (Ferrusquía, 1976; Sáenz *et al*, 2009; Schlaepfer, 1970). La Formación Yanhuítlán se encuentra cubierta de manera concordante por la Toba Llano de Lobos y el volcanoclástico Teotongo y sobreyace de forma discordante al Conglomerado Tecomatlán y la Formación Tamazulapan.

La Formación Yanhuitlán consiste en “una secuencia rítmica de arcillas montmoriloníticas y limos subarcósicos pobremente consolidados de color rojo y crema” (Ferrusquía, 1976, pág: 35). La presencia de un mayor porcentaje de hematita es la principal causa de la coloración más rojiza en las capas. De acuerdo con lo reportado por Ferrusquía (*op. cit.*), el espesor de la formación tiene un estimado de 300 a 400 m, las capas de color crema tienen un grosor de 15 cm, mientras que las rojas tienen un promedio de 1 a 2 m.



Figura 3.7. Formación Yanhuitlán (fotografía: Ricardo Garnica, Dron).

La fuente de las arcillas y limos con una composición de montmorillonita y feldespatos alterados puede estar asociada a rocas metamórficas cuya fuente podría ser el Complejo Oaxaqueño del basamento.

En cuanto a la petrografía de la formación, Ferrusquía (*op. Cit.*) identificó de manera general lo siguiente:

- Una matriz compuesta principalmente por montmorillonita, ilita, calcita, al igual que partículas indeterminadas de tamaño arcilla.

- Los granos clásticos se encuentran conformados de un 70 a 80% por cuarzo, 8 a 10% de feldespato, esquirlas y fragmentos recristalizados de cuarzo con un 5 a 10%, 2 a 3% de calcita, minerales opacos como hematita 2 a 4% y minerales pesados con menos de 1% que pueden ser granate, zircón, turmalina, piroxenos y anfíboles.

A lo largo de la formación es posible encontrar venillas de yeso, sin estructura cristalina aparente y fácilmente deleznales, distribuidas irregularmente que pudieron provenir de la disolución a nivel freático de evaporitas subyacentes, confirmadas por sondeos de PEMEX con la “presencia de una gran secuencia evaporítica mesozoica en el subsuelo” según González-Alvarado (1974), por otro lado también es posible que el yeso haya sido debido a “depósitos de exudación capilar posdeposiciona a las capas portadoras” (Ferrusquía, 1976, pág: 38).

A grandes rasgos, la Formación se dispone aproximadamente horizontal, sin embargo, hay sitios con inclinaciones causadas ya sea por fallas o la presencia de cuerpos intrusivos. Dichos cuerpos intrusivos han generado un cambio en la coloración de los sedimentos de rojo ladrillo a rojo púrpura.

Otro de los rasgos importantes de esta formación que la han hecho atractiva para integrar geositios en el GMMA es que en ella ocurren procesos de erosión que dan lugar a formas como campos de cárcavas y anfiteatros o nichos de erosión, de igual forma sobre ella se han identificado una cantidad considerable de sitios arqueológicos (Oropeza *et al.*, 2016).



Figura 3.8. Formas erosivas (fotografía: Felipe D. Guzmán).

3.4 Metamorfismo de contacto

El metamorfismo se refiere a “un proceso de cambio, por el cual una roca formada originalmente en un ambiente ígneo o sedimentario es recrystalizada en respuesta a nuevas condiciones para dar lugar a una roca metamórfica” (Yardley, 1989).

De acuerdo con los procesos causantes del metamorfismo Bucher y Frey (1994) proponen la siguiente comparación:

Tabla 3.2 Tipos de metamorfismo.

Tipo de metamorfismo	Orogénico	De fondo oceánico	De contacto
Ambiente geológico	En cinturones orogénicos, con extensiones de varios miles de kilómetros cuadrados.	En la corteza oceánica, con extensiones de varios miles de kilómetros cuadrados.	Próximo al contacto con intrusiones epizonales de rocas ígneas; la aureola de contacto tiene una anchura de pocos metros a pocos kilómetros.
Régimen estático/dinámico	Dinámico, generalmente asociado con varias fases de deformación.	Sobre todo estático, con algo de fracturación, pero que desarrolla una foliación penetrativa.	Estático sin foliación.
Temperatura	150-1100 °C	150-500°C	150-750°C
Presión litostática	2-30 kbar (para rocas corticales)	< 3 kbar	0.1-3 kbar
Gradientes de temperatura	5-60 °C/km (vertical).	50-500 °C (vertical u horizontal).	100 °C/km o mayor (horizontal).

Procesos	Engrosamiento litosférico, compresión y calentamiento asociados con subducción y seguido de relajación térmica.	Calor proporcionado por el material ascendente en las dorsales oceánicas combinado con la circulación de agua de mar en las rocas fracturadas todavía calientes.	Calor proporcionado por intrusiones ígneas.
Rocas metamórficas típicas	Pizarras, filitas, esquistos, gneises, migmatitas, esquistos verdes, anfibolitas, esquistos azules, eclogitas.	Metabasaltos, metagabros, serpentinitas, “greenstones”, con la textura original normalmente conservada.	Corneanas, rocas calcosilicatadas, skarn.

Las facies metamórficas son definidas por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS por sus siglas en inglés) como “un conjunto de asociaciones minerales repetidamente asociadas en el tiempo y el espacio y que muestran una relación regular entre composición mineral y composición química global, de forma que diferentes facies metamórficas (conjunto de asociaciones minerales) se relacionan con las condiciones metamórficas, en particular temperatura y presión, aunque otras variables, como PH₂O pueden ser también importantes”. (Fettes, 2007 pág.: 20-21)

El metamorfismo de contacto es un tipo de metamorfismo con una extensión local en el cual un cuerpo intrusivo afecta a las rocas encajonantes; en este tipo de metamorfismo la temperatura es uno de los factores más importantes. La zona en donde ocurre el contacto se conoce como **aureola de contacto** (Figura 3.5) cuyo grosor puede ir desde algunos milímetros hasta varios kilómetros. Dentro de esta, la mayor alteración de la roca parental estará en las zonas cercanas a la intrusión y disminuirá conforme nos alejemos del cuerpo intrusivo. Los productos de este metamorfismo son llamados **rocas de contacto** (Best, 2003; Callegari, y Pertsev, 2007).

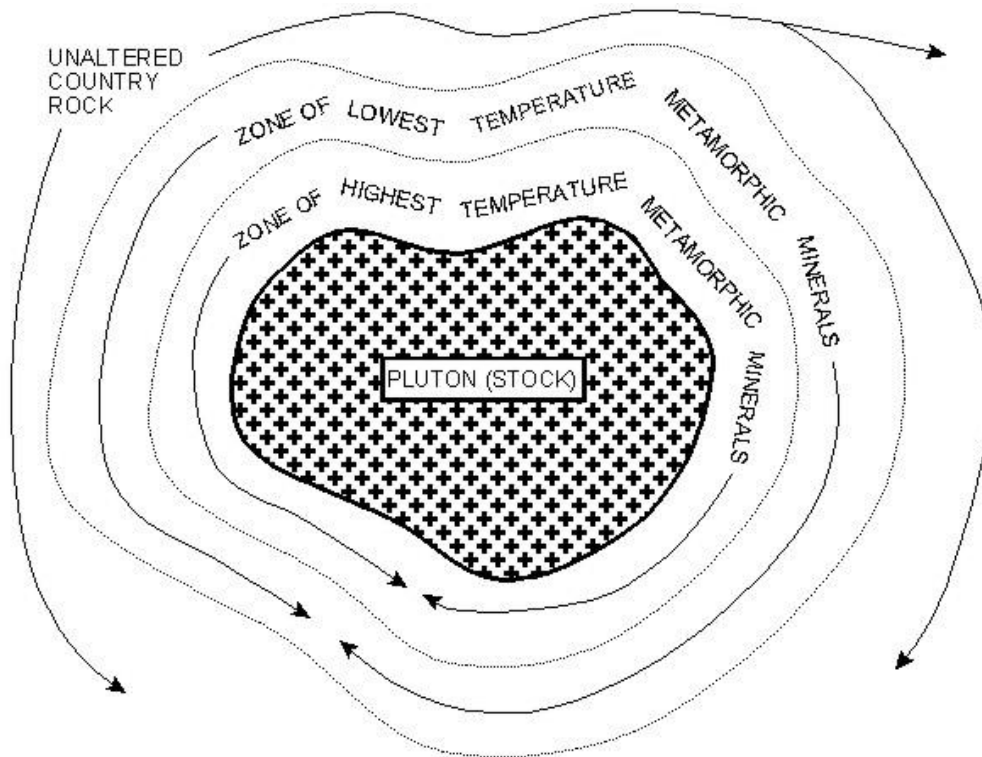


Figura 3.9. Diagrama de una aureola de contacto debido a metamorfismo por un cuerpo plutónico (fuente: Carter, (s/f)).

De acuerdo con Reyes (2011), la formación de aureolas dependerá de los siguientes factores:

- Tamaño y temperatura del intrusivo.
- Conductividad térmica, densidad y calor específico del magma solidificado.
- Temperatura inicial y contenido de H₂O en la roca encajonante.
- Presencia de volátiles.
- Temperatura de cristalización y calor latente de cristalización del magma.
- Calor absorbido o liberado por las reacciones metamórficas.

Las rocas originadas a partir del metamorfismo de contacto suelen ser complicadas de identificar debido a que no hay un cambio en la presión, por lo que no se generan foliaciones. La roca en contacto con el cuerpo intrusivo luce casi inalterada, sin embargo, si se presenta una temperatura lo suficientemente alta, podría dar lugar a un metamorfismo de mediano

grado y se presentarán minerales metamórficos en la aureola de contacto como clorita, moscovita, biotita, etc. (Haywick, 2008).

Un ejemplo de las rocas formadas a partir de metamorfismo de contacto son las “corneanas” (*hornfels*). Dependiendo de su grado de alteración presentará diferentes facies que pueden observarse en la aureola de contacto (Figura 3.8) (Shelley, 1983):

- Facies de corneanas de albita-epidota
- Facies de corneanas hornbléndicas
- Facies de corneanas piroxénicas
- Facies saniditina

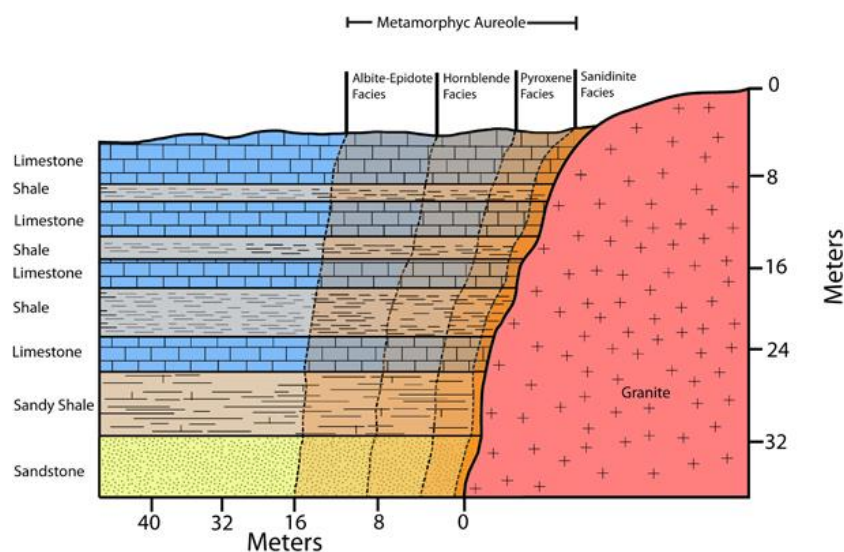


Figura 3.10. Ejemplo de una aureola de contacto con facies de corneana (fuente: Strekeisen, 2018).

Otro concepto importante es el **metasomatismo**, que involucra a los cambios químicos que forman parte del metamorfismo, en el cual se presenta un cambio en la composición de la roca encajonante a causa de la redistribución de los elementos no volátiles. Se trata de un fenómeno térmico a causa de los fluidos que aporta el magma y ocurre en presiones bajas (100 y 1000 bar, e incluso puede llegar a 3000 ~ 12 km) (Best, 2013).

Dentro del área del GMMA es posible encontrar rocas ígneas intrusivas, siendo los diques uno de los cuerpos más distintivos ya que atraviesan a la Formación Yanhuatlán. La longitud

de estos cuerpos puede ser desde unos pocos metros hasta 700m. Principalmente, se agrupan en dos zonas, cerca de la población Marcos Pérez (cinco diques) y en la porción noroccidental del Valle de Yanhuitlán (dieciséis diques). Los contactos son marcados por una zona de alteración que va desde los 3 a 6m de ancho y se caracteriza por un color morado rojizo (Ferrusquía, 1976).

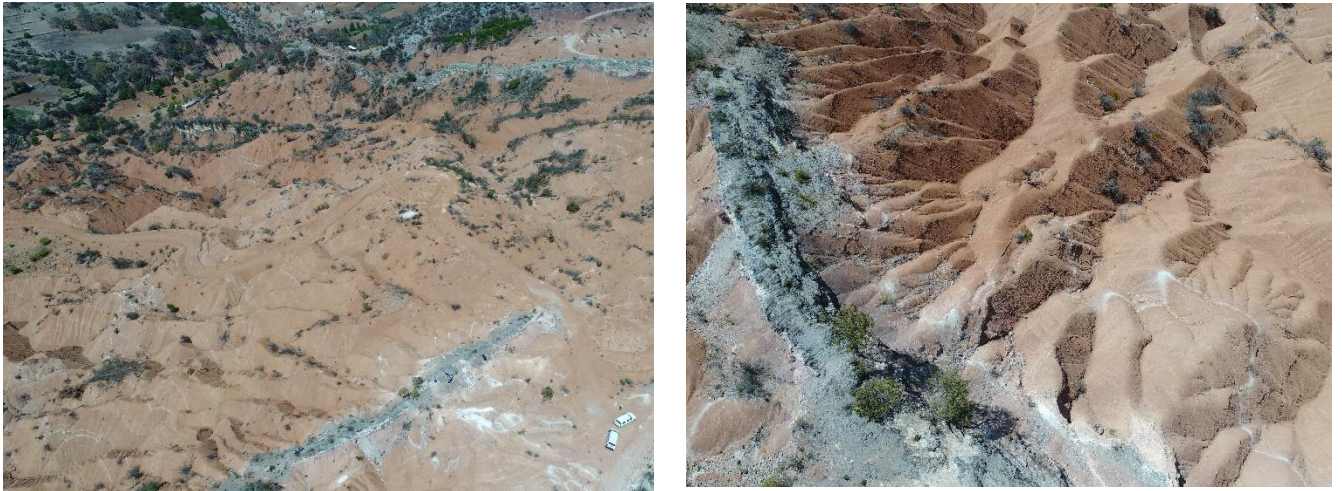


Figura 3.11. Diques atravesando la formación Yanhuitlán (fotografías: Ricardo Garnica, Dron).

CAPÍTULO 4. MÉTODO

4.1 Muestreo

En marzo de 2018 se tomaron las siguientes muestras para cubrir los objetivos específicos 1 y 2 (Figura 4.1):

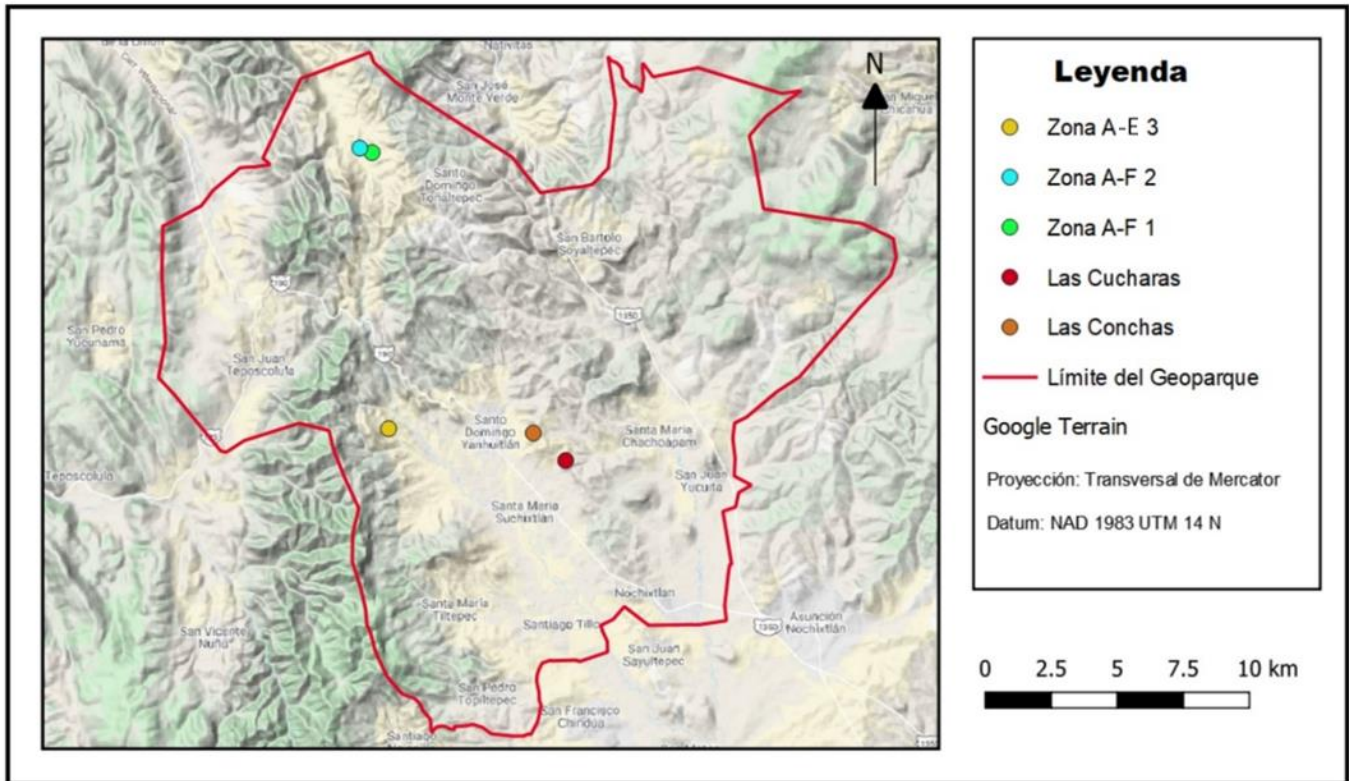


Figura 4.1 Localización de los sitios de muestreo. Diques con metamorfismo de contacto (Zona A-E 3, A-F 2 y A-F 1) y las capas de la Formación Yanhuitlán (geosítios Las Cucharas y Las Conchas).

Se recolectaron en total 23 muestras de rocas las cuales fueron guardadas en bolsas de polietileno y etiquetadas debidamente con la clave de campo, fecha y las coordenadas correspondientes a cada sitio de muestreo. (Tablas 4.1 y 4.2). Se tomaron fotografías y notas de campo.

El criterio principal para la toma de las muestras fue la coloración que se observaba a simple vista en cada uno de los sitios. Se procuró obtener la muestra de la roca que se encontraba por debajo de la cara expuesta al intemperismo. Debido a la naturaleza del material, en

algunos casos se obtuvieron muestras grandes de rocas consolidadas, mientras que en otros la mayor parte del volumen de la muestra era de la roca fragmentada con un tamaño de grava (> 2mm) o menor.

Los geositos de Las Conchas y Las Cucharas corresponden a elevaciones presentes en el municipio de Santo Domingo Yanhuitlán y que pertenecen a la formación Yanhuitlán, de tal forma que se tomaron muestras desde la parte más alta a la más baja donde la coloración variaba de tonos más claros a oscuros en ambos sitios y procurando una similitud en el color de los dos transectos de muestreo (Figura 4.2).

Tabla 4.1. Relación de muestras recolectadas de la Formación Yanhuitlán.

Sitio de interés muestreado	Clave de Campo	Coordenadas	Descripción
Las Conchas	LCON-1	17°31'34.547" N, 97°19'39.046" W	(2247 msnm) Parte superior de la formación. Poca vegetación, costras blanquecinas en la parte superior de la superficie expuesta a intemperismo. La muestra se tomó del material superficial.
	LCON-2	17°31'34.862" N, 97°19'39.797" W	(2241 msnm) La muestra fue tomada de la parte superficial del sitio, roca altamente erosionada con una gran cantidad de material suelto cubriéndola, bajo éste se puede observar una estructura en la roca.
	LCON-3	17°31'37.944" N, 97°19'48.118" W	(2201 msnm) El sitio presenta colores más rojizos a comparación de los puntos anteriores, ubicados a mayor altitud, hay presencia de intemperismo en la roca debido a la gran cantidad de material suelto que la cubre, la muestra se tomó de la parte superficial.
	LCON-4	17°31'38.818" N, 97°20'11.853" W	(2135 msnm) El sitio presenta a diferencia de los anteriores más cobertura vegetal, intercalado con zonas descubiertas con material suelto de la roca subyacente. La coloración tiende a tonalidades violetas.
Las Cucharas	LCUCh-1	17°31'00.497" N, 97°18'57.893" W	(2243 msnm) Parte superior de la formación, color blanquecino se encuentra cubierta por una costra aparentemente calcárea de gran dureza; sin embargo, al atravesarla el material puede disgregarse fácilmente.
	LCUCh-2	17°30'53.108" N, 97°18'49.027" W	(2237 msnm) La zona de la cual se tomó la muestra tiene escasa vegetación, se ubica en una pendiente, lo cual hace que el material suelto de la roca intemperizada pueda ser fácilmente transportado a los sitios más bajos.

	LCUCh-3	17°30'48.518" N, 97°18'50.500" W	(2219 msnm) Debajo del material intemperizado este punto presenta estratos de roca inclinados con un color rojizo más intenso a comparación de los puntos más elevados de este sitio.
--	---------	-------------------------------------	---

Puntos de muestreo de la Formación Yanhuitlán



Figura 4.2 Sitios de muestreo y perfiles (transectos) en la Formación Yanhuitlán.

En los sitios con metamorfismo de contacto (Camino a Marcos Pérez 1 y 2 y San Pedro Añañe), las muestras se tomaron a partir del dique (cuerpo magmático hipabisal) en cortes de carretera, a lo largo de un mismo perfil vertical en donde el cambio de colores era muy evidente entre las capas; en este sitio se distinguieron por lo menos seis colores, de cada uno de ellos se tomó una muestra (Figuras 4.4, 4.5 y 4.6).

Tabla 4.2. Relación de muestras recolectadas de metamorfismo de contacto.

Sitio de interés muestreado	Clave de Campo	Descripción
Camino a Marcos Pérez 1 (CMP 1) 17°37'21.372" N, 97°23'02.942" W	Zona A1	Cuerpo magmático intrusivo distinguido por su color gris oscuro, el espesor aproximado de este estrato es de 130 cm. Roca altamente fracturada.
	Zona B1	Estrato en contacto con el dique, el límite no es completamente uniforme, sino que se intercala la capa de tonos claros con la parte inferior del dique, consta de un espesor de 17 cm.
	Zona C1	El espesor de esta capa es de 10 cm, roca altamente fracturada y con una coloración pastel pálida.
	Zona D1	Capa con una coloración notablemente más oscura con tendencia a púrpura, material ligeramente compactado con un espesor de 44 cm.
	Zona E1	Capa más alejada con un espesor > 40 m ya no presenta ningún contacto con el dique, la roca es frágil, sobre ella se acumula material erosionado de otros estratos.
	Zona F1	Este estrato tiene un color entre verdoso y amarillento, no se encuentra alineado con los estratos colindantes, sino que se presenta entre las fracturas de los estratos posiblemente su formación fue posterior a la ocurrencia del dique.
Camino a Marcos Pérez 2 (CMP 2) 17°37'26.966" N, 97°23'18.641" W	Zona A2	Dique con un espesor > 40 m, hay presencia de vegetación con una densidad moderada. El dique presenta numerosas fracturas y la parte superficial se encuentra intemperizada y cubierta con material erosionado.
	Zona B2	Sitio de contacto entre el dique y material de la F. Yanhuilán con un color muy claro, el espesor de esta capa es de 90 cm, hay una capa superficial con material suelto e intemperizado, mientras que la roca inferior presenta fractura y tiene una gran dureza.
	Zona C2	Cambio en la coloración del estrato hacia tonos cafés, se trata de una capa con espesores variables siendo el más grande de 170 cm, presenta una facilidad para ser fragmentada. La parte superficial no presenta acumulación de material erosionado debido a la inclinación que hay en el estrato.
	Zona D2	Capa con una coloración púrpura a la vista, espesor > 40 m, la parte superficial se encuentra cubierta por material intemperizado y suelto de tamaño mediano, sobresalen fragmentos consolidados de la roca fracturada perteneciente a esta capa.
	Zona E2	Estrato de un espesor > 40 m, el color se torna más "anaranjado", la roca es muy deleznable por lo que hay material intemperizado cubriendo a la roca subyacente.

	Zona F2	La muestra de esta capa se tomó a ~10 m de distancia del perfil vertical descrito en los estratos anteriores. Perteneció a las fracturas que rodean a los bloques mayores y posee una coloración “verdosa” a simple vista.
San Pedro Añañe (SPA) 17°31'41.545'' N, 97°22'44.746'' W	Zona A3	Estrato perteneciente al dique, la posición de éste es horizontal, tiene una coloración grisácea y dureza alta, espesor de 4.5 m, la capa se encuentra fracturada y hay una acumulación del material que ha sido intemperizado y erosionada tanto de esta capa como de las capas aledañas.
	Zona B3	Capa con un espesor de 77 cm y coloración “café pálido”, la cara expuesta a la atmósfera presenta algunos puntos oscuros debido al intemperismo, sin embargo, la cara “fresca” de la roca mantiene la coloración clara.
	Zona D3	Estrato de 290 cm de espesor, coloración púrpura a la vista, su orientación es vertical a diferencia de las capas anteriores, presencia de vegetación seca cubriendo la capa, en la parte superior queda expuesta la roca fragmentada mientras que en la inferior se está acumulando el material fino intemperizado.
	Zona E3	Capa con un espesor > 40 m, la muestra se tomó a una distancia de 7,7 m de la línea vertical de la cual se tomaron las muestras anteriores, la coloración se vuelve “amarillenta”. Presencia de material no consolidado e intemperizado cubriendo la parte superior del estrato.

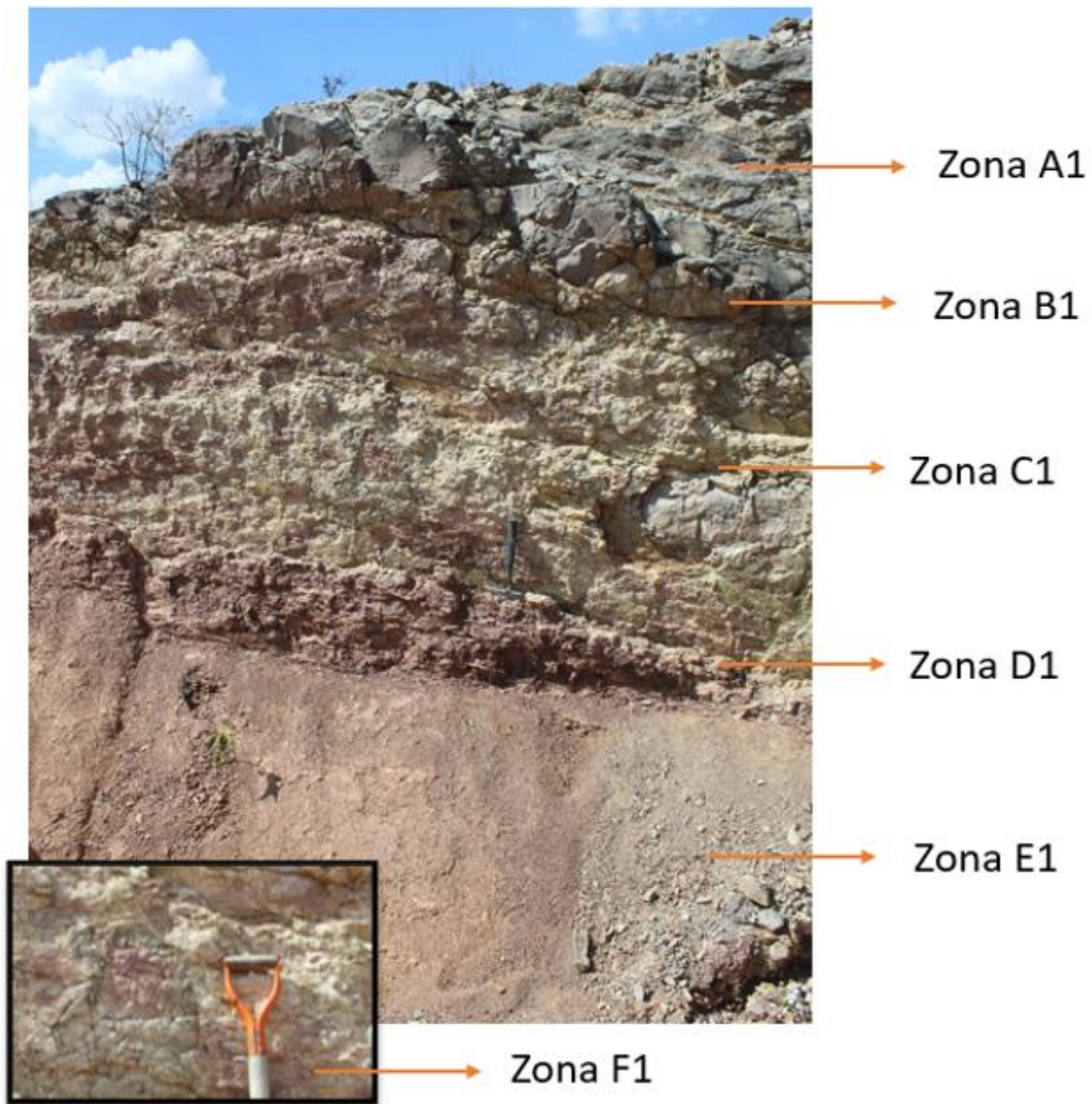


Figura 4.3 Puntos de muestreo del cuerpo intrusivo en Camino a Marcos Pérez 1 (CMP 1)

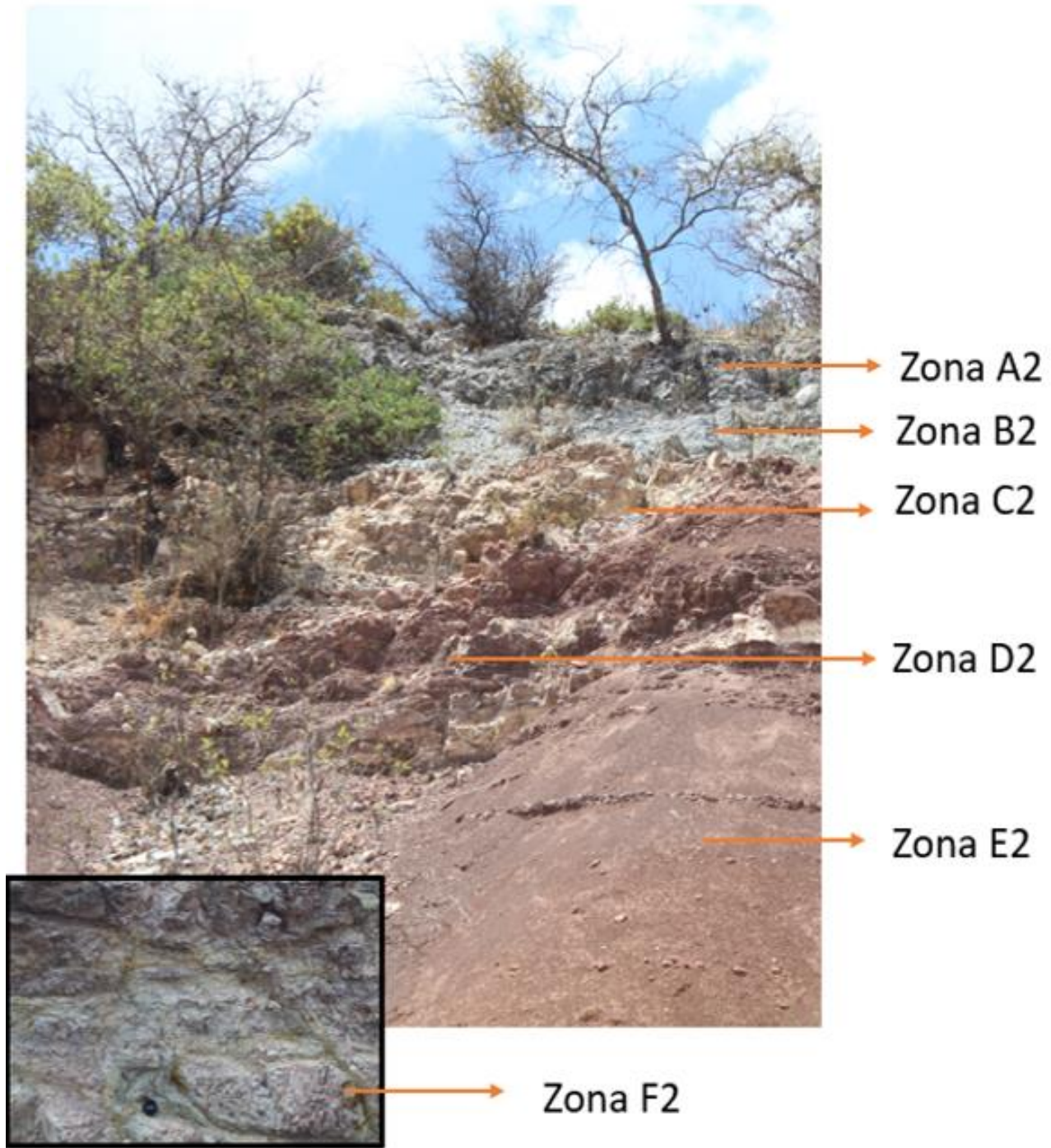


Figura 4.4 Puntos de muestreo del cuerpo intrusivo en Camino a Marcos Pérez 2 (CMP 2)



Figura 4.5 Puntos de muestreo del cuerpo intrusivo en San Pedro Añañe (SPA)

Considerando que en los tres sitios se ha formado una aureola de contacto debido a la presencia del cuerpo magmático intrusivo la delimitación de las zonas corresponde a lo siguiente: A- Dique, B- Zona de contacto con mayor alteración (temperatura más alta), C- Zona de contacto con menor alteración (temperatura más baja), D- Formación Yanhuítlán inalterada 1, E- Formación Yanhuítlán inalterada 2, F- Alteración entre fracturas

4.2 Caracterización del color

El color de las muestras se identificó con el Sistema de Notación Munsell, cuya descripción y forma de empleo se describió en el *Capítulo 2* del presente trabajo.

La caracterización del color de cada una de las muestras tomadas se realizó tanto en húmedo como en seco sobre una porción pequeña de la muestra previamente tamizada y molida en mortero de ágata. Se decidió tomar en cuenta ambas condiciones ya que en el geoparque a lo largo del año se presentan una época de lluvias y una de secas lo cual puede modificar el color observado, tanto de las capas de la Formación Yanhuítlán, como en los sitios de contacto con los diques.

4.3 Petrografía

Se llevó a cabo un estudio de las muestras en lámina delgada; algunos minerales o componentes de las mismas cuya presencia es imperceptible con la difracción de rayos X, pero que se pueden identificar a través de la observación bajo el microscopio.

La petrografía es el estudio de las rocas y los minerales usando un microscopio. El análisis petrográfico puede llevarse a cabo en láminas delgadas, de hasta 30 μm o menos. A través de la observación de las láminas con un microscopio de luz polarizada es posible examinar a mayor detalle las características microtexturales y mineralógicas de una roca (Ahmed, 2015).

El análisis petrográfico se realizó para las 23 muestras de roca y fue llevada a cabo por la empresa Petroanálisis Ingeniería S. de R.L. de C.V. Las láminas fueron analizadas en un

microscopio petrográfico en el Laboratorio de Microscopios Francisco J. Fabregat del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

4.4 Difracción de Rayos X

Se llevó a cabo el análisis de difracción de rayos X (DRX) con la finalidad de identificar la mineralogía perteneciente a cada una de las muestras obtenidas en campo.

Al igual que la luz visible descrita en la sección 4.2, los Rayos X forman parte del espectro electromagnético; sin embargo, las longitudes de onda son más cortas (10 nm – 10 pm) y se producen cuando los electrones que se mueven a gran velocidad chocan con los átomos de un elemento dado, son invisibles al ojo humano y viajan en línea recta; los rayos X que se emplean en la investigación de los cristales suelen tener longitudes de onda del orden de 0.1 nm (Hurlbut, 1960).

Para llevar a cabo la identificación mineralógica de las 23 muestras de roca se empleó el método de difracción de polvo cristalino, el cual consiste en pulverizar la muestra con un mortero de ágata hasta que tenga un tamaño menor a 40 micras. Posteriormente la muestra es colocada sobre un portamuestras de aluminio que se pone en un soporte del difractómetro para comenzar el análisis. La rutina de las muestras geológicas emplea un intervalo angular de 2θ de 4° a 70° por escaneo continuo.

El difractómetro consiste en una fuente productora de rayos X, un portamuestras montado sobre un goniómetro giratorio y un detector (Figura 4.6). Tras llevar a cabo la emisión de la radiación se obtiene un difractograma, el cual es un gráfico en donde se registran los datos de intensidad en función del ángulo de difracción (2θ) en forma de una serie de “picos”. En las abscisas se encuentra la información del ángulo de difracción, mientras que en las ordenadas la intensidad correspondiente de la dispersión de los rayos X.

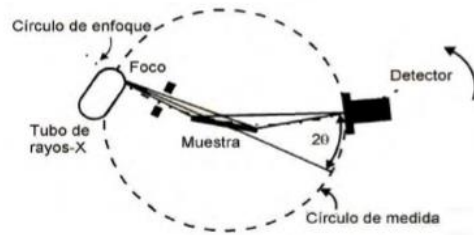


Figura 4.6. Esquema de las partes fundamentales de un difractor, Fuente: Melgarejo *et al*, 2010.

El análisis se llevó a cabo con un difractor SIEMENS D5000 equipado con tubo de Cobre en el Laboratorio de Fluorescencia de rayos X, en el Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) del Instituto de Geología.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización de los sedimentos de la Formación Yanhuatlán.

La siguiente tabla describe los colores identificados para las muestras de ambos transectos de la Formación Yanhuatlán.

Tabla 5.1 Colores de las muestras de la Formación Yanhuatlán.

Las Conchas	LCON-1 (2247 msnm)	LCON-2 (2241msnm)	LCON-3 (2201 msnm)	LCON-4 (2135 msnm)
Color	<u>Seco</u> 5YR 8/1 “White”	<u>Seco</u> 7.5YR 8/3 “Pink”	<u>Seco</u> 7.5YR 7/6 “Reddish Yellow”	<u>Seco</u> 5YR 6/4 “Light Reddish Brown”
	<u>Húmedo</u> 5YR 8/2 “Pinkish White”	<u>Húmedo</u> 7.5YR 6/4 “Light Brown”	<u>Húmedo</u> 5YR 5/8 “Yellowish red”	<u>Húmedo</u> 5YR 4/4 “Reddish Brown”
Las Cucharas	LCUCh-1 (2243 msnm)	LCUCh-2 (2237 msnm)	LCUCh-3 (2219 msnm)	
Color	<u>Seco</u> 7.5YR 8/1 “White”	<u>Seco</u> 7.5YR 8/3 “Pink”	<u>Seco</u> 7.5YR 7/6 “Reddish Yellow”	
	<u>Húmedo</u> 7.5YR 8/1 “White”	<u>Húmedo</u> 7.5YR 6/6 “Reddish Yellow”	<u>Húmedo</u> 7.5YR 5/8 “Strong Brown”	

La DRX (Anexo 1.3 y Anexo 2.1) para las muestras LCON-1 y LCUCh-1, existen los mismos picos del difractograma. En ambos casos dichos picos corresponden a calcita y cuarzo. Las muestras LCON-2 a 4 y LCUCh-2 y 3 presentan de igual forma los picos para esos mismos minerales, además de otros que corresponden al grupo de arcillas de las Esmectitas (Figura 5.1). En el caso de LCON-2 y LCUCh-2 se observa en la imagen del anexo que tienen un pico que puede asociarse al mineral Zaherita, sin embargo, se trata de una anomalía mineralógica y el pico no es muy significativo por lo que puede tratarse de un error en el software de interpretación y se decidió omitir a este mineral como los característicos para estos estratos.

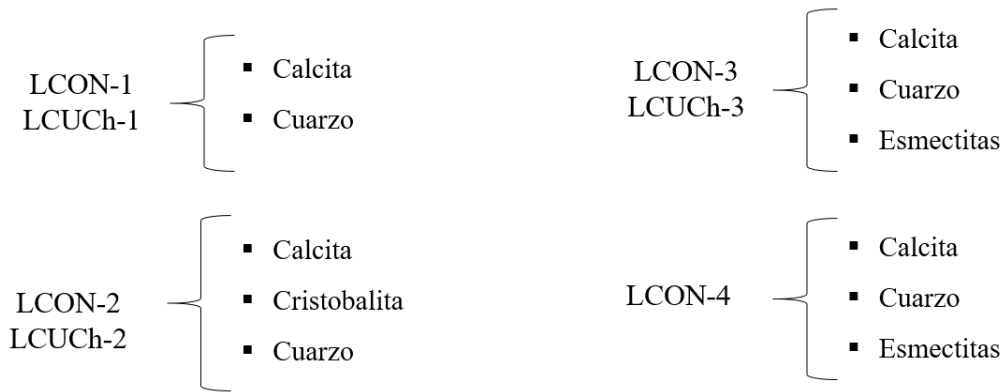
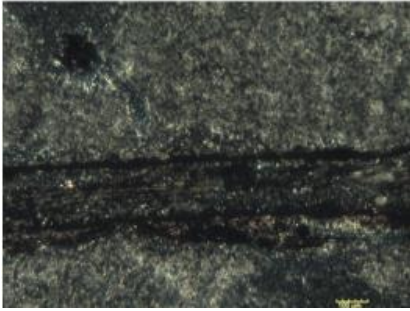

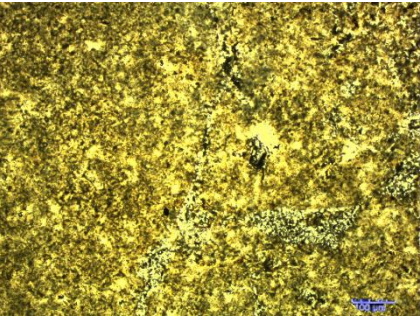
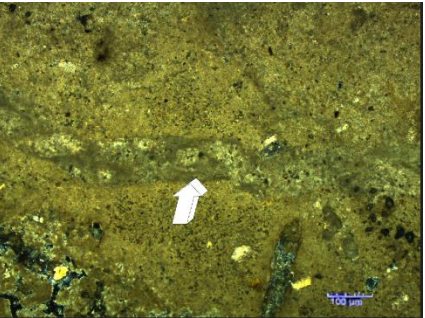
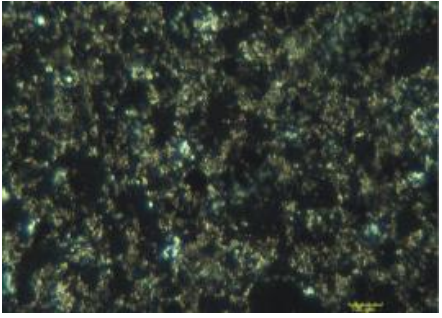
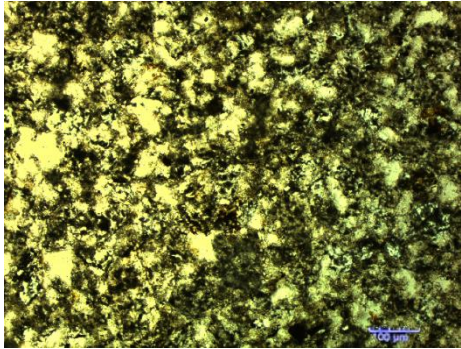
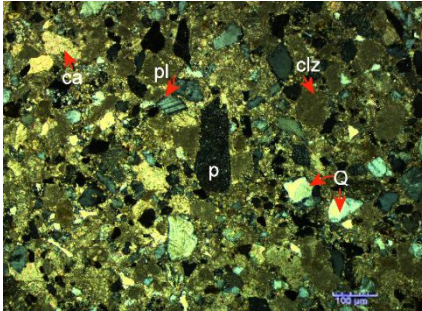
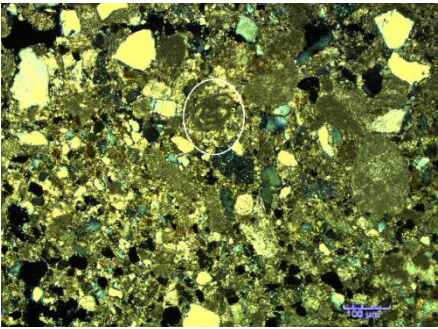
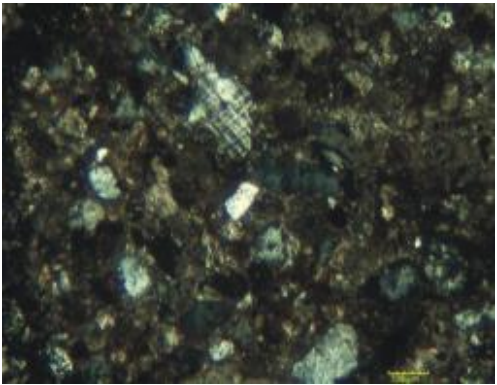
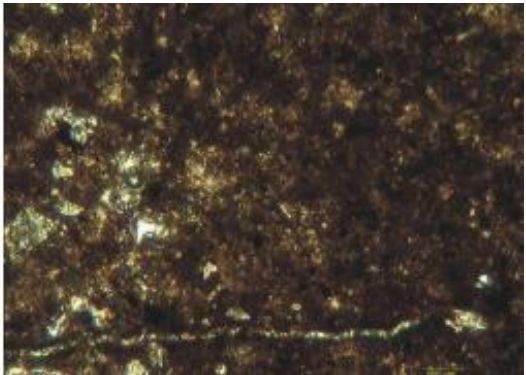


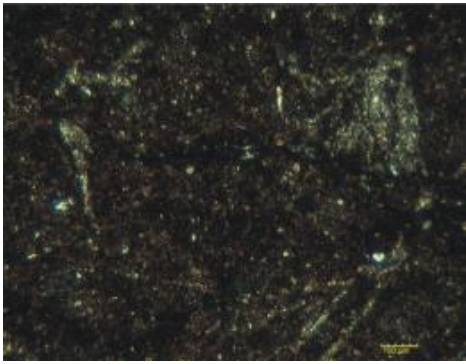
Figura 5.1 Mineralogía observada en DRX para los sitios de “Las Conchas” y “Las Cucharas”.

En la Tabla 5.2 se presentan las observaciones de las láminas delgadas para las muestras de ambos transectos.

Tabla 5.2 Láminas delgadas de los estratos de la Formación Yanhuatlán.

Las Conchas		Las Cucharas	
LCON-1	 Luz normal	 Luz polarizada	LCUCh-1
	 Luz polarizada	 Luz polarizada	
<p>Mudstone constituida por material arcilloso calcáreo (micrita). El carbonato de calcio se presenta en cristales entre 3 y 10 µm con abundantes fragmentos pequeños de material gris verdoso de aspecto arcilloso (probablemente fragmentos algáceos).</p>		<p>Lodo calcáreo arcilloso con fragmentos de mica (M), existen diseminados escasos fragmentos de mica (círculo blanco) tamaño limo. Se pueden distinguir dos tamaños de partículas, arena en la parte superior y limo en la inferior. En esta última es donde se encuentran los fragmentos de mica.</p>	

		Se presenta un fragmento algáceo en el centro con tonalidades grisáceas (flecha blanca), evidencia de un ambiente lacustre.	
LCON-2	 <p>Luz normal</p>  <p>Luz polarizada</p>	 <p>Luz polarizada</p>  <p>Luz polarizada</p>	LCUCH-2
	<p>Lutita grano fino constituida por clastos de minerales de origen volcánico (feldespato sódico abundante y cuarzo) depositados en condiciones lacustres en una matriz arcillosa y cementados por calcita.</p> <p>Existe escasa biotita (mica) en tamaño de arena fina y algo de material arcilloso de color verdoso diseminado en toda la roca.</p> <p>La roca primero fue cementada por carbonato de calcio y posteriormente por procesos relacionados con agua vadosa parece haber sido introducido el material arcilloso.</p>	<p>Arcosa con clastos de dos fuentes de aporte: 1.- Secuencia calcárea de la que procede la caliza (cz), pedernal (p) y calcita (ca). 2.- Secuencia volcánica de donde proceden las plagioclasas (pl) y cuarzo (q).</p> <p>Se aprecian fragmentos de caliza y microfósiles (círculo [miliólido]) de origen marino, fragmentos angulosos y sub-angulosos de plagioclasa y cuarzo.</p>	
LCON-3	 <p>Luz normal</p>	 <p>Luz normal</p>	LCUCH-3
	Arenisca arcósica de grano fino, sub-redondeados a redondeados, mineralogía principal de feldespato potásico y	Limolita con laminación arcillosa con hematita finamente diseminada (borde superior derecho) y fragmentos alterados	

	cuarzo, cementados por carbonato de calcio, (microesparita) y óxido férrico (hematita).	de pómez. Presencia de feldespatos alterados visibles y matriz micrítica alterada por oxidación. Microvetilla posterior a la roca de calcita.
LCON-4	 <p>Luz normal</p>	
	<p>Limolita (plagioclasas, cuarzo) contenido en material amorfo recristalizando a minerales arcillosos rico en hematita.</p> <p>En su interior presenta cuerpos aislados fibrosos de calcita que pudieran corresponder a material vegetal reemplazado.</p>	

Las muestras de la Formación Yanhuatlán y que corresponden a los sitios de muestreo “Las Conchas” y “Las Cucharas” presentan una coloración que va de tonos rojizos a claros conforme se avanza al techo de la unidad. En ambos casos la capa superior (*LCON-1* y *LCUCh- 1*) presenta una e costra dura blanquecina, hay una concordancia en la mineralogía con calcita y cuarzo, con la petrografía se pueden observar fragmentos algáceos. El tamaño de grano va desde arenas hasta limos.

Al disminuir la altitud en la formación (< 2241 msnm) e ir al estrato inferior, incrementan las tonalidades rojizas, las capas intermedias tienen colores rosados en seco (7.5YR 8/3 “Pink”), mientras que en las capas inferiores predominan las tonalidades rojizas (7.5YR 7/6 “Reddish Yellow” y 5YR 6/4 “Light Reddish Brown”). En el Anexo 1.5 se observa una coincidencia en los picos obtenidos en la difracción para las muestras *LCON-3* y *4* así como *LCUCh-3* los cuales indican la presencia de calcita y cuarzo sumado a arcillas (esmectitas), muy probablemente montmorillonitas e illitas. Los primeros dos minerales son visibles

también en la lámina delgada. Esta última permite observar la presencia de granos de tamaño arena gruesa y limos.

Los resultados concuerdan con lo propuesto con Ferrusquía (1976), ya que el tamaño de grano observado en lámina delgada es tanto de limos como de arena fina con una coloración rojiza en las partes inferiores y rosada o “crema” en capas intermedias, los materiales de las capas son fácilmente deleznable.

Los análisis muestran la presencia de diferentes minerales visibles en la lámina delgada para las muestras *LCON-2*, *LCON-4* y *LCUCh-3*. Este conjunto de minerales podría sugerir dos fuentes de aporte de material, por un lado, zonas altas calcáreas de las cuales se transportaban los fragmentos de calizas con pedernal y microfósiles. Mientras que también existían terrenos que aportaban minerales como plagioclasa, cuarzo, mica.

Los estudios hechos sobre la Formación confirman la presencia de los feldespatos tanto alcalinos como plagioclasas con grandes alteraciones, al igual que la calcita y el cuarzo. En este caso las esmectitas fueron caracterizadas como montmorilonitas dentro de la matriz de las rocas.

Tanto Ferrusquía (1976) como Schlaepfer (1970) concuerdan en que el material de aporte hacia el lago somero que dio lugar a la Formación Yanhuatlán es de origen metamórfico muy probablemente proveniente del Complejo Oaxaqueño, así como una zona de calizas. Schlaepfer detalla que la abundancia de piroxenos y anfíboles en el centro de la cuenca podrían deberse a una aportación local de material volcánico. La zona de depósito muy

probablemente comprendía a un lago somero con un fondo expuesto periódicamente a oxidación que dio lugar a las capas rojizas.

Finalmente, las diferencias que presentan los sitios entre la coloración y la mineralogía permiten asociar la presencia de la hematita observada en la petrografía, de las muestras *LCON 2-4* y *LCUCh 2 y 3*, a diferencia de los puntos *LCON-1* y *LCUCh-1*, donde únicamente se encuentra calcita y cuarzo. La intensidad del color rojo puede ser debida a la cantidad de óxidos de Fe presentes; sin embargo, se requiere de otro tipo de estudios para conocer el porcentaje de algunos minerales en la muestra, sin embargo, esto se encuentran más allá del alcance del presente trabajo. De acuerdo con Ferrusquía (1976, pág: 38) el color rojizo de la formación se asocia a” una zona de depósito de una cuenca con un lago somero... su fondo expuesto a oxidación subárea produciendo el color rojizo”, mientras que el yeso “procede de la disolución (a nivel subfreático) de evaporitas subyacentes... provenientes de una secuencia mesozoica en el subsuelo”.

5.2 Caracterización del metamorfismo de contacto.

Los colores en húmedo y en seco para las muestras de las tres zonas de metamorfismo de contacto se describen en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Colores de las muestras en los sitios de metamorfismo de contacto (CMP1 – Camino a Marcos Pérez 1, CMP2 – Camino a Marcos Pérez 2, SPA – San Pedro Añañe).

CM1	Zona A1	Zona B1	Zona C1	Zona D1	Zona E1	Zona F1
Color	Seco 7.5YR 7/1 “Light Gray”	Seco 5YR 7/2 “Pinkish gray”	Seco 7.5YR 7/3 “Pink”	Seco 7.5YR 6/4 “Light Brown”	Seco 7.5YR 7/6 “Reddish Yellow”	Seco 5Y 8/2 “Pale Yellow”
	Húmedo 7.5YR 5/2 “Brown”	Húmedo 5YR 5/3 “Reddish Brown”	Húmedo 7.5YR 4/6 “Strong Brown”	Húmedo 7.5YR 4/6 “Strong Brown”	Húmedo 7.5YR 5/6 “Strong Brown”	Húmedo 5Y 7/4 “Pale Yellow”

CM2	Zona A2	Zona B2	Zona C2	Zona D2	Zona E2	Zona F2
Color	<u>Seco</u> GLEY 1 7/N “Light Gray”	<u>Seco</u> 10YR 8/3 “Very Pale Brown”	<u>Seco</u> 7.5YR 5/4 “Brown”	<u>Seco</u> 7.5YR 5/4 “Brown”	<u>Seco</u> 5YR 6/6 “Reddish Yellow”	<u>Seco</u> 5Y 7/1 “Light Gray”
	<u>Húmedo</u> GLEY 1 5/N “Gray”	<u>Húmedo</u> 10YR 6/4 “Light Yellowish Brown”	<u>Húmedo</u> 5YR 4/3 “Reddish Brown”	<u>Húmedo</u> 7.5YR 2.5/3 “Very Dark Brown”	<u>Húmedo</u> 5YR 4/4 “Reddish Brown”	<u>Húmedo</u> 5Y 6/1 “Gray”
SPA	Zona A3	Zona B3		Zona D3	Zona E3	
Color	<u>Seco</u> 5Y 7/1 “Light Gray”	<u>Seco</u> 5YR 7/3 “Pink”		<u>Seco</u> 5YR 6/4 “Light Reddish Brown”	<u>Seco</u> 5YR 7/4 “Pink”	
	<u>Húmedo</u> 5Y 5/1 “Gray”	<u>Húmedo</u> 5YR 6/4 “Light Reddish Brown”	<u>Húmedo</u> 5YR 4/3 “Reddish Brown”	<u>Húmedo</u> 5YR 5/6 “Yellowish red”		

Los difractogramas (Anexo 1.6 – 1.17) muestran que hay coincidencias en los picos presentes para cada una de las zonas. Los resultados de la DRX muestran que en la *zona A1, A2 y A3* hay calcita y cuarzo, mientras que las *zonas B1-3, C1-2, D1-3 y E1-3*, coinciden en los picos característicos de calcita, cuarzo y esmectitas.

Finalmente en las *zonas F1 y F2* se identifica calcita, esmectitas y feldespatos (Figura 5.2).

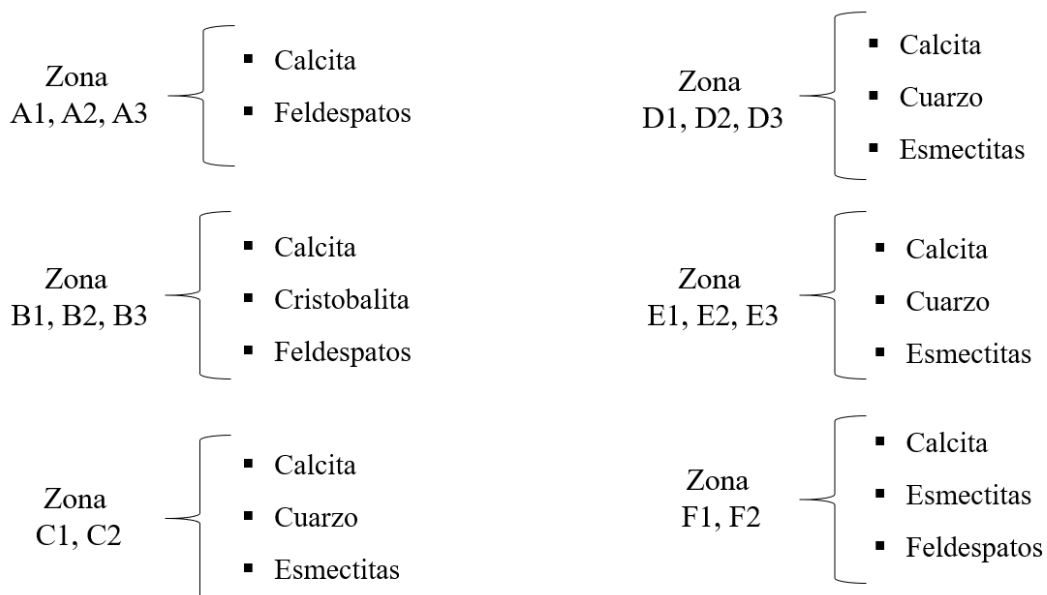
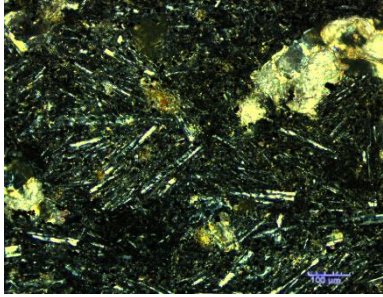
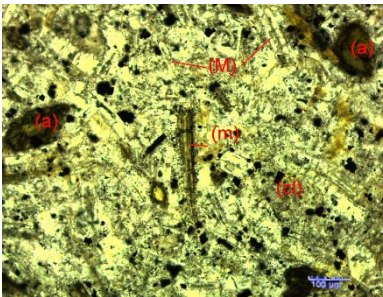
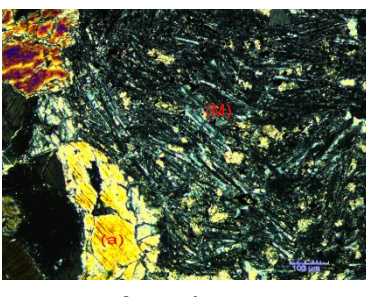
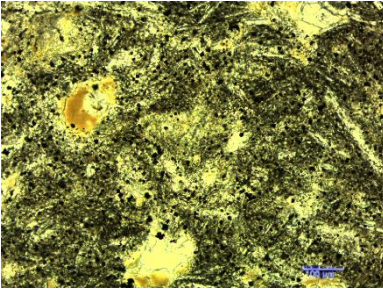
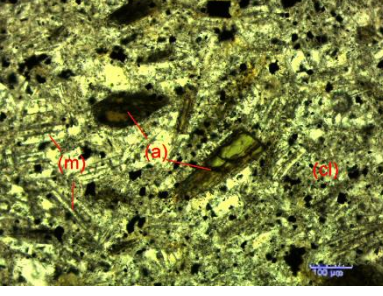
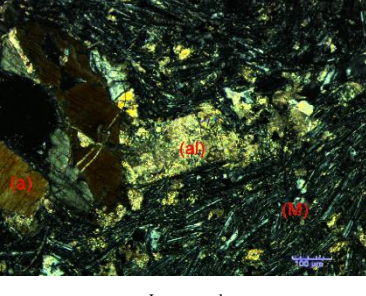
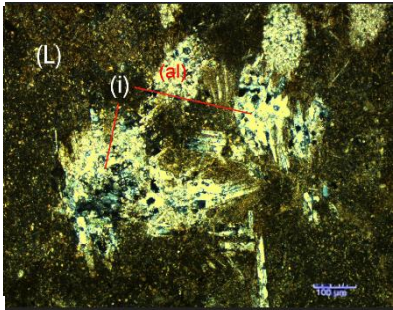
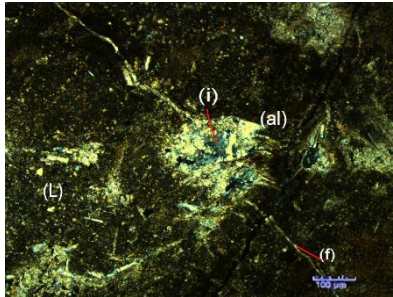
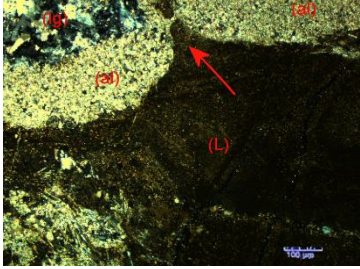
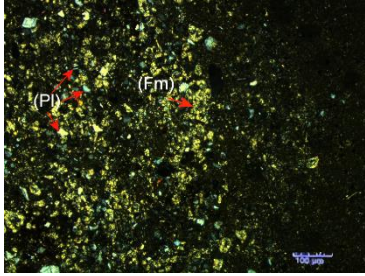
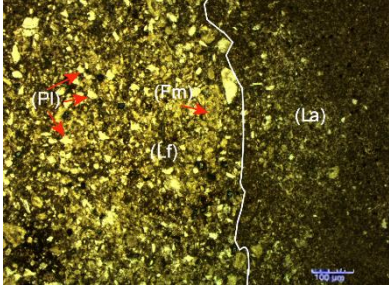
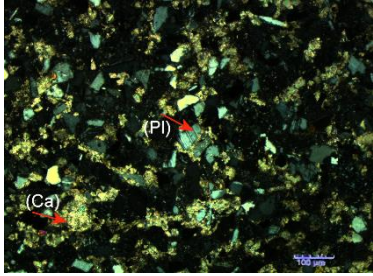


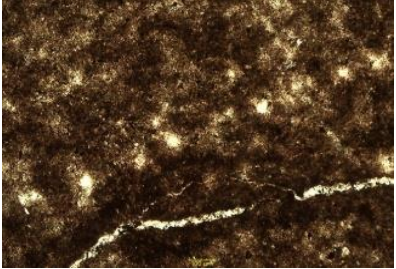
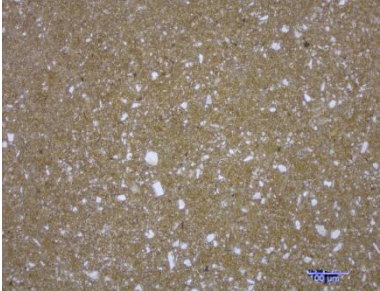
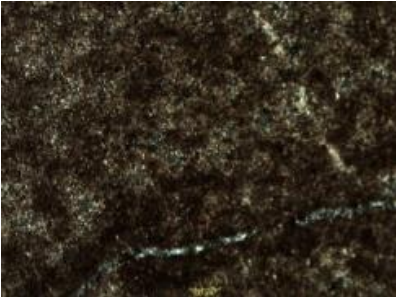

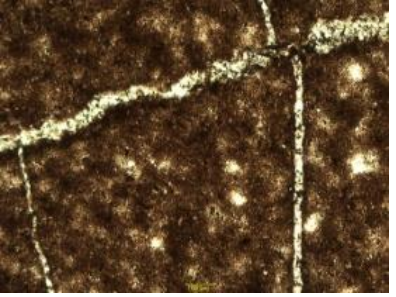
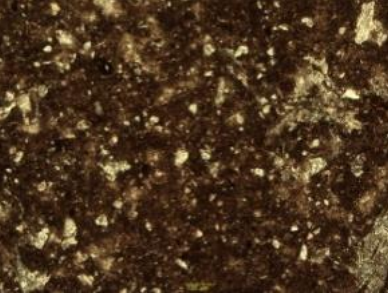
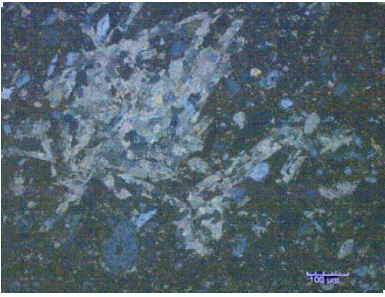
Figura 5.2 Mineralogía observada en DRX para los sitios de “CMP1”, “CMP2” y “SPA” para las zonas de colores diferentes detectados visualmente (A, B, C, D, E y F).

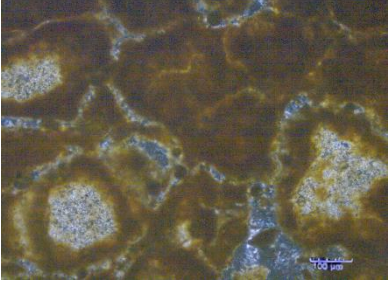
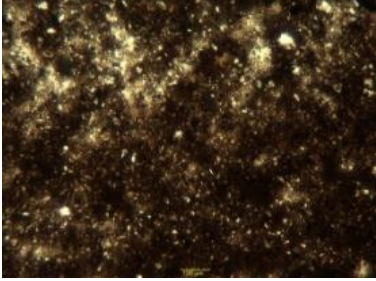
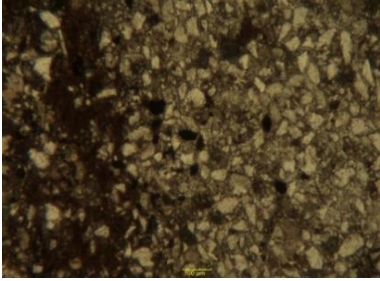
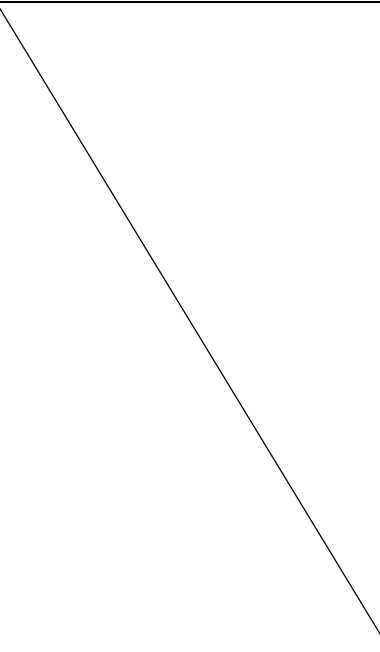
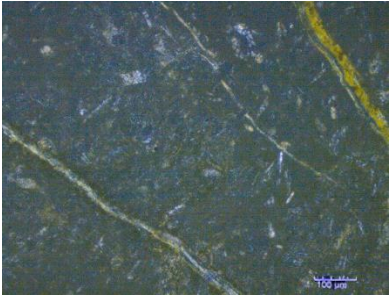
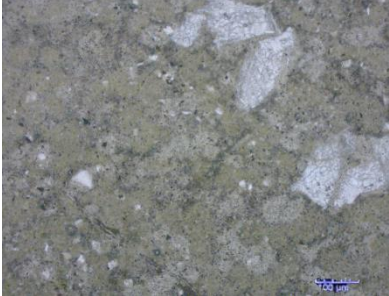
Por otro lado, a través de las láminas delgadas es posible observar más detalles respecto a la composición mineralógica de las muestras y con ello compararlas y complementar la mineralogía de éstas.

Tabla 5.4 Láminas delgadas de las muestras tomadas en los sitios de contacto con los diques CMP1, CMP2 y SPA.

CMP 1	CMP 2	SPA
<i>Zona A1</i>	<i>Zona A2</i>	<i>Zona A3</i>
 <p data-bbox="391 1199 472 1220">Luz normal</p>	 <p data-bbox="797 1199 891 1220">Luz polarizada</p>	 <p data-bbox="1183 1184 1265 1205">Luz normal</p>
 <p data-bbox="380 1541 480 1562">Luz polarizada</p>	 <p data-bbox="797 1541 891 1562">Luz polarizada</p>	 <p data-bbox="1208 1533 1289 1554">Luz normal</p>
<p data-bbox="235 1581 628 1745">Roca ígnea (andesita) con textura traquítica, abundantes cristales pequeños (microlitos) de plagioclasa, entre vidrio volcánico y ferromagnesianos alterados. En la segunda fotografía se muestra en tonalidades verdosas minerales del grupo de las cloritas.</p>	<p data-bbox="649 1581 1042 1799">Roca ígnea con textura microlítica donde se pueden observar microlitos de plagioclasa bien cristalizados y de un mayor tamaño (M) también se puede distinguir mica (m) y anfíboles como parte de los magnesianos presentes en la sección delgada. De igual forma hay minerales arcillosos diseminados del grupo de las cloritas (cl).</p> <p data-bbox="649 1833 1042 1881">En la segunda foto se aprecia la abundancia de microlitos de plagioclasa e inmersos en</p>	<p data-bbox="1062 1581 1440 1688">Roca ígnea se aprecia el movimiento del fluido de los microlitos (M) afectados por la presencia de cristales más grandes y mejor formados de anfíbol (a).</p> <p data-bbox="1062 1719 1440 1827">Acercamiento de matriz microlítica (M) donde se intercalan cristales ferromagnesianos (a) acompañados por cristales alterados selectivamente.</p>

	ella hay ferromagnesianos (a) y cloritas como producto de alteración.	
<i>Zona B1</i>	<i>Zona B2</i>	<i>Zona B3</i>
 <p>Luz polarizada</p>  <p>Luz polarizada</p>  <p>Luz polarizada</p>	 <p>Luz polarizada</p>  <p>Luz normal</p>	 <p>Luz polarizada</p>
<p>Hay presencia de cuerpos pequeño de roca ígnea micolítica (i) dentro de los limos que corresponden a la Formación Yanhuitlán. El contacto del material ígneo con los limos da lugar a bordes de alteración (al) que da lugar a minerales amarillentos (calcita).</p> <p>Se presentan efectos de esfuerzos expresados como fracturamiento (f) relleno por calcita.</p> <p>El limo arcilloso (L) presenta bordes de reacción (al) en los contactos por la introducción del material ígneo (ig). Al introducirse este material dio lugar a esfuerzos que deformaron al limo (flecha).</p>	<p>Los granos blancos finos de limo corresponden a plagioclasa (Pl), mientras que los de tonalidades amarillentas son ferromagnesianos alterados.</p> <p>La sección delgada está compuesta de dos texturas delimitadas por una línea blanca. En la parte derecha (La) se encuentran limos arcillosos, mientras que en la izquierda hay limos finos (Lf). Dentro de este último se pueden observar minerales de plagioclasa (Pl) y ferromagnesianos alterados (Fm)</p>	<p>La textura es de arena fina compuesta por fragmentos angulosos a subangulosos de plagioclasa (Pl) que muestra la macla de la albita.</p> <p>La calcita (Ca) se encuentra presente como cementante o alteración de alguno de los clastos.</p>
<i>Zona C1</i>	<i>Zona C2</i>	

 <p>Luz polarizada</p>	 <p>Luz normal</p>	
 <p>Luz normal</p>	 <p>Luz polarizada</p>	
<p>Limolita con hematita diseminada, presenta fraccamiento.</p>	<p>Limo fino arcilloso, los clastos blancos son de plagioclasa y flotan en una matriz arcillosa de color parduzca.</p>	
<p><i>Zona D1</i></p>	<p><i>Zona D2</i></p>	<p><i>Zona D3</i></p>
 <p>Luz polarizada</p>	 <p>Luz polarizada</p>	 <p>Luz polarizada</p>
<p>Masa de cuerpos amorfos hematíticos rodeados en sus límites por material tamaño limo. Exhibe fracturamiento en dos direcciones relleno por minerales arcillosos.</p>	<p>Limolita rojiza (presencia de óxidos de hierro) con parches de calcita acicular.</p>	<p>Limo arenoso (principalmente plagioclasa) con matriz arcillosa con parches de calcita con cristales tabulares. Debido a la pureza de los cristales se considera que se trata de rellenos secundarios.</p>
<p><i>Zona E1</i></p>	<p><i>Zona E2</i></p>	<p><i>Zona E3</i></p>

 <p>Luz polarizada</p>	 <p>Luz normal</p>	 <p>Luz normal</p>
<p>Agregados globulares de hematita bordeados por minerales arcillosos.</p> <p>Cuerpos ovoidales irregulares simples o compuestos de óxido e hidróxido de hierro. Podría tratarse de un horizonte lixiviado por agua percolante.</p>	<p>Limolita laminada con material amorfo rico en óxidos de hierro (mini-carpetas algáceas bacterias)</p>	<p>Arenisca de grano fino con laminaciones de limolita cementadas por calcita. Todo con hematita diseminada.</p>
<p><i>Zona F1</i></p>	<p><i>Zona F2</i></p>	
 <p>Luz polarizada</p>	 <p>Luz normal</p>	
<p>Material de origen volcánico en el que se aprecian fracturas rellenas con limolita (hidróxido de Fe color amarillento), las otras se encuentran rellenas por calcita y parcialmente limonita.</p>	<p>Material arcilloso (posible ceniza volcánica alterada) con escasos clastos tamaño limo.</p>	

En los tres sitios (Camino a Marcos Pérez [CMP] 1 y 2, San Pedro Añañe [SPA]) la *zona A*, corresponde al cuerpo intrusivo. Si bien, los valores de la tabla munsell para el color (matiz, claridad y pureza) varía en los tres lugares el nombre coincide en un “Light Gray”. La difracción (Anexo 2.4) muestra la presencia de calcita y feldespatos en esta zona, mientras

que en la petrografía se da un mayor detalle con la presencia de vidrio volcánico, minerales ferromagnesianos alterados (biotita), cloritas y anfíboles.

La zona B de manera general tiene una coloración blanquecina/rosácea que en términos de la tabla Munsell incluye 5YR 7/2 “Pinkish gray”, 10YR 8/3 “Very Pale Brown” y 5YR 7/3 “Pink”, en seco. El espesor para CMP 1 es de menos de 20 cm, mientras que en los otros dos sitios va desde los 77 a 90 cm; esta zona correspondería teóricamente a la aureola de contacto de mayor temperatura por ser el sitio más próximo al dique.

El difractograma (Anexo 2.5) muestra en todos los casos minerales de calcita, cristobalita y feldespatos (plagioclasas), mientras que para SPA se observan además a las esmectitas. Las láminas delgadas permiten ver en esta zona una textura de limos para las zonas B1 y B2, aunque en esta última se distinguen dos tamaños (limo fino y arcilloso), mientras que en B3 el tamaño predominante es de arena fina.

En cuanto a la mineralogía de esta zona, se muestra la influencia de la zona A debido a la presencia de plagioclasas que “intruyen” al limo característico de la Formación Yanhuitlán y se presentan bordes de alteración, así como fracturamientos que han sido rellenados por calcita.

La *zona C* también forma parte de la aureola de contacto en donde el color es distinto al de la Formación Yanhuitlán no alterada por la roca intrusiva, dicha zona está presente únicamente en los sitios de CMP1 y CMP2. En CMP1 hay una coloración rosa que puede verse ligeramente café en húmedo (7.5YR 7/3 “Pink” y 7.5YR 4/6 “Strong Brown” en orden), mientras que en CMP2 va de un café en seco a rojizo en húmedo (7.5YR 5/4 “Brown” a 5YR 4/3 “Reddish Brown”). El Anexo 1.13 muestra una coincidencia exacta para los picos de las dos muestras por lo que todas comparten la misma mineralogía de calcita, cuarzo y esmectitas (Anexo 2.6). El tamaño de grano es principalmente de limos en ambos casos y en CMP2 se muestra claramente la presencia de plagioclasas en la muestra dentro de la matriz arcillosa.

La zona D resalta por su coloración casi púrpura a simple vista; sin embargo, en los términos de la tabla Munsell los colores tanto en seco como húmedo para los tres sitios son de colores cafés (D1-7.5YR 6/4 “Light Brown”/ 7.5YR 4/6 “Strong Brown”, D2- 7.5YR 5/4 “Brown”/ 7.5YR 2.5/3 “Very Dark Brown” y D3- 5YR 6/4 “Light Reddish Brown”/ 5YR 4/3 “Reddish Brown”). De acuerdo con la DRX se presenta la misma mineralogía que en la zona C (Anexo 2.7) calcita, cuarzo y esmectitas, dicha mineralogía coincide con la de las muestras LCON-3 y 4 y LCUC-3 en los sitios Las Conchas y Las Cucharas que corresponden a la Formación Yanhuatlán. El tamaño de grano es mayormente de limo, hay presencia de óxidos de hierro y fracturas rellenas por calcita.

En el caso de la zona E, la coloración así como la identificación de los minerales (Anexo 1.17, 2.8) coincide con los de la Formación Yanhuatlán (7.5YR 7/6 “Reddish Yellow”, 5YR 6/6 “Reddish Yellow” y calcita, cuarzo y esmectitas). En las láminas delgadas pueden observarse limos con presencia de óxidos de hierro para CMP1 y 2, mientras que en SPA el limo es ligeramente más grueso y las calcitas están rellenas de la capa.

Por otro lado, la zona F es una zona muy delimitada en los sitios de CMP 1 y CMP 2, se ubica dentro de fracturas que rodean a bloques más grandes. Si bien a simple vista parecen tener un color verdoso o amarillo, con la tabla Munsell se tiene un 5Y 8/2 “Pale Yellow” para la zona F1 y un 5Y 7/1 “Light Gray” para la zona F2. De acuerdo con el Anexo 2.9, los minerales para esta zona son: calcita, esmectitas y feldespatos. La lámina delgada complementa la identificación ya que se identifica a esta zona como ceniza volcánica que ha relleno fracturas en ambos puntos de muestreo.

Los diques descritos por Ferrusquía (1976: pág 89) presentan una zona de contacto marcadas por una zona de alteración, que de acuerdo con él “los cuerpos intrusivos generan un cambio en la coloración de los sedimentos de rojo ladrillo a rojo púrpura”. Si bien, el rojo púrpura es fácilmente reconocible en los sitios de contacto con los diques, este color corresponde a la zona D, la cual ya no está en un contacto directo con el dique y cuyo análisis mineralógico nos indica más bien que se trata de la Formación Yanhuatlán.

Debido a la presencia del dique como un cuerpo intrusivo a altas temperaturas que afecta a la formación Yanhuitlán, la principal evidencia de alteración se encuentra principalmente en la *zona B* y ligeramente en *la zona C* por los colores claros que indican que algo ha ocurrido ahí. Al prestar atención en la mineralogía no hay una alteración significativa en la estructura mineral, es decir, no hay formación de nuevos minerales característicos de alguna facie metamórfica. Por otro lado, la influencia del dique sobre la *zona B*, está claramente en las láminas delgadas del sitio CMP1 (Figura 5.3) en donde los agregados minerales del dique están dentro de los limos, se encuentran alterados y hay evidencia de un esfuerzo del evento de intrusión. Pese a que la *zona C* presenta un color claro, mineralógicamente no nos indica que haya habido algún cambio en la composición.

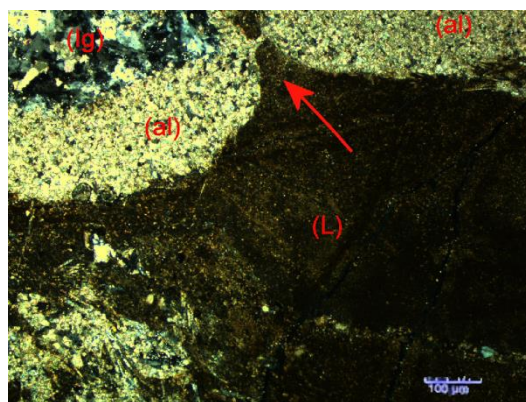


Figura 5.3 Lámina delgada de la zona B1 para el sitio CMP1.

Como se mencionó, *la zona D* es bastante distintiva por su color y se esperaba reconocerlo en la petrología y en la mineralogía, sin embargo no se ven diferencias respecto a *la zona E*, que tiene una mineralogía característica de la Formación Yanhuitlán que se analizó en el apartado 5.1.

La relación entre la coloración, la mineralogía y los procesos que han ocurrido en esta zona pueden resumirse en la presencia de un cuerpo intrusivo magmático (*zona A*) que atraviesa a la Formación Yanhuitlán, este dique presenta una mineralogía característica de rocas ígneas andesíticas (plagioclasas y anfíboles) y una coloración grisácea. La presencia de este cuerpo dio lugar a una zona de alteración identificada en las zonas *B* y *C* para los tres sitios de muestreo (CMP1, CMP2 y SPA). La principal característica a resaltar de *la zona B*, la cual estuvo cercana a altas temperaturas del dique, es una coloración de gris pálido a rosa, si bien se trata de una roca sedimentaria, en ella se observan minerales similares a los de la roca ígnea que la sobreyace (plagioclasas, biotita y calcita). Por otro lado, la *zona C* contiene a los

minerales típicos de la Formación Yanhuatlán inalterados, de tal forma que en esta zona el cuerpo magmático a altas temperatura ya no tuvo influencia sobre la formación subyacente.

En estas dos zonas si bien era de esperarse la presencia de un metamorfismo de contacto y una aureola de contacto, en las muestras recopiladas y analizadas, no existe evidencia suficiente en la mineralogía que pueda apuntar a la ocurrencia de este proceso geológico. Existe una alteración en las zonas, porque se reconoce un color y dureza del material distintos, sin embargo, no se refleja en los análisis de DRX realizados. Lo más probable es que se trate de una recristalización.

A partir la zona D y E la mineralogía coincide con la característica de la Formación Yanhuatlán, es decir, un sitio de depósito expuesto a alto grado de oxidación (calcita, cuarzo, esmectitas y óxidos de hierro), descrito en el apartado 5.1

En el caso de *las zonas F1 y F2*, al tratarse de puntos tomados entre grietas dentro de los sitios de muestreo, su formación es postdeposicional y los colores amarillos y grisáceos pueden asociarse a cenizas volcánicas consolidadas.

CAPÍTULO 6. USO DE LA INFORMACIÓN PARA LA DIVULGACIÓN DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

La información y resultados obtenidos en el presente trabajo serán de utilidad para el desarrollo de las actividades del GMMA. Los productos de divulgación propuestos comprenden fichas técnicas para los guías, para el taller “Pintando con los colores de la Tierra” y cortometraje documental “Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta”.

6.1 Fichas técnicas para los guías.

Propósito:

- Elaborar una propuesta de diseño para fichas técnicas que puedan ser empleadas por los guías del geoparque en sus recorridos. Dentro de las fichas se deberá de incluir la información más relevante y de manera simplificada, correspondiente a los sitios muestreados.

Desarrollo:

Las fichas constan de una parte frontal y posterior. La parte frontal contiene el título de la formación o proceso, se incluye una breve descripción con las características más relevantes del sitio, se describen los colores presentes en términos sencillos y se muestran fotografías.

En la parte posterior se encuentra un esquema ilustrativo de las zonas delimitadas por colores y los minerales que las componen. Se incluye una breve explicación de la relación entre los colores, los minerales y los procesos que han ocurrido en ese sitio (Figuras 6.1 y 6.2).

Cara frontal

Formación Yanhuitlán	
Descripción	<p>Formación de mayor extensión dentro del GMMA. Compuesta por una secuencia intercalada de arcillas y limos poco consolidados. Tiene una edad de 40.5 ± 1.7 millones de años.</p> <p>Fue una cuenca con un lago de baja profundidad. Actualmente se pueden encontrar procesos de erosión que dan lugar a formas como campos de cárcavas y circos de erosión (imágenes).</p>
Color	<p>Parte superior - Blanco</p> <p>Parte intermedia - Crema</p> <p>Parte inferior - Rojizo</p>



Foto: Dron, Gonzalo Fernández



Foto: Samantha Salgado

Cara posterior

Diagrama General	Explicación
<p>Mineralogía</p> <ul style="list-style-type: none"> Parte Superior: <ul style="list-style-type: none"> • Calcita • Cuarzo Parte Intermedia: <ul style="list-style-type: none"> • Calcita • Cuarzo • Esmectitas • Feldespato Parte Inferior: <ul style="list-style-type: none"> • Biotita • Óxidos de hierro <p>Altura ↑</p>	<p>La Formación Yanhuitlán se encuentra compuesta por rocas sedimentarias cuya composición principal es de calcita, cuarzo, minerales arcillosos y óxidos de hierro.</p> <p>La coloración blanquecina de la parte superior es debida a una mayor concentración de calcita, proveniente de calizas que afloraban en los márgenes de la cuenca.</p> <p>Los colores rojizos de la parte intermedia e inferior pueden asociarse a la presencia de arcillas y óxidos de hierro, dependiendo del porcentaje de estos últimos, mayor será la intensidad del color rojo.</p>

Figura 6.1 Ficha técnica para la Formación Yanhuitlán.

Cara frontal

Diques intrusivos

Descripción	<p>La formación Yanhuitlán se encuentra atravesada por diques (intrusión de un cuerpo magmático de forma tabular).</p> <p>Debido a sus altas temperaturas, estos cuerpos alteraron las capas que los encajonan, modificando su coloración principalmente.</p> <p>A simple vista se identifica el dique [A], las capas alteradas (aureola de contacto) [B y C] y las capas inalteradas (formación Yanhuitlán) [D y E].</p>
	<p>Zona A - Gris</p> <p>Zona B - Gris rosáceo</p> <p>Zona C - Amarillo pálido</p> <p>Zona D - Morado</p> <p>Zona E - Rojizo</p>

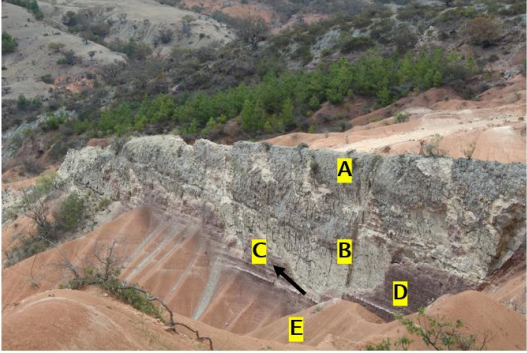


Foto: Dron, Ricardo Garnica

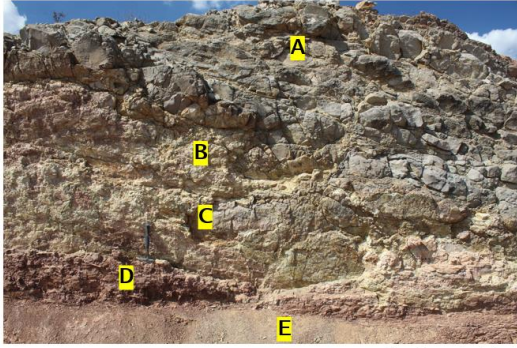


Foto: Samantha Salgado

Cara posterior

Diagrama General

Temperatura ↑

Zona A	}	Mineralogía
Zona B		• Calcita
Zona C		• Plagioclasas
Zona D		• Anfibol
Zona E		• Muscovita
		• Calcita
		• Plagioclasas
		• Cuarzo
		• Biotita
		• Micas
		• Calcita
		• Cuarzo
		• Esmectitas
		• Óxidos de hierro

Explicación

La zona A corresponde al dique, es el estrato más joven debido a un evento de actividad volcánica posterior al depósito de la F. Yanhuitlán su color oscuro es debido a la composición típica de una roca de origen volcánico.

La zona B es la más alterada por la presencia del dique, es una roca sedimentaria influenciada con minerales de la roca ígnea que se encuentra sobre ella y que le aportó algunos minerales.

La zona C, D y E, contienen los minerales característicos de la formación Yanhuitlán, sin embargo, la zona C presenta un color más claro debido a la cercanía con el cuerpo intrusivo a alta temperatura. Por otro lado, las zonas D y E tienen una diferente coloración probablemente por el contenido de óxidos de hierro.

Figura 6.2 Ficha técnica para la presencia de diques

6.2 Taller pintando con los colores de la Tierra.

Propósito:

- Complementar la información del taller “Pintando con los colores de la Tierra”, en donde se incluya la explicación del porqué de la coloración de algunos de los pigmentos utilizados para pintar en el taller.

Descripción:

El taller de “Pintando con los colores de la Tierra” comenzó a impartirse desde el 2017 en el 5° Encuentro con la Tierra. A partir de esta fecha se ha impartido en diferentes eventos de divulgación como la Fiesta de las Ciencias y las Humanidades (Universum, CDMX), el Sexto Festival Nacional del Conocimiento (Oaxaca de Juárez, Oaxaca), 6° Encuentro con la Tierra (Santa María la Ribera, CDMX), 4° Encuentro de Ciencia y Literatura (Coatlán del Río, Morelos), 5° Taller Recreativo de Cuidado del Ambiente (TRECA) (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas), entre otros.

El taller se imparte a un público de todas las edades y consiste en las siguientes etapas:

Introducción/enganche

Se plantean preguntas iniciales para conocer la percepción del público sobre los suelos y las rocas ¿cómo creen que se originan? ¿qué colores tienen y cómo surgen? Se complementan las respuestas que el público da con el material visual que usualmente se tiene alrededor del taller en donde hay fotos del Geoparque y se observa una gran variedad de colores en diferentes sitios. De manera breve se les explica que los minerales y la materia orgánica son los responsables de otorgar dichas tonalidades.

Actividad

Después de la explicación, a los participantes se les otorga a los participantes material para pintar como pinceles, agua y un pedazo de cartulina con el que pueden hacer una postal o un

separador. El material para pintar es un agregado de sedimento con baba de nopal en forma de una pastilla como tipo acuarela. Cuando terminan de pintar, el producto final es rociado con laca y se deja secar por unos minutos.

Hasta hoy en día esta ha sido la dinámica del taller. Se propone complementar la información brindada en la parte introductoria con la información que se ha recabado en el presente trabajo.

Aunado al material visual (fotos) que suele colocarse a un lado del taller, se pueden incluir los diagramas de la parte posterior de las fichas técnicas (Figuras 6.1 y 6.2) para brindar más detalles de los minerales que componen algunos de los pigmentos a utilizar y los procesos que les han dado origen. La explicación de las fichas para los guías puede adaptarse dependiendo de la edad del público que esté tomando el taller.

Finalmente, se puede incluir una sección posterior a la actividad de pintar para identificar si el público ha comprendido lo explicado en el taller. Esta consistiría en plantear preguntas sencillas y aquellos que respondan correctamente pueden llevarse un pequeño premio simbólico.

Algunas de las preguntas propuestas son:

- ❖ ¿Por qué los suelos y rocas pueden ser de diferentes colores?
- ❖ Menciona tres minerales que se encuentren en algunos de los sitios del GMMA.
- ❖ ¿Qué procesos pueden dar lugar a la formación de minerales como los que se encuentran en el GMMA?

Estas últimas preguntas resumen la charla inicial del taller y permitirán que aquellas personas a quienes no les haya quedado clara la explicación, retengan los puntos más importantes.



Figura 6.3 Talleres impartidos de “Pintando con los colores de la Tierra”.

6.3 Cortometraje documental “Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta”.

Propósito:

- Elaborar un breve cortometraje documental en el que se hable de las características más importantes del geoparque, cómo surgió el proyecto y cuál es su propósito. Se mostrarán imágenes y tomas de sitios relevantes y se llevarán a cabo entrevistas tanto con investigadores como con miembros de las localidades involucradas.

Desarrollo:

El documental se realizó en agosto de 2018 bajo mi dirección para ser presentado en la 8th Global Summit of the World Student Environmental Network (Cumbre global de la red mundial ambiental de estudiantes) del 26 al 30 de agosto en la universidad de Doshisha, en Kioto, Japón.

El trabajo realizado dura 14:21 minutos, fue narrado y filmado en español y se le añadieron subtítulos para la presentación en la cumbre. Se incluye el guion descriptivo del documental en el Anexo 3, y la estructura general del documental es la siguiente:

Introducción

Descripción de la localización, extensión y características generales del geoparque. Fragmentos de las entrevistas a la Dra. Silke Cram y al Dr. José Luis Palacio para conocer cómo se creó el GMMA y cuál es su propósito.

Desarrollo

Se habla sobre algunas características geológicas y sociales de la región. Se muestra cómo ha influido y se han visto involucradas las comunidades de los municipios en donde se encuentra el geoparque. Se incluyen fragmentos de las entrevistas los académicos de la UNAM, y a los habitantes de los municipios dentro del geoparque: Tomasa Bautista, Julio Ángel Miguel, Juana Guzmán, Maricela Gómez y Manuel Reyes.

Conclusión

Se menciona nuevamente la importancia que tiene el geoparque para la región y el papel que ha tenido la UNAM como apoyo para el proyecto.

El documental puede encontrarse en su versión en español en el siguiente enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=hJwj3-6axXM>

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido realizar una caracterización de los colores y la mineralogía de la Formación Yanhuitlán, y sitios en donde se presenta una modificación en los colores debido a los diques que atraviesan a la formación mencionada previamente.

La Formación Yanhuitlán presenta una variación altitudinal en su coloración que va de colores blanquecinos en su punto más alto a colores rojizos con una menor altitud. Los análisis mineralógicos y la literatura permiten confirmar que los tonos rojizos se deben a la presencia de óxidos de hierro, mientras que los tonos blancos se deben a una mayor concentración de calcita proveniente de calizas que afloraban en los márgenes de la cuenca, las cuales al ser erosionadas provocaban que el agua de infiltración tuviera un alto contenido de carbonatos que posteriormente se concentraron en los suelos durante las temporadas áridas por capilaridad

Los diques que atraviesan a la Formación Yanhuitlán han generado en una zona de alteración, de tal forma que es posible distinguir diferentes colores en la roca sedimentaria que atraviesa el dique. Si bien se esperaba identificar procesos de metamorfismo de contacto, no se cuenta con la evidencia suficiente para poder afirmar la ocurrencia de éstos, ya que es muy claro el cambio de coloración que permitió tomar las muestras, pero en la petrografía y la DRX realizados no se ven diferencias entre las muestras.

Dado que no se realizaron pruebas con mayor detalle respecto al tipo de arcillas presentes en las muestras, se sugieren llevar a cabo estudios más detallados para saber si ocurrió algún cambio en ellas debido a la temperatura y con ello poder explicar el cambio en la coloración.

La educación formal e informal para promover el patrimonio geológico es una de las áreas de enfoque para los geoparques. El GMMA cuenta con características dentro de su territorio, tanto geológicas como culturales, que lo hacen un lugar con un gran potencial para la divulgación de las Ciencias de la Tierra. Es importante el desarrollo de este tipo de trabajos

para ampliar el conocimiento geológico de la zona y que a su vez propongan la divulgación de los resultados en beneficio del proyecto del geoparque.

Se espera que pronto se lleve a cabo la impresión de las fichas para los guías, los resultados de este trabajo se incluirán en la impartición del taller “Pintando con los colores de la Tierra”; asimismo, hay en puerta un proyecto de un kit de pintura con los pigmentos del geoparque en donde estos resultados de igual forma serán valiosos para el desarrollo de éste. El cortometraje documental es de acceso libre en internet para promocionar al GMMA con la finalidad de inspirar más trabajos audiovisuales de este territorio.

Finalmente, se espera que el presente trabajo contribuya a enriquecer la información del sitio y sea tomado en cuenta por el comité que lo evaluará nuevamente, a mediados del 2020.

LITERATURA CITADA

- Ahmed, W., & Vander, G. (2015). Petrographic Examination Methods. Illinois, EU.: Buehler Solutions for Material Preparation, Tech Notes. Recuperado de https://www.buehler.com/assets/solutions/technotes/vol3_issue5.pdf. Consultado el 12/03/2019
- Alaniz, S., Nieto, A., Morán, D., & Alba, L. (2002). Rhyolitic volcanism in extension zone associated with strike slip tectonics in the Taxco region, Southern Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Reserch*, 118(1-2), pp. 1-14.
- Alvarado, A. (2008). Migración y pobreza en Oaxaca. *El Cotidiano*, 148, pp. 85-94.
- Araya, Y. (2005). Hydrosphere. En J, Lehr & J, Keeley (Eds.), *Water Encyclopedia*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/42792228_Hydrosphere. Consultado el 03/04/2019
- Armella, C., Buncio, R., González, J., Herrera, H., de los Santos, J., Huzmán, J., Hulverson, E., Cruz, R., Hernández, G., Hernández, E., y Montesinos, I. (2008). *Mixtecos. Pueblo de la lluvia*. México D.F.: Fundación Cultural Armella-Spitalier, Ed. Cacciani.
- Artemeva, I. (2011). What is the lithosphere? En *The lithosphere: an interdisciplinary approach* (pp. 1-14). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ball, P. (2003). *Art and the invention of color*. Chicago, USA: University of Chicago Press.
- Best, M. (2003). *Igneous and Metamorphic Petrology*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
- Bonfil, M. (2002). Los derechos del divulgados. En *Antología de la divulgación de la ciencia en México* (pp. 46-47). México, D.F.: DGDC, UNAM.
- Brocx, M., & Semeniuk, V. (2007). Geoheritage and geoconservation – History, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90(2), pp. 53-87.
- Bucher, K., & Frey, M. (1994). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Berlin, Germany: Springer.
- Bunge, M. (1959). *La ciencia. Su método y su filosofía*. Buenos Aires, Argentina: Siglo XX.
- Callegari, E., & Pertsev, N. (2007). 10. Contact Metamorphic Rocks. En Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: Web version 01.02.07.
- Campa, M. y Coney, P. (1983). Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distribution of Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences* 20: pp. 1040-1051

Capeche, C. (2010). *Educação ambiental tendo o solo como material didático: pintura com tinta de solo e colagem de solo sobre superfícies*. Río de Janeiro, Brasil: Embrapa Solos.

Carcavilla, L., Durán, J. J., & López-Martínez, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10(1998), 1299-1303. Disponible en: http://aguas.igme.es/patrimonio/descargas/concepto_Geodiversidad.pdf. Consultado el 05/03/2019

Carter, B. (s/a). Contact Metamorphism. Georgia Southwestern State University. Disponible en: <http://itc.gsw.edu/faculty/bcarter/physgeol/metrx/contact.htm>. Consultado el 19/08/2019

Centeno, E. (2004). Configuración geológica del estado. En García-Mendoza, A., Ordoñez, M., & Briones, M (eds), *Biodiversidad de Oaxaca* (pp. 29-42). México: Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza- World Wildlife Fund.

Chalmers, A. (1976). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* México D.F., México: Siglo Veintiuno.

Chesworth, W. (2008). *Encyclopedia of soil science*. Dordrecht, Netherlands: Springer.

Clark, M. (2017). X-Polymers-D-Colors and Pigments-1. New Zealand Institute of Chemistry. Disponible en: <https://nzic.org.nz/app/uploads/2017/10/10D.pdf>. Consultado el 12/03/2019

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2016). *Atlas del agua en México 2016*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comunitas-Comisariado de Bienes Comunales (C-CBC). (2009). Estudio de Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC) de Santo Domingo Yanuitlán, Oaxaca. Reporte Técnico Final, Convenio CONAFOR- PROCYMAF-OAX-EST-008/2009, 81 p.

Coney, P. (1989). Structural aspects of suspect terranes and accretionary tectonics in western North America. *Journal of Structural Geology*, 11(20), 107-125.

Contreras, J., Volke, V., Oropeza, J., Rodríguez, C., Martínez, T., & Martínez, A. (2003). Disponibilidad y uso de leña en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca, *TERRA Latinoamericana*, 21(3), pp.437-445.

Comission Internationale de l'Eclairage (CIE). International Lighting Vocabulary. CIE Central Bureau, Vienna (2011).

Cornell Center for Materials Research, s.f. Mineral Identification Guide. Disponible en: <http://www.ccmr.cornell.edu/wp-content/uploads/sites/2/2015/11/Mineral-Identification-Guide.pdf>. Consultado el 12/03/2019

Díaz, J. (2011). La Divulgación de la ciencia mediante el diseño de un manual de procedimientos para el Espacio Infantil de Universum”. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Tesis Profesional. pp. 124

Domínguez, J., Román, A., Prieto, F., & Acevedo, O. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), pp. 141-155.

El 90% de mexicanos apoya que el gobierno invierta más en la ciencia. (2018, junio 20). *Expansión*. Disponible en: <https://expansion.mx/nacional/2018/06/20/90-de-los-mexicanos-apoya-que-el-gobierno-invierta-mas-recursos-en-la-ciencia> Consultado el 20/01/2020

Elías, M., Ortega, F., Sánchez, J., Macías, C., Ortega, A., & Iriondo, A. (2005). La falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen Conmemorativo del Centenario. Grandes Fronteras Tectónicas de México, Tomo VII (1), pp. 83-109.

Fettes, D., Desmons, J., & International Union of Geological Sciences. Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. (2007). *Metamorphic rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*. editors, D. Fettes and J. Desmons (Eds). Cambridge University Press.

Ferrusquía, I. (1970). Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Ynahuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca, Excursión geológica México-Oaxaca. *Sociedad Geológica Mexicana*, pp. 97-119.

Ferrusquía, I. (1976). Estudios geológico-paleontológicos en la región Mixteca, PT. 1: Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Ynahuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca, México. *Boletín del Instituto de Geología*, (97), pp. 1-115.

González-Alvarado, J. (1974). *Geología de la Mixteca Alta, Oaxaca: México*, Informe Inédito de Petróleos Mexicanos, Gerencia de Exploración, Zona Sur: Comunicación escrita, abril 15, 1974.

Guzmán, J. y Rodríguez, N. (2011). La diversidad tintórea de México. Ciencia UNAM. Disponible en: http://ciencia.unam.mx/leer/25/La_diversidad_tintorea_de_Mexico consultado el 12/07/2020.

Haywick, D. (2008). GY 111 Lecture Notes, Metamorphism 3: Contact Metamorphism. University of South Alabama. Disponible en: <https://www.southalabama.edu/geology/haywick/GY111/111-32.pdf>. Consultado el 13/03/2020

Hirsch, R. (2004). *Exploring Colour Photography: A Complete Guide*. USA: Laurence King Publishing

International Mineralogical Association. (s/a). *Mission*. Disponible en: <https://www.ima-mineralogy.org/Mission.htm>. Consultado el 13/07/2020

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2005), Guía para la interpretación de cartografía climatológica. México, 21-31. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/español/bvinegi/productos/históricos/1329/702825231781_1.pdf. Consultado el 05/03/2019

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2010a). Censo General de Población y Vivienda. México: INEGI.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2010b). Red Hidrográfica, escala 1:50 000, edición 2.0.

Jenny, H. (1980). *The soil resources: origin and behavior*. New York, USA: Springer.

Justice, S. (2018). UNESCO Global Geoparks, Geotourism and Communication of the Earth Sciences: A Case Study in the Chablais UNESCO Global Geopark, France. *Geosciences*, 8, 149.

Kozłowski, S. (2004). Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Prz Geol*, 52(8/2), pp. 833-837.

Latour, B. (2003). From the World of Science to the World of Research?. *Science*, 208 (5361), 1-5. Disponible en: <http://www.ub.edu/prometheus21/articulos/obsprometheus/Latour208.pdf> Consultado el 12/07/2020

Levchenko, V., Kazansky, A., & Semenova, E. (2012). Early Biosphere: Origin and Evolution. Laboratory of Evolution Modeling, Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation. pp. 3-5.

Lynn, W., & Pearson. (2000). The Color of Soil. *Science Teacher*, 67(5), pp. 20-23.

Martí, S. (1960). Simbolismo de los colores, deidades, números y rumbos. *Estudio de cultura náhuatl*, 2. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Melgarejo, J., Proenza, J., Gali, S., & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(1), pp. 1-23.

Morán, D., Alba, L., Solé, J., & Iriondo, A. (2004). A major resurgent caldera in southern Mexico: the source of the late Eocene Tilzapotla ignimbrite. *Journal of Volcanology and Geothermal Reserch*, 136, pp. 97-119.

Oropeza, O., Vences, D., Cram, S., Ortiz, M., & Hermann, M. (2016). "Caracterización del medio natural de la cuenca de Yanhuatlán". En M. Hermann (Coord), *Configuraciones territoriales en la Mixteca Volumen II* (pp. 35-76). México: Estudios de geografía y arqueología, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.

Ortega, F., Ruiz, J., & Centeno, E. (1995). Oaxaquia- A Proterozoic microcontinent accreted to North America during the Late Paleozoic. *Geology*, 23, pp. 1127-1130.

Palacio, J., Rosado, E., Ramírez, X., Oropeza, O., Cram, S., Ortiz, P., Figueroa, J., & de Castro, G. (2016). Erosion, Culture and geoheritage; the Case of Santo Domingo Yanhuatlán, Oaxaca, México. *Geoheritage*, 8(4), pp. 359-369.

Pankhurst, C., Doube, B., & Gupta, V. (1997). *Biological indicators of soil health*. New York, USA: CABI Publishing.

Pérez, R. (1998). *Como acercarse a la ciencia*. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.

Rainwater, C. (1971). *Light and color*. New York, USA: Golden Press.

Reyes, M. (2011). El Metamorfismo de contacto. Petrografía y petrología metamórfica. Universidad Autónoma de Chihuahua. Disponible en: http://www.fing.uach.mx/licenciaturas/IG/Apuntes/2011/10/24/Petrologia_y_Petrografia_Metamorfica_3aParte2011.pdf Consultado el 12/03/2019

Rogé, P., Friedman, A., Astier, M., & Altieri, M. (2014). Farmer Strategies for Dealing with Climatic Variability: A Case Study from the Mixteca Alta Region of Oaxaca, Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(7), pp. 786–811.

Rosado, E., & Ramírez, X. (2017). Importancia del trabajo comunitario participativo para el establecimiento del Geoparque mundial de la UNESCO Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Investigaciones Geográficas*, (92), pp. 1-11.

Sáenz, M., Ramírez, B., & López, I. (2009). Formación Yanhuatlán. Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano. Disponible en: http://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/default.html. Consultado el 03/04/2019

Sánchez, A. (2002). Bestiario de los divulgadores. En Sánchez, A. *Antología de la divulgación de la ciencia* (pp. 302-306). México: DGDC, UNAM.

Sánchez, C., & Sánchez, A. (2003) Glosario de términos relacionados con la divulgación: una propuesta. *El Murciélago* (pp. 9). Disponible en: http://www.divulgacion.ccg.unam.mx/webfm_send/8549. Consultado el 20/02/2019

Santamaría, A. (2009). Influencia de la falla de basamento no expuesta en la deformación Cenozoica: la falla de Caltepec en la región de Tamazulapam, en el sur de México, tesis de

doctorado en Ciencias de la Tierra, posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Schlaepfer, C. (1970). Geología Terciaria del área de Yanhuatlán-Nochixtlán, Oaxaca, Excursión geológica México-Oaxaca, *Sociedad Geológica Mexicana*, 85-96.

Shelley, D. (1983). *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*. Dordrecht, Netherlands: Springer.

Sedlock, R., Ortega, F., Speed, R. (1993). Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico. *Geological Society of America, Special Paper*, 278, 153.

Siddall, R. (2018). Mineral Pigments in Archaeology: Their Analysis and the Range of Available Materials. *Minerals* 8(201), pp.1-35.

Siebe, C., Jahn, R., & Stahr, K. (1996). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

Siegel, R., y Howell, J. *Thermal Radiation Heat Transfer*. Washington DC, USA: Hemisphere Publishing Corporation.

Solari, L., Keppie, D., Ortega, F., Cameron, K., López, R., & Hames, W. (2003). 990 and 1100 Grenvillian tectonothermal events in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico: roots of an orogen. *Tectonophysics*, 365, pp. 257-282.

Spores, R. (1969). Settlement, Farming Technology and Environment in the Nochixtlan Valley. *Science*, 166, pp. 557-569

Stewart, I., & Nield, T. (2013). Earth stories: context and narrative in the communication of popular geoscience. *Proceedings of the Geologists' Association*, 124, pp. 699-712.

Strekeisen, A. (2018). Hydrogrossular Hornfels. Disponible en : <https://www.alexstrekeisen.it/english/meta/hydrogrossularhornfels.php> Consultado el 15/01/2020

Tarback, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física*. México: Pearson/Prentice Hall.

Tippens, P. (1996). *Física conceptos y aplicaciones*. México: McGraw Hill, pp. 606-607.

Torres, R. (2004). Tipos de vegetación, En: García-Mendoza, A., Ordoñez, M., & Briones, M (eds), *Biodiversidad de Oaxaca* (pp. 105-107). Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza- World Wildlife Fund.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2016). Statues of the international geoscience and geopark programme. Paris: United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.

Ugolini, F. (2009). Soil Colors, Pigments and Clays in Paintings. En E. Landa, C. Feller & P. Descola. (Eds.), *Soil and culture* (pp. 67-82). Virginia, USA: Springer.

Valek, G. (2009). Una experiencia docente de comunicación universitaria. La creatividad en la divulgación de la ciencia, En Antonio Ruiz Marín, *Universidad, comunicación y ciencia: contrastes* (pp. 161-162). México: Porrúa.

Watts, I. (2017). Pigments. En A. Gilbert, P. Goldberg, V. Holliday, R. Mandel & R. Sternberg. (Eds.) *Encyclopedia of Geoarcheology* (pp. 664-671). New York, USA: Springer.

Wenk, H.-R., & Bulakh, A. G. (2004). *Minerals: their constitution and origin*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Wolfe, S. L. (2018). *Color perception*. New York, USA: Salem Press Encyclopedia of Health.

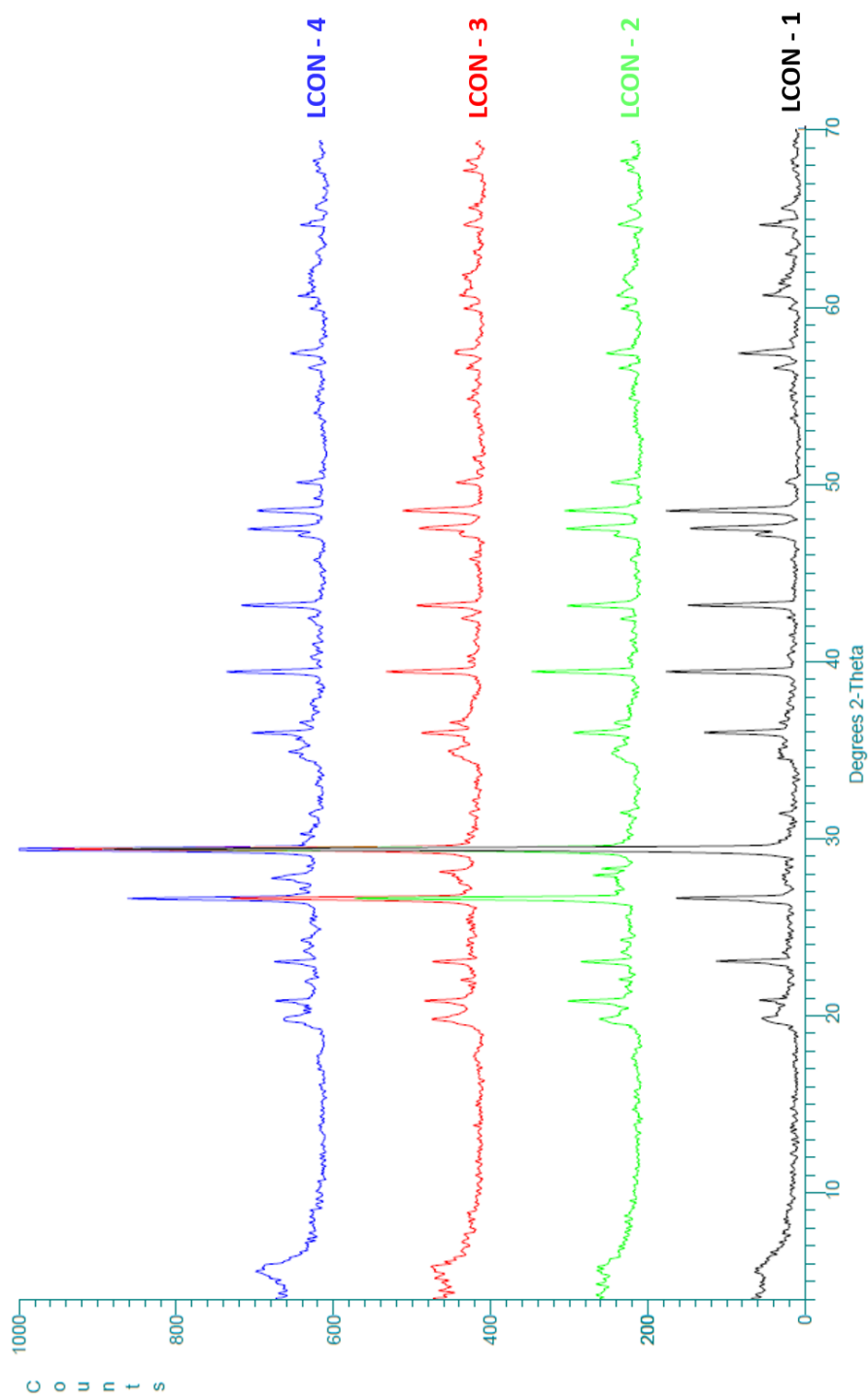
Yardley, B. W. D. (1989). *An introduction to metamorphic petrology*. Essex, UK: Longman Scientific & Technical.

Zuleta, C. (2017). *Meteorología: climatología, fundamentos básicos*. Göttingen, Germany; Cuvillier Verlag.

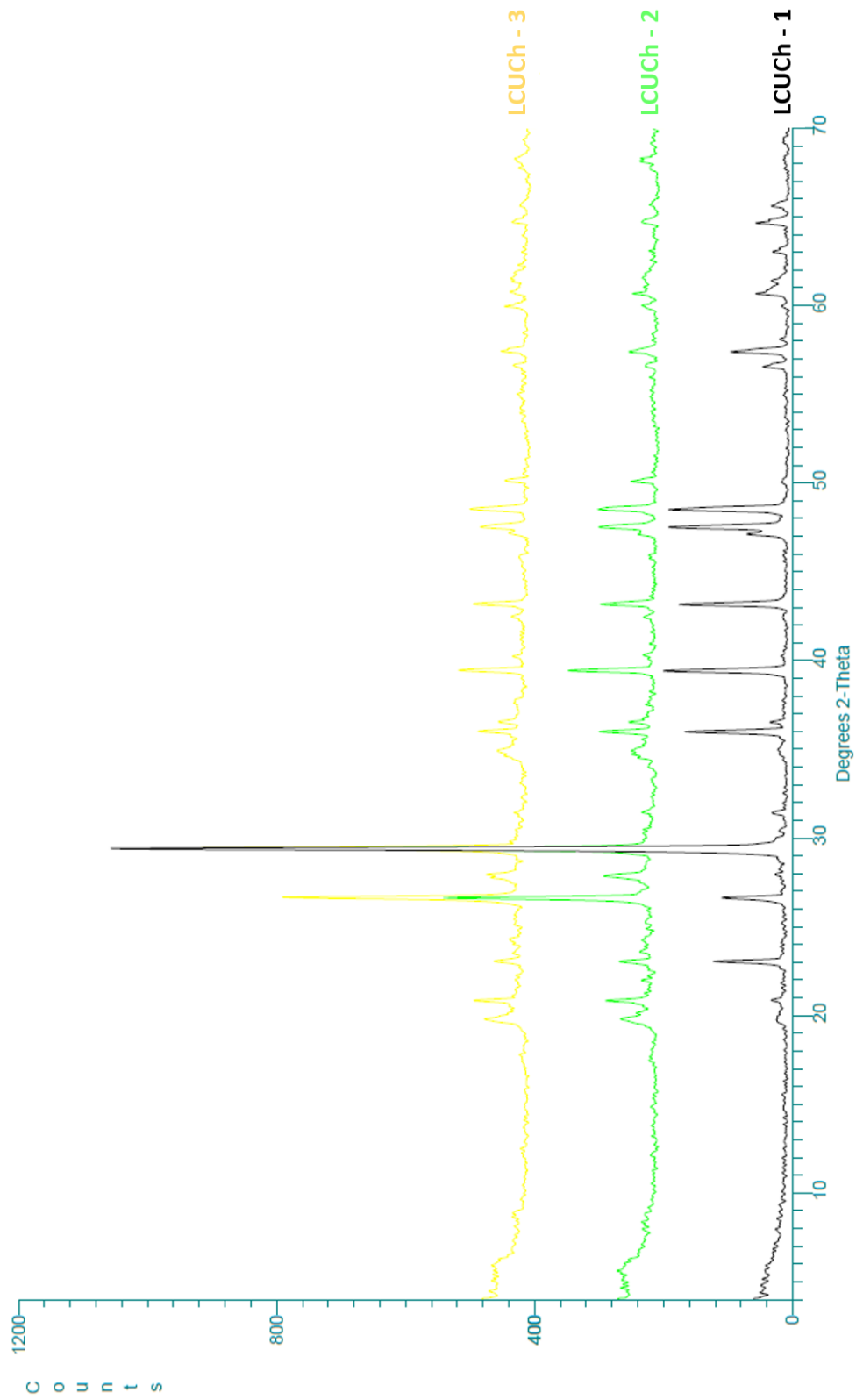
ANEXOS

Anexo 1. Difractogramas

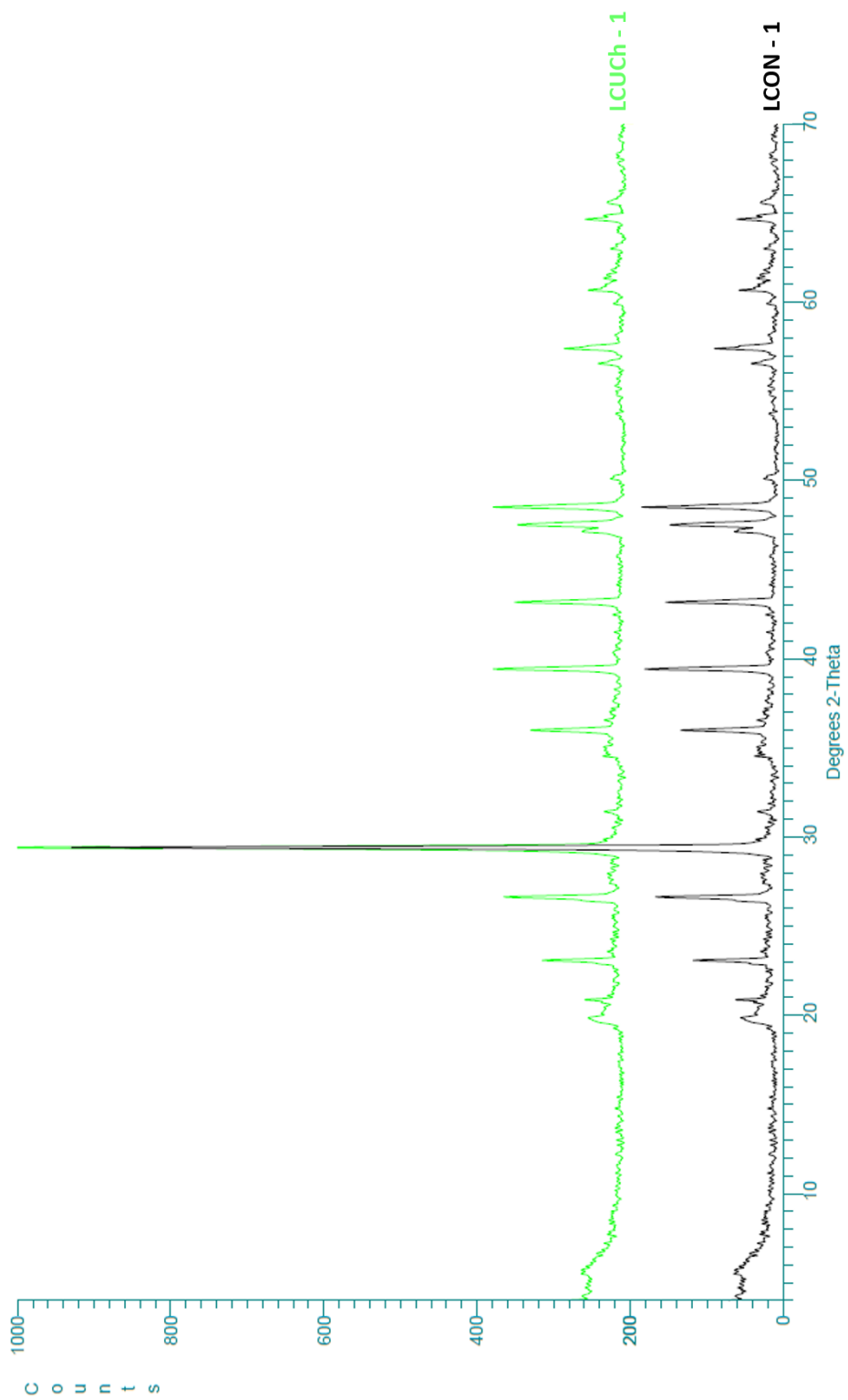
1.1 Serie “Las Conchas”



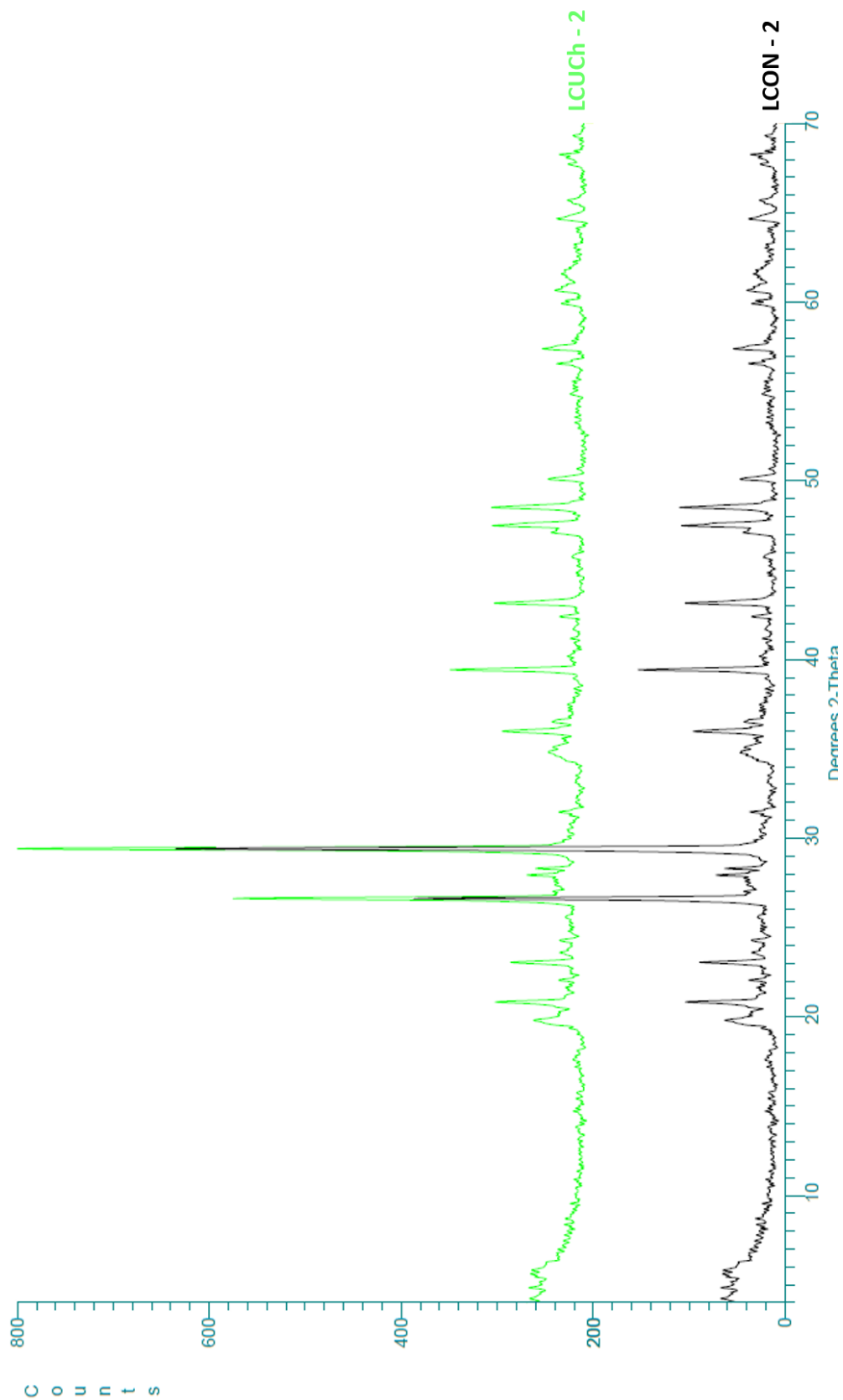
1.2 Serie “Las Cucharas”



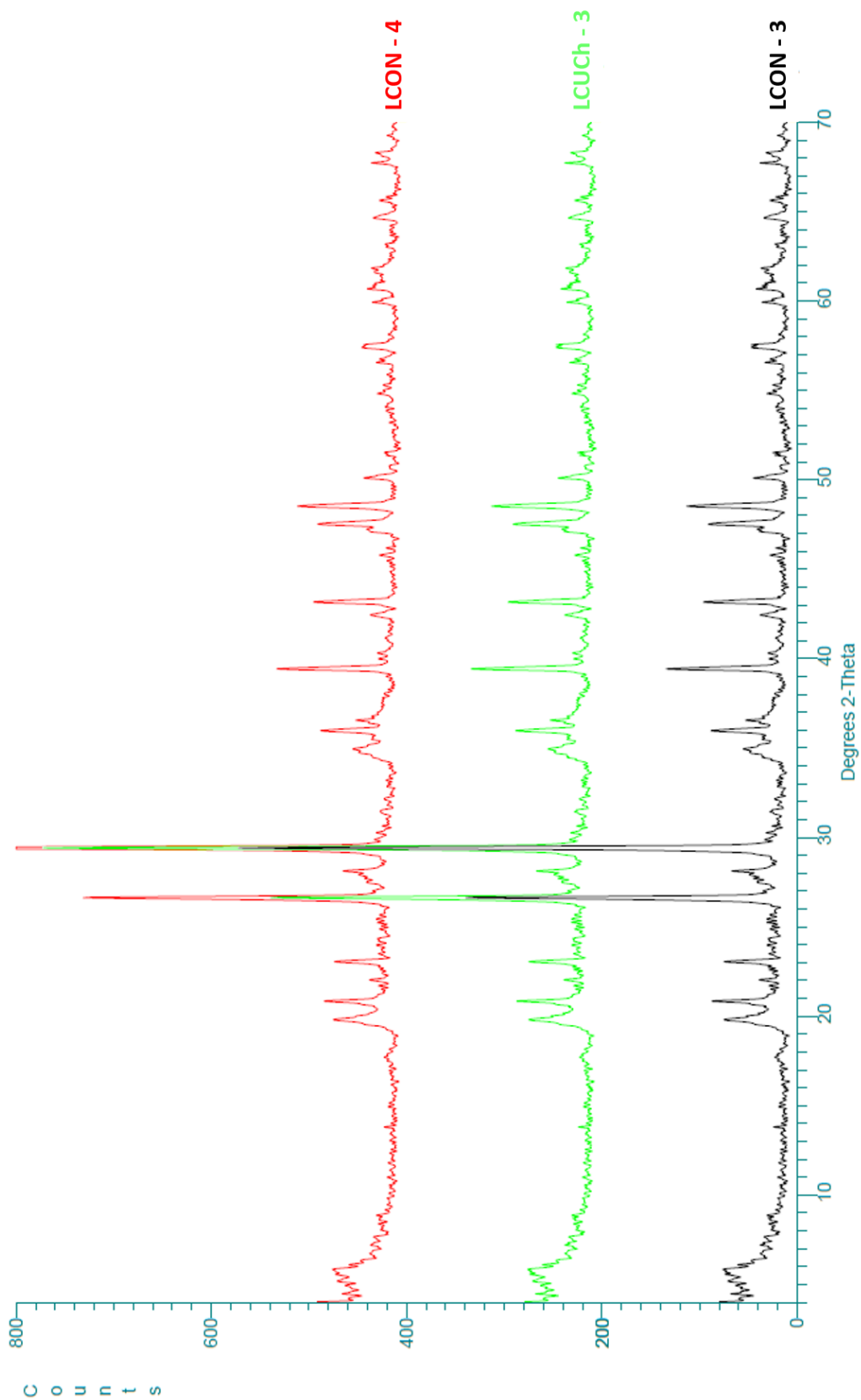
1.3 Serie Yanhuitlán 1



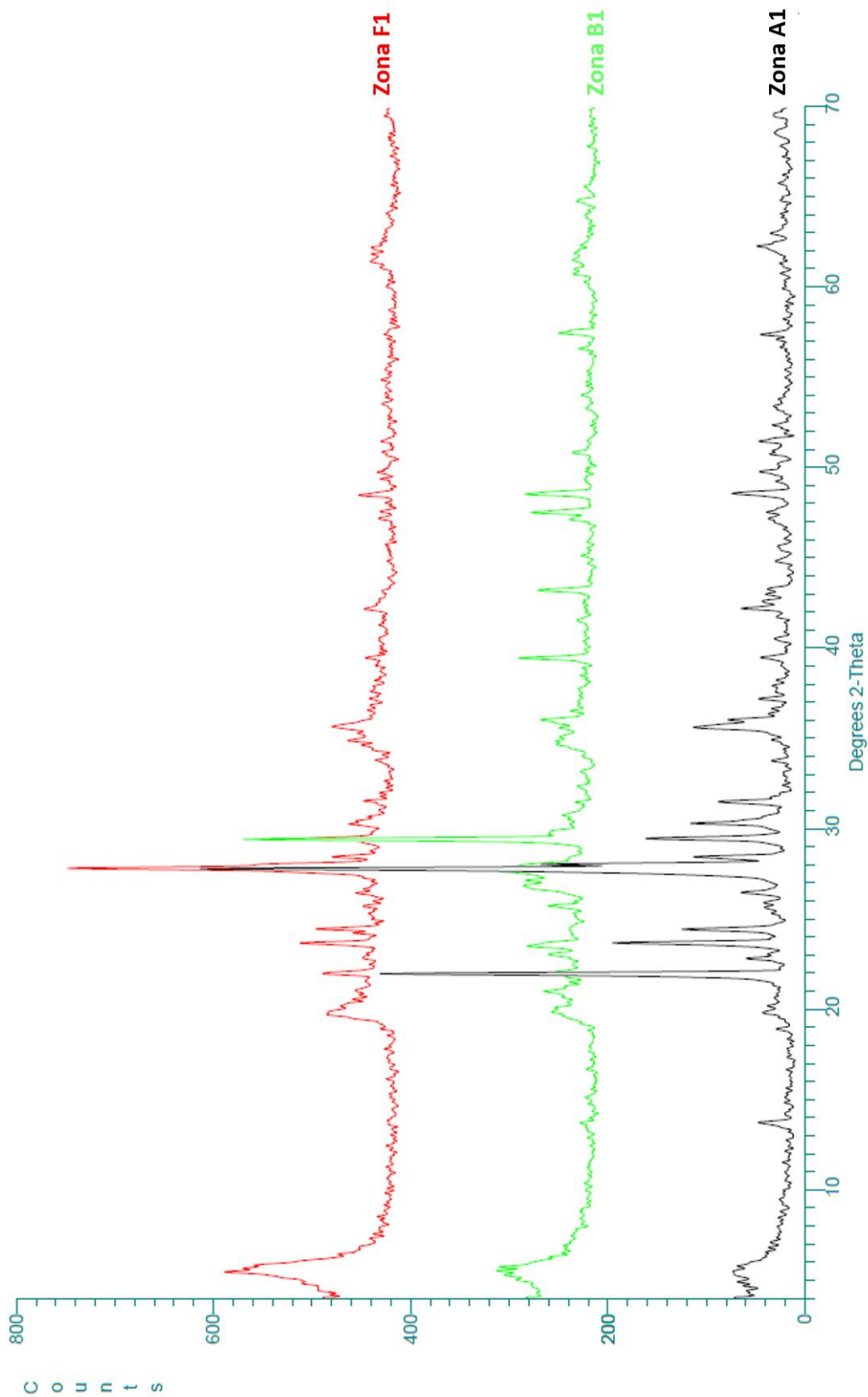
1.4 Serie Yanhuitlán 2



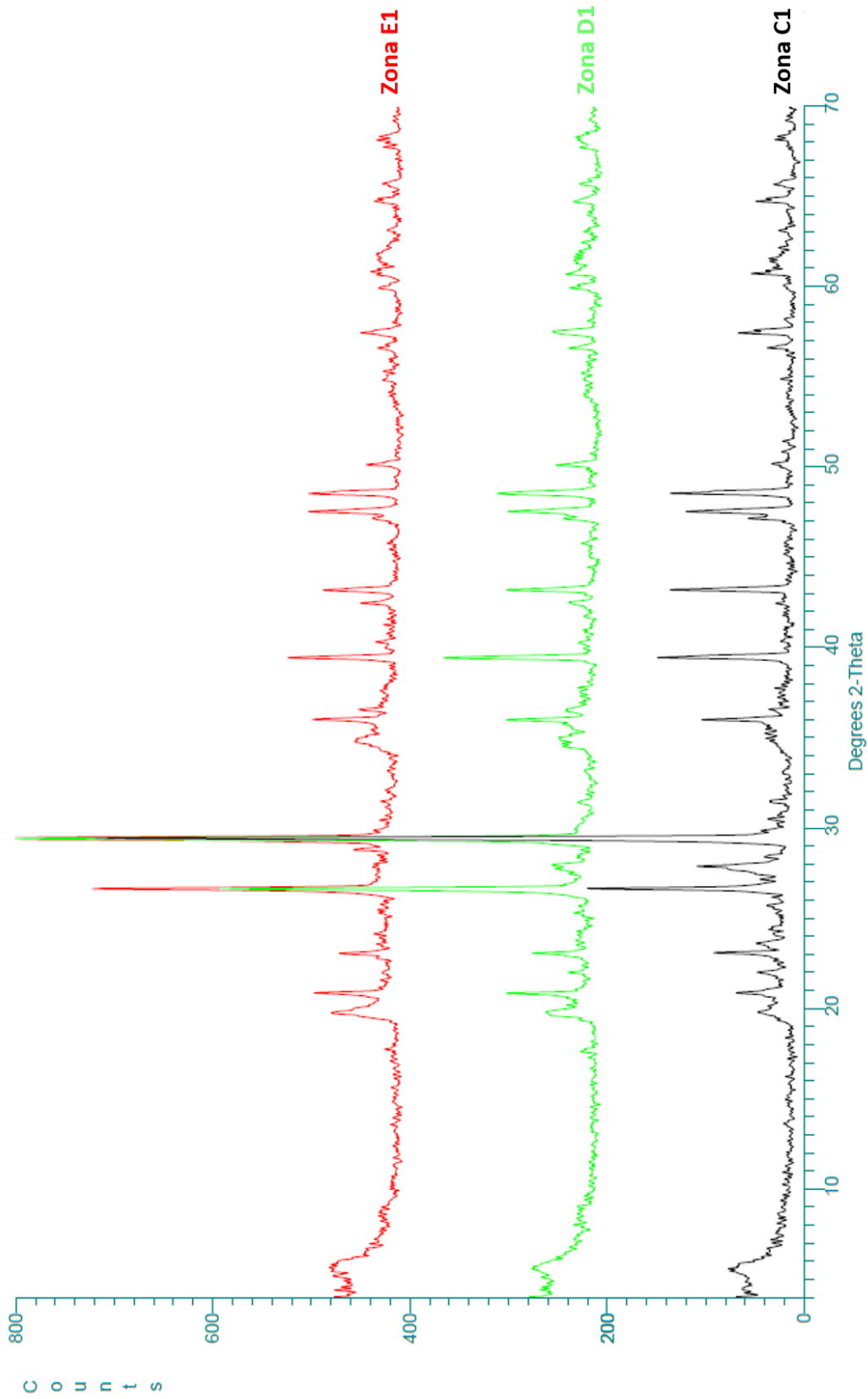
1.5 Serie Yanhuitlán 3



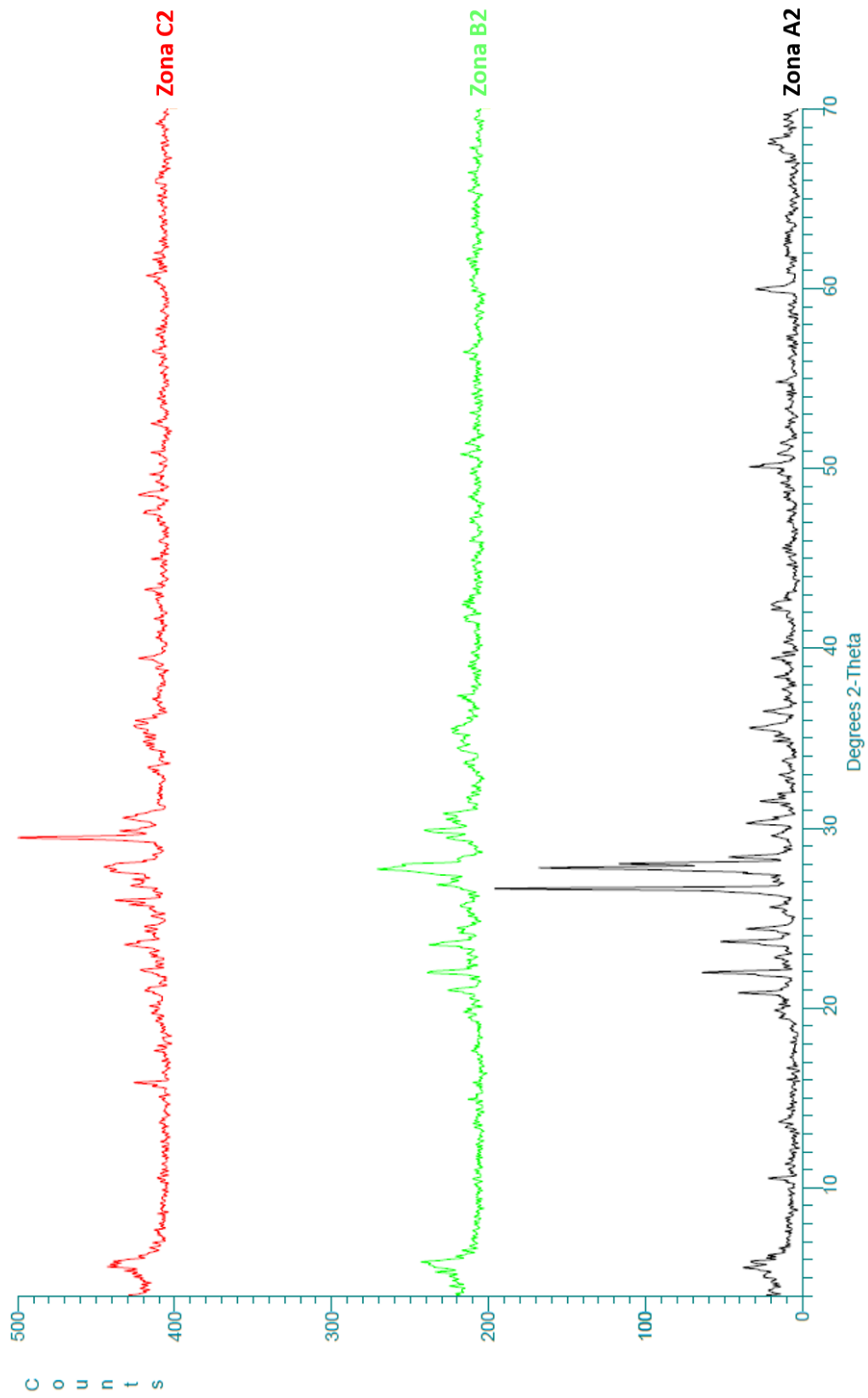
1.6 Serie Zona A1, B1, F1



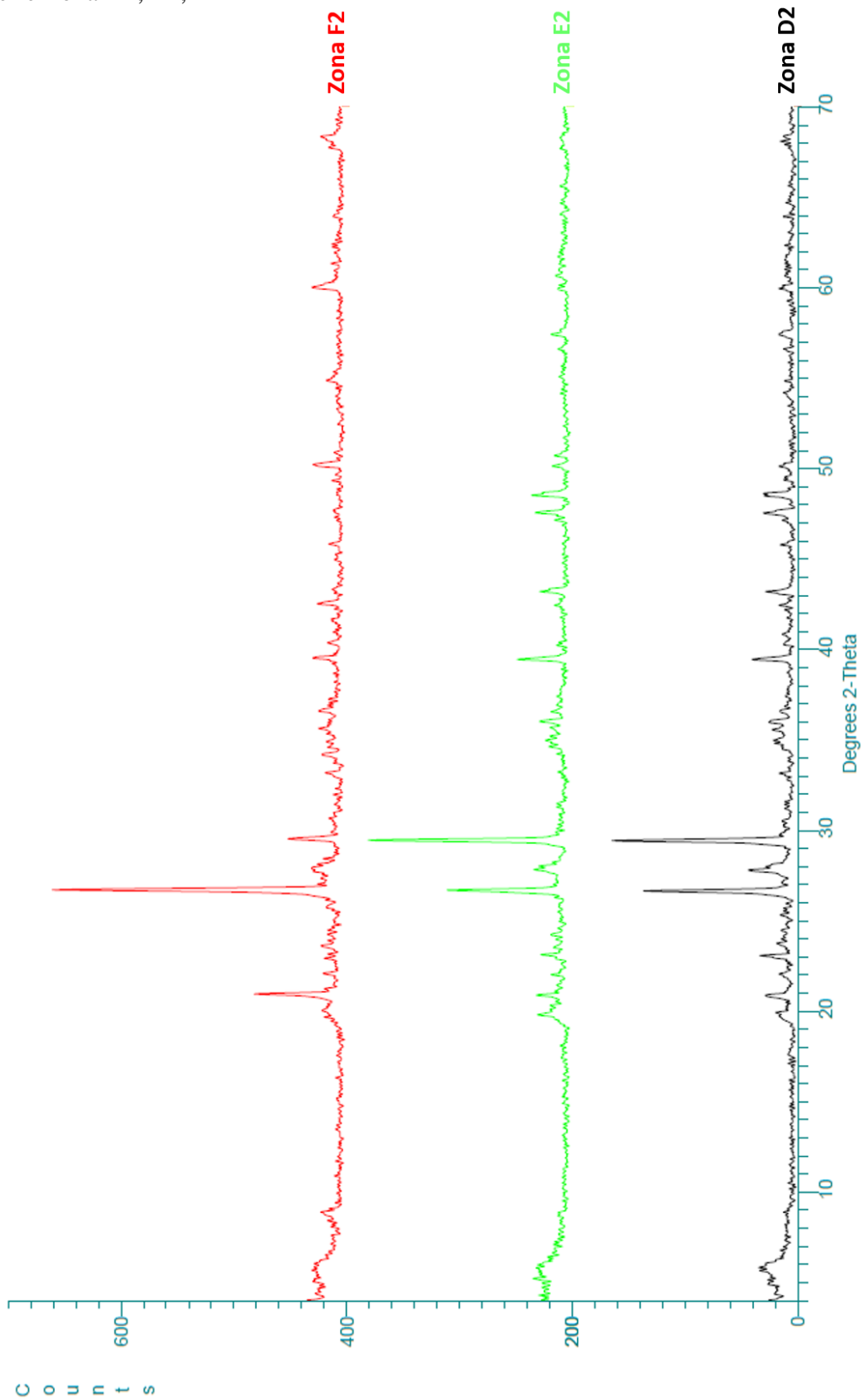
1.7 Serie Zona C1, D1, E1



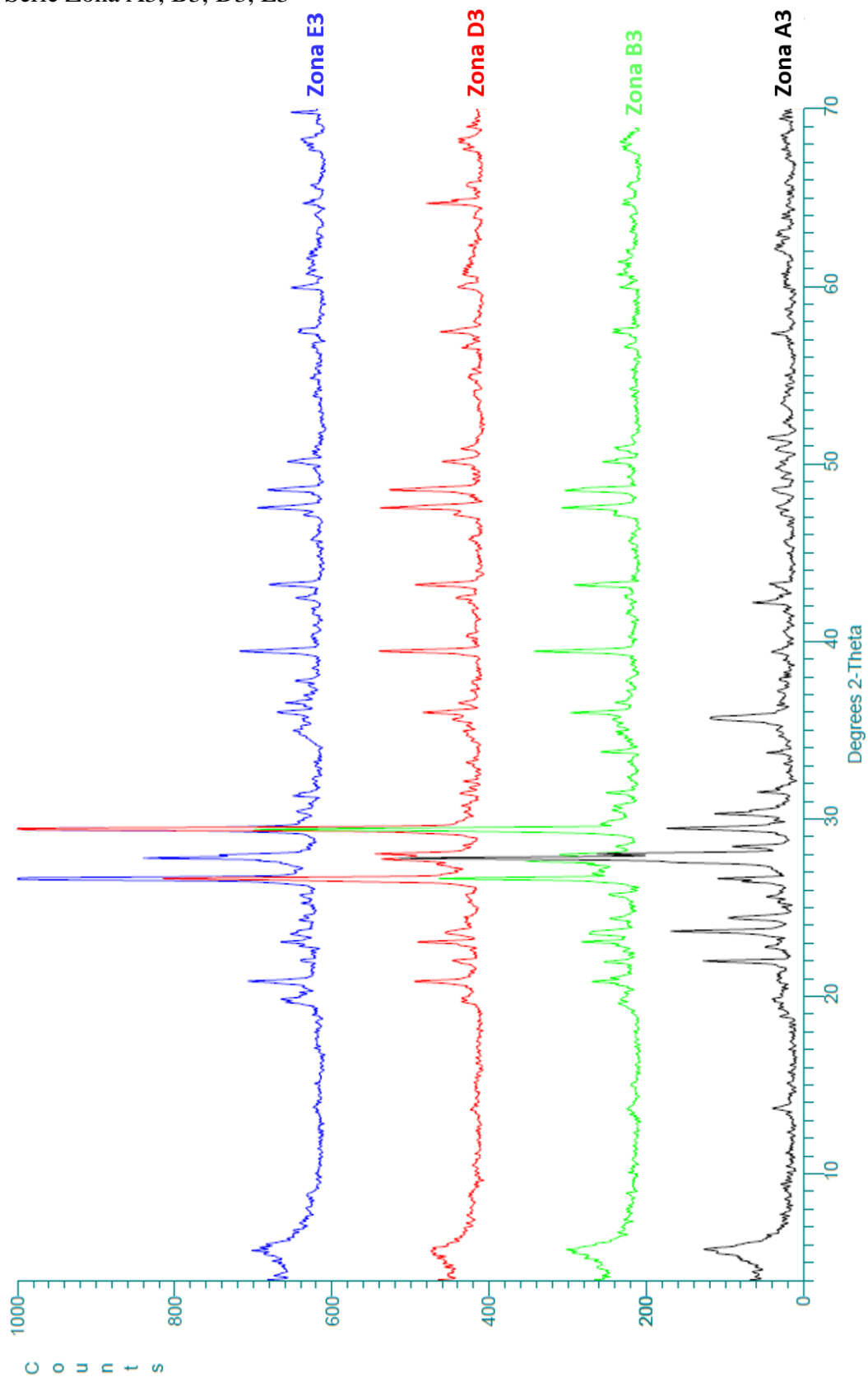
1.8 Serie Zona A2, B2, C2



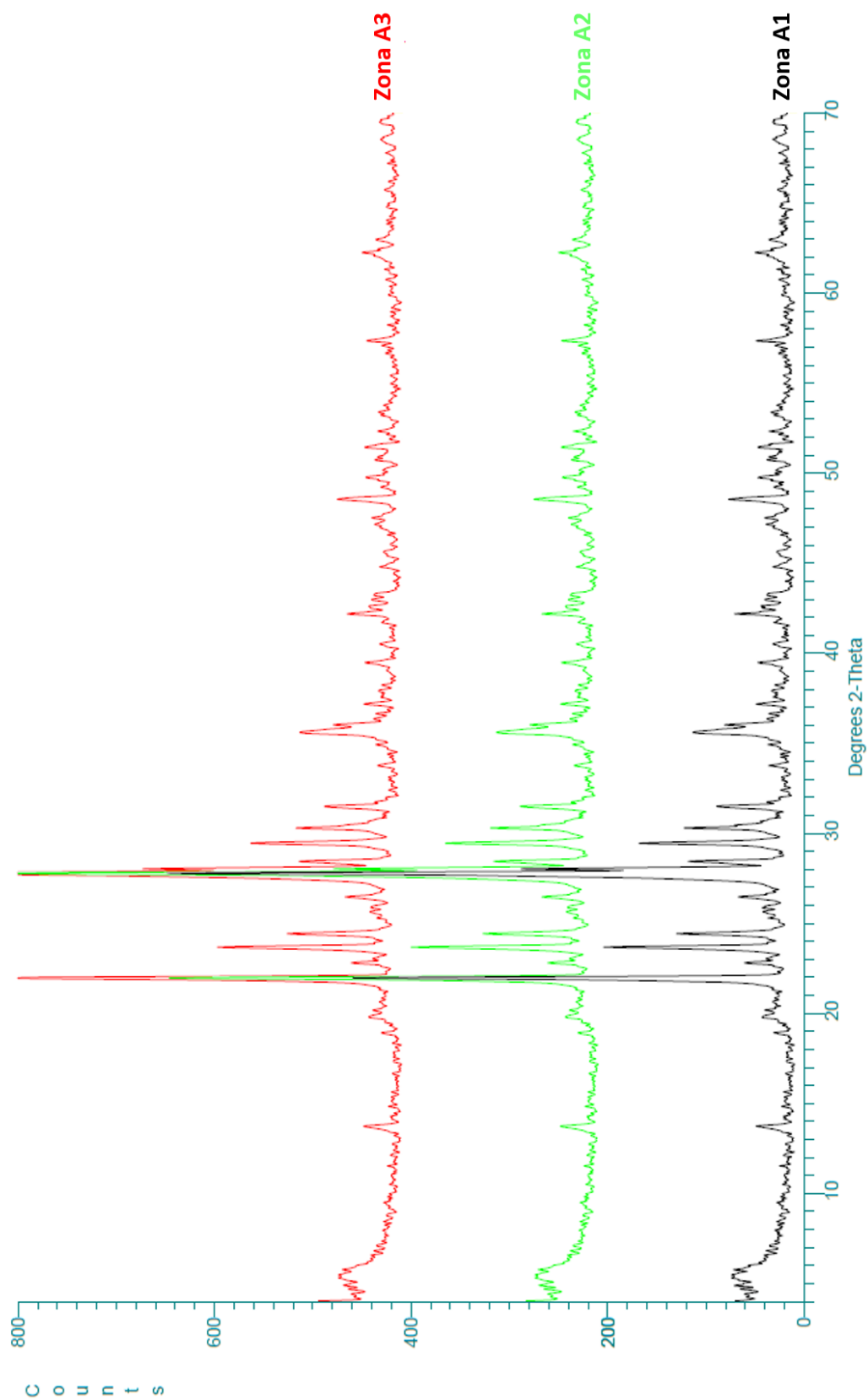
1.9 Serie Zona D2, E2, F2



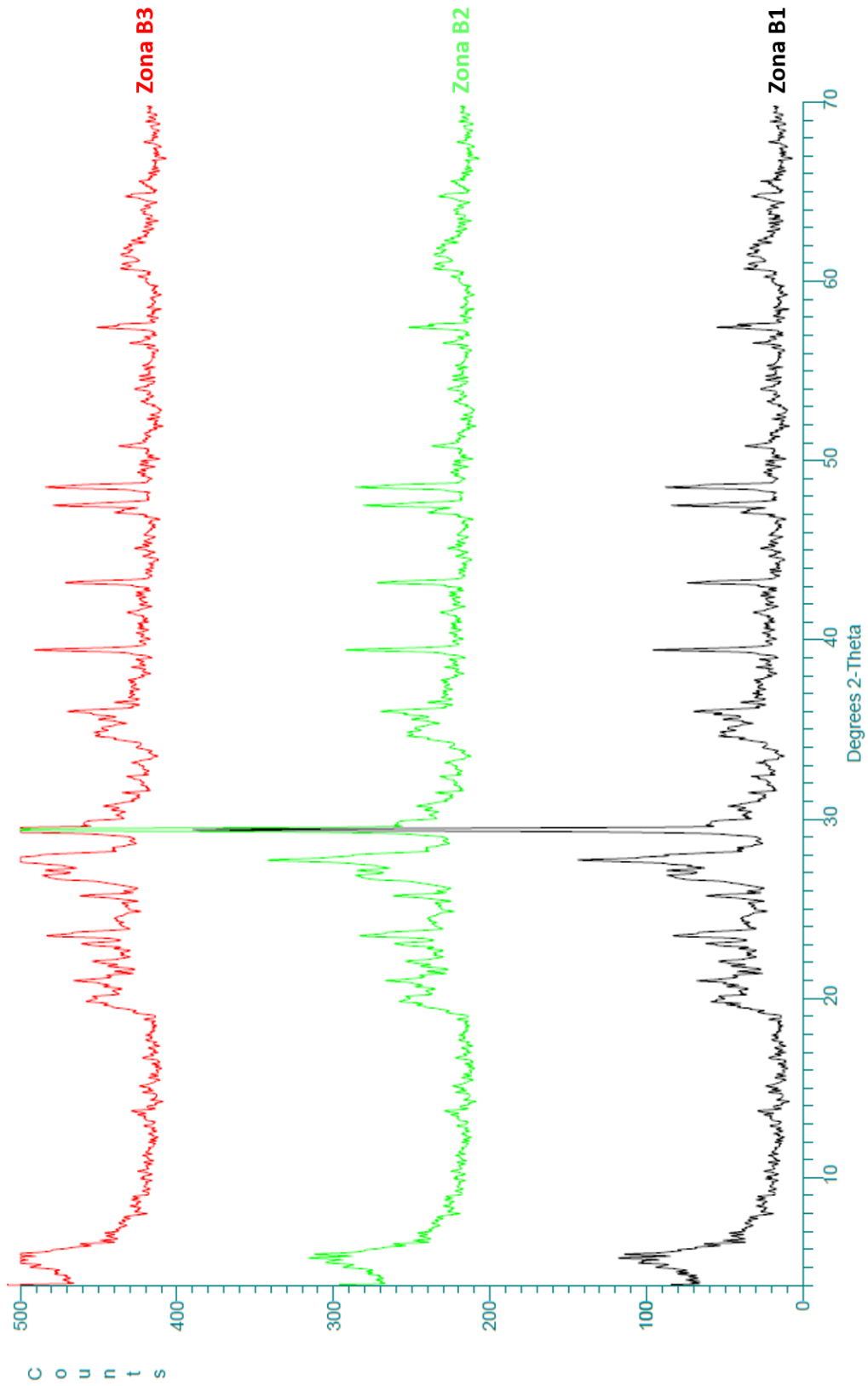
1.10 Serie Zona A3, B3, D3, E3



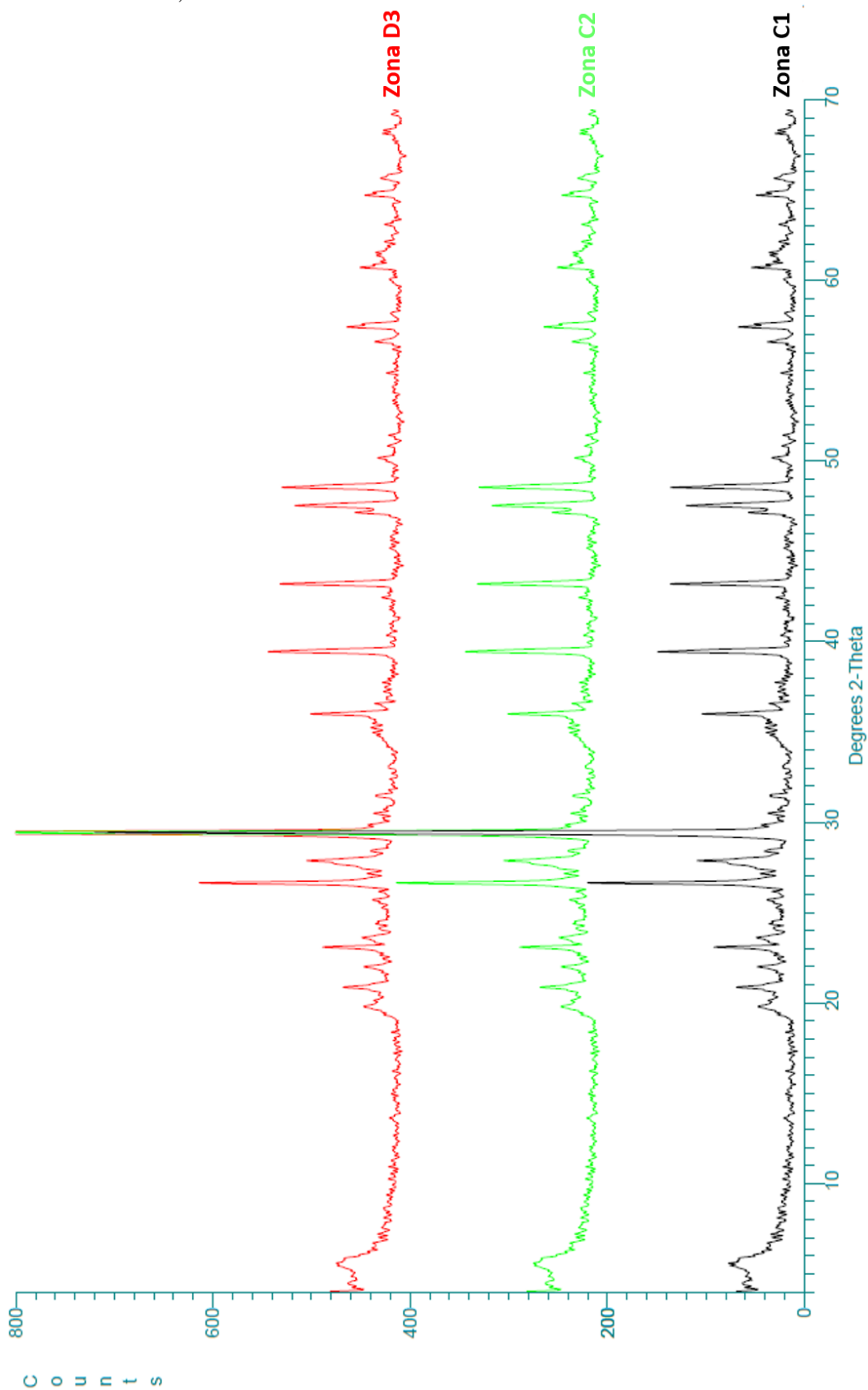
1.11 Serie Zona A1-3



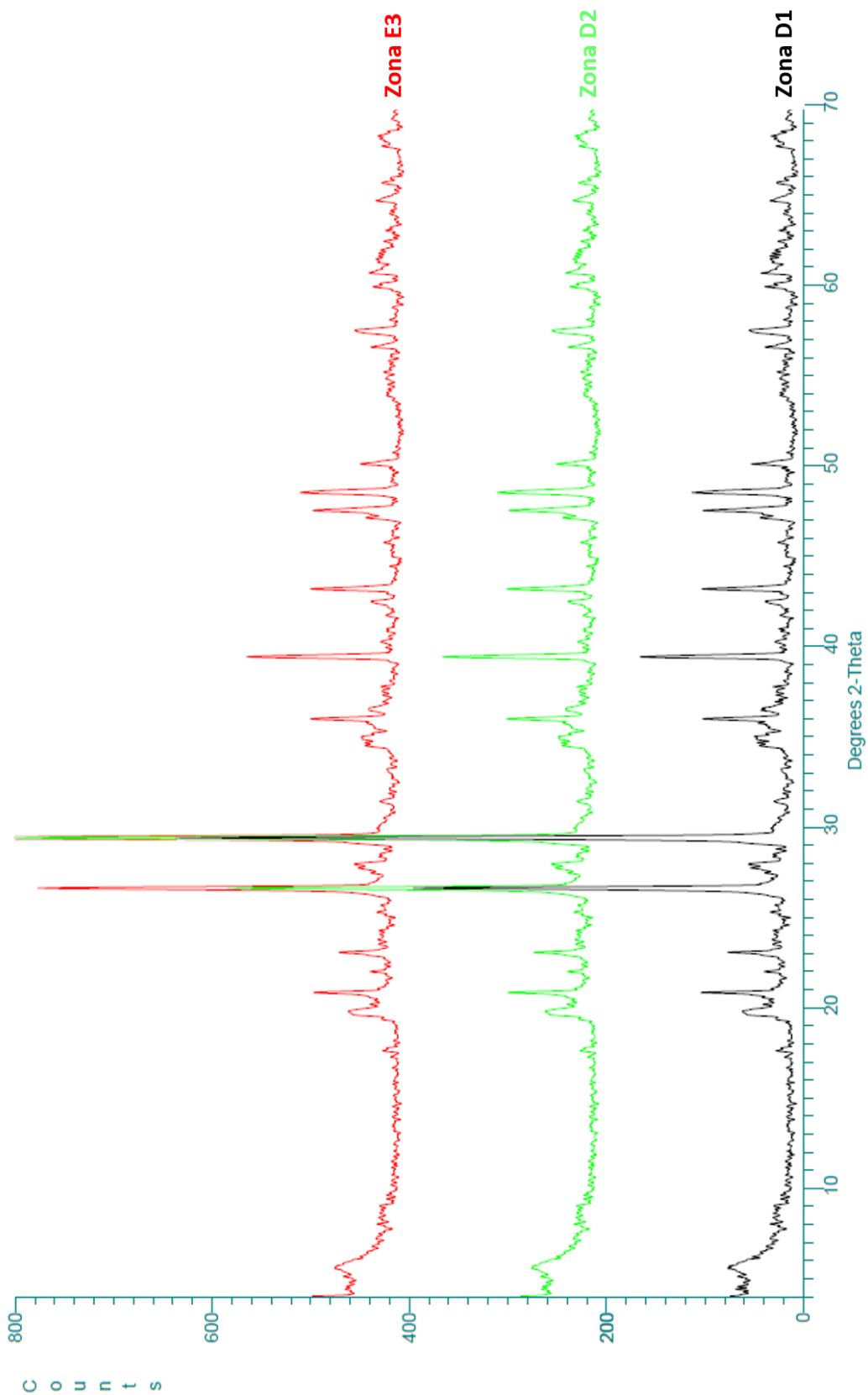
1.12 Serie Zona B1-3



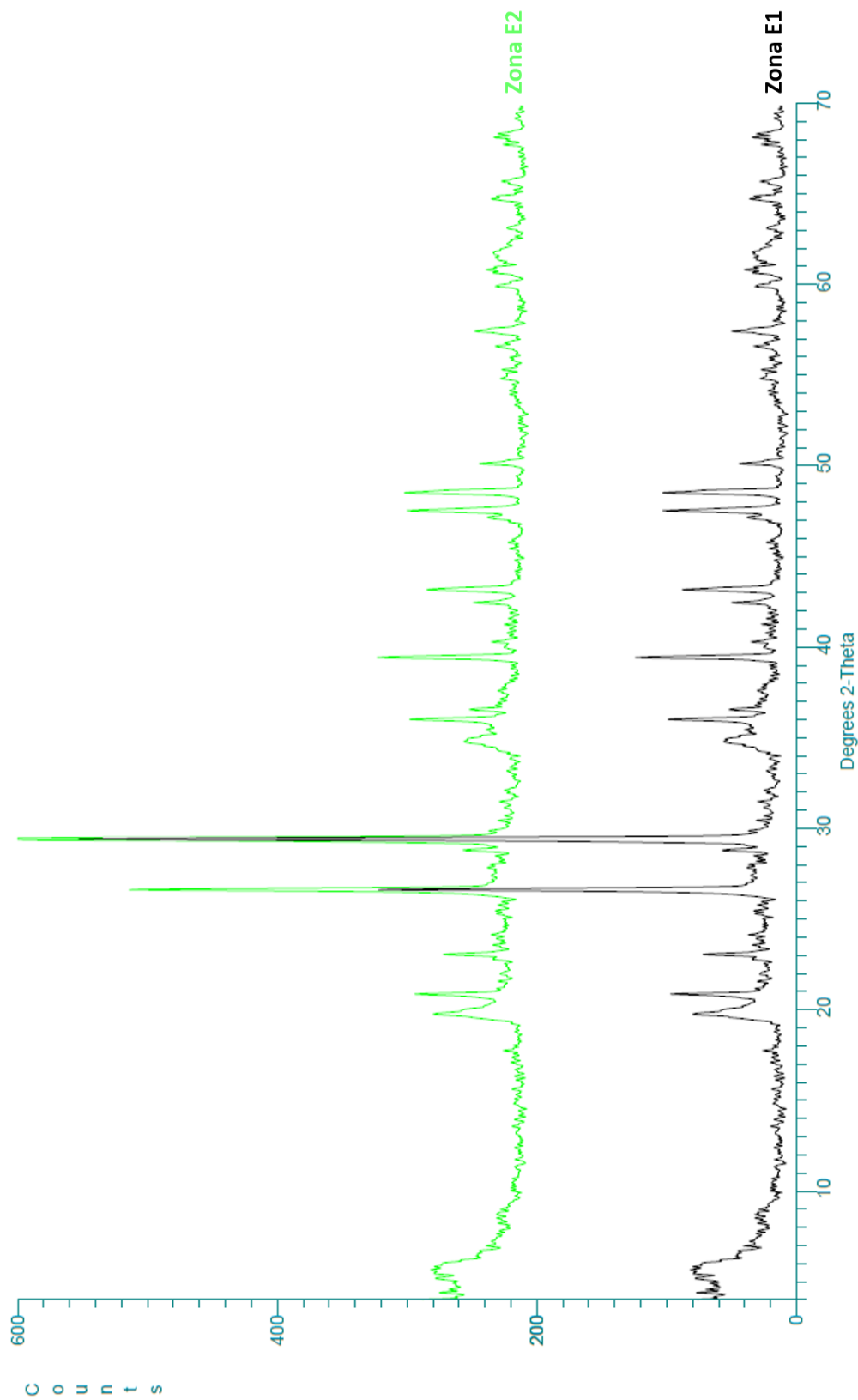
1.13 Serie Zona C1-2, D3



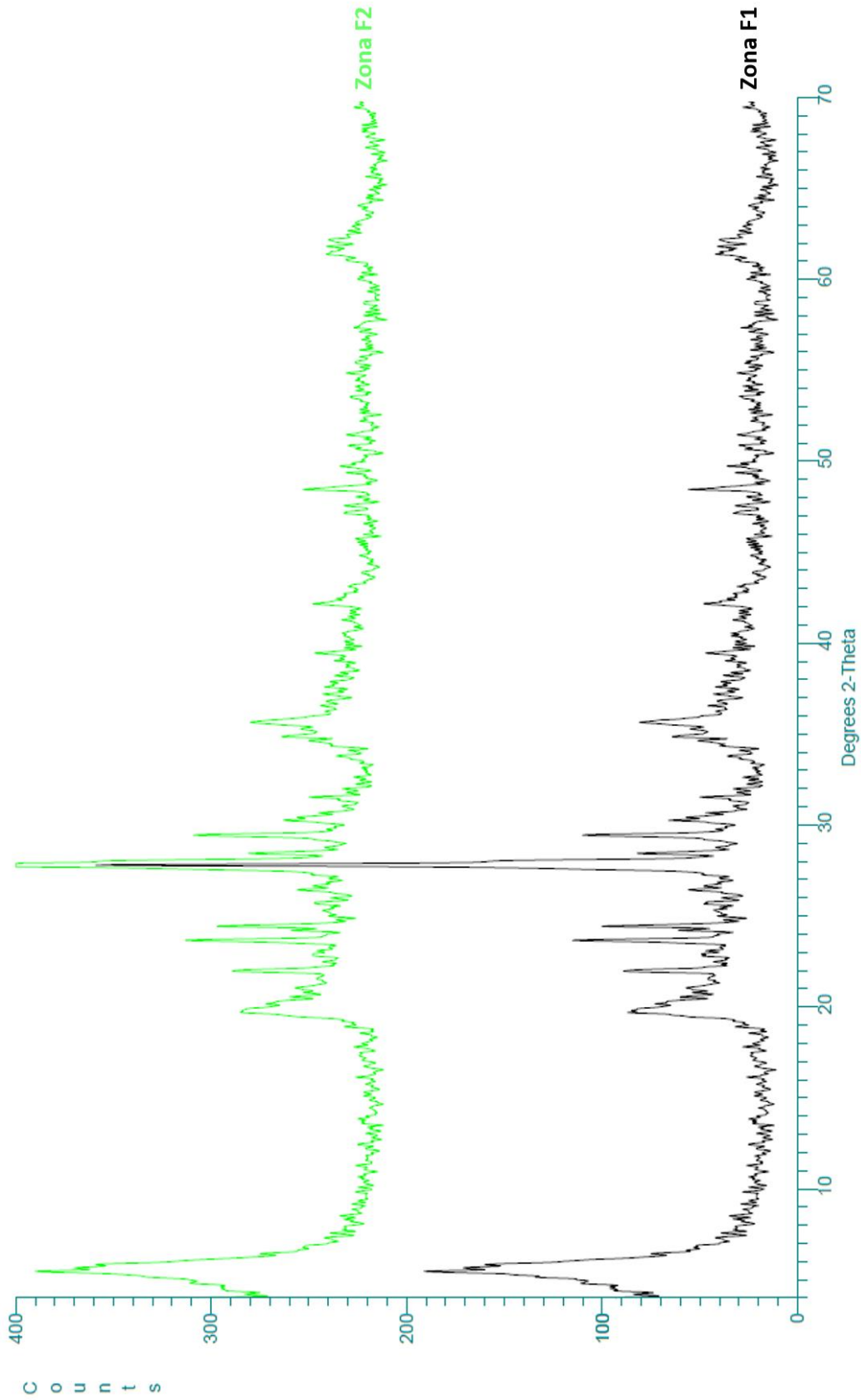
1.14 Serie Zona D1-2, E3



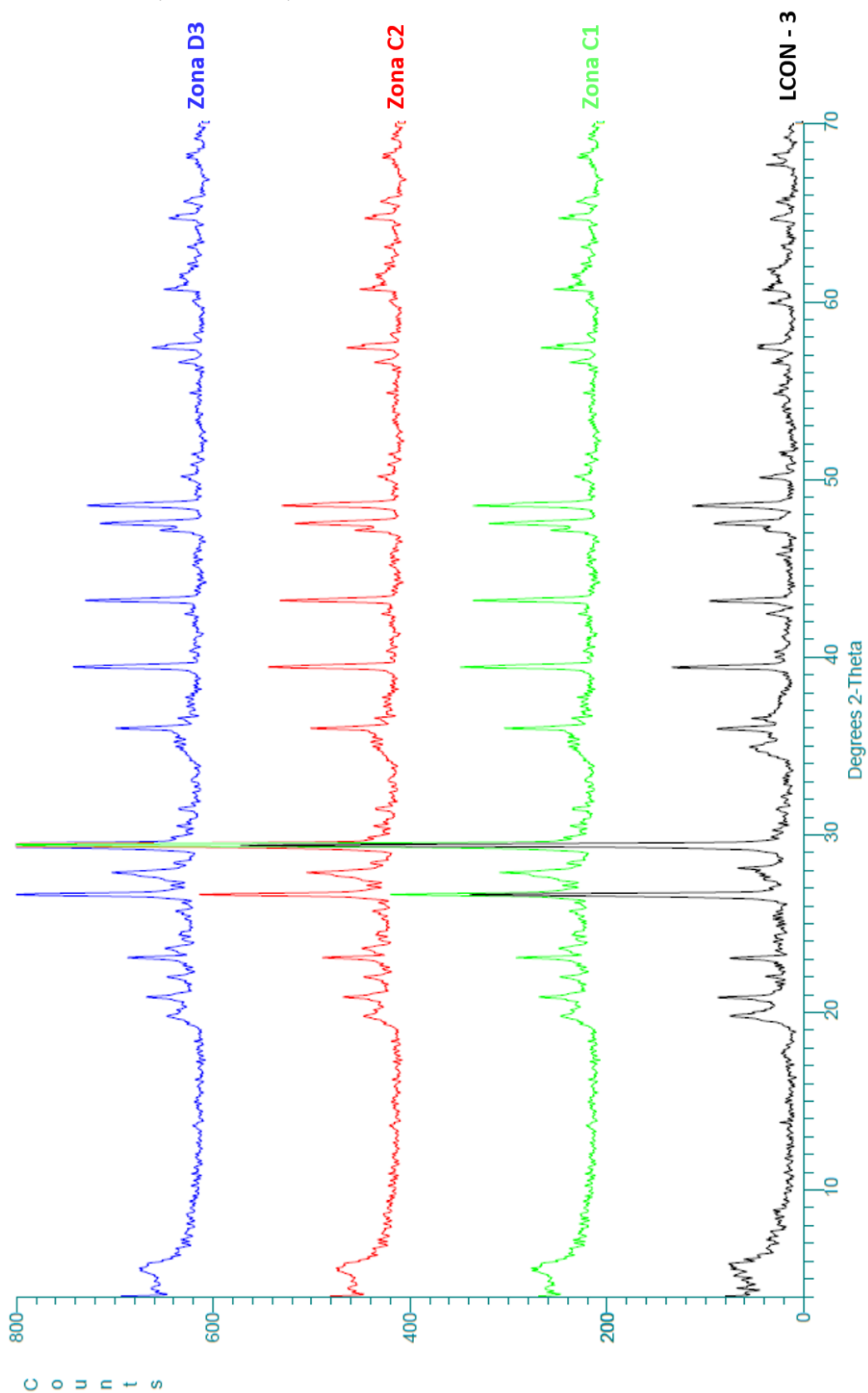
1.15 Serie Zona E1, E2



1.16 Serie Zona F1, F2

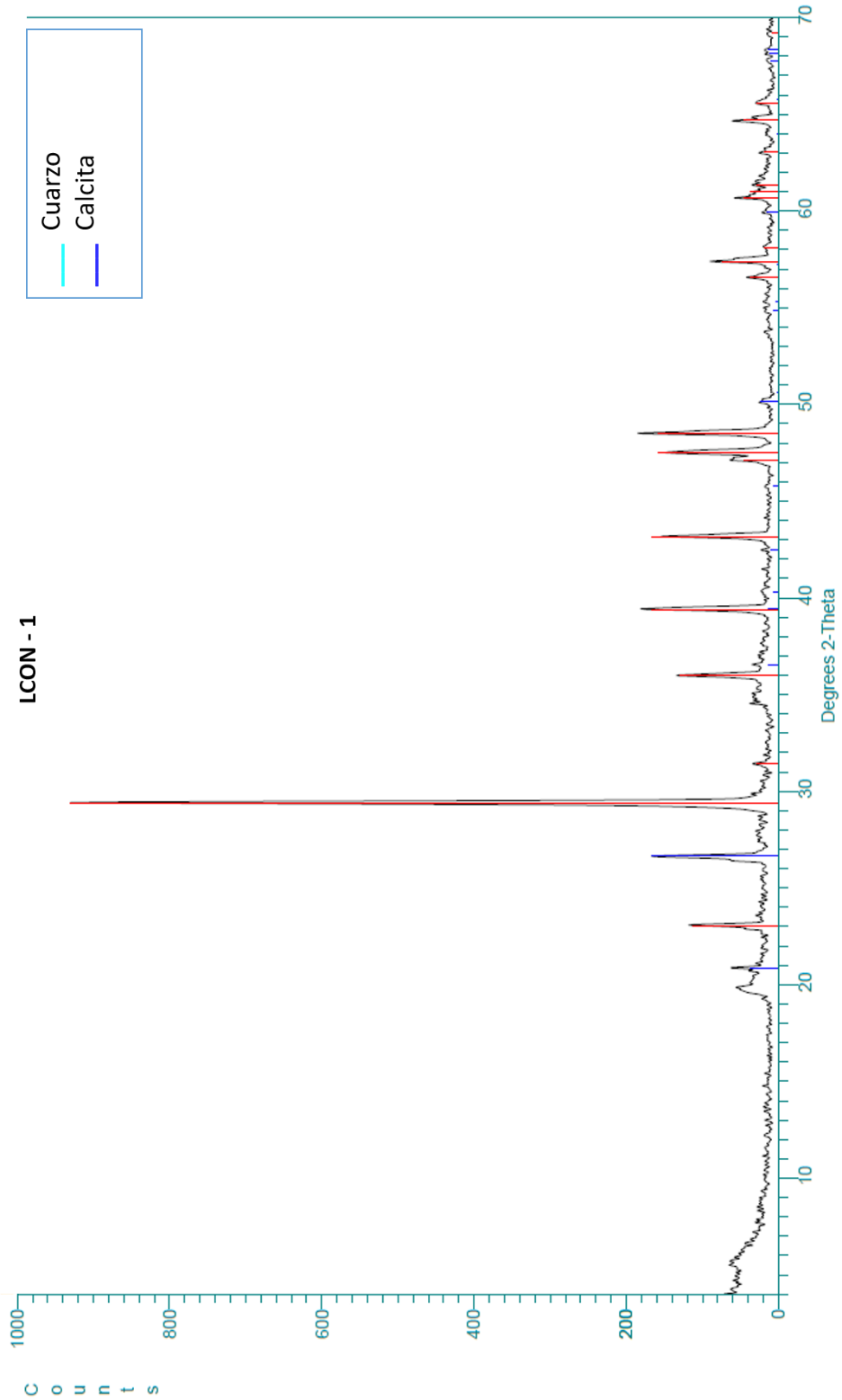


1.17 Serie LCON-3, Zona C1-2, D3

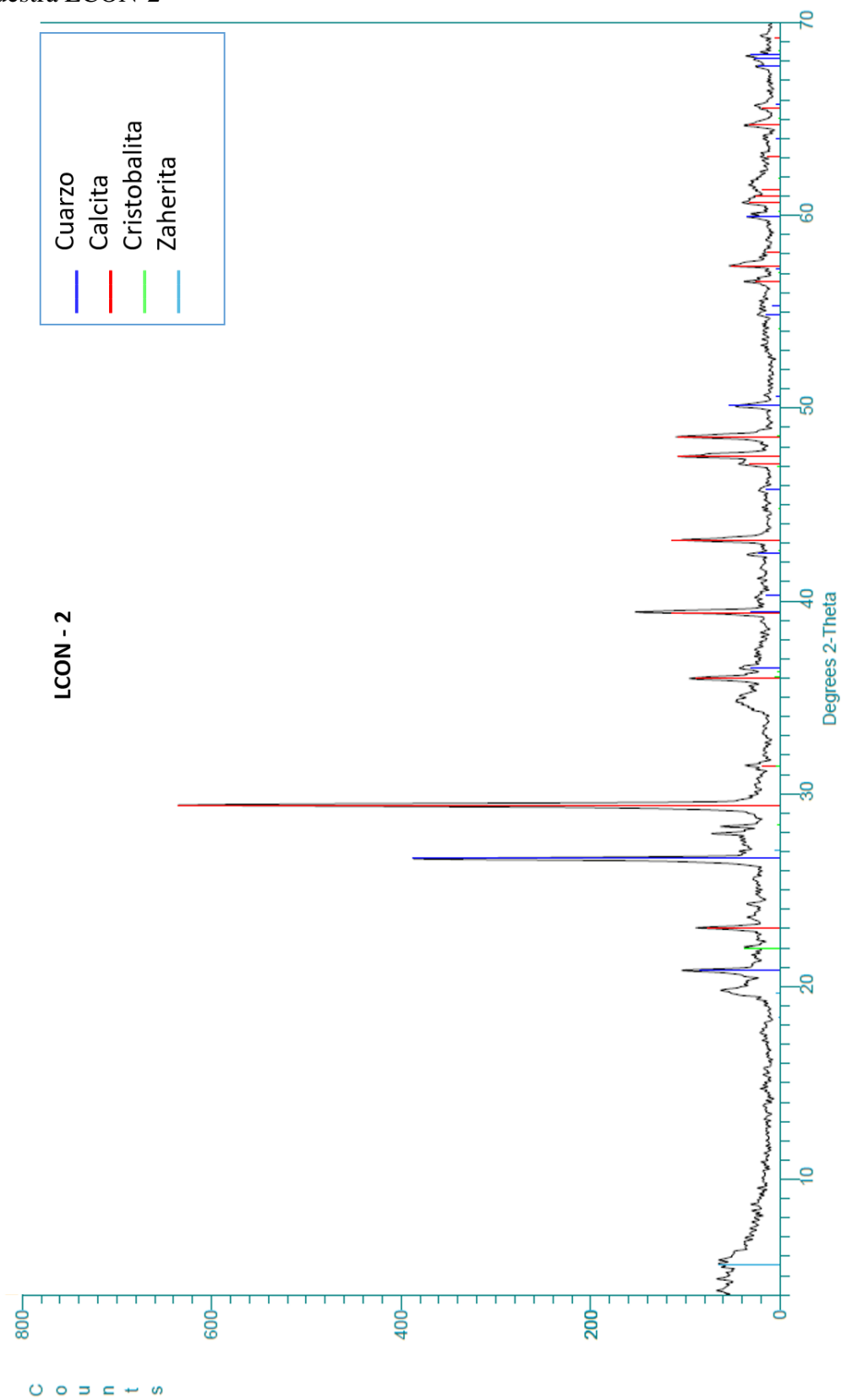


Anexo 2. Interpretación de los difractogramas.

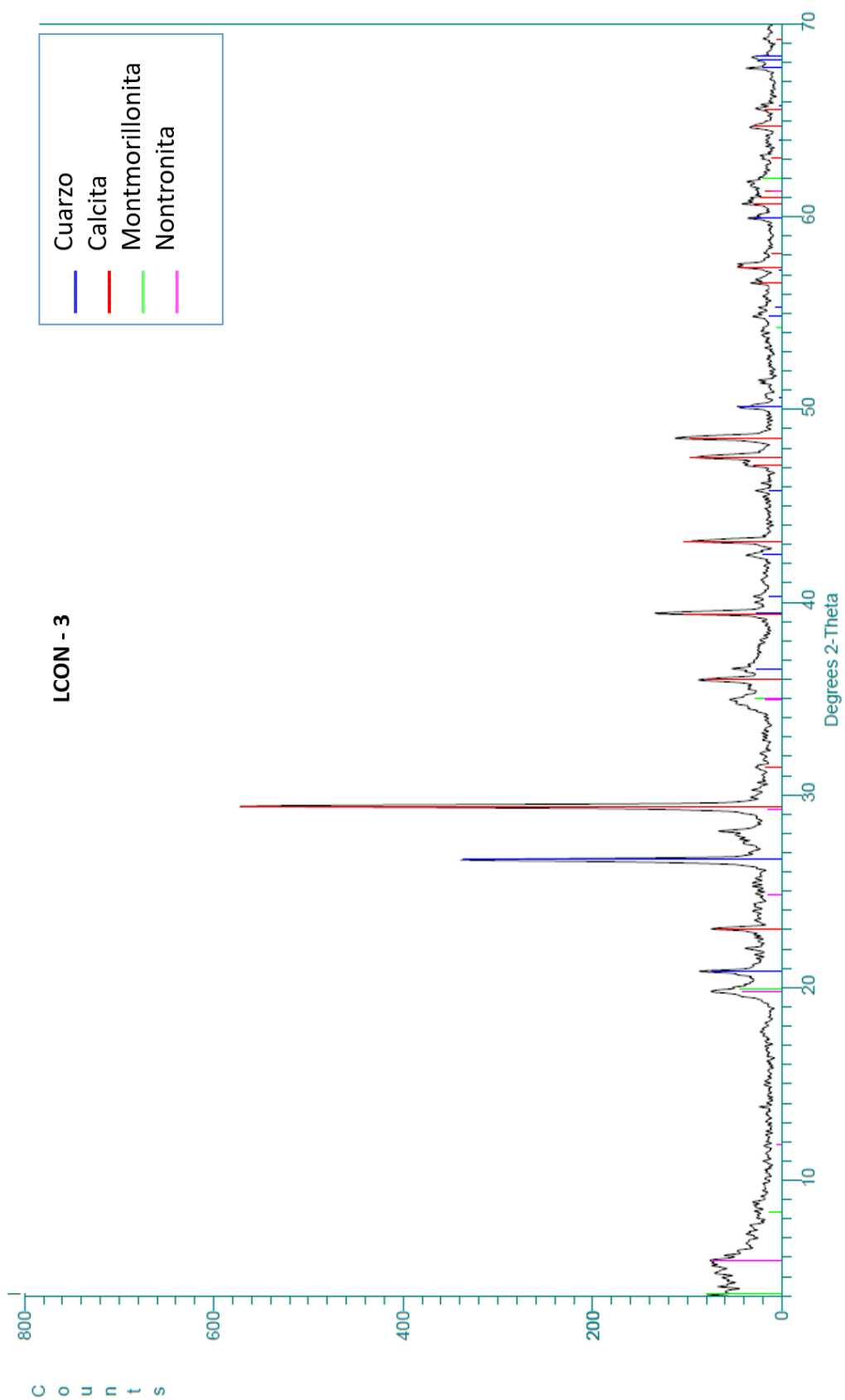
2.1 Muestra LCON-1



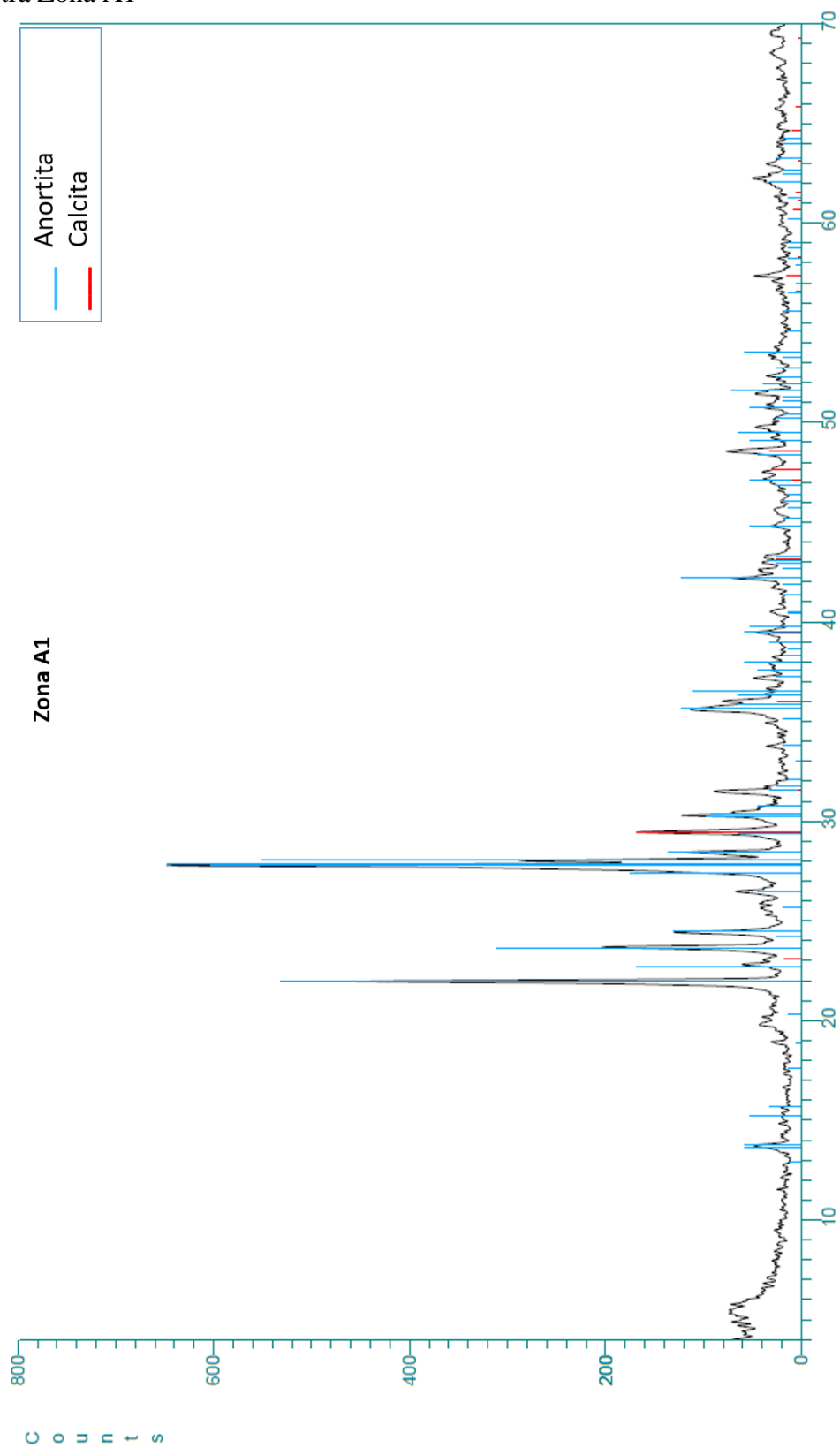
2.2 Muestra LCON-2



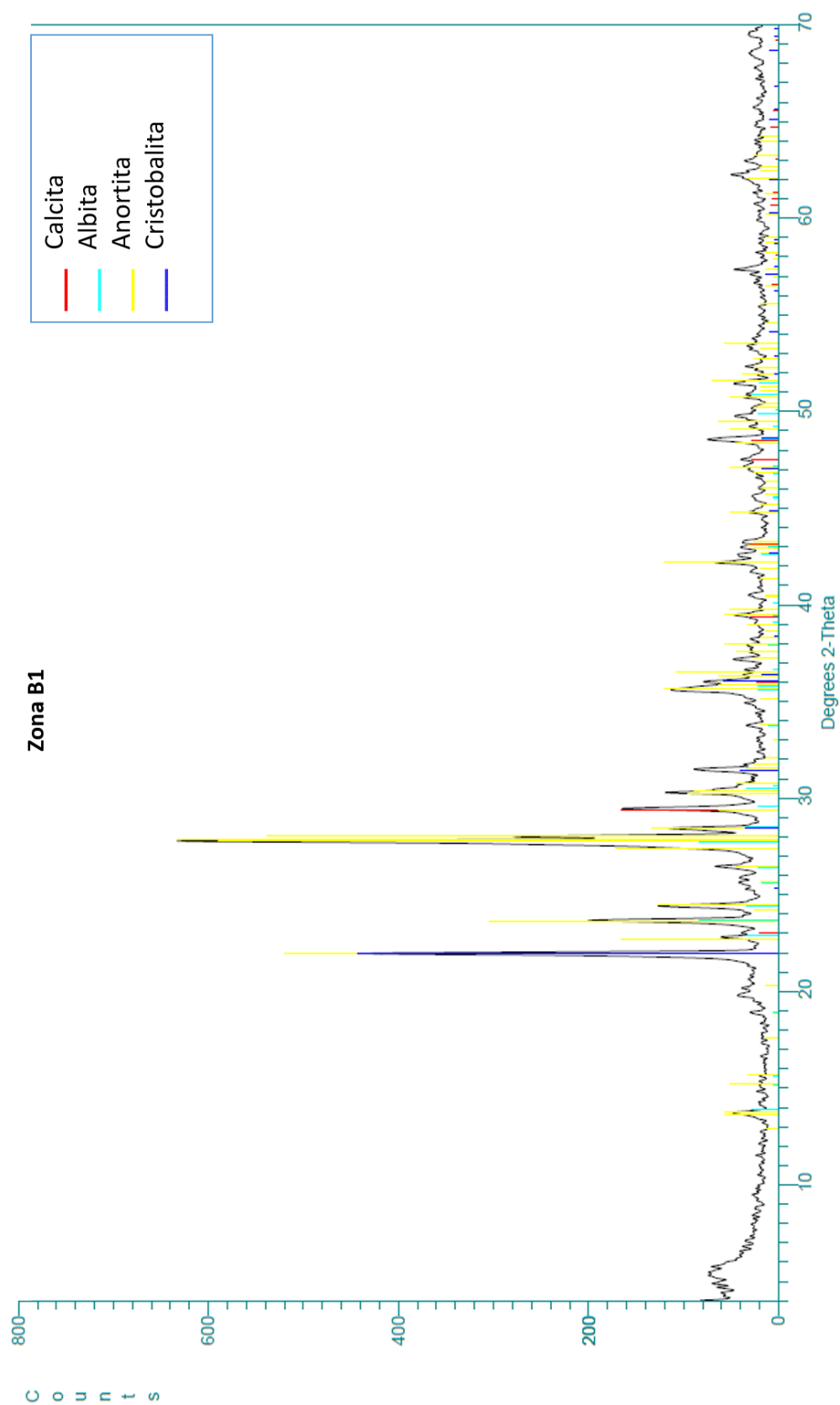
2.3 Muestra LCON-3



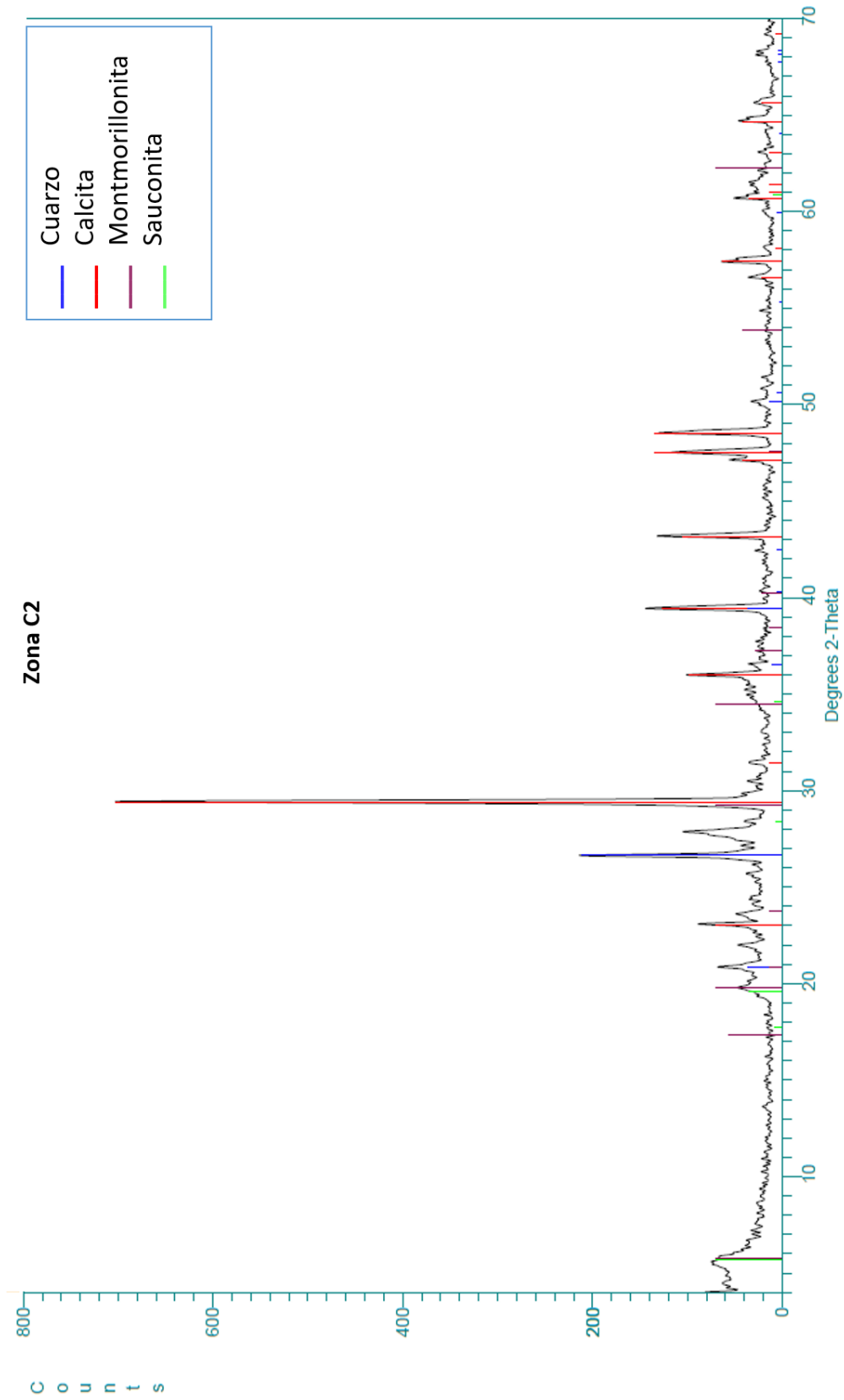
2.4 Muestra Zona A1



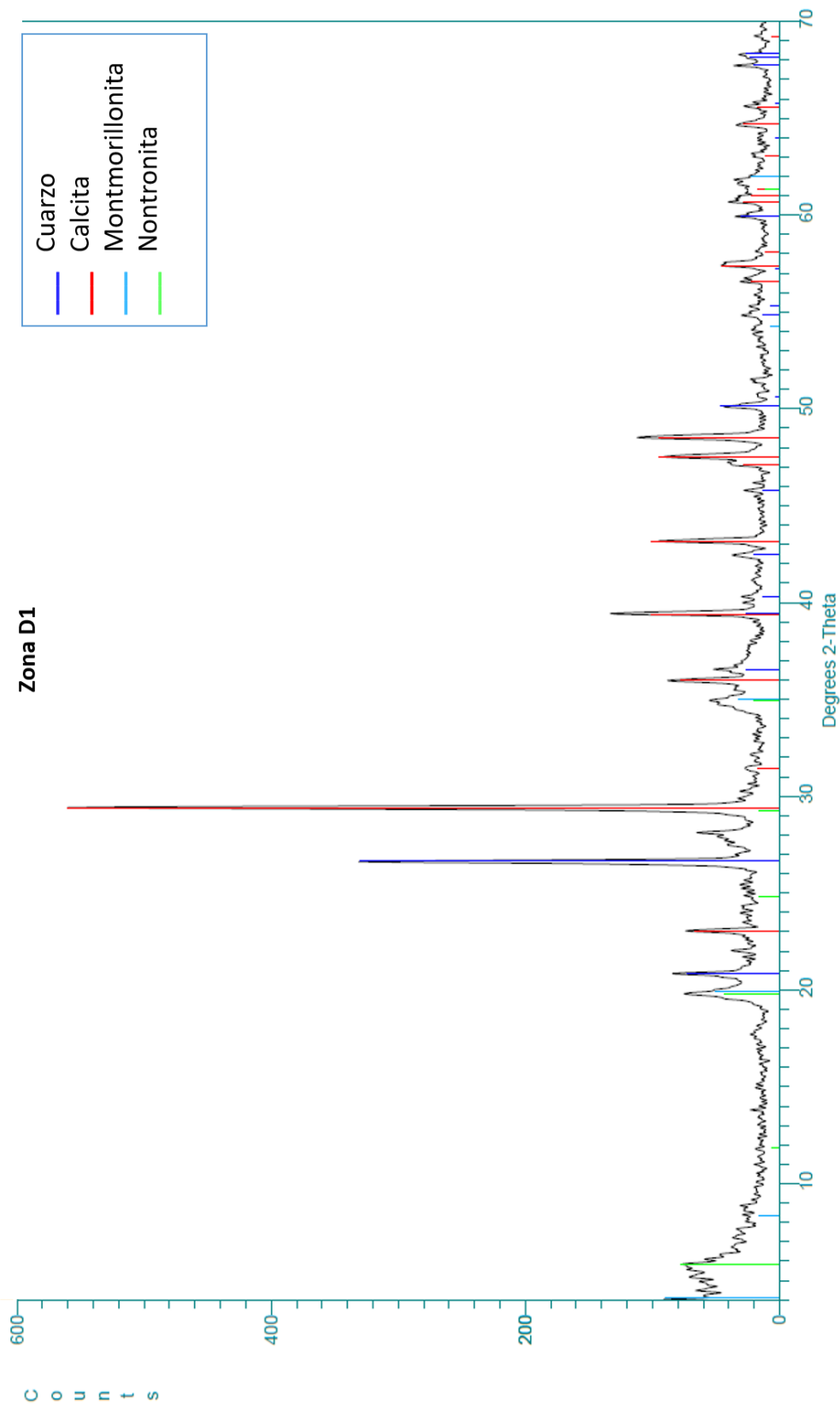
2.5 Muestra Zona B1



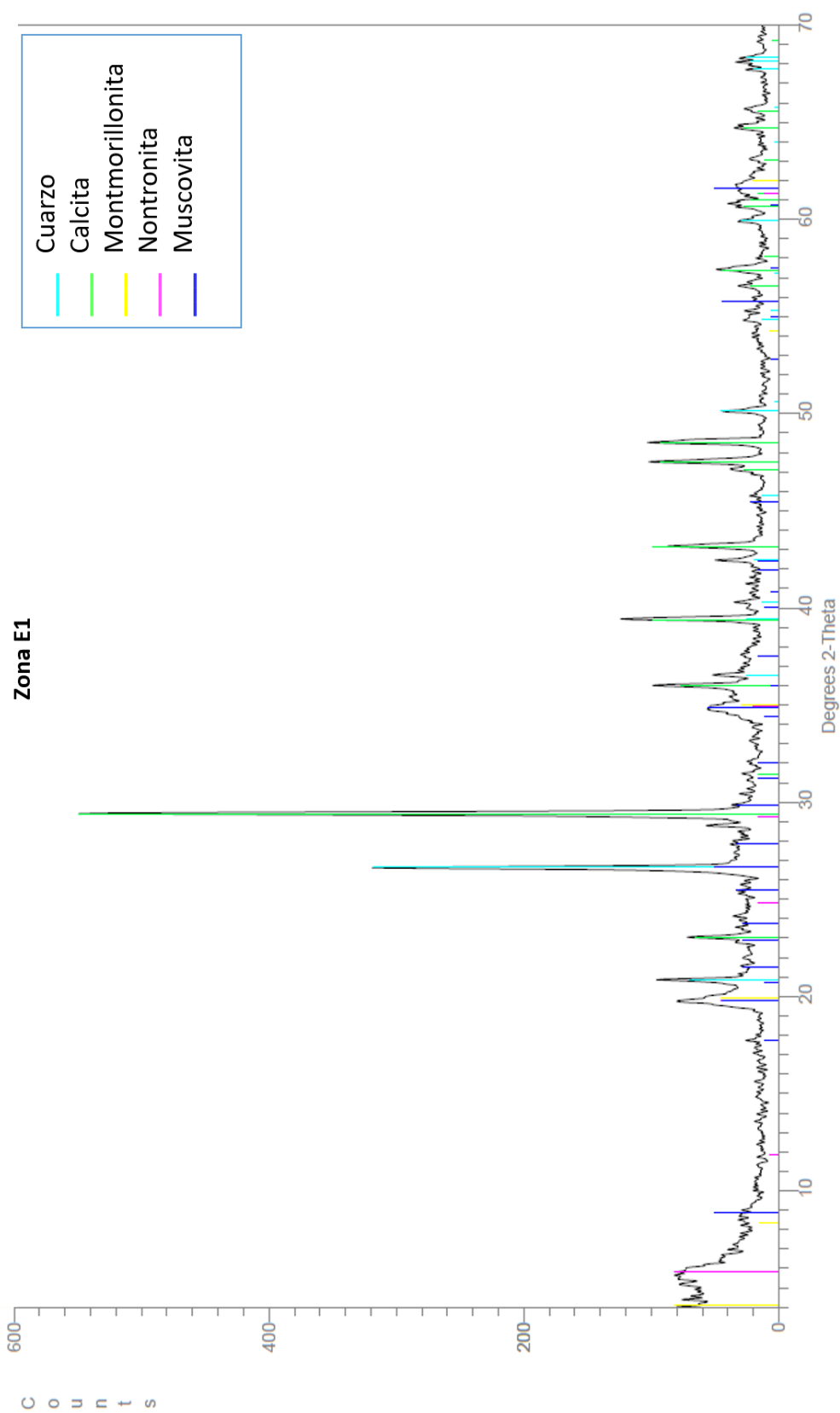
2.6 Muestra Zona C2



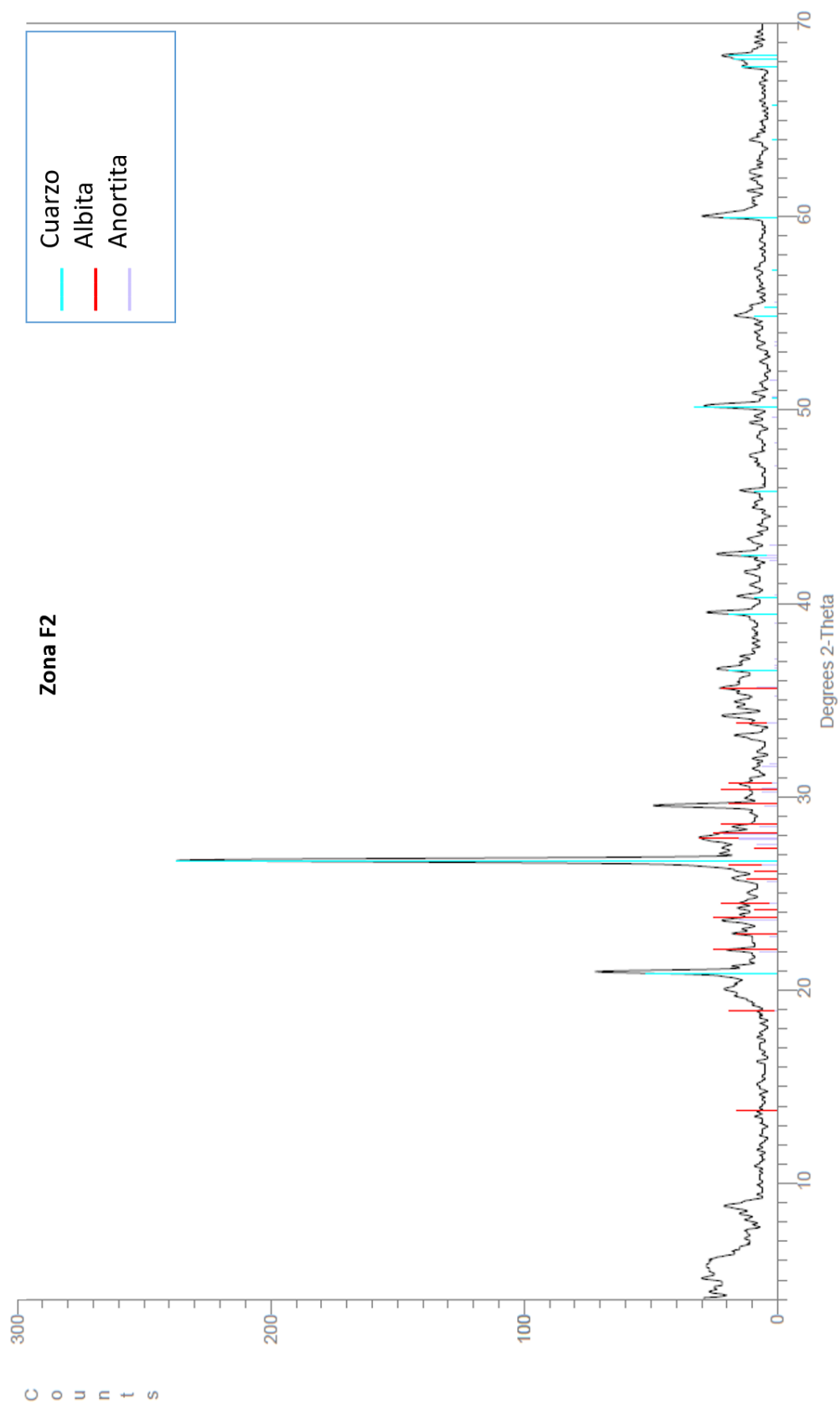
2.7 Muestra Zona D1



2.8 Muestra Zona E1



2.9 Muestra Zona F2



Anexo 3. Guion descriptivo del cortometraje documental

Toma panorámica del geoparque, suena de fondo la "canción Mixteca, aparecen mapas de la localización del sitio, tomas aéreas e imágenes de la civilización Mixteca

NARRADOR (Voz en off)

El Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta se localiza en el estado de Oaxaca, México. Y está conformado por nueve municipios abarcando un área de 415.4 km².

La Mixteca Alta comprende una zona topográfica resultado del contacto entre la Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre Oriental, dos de las principales cadenas montañosas de México.

El nombre de la región se deriva de la civilización Mixteca, que se estableció en el sitio durante los siglos XV al II a.C. y terminó a inicios del siglo XVI.

En el 2017 el proyecto alcanzó la categoría de "Geoparque Mundial" otorgada por la UNESCO, dicha categoría surge con la finalidad de establecer lugares para promover la conservación y difusión de sitios con una gran diversidad geológica en los cuales se resguarda la información acerca de la evolución de la Tierra.

Pantalla negra, pregunta: "¿Cómo inició el proyecto del Geoparque?"

INT: Entrevista con la Dra. Silke Cram

DRA. SILKE

Por amor de dos geomorfólogos que fueron a campo a la zona de la Mixteca Alta, el Dr. Mario Arturo Ortiz, que en paz descansa, y Oralia Oropeza que son excelentes en trabajo de campo. Fueron a hacer cuestiones de descripción de la geomorfología y se enamoraron de esa zona y del paisaje. Oralia como ya había oído la cuestión de los geoparques llegó súper emocionada y le comentó al Dr. José Luis Palacio, quien es el experto en geoparques y lo ha trabajado desde hace mucho y le dijo -Tienes que ir ahí, es que

eso es un geoparque. Y así fue como en la próxima salida a campo fue José Luis y dijo -Sí, puede ser.

Pantalla negra, pregunta: "¿Cuál es el propósito del Geoparque?"

DR. JOSÉ LUIS

Los geoparques tienen entre sus funciones poder promover el conocimiento de las ciencias de la tierra que normalmente es un conocimiento que es muy secundario en las prioridades. Se considera que los temas geológicos, geomorfológicos y geográficos de tipo físico son poco conocidos en general entre la población.

Cuando se habla de conservación, normalmente pensamos en especies vegetales o animales, pero nunca le damos importancia a todo aquello que sustenta la vida. Entonces la idea de los geoparques son proyectos para crear conciencia de la importancia de estos elementos para la conservación en general del planeta. Entonces este es uno de los objetivos fundamentales, un proyecto que es de carácter educativo para informarle a las personas y al público en general acerca de la importancia de algo que normalmente no nos dicen que es importante.

Tomas aéreas del geoparque, se muestran zonas altamente erosionadas y sitios con lamabordos. También se muestra una imagen de la localidad de Santo Domingo Yanhuitlán

NARRADOR (Voz en off)

El paisaje actual que conforma al territorio del geoparque es resultado tanto de los procesos geológicos que han ocurrido en el sitio, así como también de la interacción del hombre con su medio. En primer lugar, las rocas que cubren mayormente el territorio del Geoparque se caracterizan por estar compuestas de materiales poco consolidados y deleznable, lo cual da lugar a un paisaje con una gran cantidad de formas erosivas.

Debido a las condiciones del relieve y a la alta demanda de alimentos que tuvo la población de la Mixteca en la época prehispánica, los habitantes construyeron represas perpendiculares a los cauces de los ríos para la retención de alimentos y así formar terrazas agrícolas. A estas estructuras se les conoce como

lamabordos. Actualmente es posible encontrar remanentes de algunos de ellos e incluso hay otros que aún se siguen utilizando para el cultivo de alimentos.

Actualmente esta zona se caracteriza por una baja densidad poblacional debido a la falta de oportunidades de empleo, convirtiéndola en una de las zonas con mayores tasas de migración y marginación del país.

INT: Entrevista con el Dr. José Luis

DR. JOSÉ LUIS

Pero a través de estos proyectos es también posible desarrollar el territorio, es decir, son estrategias también de desarrollo territorial sobre todo de gran impacto cuando hablamos de comunidades marginadas, como decía en estos municipios hay una alta migración porque no hay oportunidades de empleo, no obstante, contar con recursos que si se ven con otros ojos podrían ser un factor importante de desarrollo económico local. Entonces por eso pensamos que un proyecto de este tipo no sólo tiene un alto impacto en el lugar donde lo estamos desarrollando que es en Oaxaca, en la Mixteca Alta, sino en otras regiones del país que tienen los mismos problemas y las mismas cualidades.

EXT: Entrevista con Doña Tomasa Bautista, guía local del geoparque.

DOÑA TOMASA

El arraigo a nuestras tierras, el amor por el pueblo ya lo traigo por herencia creo que, en la sangre, pero el beneficio dentro del proyecto, pues, el conocimiento tanto en el área educativa y científica, yo desconocía mucho. Y también en el conocimiento, adentrarse más sobre nuestra cultura y nuestro origen. Ese amor que ya tenía y siempre había tenido por estos suelos, ahora con este conocimiento científico, esos diferentes procesos geológicos, de erosión y todo lo que tiene se ha aunado una importancia muy grande para mí.

EXT: Entrevista con Don Julio Ángel Miguel, habitante del municipio de Santo Domingo Yanhuitlán.

DON ÁNGEL

Desde niño yo creo que nació en mi la idea de hacer cambios, llegó acá y encuentro todo muy árido, lleno de cárcavas, porque el lugar que recorrimos eran puras cárcavas, el camino que vieron bonito con piedras era una cárcava, el otro lado donde está el basurero era una cárcava más grande todavía y todo era deslave como se ve ahí, así era el terreno, ahora ya cambió. Que se mejoraran las comunidades y que tuvieran un ingreso, pero no le hemos echado tal vez las ganas y seguimos esperando que se den esos cambios, pero yo creo que quienes los vamos a dar somos nosotros, los que entendemos cómo es este proceso del geoparque. Es algo bonito porque nos permite mostrarle al mundo lo que se tiene y el cambio que se le puede dar.

INT: Entrevista con Doña Juana Guzmán, habitante del municipio de Santiago Tillo.

DOÑA JUANA

Y solamente para que no muera nuestro arte, porque es un arte, una artesanía, su nombre lo dice, artesanía del tejido de la palma, herencia de todos los pueblos prehispánicos, mis antepasados y ahora algunos de mis hijos también saben tejer y la gente de la comunidad que teje y están aprendiendo y venden sus bolsitas de plástico. La autoridad municipal de este pueblo me pidió que por favor fuese en representación del pueble de Santiago Tillo y mi idea fue sacar mis sombreros, y es así como estoy involucrada ahora en el geoparque de la Mixteca Alta.

Toma aérea del geoparque

NARRADOR (Voz en off)

Algunos de los enfoques que se buscan dentro de un geoparque están encaminados a fomentar un desarrollo sustentable a partir de un

turismo educativo con bajo impacto, en donde se resalte el valor y la importancia de la conservación del patrimonio abiótico que en este caso es el geopatrimonio.

INT: Entrevista con el Dr. José Luis

DR. JOSÉ LUIS

Los geoparques no son solamente geología, para eso están los parques geológicos, que no es la misma cosa. Un geoparque es algo que integra el ambiente físico con la parte humana, sin la población no podemos tener un geoparque, entonces esa forma de ver las cosas, además, es muy geográfica en el sentido de que la geografía no se dedica a ver las partes por separado si no todo el conjunto y cómo se relacionan todas estas cosas de manera conjunta. Entonces desde un punto de vista geográfico, un geoparque es un territorio ideal para poder enseñar y para poder practicar geografía.

Se muestran videos y fotos de actividades culturales en la región

NARRADOR (Voz en off)

De igual forma, se busca promover el arraigo cultural de los habitantes con el territorio en el que habitan. En el caso del Geoparque Mixteca Alta, este se encuentra habitado por un grupo considerable de personas pertenecientes a los pueblos originarios de México previos a la conquista.

EXT: Entrevista con Doña Tomasa Bautista, guía local del geoparque.

Se intercala la entrevista con videos de la elaboración de figuras de barro e imágenes de los productos terminados

DOÑA TOMASA

Esto es un cántaro, lo que más origen le ha dado a la población, la investigación que se ha hecho, la técnica con la que se elaboran las piezas es la milenaria, no usamos torno ni molde, todo es manual. El entintado que se observa, el escurrido que tiene es de un preparado que hacemos con la corteza del encino y se aplica cuando las piezas van saliendo del horno al rojo vivo, tienen que estar a una temperatura alta, recién cocidas y ya queda.

INT: Entrevista con Doña Juana Guzmán, habitante del municipio de Santiago Tillo.

Se intercala la entrevista con fotografías de los productos elaborados con palma

DOÑA JUANA

La palma se corta la madrugada de luna llena se trae a la casa y se cuelga para que se seque y una vez seca se clasifica por colores y por textura también, se apartan las palmas amarillas de las morenitas. Tenemos aquí en la casa una recopilación de todos esos tejidos y las figuras, la familia de mis padres, la servidora que tienen enfrente y mis hijos, todos tejemos la palma y en los trabajos están plasmadas las figuras del campo, las flores principalmente y las grecas que también son herencia cultural.

INT: Entrevista con Maricela Gómez y Manuel Reyes, habitantes del municipio de Santo Domingo Yanhuitlán.

Se intercala la entrevista con algunos de los trabajos que se elaboran con el barro y los pigmentos

MANUEL REYES

Me parece muy interesante el proyecto del geoparque, ojalá mucha gente acuda a visitar no sólo los talleres que impartimos con los niños o nuestro trabajo, si no pueda venir a apreciar todo el entorno natural que tenemos aquí en Yanhuitlán que es fabuloso,

nosotros utilizamos barro y tierras por ejemplo y muchos de estos materiales están en la región, los tepalcates que son increíbles, cada uno con una iconografía fascinante y que nos ha servido a nosotros para expresar nuestras propias ideas, nuestro trabajo. Entonces Yanhuitlán es realmente muy rico, muy rico en recursos naturales y en historia.

Se muestran más imágenes de características culturales, se muestra una foto de la UNAM y los logotipos del IGG y el CIESAS al igual que fotos de visitas a campo

NARRADOR (Voz en off)

Por lo que la promoción y recuperación de los conocimientos locales y ancestrales de su cultura son considerados dentro de la promoción de actividades del proyecto.

El proyecto del geoparque está coordinado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social quienes llevan a cabo proyectos de investigación en el sitio para obtener más información respecto a los aspectos bióticos, abióticos y antropológicos del lugar.

Pantalla negra, pregunta: "¿Cuál ha sido el papel de la UNAM en el proyecto?"

INT: Entrevista con el Dr. José Luis

DR. JOSÉ LUIS

Bueno, la UNAM participa desde hace cinco años en dos proyectos principalmente que ya son los dos geoparques mexicanos, el geoparque de LA Comarca Minera, que fue asesorado por el Instituto de Geofísica y que está en el estado de Hidalgo. En el caso de la Mixteca, es un territorio "menos desarrollado" en donde ese geoparque ha sido y sigue siendo asesorado por el Instituto de Geografía, entonces la UNAM ha estado detrás de los dos geoparques gracias a ese apoyo y esa homologación de los dos geoparques, el Congreso de la Unión de México reconoció a la UNAM por este

trabajo que no tiene precedentes en México, son los primeros dos geoparques que hay en nuestro país, dos de los cuatro que existen actualmente en América Latina.

Se muestra un time-lapse del amanecer, fotos de visitas en el geoparque

NARRADOR (Voz en off)

Aún hay trabajo por hacer para dar a conocer el sitio y conservar la categoría de Geoparque Mundial cuando sea la próxima evaluación de la UNESCO, sin embargo, actualmente son varias las personas participando para cumplir con los objetivos de preservación y promoción del geopatrimonio así como la cultura asociada a este.

Aparecen los créditos mientras se escucha de fondo "la Canción Mixteca" y el video termina con los agradecimientos