

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO.**

**FACULTAD DE INGENIERÍA.**

**CONTROL GEOLÓGICO EN OBRAS DE EXPLOTACIÓN  
DE LA MINA COYOLES, DISTRITO MANGANESÍFERO  
DE MOLANGO, HIDALGO.**

**T E S I S**  
**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO GEÓLOGO.**

**PRESENTA:**

**JIMÉNEZ VELÁZQUEZ LEONARDO.**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. ALFREDO VICTORIA MORALES.**

**MÉXICO, D.F.**

**2007.**



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.

## **DEDICATORIAS.**

*A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería.*

*A mis padres Marcos y Silvia.*

*A mis hermanos Carlos y Karla.*

*A mis sobrinos Brandon, Eduardo y Fátima.*

## **AGRADECIMIENTOS.**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería, “mi alma mater”, por hacer de mí un hombre productivo y culto regalándome su enseñanza y cobijarme fielmente ante la ignorancia.

A mi madre Silvia, porque siempre has estado conmigo en todos los momentos de felicidad y tristeza, por estar ahí en todas las ocasiones que te he necesitado, por alentarme en esos días de tristeza, por tu empeño para no ser un hombre irresponsable, por todos tus desvelos que implicaban mi asistencia a clases, por que con tus sabios consejos he aprendido a quitar barreras y forjar nuevos caminos, por todo eso y más, muchas gracias mami, no te defraudare.

A mi padre Marcos, por apoyarme incondicionalmente durante todos mis estudios, por forjar en mí perseverancia, exactitud y calidad en mis tareas, por enseñarme a ganar las cosas por mí mismo y comprender que nada se regala en esta vida, muchas gracias.

A mis hermanos Carlos y Karla, por brindarme buenos momentos en mi vida y aprender de las experiencias que les ha brindado la vida, muchas gracias hermanos.

A mis sobrinos Brandon, Eduardo y Fátima por brindarme tantos momentos tiernos con sus actos y sus travesuras, por enseñarme lo bonito de la vida que alguna vez olvidamos y darme muchos motivos para salir adelante.

A mis Tías, Estela, Lupe, Lola, Carmen e Isabel por compartir tantos momentos alegres y por su apoyo incondicional ante momentos de flaqueza familiar, muchas gracias queridas tías.

A mi Novia Magali, por darme tantos momentos felices en mi vida, por jalarme las orejas cuando lo necesite, por apoyarme incondicionalmente durante mis estudios, por compartir tantas experiencias juntos y aprender uno del otro, por confiar en mí para emprender cualquier proyecto sin temor a poder equivocarme, por hacerme entender que la soberbia y el egoísmo no son buenos caminos para triunfar, muchas gracias mi vida.

A la Familia Juárez Macías, por apoyarme y aconsejarme incondicionalmente y compartir tantos momentos de alegría todo este tiempo, a Rodolfo Santana por ser un gran amigo y compartir conmigo sabios consejos de su gran experiencia, por fomentar en mí la Fe y la seguridad ante cualquier situación difícil.

A la Familia Oviedo Zúñiga, por fomentarme siempre las ganas de salir adelante y aconsejarme en mis metas, a mi Tocayo por enseñarme el camino de la rectitud y la lealtad, gracias Tocayo.

A mi gran amigo Andrés, por todos esos momentos y experiencias vividas en la infancia y ahora, por ser una persona en la cual puedo confiar totalmente sin temor a equivocarme, porque nunca me dejaste solo ante cualquier situación difícil o peligrosa que se presentara, muchas gracias amigo y échale muchas ganas.

A mi primo Daniel<sup>†</sup>, por haber sido como un hermano para mi, por haber confiado en mis metas y proyectos, por apoyarme incondicionalmente durante mis estudios, siempre te recordare Dani.

A mi gran amigo Fidel<sup>†</sup> y Roberto Chávez, por sus sabios consejos y por ser una persona ejemplares en mi vida.

A mi gran amigo Raymundo, por haber sido siempre una persona ejemplar en esta gran casa de estudios y digna de imitar tus acciones y metas en la vida, por incluirme en tu vida como un hermano, muchas gracias amigo es mutuo.

A Rafa, Alfredo y Jeimy por creer en mi, y hacer mi vida en el CCH una estancia inolvidable.

A Fortino, Miguel, Daniel, Natalia, Oswaldo, Rolando, Jorge, Landa, Betsabe, Carolina, Adrián, Irma, Eliseo, Luís, Martha, Pamela, José Luis, por ser mis compañeros y amigos durante la carrera, por tantas buenas experiencias vividas en la escuela y en campo, espero sigamos la misma amistad en la vida profesional, muchas gracias amigos.

A Salvador, por ser un profe a todo dar y un gran amigo, por tu apoyo académico durante mis primeros pasos en esta gran casa de estudios, gracias Chavita.

A Ing. Alfredo Victoria, por su apoyo académico en mis últimos pasos en la Facultad de Ingeniería, por la dirección de esta tesis, pero sobre todo por ser un gran amigo.

A los Ingenieros, Germán Arriaga García, Alfredo Victoria Morales, Emiliano Campos Madrigal, Juan Carlos Cruz Ocampo y al Fis. Salvador E. Villalobos Pérez, por la revisión y corrección de esta tesis, además de ser mis profesores de aula y transmitirme sus conocimientos incondicionalmente, gracias queridos maestros.

Gracias a todos mis profesores de La Facultad de Ingeniería, por aportar un granito de arena a mis cimientos.

A Ing. Lino Pérez y el Geólogo Silvestre Domingo, por hacer posible mi estancia en la Cia. Minera Autlán, y poder recabar información de campo, crucial para la elaboración de este trabajo.

# ÍNDICE.

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>I.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
I.1 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO.....	6
I.2 ANTECEDENTES SOBRE EL ESTUDIO DEL YACIMIENTO.....	7
I.3 COMPAÑÍA MINERA AUTLÁN.....	8
I.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES SOBRE LA GEOLOGÍA DEL ESTADO DE HIDALGO.....	10
<b>II.- FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>16</b>
II.1 RASGOS GEOMORFOLÓGICOS.....	16
II.2 HIDROGRAFÍA.....	16
II.3 CLIMA.....	17
II.4 PRINCIPALES ECOSISTEMAS.....	17
• II.4.1 FLORA.....	17
• II.4.2 FAUNA.....	17
II.5 CLASIFICACIÓN Y USO DEL SUELO.....	18
II.6 TOPONIMIA.....	18
<b>III.- GEOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>19</b>
III.1 ESTATIGRAFÍA.....	19
III.2 BASAMENTO PRECÁMBRICO.....	19
III.3 ROCAS SEDIMENTARIAS PALEOZOICAS.....	19

III. 4 JURÁSICO INFERIOR.....	20
III. 5 JURÁSICO MEDIO.....	21
III. 6 JURÁSICO SUPERIOR.....	22
III. 7 CRETÁCICO TEMPRANO.....	24
III. 8 CRETÁCICO TARDÍO.....	24
III. 9 PALEÓGENO.....	25
III. 10 NEÓGENO.....	26
III. 11 EVENTOS TECTÓNICOS.....	26
<b>IV.-GEOLOGÍA ECONÓMICA.....</b>	<b>28</b>
IV. 1 LOS YACIMIENTOS MANGANESÍFEROS DEL DISTRITO MOLANGO....	28
IV. 2 DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO.....	29
IV. 3 GENESIS DEL YACIMIENTO.....	30
IV.4 GEOLOGÍA HISTORICA.....	32
• IV.4.1 PALEOGEOGRAFÍA DEL GOLFO DE MÉXICO DEL OXFORDIANO AL TITONIANO.....	32
• IV.4.2 INTERPRETACIÓN PALEOGEOGRAFICA.....	33
• IV.4.2.1 FORMACIÓN TEPEXIC.....	33
• IV.4.2.2 FORMACIÓN SANTIAGO.....	33
• IV.4.2.3 FORMACIÓN CHIPOCO.....	33
IV. 5 ORIGEN DEL YACIMIENTO.....	34
IV. 6 CLASIFICACIÓN DEL YACIMIENTO.....	34
IV.7 MINERALOGÍA.....	35
IV. 8 YACIMIENTOS DEL BIÓXIDO DE MANGANESO (GRADO BATERÍA).....	36
• IV.8.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LITOLÓGICA.....	36
• IV.8.2 ORIGEN.....	37

<b>V.- GEOLOGÍA DE DETALLE. ....</b>	<b>38</b>
V. 1 DESCRIPCIÓN DE LA MINA SUBTERRÁNEA.....	38
• V.1.1 ÁREA DE MANTENIMIENTO.....	38
V.2 MÉTODOS DE TRABAJO.....	39
• V. 2. 1 CONTROL GEOLÓGICO DE CARBONATOS DE Mn.....	39
V.3 CONTROL GEOLÓGICO EN OBRAS DE EXPLORACIÓN Y PREPARACIÓN.....	40
• V. 3. 1 LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO DE TOPE.....	40
• V. 3. 2 MUESTREO.....	43
• V. 3. 3 CONTROL GEOLÓGICO EN REBAJE DE EXPLOTACIÓN.....	44
V.4 DESCRIPCIÓN DE BARRENO DE DIAMANTE.....	45
V. 5 TRABAJO DE GABINETE.....	46
V.6 CÁLCULO DE RESERVAS.....	47
V. 7 SISTEMA DE MINADO.....	49
V. 8 BENEFICIO.....	49
<b>VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
• VI. 1 COMENTARIO SOBRE EL ORIGEN DEL YACIMIENTO.....	51
• VI. 2 RECOMENDACIONES.....	53
<b>ANEXOS .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>

## RESUMEN

El Distrito Minero Molango es el más importante productor de Manganeseo en el Centro y Norte de América. Se localiza al noreste del Estado de Hidalgo, México; en el Anticlinorio de Huayacocotla, forma parte del cinturón de Pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental; se ubica al norte de la Faja Volcánica Transmexicana y al poniente de la paleocuenca de Tampico-Misantla.

La columna estratigráfica del distrito Manganesífero de Molango comprende un paquete de sedimentos Mesozoicos que descansan discordantemente sobre un complejo metamórfico de edad Precámbrica; este paquete de rocas sedimentarias se encuentra cubierto en algunas zonas por rocas volcánicas del Paleógeno y por muy escaso aluvión del Neógeno. El manganeso en el distrito de Molango se presenta en una faja de orientación NNW, de aproximadamente 30 Km. de anchura y la longitud aún no se ha determinado por que tanto en la parte meridional como septentrional se encuentra cubierta lateralmente por rocas más jóvenes, pero es de más de 50 Km.

En cuanto a la geología a detalle y métodos de trabajo, La Mina Coyoles presenta tres áreas principales: Tetzintla, Acuatitla, Tletlaxco que se encuentran en el interior de la mina, la principal producción de Mn.

**El control geológico** ayuda a determinar las características cualitativas y cuantitativas de zonas importantes de carbonatos de Mn, para encontrar nuevas reservas minerales y así tener una mejor calidad de producción para el proceso de extracción de carbonatos; además sirve para recabar y registrar toda la información de los rasgos geológicos estructurales en el desarrollo de cada una de las frentes de exploración y de preparación de minas subterráneas.

La extracción en la unidad Molango se han desarrollado dos sistemas de minado subterráneo, aparte de la explotación a cielo abierto, para obtener carbonatos de manganeseo, con una ley mínima de 28%  $MnCO_3$ , se explota por el método de corte y relleno con tepetate.

Finalmente como conclusión se analizan varios puntos observados en las minas subterráneas, para postular una teoría sobre el origen y evolución del yacimiento.

## **OBJETIVOS.**

### **GENERAL**

- Investigar y dar a conocer por medio de este trabajo los parámetros necesarios para llevar un buen control geológico en los rebajes de explotación de los carbonatos de manganeso del Distrito Manganesífero de Molango y así aportar a la comunidad estudiantil de geología, las actividades del geólogo de mina para sus futuras estancias.

### **PARTICULAR**

- Describir con detalle como se lleva a cabo un levantamiento geológico de tope y la manera adecuada de realizar un muestreo, para tener un buen control geológico.
- Mediante observaciones de datos litológicos, estratigráficos y estructurales, postular una teoría sobre el origen y evolución geológica del yacimiento.

## I.-INTRODUCCIÓN.

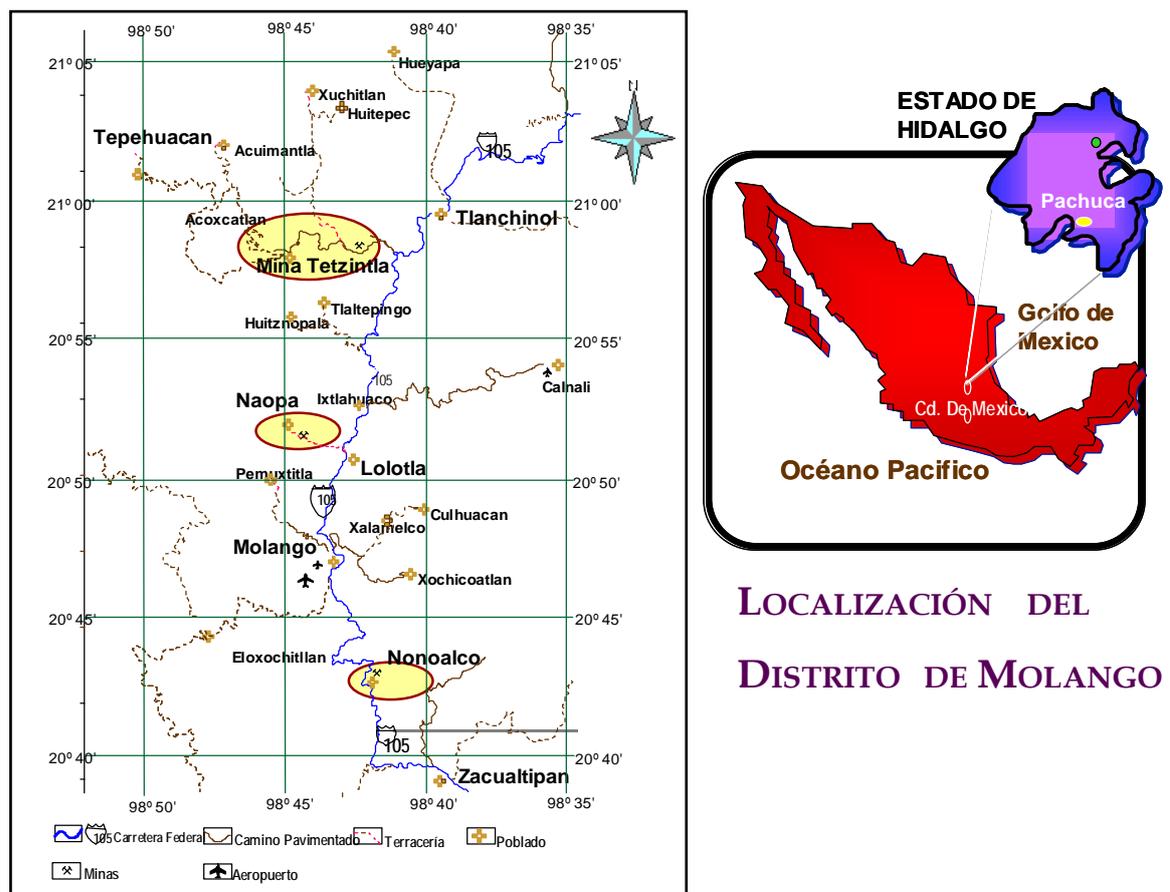
### I.1 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO.

El distrito manganesífero de Molango se ubica en la parte noroeste del Estado de Hidalgo, aproximadamente a 260 km al noroeste de la Ciudad de México, entre las coordenadas  $98^{\circ} 40'$  longitud oeste y  $21^{\circ} 05'$  latitud norte (figura1). Comprende una superficie de 50 Km en dirección Norte – Sur por 25 Km en dirección Este-Oeste norte y está comprendida dentro de los municipios de Lolotla, Molango, Tepehuacan, Tlanchinol y Xochicoatlán; se encuentra totalmente comunicado por la carretera federal no. 105 que va de la ciudad de Pachuca al puerto de Tampico.

Algunos caminos de terracería por lo general son intransitables en temporadas de lluvias, y muchas regiones sólo son accesibles a pie o a caballo.

Esta región se encuentra en la parte meridional de la Sierra Madre Oriental. Estructuralmente, pertenece a la parte central del anticlinorio de Huayacocotla, del cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental. En términos de geología económica se le conoce como *Distrito Manganesífero de Molango*. (Ochoa Camarillo, 1996).

***Figura 1.Plano de localización***



LOCALIZACIÓN DEL  
DISTRITO DE MOLANGO

## I.2 ANTECEDENTES SOBRE EL ESTUDIO DEL YACIMIENTO.

Los siguientes estudios surgieron de un convenio de la Compañía Autlán con la Universidad de Cincinnati los cuales están relacionados con la génesis del horizonte manganesífero y algunos otros elaborados por mexicanos con diferente objetivo.

- Carrillo B. J. (1965) realiza estudios litológicos y relaciones estratigráficas de las rocas metamórficas de posible edad precámbrica, que afloran en la parte central del Anticlinorio de Huayacocotla, así mismo, a los sedimentos del Triásico, Jurásico y del Cretácico.
- De Pablo G. L. (1965) realiza estudios de difracción de rayos X, absorción de radiación infrarroja, petrografía, análisis químicos y de trazas, en 16 muestras representativas de los yacimientos de manganeso de Molango, Hgo.
- Robin C. (1976) en el trabajo de Ochoa Camarillo, 1996, realiza estudios del vulcanismo al este de México, el cual divide en dos zonas que son: la primera, en la extremidad oriental del Eje Volcánico Transmexicano donde predominan basaltos andesíticos y la segunda, en el estado de Hidalgo constituida por basaltos andesíticos acompañados por emisiones ácidas (ignimbritas), que están relacionadas con la tectónica del Pacífico.
- Alexandri R. R. *et al.* (1986), en el trabajo de Ochoa Camarillo, 1996, realizan un estudio geológico en la región de Molango, donde define la composición química del yacimiento de manganeso en el área de Tetzintla.
- Okita (1987); trata sobre la geoquímica y la mineralogía del horizonte manganesífero del Distrito Molango, que incluye datos isotópicos muy detallados de la Formación Santiago y la Formación Chipoco, así como un modelo de la génesis de la mineralización de manganeso del Distrito Molango.
- Alvarez S. E. (1989), en el trabajo de Ochoa Camarillo, 1996, efectúa dentro del municipio de Lolotla, Hgo., una visita de reconocimiento con el fin de localizar yacimientos de caolín.
- May (1990) trata sobre la petrografía, paleogeografía y ambiente de depósito de la Formación Chipoco y la mineralización de manganeso en el Distrito Molango.
- Maynerd *et al.* (1990) incluye datos sobre la paleografía del Jurásico Superior y la mineralización de manganeso.
- García C. P. (1990), en el trabajo de Ochoa Camarillo, 1996, realiza el estudio geológico-minero de la zona de Zacualtipán, área Tepetlapa, que consistió en detectar nuevas áreas con características geológicas favorables, para la existencia de yacimientos minerales susceptibles de explotación.
- Ochoa C. H. R. (1996) efectúa estudios con la finalidad de evaluar los lotes de la Compañía Minera Autlán, en el distrito minero de Molango, así mismo como estudiar la deformación. Laramídica de las partes septentrional y central del anticlinorio de Huayacocotla.

### I.3 COMPAÑÍA MINERA AUTLAN.

Los primeros antecedentes de explotación de manganeso en Molango se remontan a 1956, cuando la compañía minera de Puebla S.A, benefició a pequeña escala, con medios rudimentarios y sin gran éxito las menas oxidadas del área de Nonoalco. En 1960 dicha compañía ofreció sus fondos a la Compañía Minera Autlán. Lo cual beneficiaría a la compañía ya que sus reservas eran bajas, en la mina San Francisco, en Autlán Jalisco.

El personal de la compañía empezó sus estudios formales en el Distrito Molango, que permitieron dilucidar que el manganeso se presentaba en dos formas de ocurrencia: como óxidos y como carbonatos. Asimismo se llegó a la conclusión que el volumen de los óxidos era insignificante comparado con el de las menas de carbonatos; sin embargo la ley de los carbonatos era baja, motivo por el cual en ese entonces no resultaba económico explotarlos, mas adelante se profundiza sobre el tema (ver capítulo IV).

#### OBJETIVO DE GEOLOGÍA

- Mantener las reservas operativas de carbonatos de manganeso con 20 años adelante al ritmo de producción actual.
- Vigilar que los parámetros de dilución y recuperación se mantengan dentro de los estándares establecidos.
- Medir y mejorar la satisfacción de los usuarios.

El área de geología esta dividida en dos departamentos:

- Control geológico de mina subterránea.
- Planeación anual de la producción.

- Para el control geológico de mina subterránea se efectúan los siguientes trabajos:

a) Control geológico en obras de exploración y preparación.

- Delimitación de la estructura.
- Cantidad de mineral.
- Calidad del mineral.
- Reservas.
- Recuperación de dilución de obras en exploración.

b) Control geológico en rebajes de explotación.

- Levantamiento de secciones geológicas.
- Marcar contactos litológicos y condiciones estructurales.
- Muestreo de cabeza.
- Cheque de rezaga y disparo.
- Recuperación y dilución de obras de explotación.

c) Reportes.

- Reporte anual de reservas.
  - Reporte mensual de obras de exploración.
  - Reporte mensual de recuperación.
- Planeación anual de la producción:

Análisis de evaluación:

- Calidad y cantidad de rebajes a explotar.
- Definición de las obras en exploración.

## **I .4 CARACTERÍSTICAS GENERALES SOBRE LA GEOLOGÍA DEL ESTADO DE HIDALGO.**

Las características litológicas y estructurales de las rocas que afloran en las provincias Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y Llanura Costera del Golfo del Norte, y cubren el estado de Hidalgo (Fig. 2), indican que hubo diferentes eventos geológicos de tipo orogénico, los cuales asociados al volcanismo y al relleno de cuencas oceánicas dieron el carácter estructural a esta entidad. Aquí es donde se puede apreciar mejor el complejo desarrollo geológico del territorio nacional, en la provincia de la Sierra Madre Oriental, afloran las rocas más antiguas de México (Precámbrico) y junto con ésta, una serie completa de unidades estratigráficas que abarca el Paleozoico Superior (Pérmico) y todo el Mesozoico y el Cenozoico.

El relieve estructural fue modelado por diversos agentes que dieron las características morfológicas que ahora se manifiestan superficialmente.

La Sierra Madre Oriental tuvo su desarrollo sobre estructuras Precámbricas y Paleozoicas, sobre las que ahora se encuentran rocas mesozoicas que forman pliegues de diferentes tipos y orientaciones. En Hidalgo el carácter estructural de esta cordillera es acentuado por pliegues complejos recostados hacia el noreste y grandes fallas de empuje, que han arrancado de raíz fragmentos del basamento Precámbrico y Paleozoico e imbricado la secuencia Mesozoica suprayacente.

Es posible que haya una relación estrecha entre los períodos de deformación tectónica y la ubicación de cuerpos intrusivos de diversa composición, como los que aparecen en esta provincia, atraviesan la secuencia de rocas mesozoicas, y han propiciado la mineralización de zonas como Zimapán.

La continuidad de los fenómenos volcánicos durante casi todo el Paleógeno, se manifiesta en el gran espesor y en la extensión que cubren las rocas ígneas del Eje Neovolcánico, donde pueden encontrarse domos riolíticos, volcanes compuestos, conos cineríticos enteros y erosionados, mesetas formadas por flujos piroclásticos y derrames de basalto. Estas estructuras han sido modificadas en ocasiones por fenómenos de volcanismo explosivo, como se manifiesta en "La Caldera" de Huichapán, en la localidad El Astillero.

Los sedimentos marinos terciarios que se encuentran en la porción noreste de Hidalgo están genéticamente relacionados con la formación de la Llanura Costera del Golfo, ésta tiene su origen en la regresión del Atlántico y se inicia a principios del Paleógeno, con el relleno gradual de la cuenca oceánica, donde fueron acumulados sobre la pendiente del talud continental grandes volúmenes de sedimentos de las partes altas del continente.

Los procesos geomorfológicos han modificado el relieve estructural original de las provincias de Hidalgo; a diferentes escalas; los deslizamientos de masas rocosas provocados por el fracturamiento y la fuerza de gravedad han derruido los grandes pliegues de fallas de la Sierra Madre Oriental y las estructuras volcánicas de la provincia del Eje Neovolcánico. El agua actúa como alterador de la roca y propicia el desarrollo de suelos residuales (Atotonilco el Grande). Como agente de disolución aprovecha los sistemas de fracturas y forma en los depósitos de calizas un conjunto de estructuras típicas de regiones "Kársticas", como son las dolinas, uvalas, polijes, cavernas y cimas que caracterizan a la Huasteca Hidalguense; también ha profundizado grandes cañones transversales a la cordillera, por donde las principales corrientes de la entidad drenan sus aguas al Golfo de México; el rejuvenecimiento continuo de la plataforma costera ha permitido la erosión subsecuente de los depósitos arcillo-arenosos que se encuentran desde el frente este de la Sierra Madre Oriental hasta la planicie costera, con diferente

morfología. La distribución geográfica de los recursos geológicos ha favorecido la minería en el estado de Hidalgo, el cual cuenta con una rica tradición en dicha actividad, que se remonta a más de 400 años. Se sabe que los indígenas antes de la Conquista ya conocían y explotaban, aunque en forma rudimentaria, algunos yacimientos en la Sierra de Pachuca. Como los distritos mineros de Pachuca-Real del Monte y Zimapán.

La entidad ocupa el primer lugar nacional en la producción de manganeso, que se realiza en las localidades de Molango, Lolotla, Xochicoatlán y Malila; el quinto en zinc, el sexto en oro, plata y cobre; por último, el séptimo en plomo.

### **Provincia de la Sierra Madre Oriental.**

Abarca el mayor porcentaje del territorio de Hidalgo (Fig. 2), está constituida principalmente por rocas sedimentarias, continentales y marinas; algunas muy antiguas en función de las características litoestratigráficas y estructurales de la provincia. En la porción correspondiente a la entidad se pueden diferenciar varios tipos de terrenos. Al oriente de esta región afloran como "ventanas tectónicas" en el flanco occidental de la megaestructura denominada Anticlinorio de Huayacocotla, las rocas más antiguas que se conocen en el país que se han correlacionado con rocas de terrenos metamórficos (gneises) "grenvillianos" con edades hasta de 1,000 millones de años. A estos terrenos se les considera "el basamento" sobre el cual evolucionó la historia geológica del país; asimismo, en esta porción aflora una secuencia estratigráfica muy completa, ya que existen rocas Paleozoicas, Mesozoicas y Cenozoicas, que en conjunto forman un paquete rocoso con más de 4,000 metros de espesor.

Aquí se encuentran algunas de las formas del relieve más espectaculares de la cordillera, que reflejan su complejidad estructural. La Sierra Madre Oriental presenta una importante escarpa frente a las rocas terciarias de la vecina provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte. Además hay superpuestos extensos derrames de rocas volcánicas (basaltos y tobas) de considerable espesor, los cuales parece que han rebasado su dominio para situarse como una cobertura que protege a las rocas Mesozoicas de la erosión. En las porciones central y occidental de esta provincia es notable el predominio de las rocas sedimentarias del Cretácico (calizas y calizas interestratificadas con lutitas). En los flancos de los anticlinales y en el centro de los sinclinales afloran las rocas del Cretácico Superior (calizas -lutitas) de la Formación Soyatal.

La secuencia Mesozoica se encuentra atravesada por cuerpos intrusivos de diversa composición (sienitas, monzonitas y granodioritas), que quizá indican una asociación entre las fases tectónicas (períodos de intensa deformación) y la actividad magmática. Tales rocas intrusivas afloran en las localidades de San Nicolás, Agua Florida, al occidente de Zimapán y al oriente de Nicolás Flores.

### **Estratigrafía**

Las unidades litológicas se describen de la más antigua a la más joven, y en el primer lugar las formadas por rocas sedimentarias, después las ígneas y por último las metamórficas.

### **Geología Estructural**

Los rasgos estructurales que se presentan en esta provincia dan evidencias de varios episodios complejos de deformación de la secuencia rocosa que la conforma. El primero, de carácter compresivo, comenzó a fines del Cretácico y culminó a principios del Paleógeno. Este es responsable del relieve estructural de la provincia, que puede

describirse como una cordillera arqueada y plegada, formada por series sedimentarias principalmente del Mesozoico, con superposición de varios estilos tectónicos que afectan todo el paquete sedimentario. La característica principal que controla el estilo de deformación se manifiesta por grandes pliegues recumbentes y grandes fallas inversas (cabalgaduras) en el paquete calcáreo integrado por las Formaciones Tamaulipas, El Doctor y El Abra, que tiene trazas paralelas al rumbo general de los ejes de las megaestructuras plegadas. El estilo tectónico de la Sierra Madre Oriental puede considerarse como resultado de empujes horizontales de mantos de corrimiento que se deslizaron de oeste a este.

El otro episodio tectónico, de carácter distensivo, corresponde al desarrollo de sistemas de fallas normales y de fracturas con orientación noroeste-sureste y noreste-suroeste, que dislocan las estructuras plegadas y se manifiestan como rupturas en el relieve.

Simultáneamente con las fases orogénicas se inició un período de actividad magmática que se manifiesta en las estructuras de los cuerpos intrusivos (Stocks) y los derrames lávicos que cubren las rocas sedimentarias Mesozoicas.

### **Geología Económica**

En esta provincia se encuentran numerosos yacimientos minerales de importancia económica, que contienen oro, plata, plomo, cobre y zinc; así como manganeso, fluorita y fosforita.

Zimapán es un importante distrito minero en actividad desde 1630, se ha destacado por ser el principal productor de cobre, plomo y zinc del estado.

Otras localidades donde se realiza la explotación de yacimientos minerales metálicos son Nicolás Flores y Jacala.

### **Provincia del Eje Neovolcánico.**

Esta provincia cubre también una porción del estado, sobre todo en el sur, y está constituida predominantemente por rocas volcánicas Neógeno-Paleógeno (brechas, tobas y derrames riolíticos, intermedios y basálticos), de composición y textura variada, las cuales forman en conjunto un extenso y grueso paquete que en algunas localidades, como Pachuca, alcanza varios miles de metros de espesor.

Este conjunto ha sido superpuesto a las rocas sedimentarias Mesozoicas por los fenómenos de vulcanismo. De estas últimas se encuentran algunos afloramientos que sobresalen en forma de cerros aislados en medio del dominio de las rocas ígneas, como en las localidades de Tula de Allende y Atotonilco de Tula, donde afloran cerros de caliza que tienen un uso industrial.

La morfología de esta provincia es variada, se presentan diversos tipos de estructuras volcánicas bien conservadas, como son: conos cineríticos, volcanes compuestos, volcanes escudo y calderas, además de extensos flujos piroclásticos y derrames lávicos basálticos, que tienen forma de mesetas y planicies sobre las que se han originado algunos lagos, debido al cierre de las cuencas. De este tipo de fenómenos quedan huellas en el lago de Tecocomulco.

La interacción entre el clima y la composición litológica de las rocas volcánicas se hace más evidente en las zonas húmedas, donde afloran extensos derrames de rocas basálticas que han sido alteradas profundamente por el intemperismo fisicoquímico y han desarrollado suelos residuales, de color rojizo, que indican una fuerte oxidación de minerales férricos contenidos en las rocas ígneas y en el agua.

### **Geología Estructural**

En el Eje Neovolcánico el relieve estructural original está íntimamente relacionado con una intensa actividad volcánica, iniciada a principios del Paleógeno y desarrollada durante el Pleistoceno Inferior. El conjunto de estructuras que caracterizan al relieve de esta provincia evolucionaron sobre una paleogeografía; constituida por sedimentos Mesozoicos plegados, los cuales correspondían a la Sierra Madre Oriental. La evolución de los fenómenos volcánicos propició las condiciones para la formación de cuencas endorreicas (cerradas, con drenaje interno), que posteriormente fueron rellenadas con aportes de materiales volcanoclásticos, los cuales tienen características litológicas de rocas volcánicas depositadas en un medio lacustre y aparecen estratificados. Algunas estructuras como la Caldera de el Astillero, cerca de Huichapán, son rasgos destruccionales del fenómeno de vulcanismo.

### **Geología Económica**

En esta provincia destacan por su producción minera el distrito de Pachuca-Real del Monte y el de Mineral del Chico; famosos por su riqueza argentífera, además de que producen oro, plomo, cobre y zinc.

Otra localidad que tiene una buena producción de minerales metálicos es El Arenal. Aquí, la pequeña minería también hace su aporte a la producción estatal de oro, plata y cobre.

Los minerales no metálicos tienen una producción sobresaliente en territorio hidalguense. Son famosas por su producción las minas de caolín en Apulco y Agua Blanca, que llegan a aportar más del 50% de la producción nacional.

La caliza tiene un amplio uso en diferentes formas, así es notable la aplicación que de este material se hace en las plantas de Cementos Tolteca y Cementos Cruz Azul, que tiene grandes instalaciones en Tula de Allende y Atotonilco de Tula.

Otra aplicación a nivel industrial se lleva a cabo en los enormes talleres de corte y pulido de Ixquimilpan, donde se fabrican losas y mosaicos y otros tipos de acabados para la construcción y la arquitectura.

En Tulancingo los materiales gravo-arenosos, útiles como agregados del concreto, son extraídos en enormes bancos que quedan dentro del perímetro de la ciudad.

En la localidad de Chapantongo también existen bancos y talleres artesanales que utilizan las tobas para hacer objetos decorativos y arquitectónicos.

### **Provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte.**

La Llanura Costera cubre sólo una pequeña porción en el noreste del estado. Está constituida por rocas sedimentarias clásticas de origen marino (Fig. 2), que únicamente en la zona limítrofe con el frente este de la Sierra Madre Oriental presentan una perturbación intensa, reflejo de los esfuerzos que sufrió dicha cordillera al plegarse hacia la planicie costera. Esta provincia se puede considerar como una porción de la plataforma gradual para formar parte del continente. Los sedimentos depositados sobre esta zona indican que al comienzo de su relleno era una cuenca marina profunda (Antefosa de Chicotepec), que gradualmente se fue llenando con gruesas secuencias de terrígenos.

### **Geología Estructural**

En esta región los depósitos arcillo-arenosos de la Formación Chicontepec (del Paleoceno) se manifiestan con una ligera inclinación hacia el oriente. Esto se debe posiblemente a la permanencia de la morfología submarina en un período de sedimentación continua. La secuencia de sedimentos avanzó gradualmente sobre la pendiente del talud continental, que fue desplazado hacia el oriente a medida que la sedimentación ganó terreno y dejó así sucesivas bandas de afloramientos paralelos a la actual línea de costa.

En la zona más cercana al frente este de la Sierra Madre Oriental, los sedimentos que caracterizan a la Llanura Costera se encuentran deformados (fracturados y plegados) como reflejo de los esfuerzos tectónicos que alteraron la secuencia Mesozoica de la Sierra Madre Oriental.

### **Geología Económica**

El petróleo tiene en esta provincia sus primeras manifestaciones históricas como recurso económico, sin embargo, en la porción correspondiente a Hidalgo sólo hay un campo petrolero productivo, el Candelaria, que está ubicado en el área de Atlapexco y contribuye con el 0.02% de la producción nacional.

La llanura Costera del Golfo constituye una región muy importante en la producción petrolera, que ha sido obtenida de las secuencias del Mesozoico.



Fig. 2. CARTA GEOLÓGICA DE HIDALGO TOMADA DE LA MONOGRAFÍA DE HIDALGO, REALIZADA POR EL CONSEJO DE RECURSOS MINERALES, ABRIL, 1992 HOY SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL.

## II.- FISIOGRAFÍA

### II .1 RASGOS GEOMORFOLÓGICOS

En la parte septentrional del área de estudio la morfología está caracterizada por un relieve muy abrupto, con elevaciones que varían de 1,600 a 2,000 m.s.n.m.; estrechas barrancas de 400 y 900 metros de profundidad han sido formadas por la erosión de los ríos. Algunas cañadas orientadas NNW reflejan los ejes principales de las estructuras plegadas de las rocas sedimentarias; por ejemplo los arroyos Jalpa, Seco, y Tamesa, fluyen por el centro de los núcleos de pliegues de escala regional.

En la parte meridional del área de estudio, en las regiones de Eloxochitlan y los Arcos, predominan algunas mesas formadas por derrames basálticos miocénicos, que ocultan parcialmente las estructuras preexistentes. Los basaltos se encuentran en partes más elevadas, generalmente por arriba de los 1,000 m.s.n.m. y sus límites muestran una topografía muy abrupta. Estas mesas basálticas están surcadas por barrancas muy profundas que generalmente forman acantilados.

En la parte oriental del área de estudio, en el núcleo del anticlinorio de Huayacocotla la topografía es un poco menos abrupta. Esto se debe al predominio de las rocas clásticas de la Formación Huayacocotla. Dicha formación forma acantilados de 20 hasta 200 m que generalmente es originado por cabalgaduras o por erosión fluvial.

La parte sudoccidental se caracteriza por mesas basálticas miocénicas, en donde se forman cañadas, que han dejado al descubierto rocas calcáreas de edad cretácica, que muestra una topografía kárstica. Esto indica la presencia de caverna de disolución y brechas de colapso de dimensiones reducidas, observadas principalmente en las Formaciones Tamaulipas Inferior y Superior. Localmente, en el área de Juárez Hidalgo y San Lorenzo Iztacoyotla, se presentan lahares. Estos forman caprichosas figuras en forma de montículos.

### II .2 HIDROGRAFÍA

En el mapa geológico se puede observar que la carretera federal 105 en su mayor parte, se encuentra aproximadamente en el parteaguas limitado hacia el occidente por la cuenca hidrográfica del río Moctezuma, en donde sobresalen los ríos Claro, Pilapa y Jalpa; mientras que al oriente se encuentran la cuenca hidrográfica del río Tempoal. En esta cuenca destacan los ríos Quetzalzongo, Chachala, Huachichico y Chinameca.

## II .3 CLIMA

Según la clasificación climática de Koppen, modificada por García (en el Atlas Nacional del Medio Físico, DETENAL, 1981, hoy INEGI), el clima prevaleciente en la región queda incluido en el grupo C(fm). El clima es templado y húmedo con lluvias durante todo el año.

El clima predominante de la región es húmedo (Fig. 3) y se debe a los vientos cargados de humedad provenientes del Golfo de México, que al llegar a la región serrana se enfrían condensándose el vapor de agua, ocasionando una zona con mucha neblina y lloviznas. De acuerdo al observatorio meteorológico de la Compañía Minera Autlán la precipitación pluvial anual es de 2200 mm aproximadamente.



FIGURA 3. ABUNDANTE HUMEDAD EN LAS MAÑANAS Y EN LAS NOCHES DENTRO DEL DISTRITO.

## II .4 PRINCIPALES ECOSISTEMAS

### II. 4. 1 FLORA

Se encuentra el encino, el cedro, el bálsamo, el oyamel, el trueno, el sauce, el cuatlapal, la caoba, el ébano, etc. Entre las flores, el lirio, la azucena, el alcatraz, la rosa, la margarita, la orquídea silvestre, la hortensia, la azalea, el geranio, el agapando, etc.

### II. 4. 2 FAUNA

Encontramos una enorme variedad de aves como el cenzontle, el clarín, la primavera, el gorrión, el pájaro rico, águilas, auras y zopilotes.

Reptiles como la víbora "mazacohuatl", es bastante mansa y los indígenas la cogen fácilmente para quitarle la piel, la mahuaquite y el coralillo que son mortalmente venenosas, la chirrionera verde y amarilla, la mihuaquitlapil y la siete-narices que poseen también activo veneno, (Compañía Minera Autlán, 2006).

## II. 5 CLASIFICACIÓN Y USO DEL SUELO

Se tiene para uso agrícola 24,670 hectáreas, de las cuales 2,422 son de temporal, con 10,401 de bosques o selva, 7,416 de pastos naturales y 4,431 para otros usos.

## II. 6 TOPONIMIA

La interpretación etimológica de la palabra Molango es: "Lugar de Mole", nombre netamente Náhuatl y que corresponde al que le dieron los aztecas al conquistar esta región.

En el Códice Chimalpopoca, se encuentra la palabra Molango como: "Moll", de mole; "A", posesivo; "N", liga; "Co", locativa: "Lugar de Mole o que Tiene Mole". (Archivo, Compañía Minera Autlán, 2006).

### **Reseña Histórica**

En 1848 Molango, fue nombrado Municipio, en reconocimiento a su participación en 1847 contra los invasores norteamericanos, donde se distinguieron: el Capitán Tomás Ramírez, el Teniente José María Cano, los Subtenientes Miguel Espinosa, Francisco Anaya, Carlos Ramón Silva, Agustín Campoy, Julián Martínez, Luis Serna, Susano Montaña, Antonio Anaya y el Sargento Felipe Angeles Melo.

El municipio de Molango se adhirió al Maderismo al estallar la Revolución; en 1911 se formó el batallón "Pascual Orozco", se retiró de Jefe Político del lugar a Don Alberto Anaya, oriundo de Molango, y se designó en su lugar al Dr. Ruperto Serna, afiliado al Maderismo. Durante el breve periodo de la administración Maderista, el municipio inició con entusiasmo una etapa de desarrollo que se interrumpió por los asesinatos de Madero y Pino Suárez el 22 de febrero de 1913 y la instalación de Huerta.

Los Serranos y los Huastecos se adhieren al Plan de Guadalupe y se levantan en armas uniéndose a la causa de Don Venustiano Carranza.

El rompimiento entre Villa y Carranza, provoca división en el municipio de Molango; compitieron con ferocidad ambos bandos por la Plaza, fusilan a los rivales y saquearon los poblados.

El 4 de diciembre de 1914 los Carrancistas al mando de Mariel Treviño entraron a Molango, saqueándolo y fusilando a Don Crescenciano y a Don Ignacio Vite; posteriormente incendiaron el Pueblo. El 27 de diciembre de 1914, se nombra Presidente Municipal al C. Aniano Velasco y el 13 de enero de 1915, toma el cargo de Jefe de Plaza, el Teniente Coronel Don Manuel Ángeles.

El año de 1916, se caracterizó por las constantes batallas entre el General Valente Carvajal y el General Estanislao Olguín, quienes diferían de ideas. Pacificados, el 11 de noviembre de 1916, eligen nuevamente Presidente Municipal, quedando en esta ocasión El Dr. J. Trinidad Cano. (Archivo, Compañía Minera Autlán, 2006).

### III.- GEOLOGÍA REGIONAL

Es importante mencionar que gran parte de la información correspondiente descrita a continuación en la estratigrafía y que comprende el capítulo III de geología regional fue tomada de el Trabajo de Ochoa Camarillo, (Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la región de Molango, Estado de Hidalgo, 1996), por lo cual algunos autores no aparecen en la bibliografía de este trabajo.

#### III. I ESTRATIGRAFÍA.

La columna estratigráfica del distrito Manganesífero de Molango comprende un paquete de sedimentos Mesozoicos que descansan discordantemente sobre un complejo metamórfico de edad Precámbrica, este paquete de rocas sedimentarias se encuentran cubierto en algunas zonas por rocas volcánicas del Paleógeno.

#### III. 2 BASAMENTO PRECÁMBRICO

**FORMACIÓN HUIZNOPALA (PWH).** Hacia la parte central del distrito, donde el desagüe ha erosionado profundamente los sedimentos Jurasicos existen algunas ventanas estructurales en donde afloran rocas metamórficas principalmente de tipo Gnéisico. Megacóspicamente se pueden apreciar cuarzo, feldespato y biotita como componentes principales y como accesorios apatito, circón y granate. Estas rocas son las más antiguas que afloran en el área y a las cuales se les han determinado la edad aproximada de 1,400 ma. por el método del plomo alfa (Frías 1965).

#### III. 3 ROCAS SEDIMENTARIAS PALEOZOICAS

El paleozoico está representado por una secuencia de arenisca y lutita de la formación Otlamalacatla y una secuencia volcánica sedimentaria de la formación Tuzancoa.

**LA FORMACIÓN OTLAMALACATLA.** Están constituidas principalmente por areniscas y lutitas con una fauna de trilobites, equinodermos y braquiópodos. El contacto inferior es tectónico y dicha formación se encuentra descansando sobre rocas del Jurasico Superior. La edad de la Formación Otlamalacatla no se ha confirmado; pero en vista de su fauna y por encontrarse debajo de una Secuencia volcánica Sedimentaria con fusulínidos (Formación Tuzancoa), se difiere que es una edad Permiana o más antigua.

**LA FORMACIÓN TUZANCOA.** Está compuesta por una secuencia volcánica Sedimentaria, que comprende una brecha volcánica con intercalaciones de lentes calcáreos con abundantes fusulínidos y crinoides, conglomerados volcánicos con exoclastos redondeados de caliza. Debajo de esta secuencia se observa un intervalo de arenisca y lutita con restos de plantas, amonitas y braquiópodos. Los fusulínidos sugieren una edad Permiana para dicha Formación.

### III. 4 JURÁSICO INFERIOR

#### FORMACIÓN HUAYACOCOTLA (JIH)

Este nombre fue dado por Imlay (1948), a una sección constituida en su parte inferior por conglomerados, areniscas y lutitas, cementadas por material arcillo-arenoso de color gris oscuro. Hacia la parte superior está formada por calizas arenosas con pelecipodos y sobre estas se encuentran 500 m de lutitas de color gris oscuro, carbonosa, alternadas con capas delgadas de areniscas de color gris oscuro. Su localidad tipo se encuentran en el río de Vinasco, en las cercanías del pueblo de Huayacocotla. (Hermoso y Martínez, 1972, et al).

**LITOLOGÍA Y ESPESOR.** Está constituida yendo de la base a la cima, por un conglomerado basal aproximadamente 20 m de espesor, compuesto por fragmentos de cuarzo de diferentes tamaños y de areniscas cementadas por material arcillo-arenoso y lutitas de color gris oscuro; sobre estas se encuentran un paquete de mas 40 m de calizas arenosas y areniscas calcáreas de grano fino a medio de color gris con pelecipodos.

Sobre dicho cuerpo descansa un paquete de más de 500 m lutitas carbonosas de color gris a negro, que alternan con capas delgadas de areniscas calcáreas de color gris oscuro, que se intemperizan a color amarillento. Presenta ocasionalmente helechos del genero holofites (Hermoso y Martínez, 1972, et al).

**DISTRIBUCIÓN.** Esta formación se encuentra ampliamente distribuida en el distrito, aflorando sobre los caminos de Xochicoatlan, Tianguistengo –Pemuxco, Tianguistengo-Tlahualompa, en los ríos de Coyumetla, Chinameca, Tianguistengo y sobre el área de Naopa, (Hermoso y Martínez, 1972, et al).

**RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS.** Sobreyace discordantemente a la formación Huiznopala y subyace a la Formación Cahuwasas, en forma discordante. Contiene amonites de los géneros Arnioceras y Vermiceras, y algunos pelecipodos (Hermoso y Martínez, 1972, et al).

### III. 5 JURÁSICO MEDIO

#### FORMACIÓN CAHUASAS

**DEFINICIÓN.** Formación descrita por Carillo Bravo (1961), como una secuencia continental de lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados de color rojo. Su localidad tipo se encuentra en el rancho de Cahuwasas, Hgo. Donde presenta en ocasiones más de 1000 m de espesor.

**LITOLOGÍA Y ESPESOR.** Esta formada por conglomerados de 20 metros de espesor en la base, mal clasificado, compuesto por fragmentos angulosos de cuarzo. Sobre estas rocas descansan limolitas y areniscas arcillosas de color rojo; las areniscas y conglomerados frecuentemente presentan estratificación cruzada. El espesor en el área es de 250 m medido en la localidad de Chipoco.

**DISTRIBUCIÓN.** La formación Cahuwasas aflora en el río Amajac, en la barranca de Tlaltenpingo y a un costado del poblado de Chipoco, así como en la barranca del río claro.

**RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS.** Subyace discordantemente a la Formación Tepexic y descansa discordante sobre la formación Huayacocotla.

**EDAD Y CORRELACIÓN.** No se han encontrado indicios paleontológicos en la Formación Cahuwasas; sin embargo, por su posición estratigráfica se le asigna la edad más joven que el Pliensbachiano y más antigua que el Calloviano, es decir, que abarca parte o quizá todo el Jurásico Medio.

#### FORMACIÓN TEPEXIC (JMTX)

**DEFINICIÓN.** Descrita como calcarenita de color gris oscuro, con intercalaciones de lutitas calcáreas en estratos delgados de color gris oscuro; ambas se intemperizan a color amarillento, Cantú Chapa, 1971, y realiza la siguiente descripción.

**LITOLOGÍA Y ESPESOR.** Está constituida por calizas arcillosas de textura arenosa, con intercalaciones de lutitas calcáreas, ambas de color gris oscuro; presentan abundantes fósiles de las familias de los Ostracodos y Rudistas. Se distingue por formar pequeños acantilados y por el color pardo amarillento que presenta al intemperizarse. Al norte de la mina de Acuatitla presenta espesor de 35m.

**DISTRIBUCIÓN.** Se encuentra ampliamente distribuida en la barranca de Tezintla, así como en la carretera de Casetas a Chachala, en algunos cortes de la carretera federal # 105 y en varios afloramientos en el poblado de Otongo, Hgo.

**RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS.** Sobreyace discordadamente a la Formación Cahuwasas y subyace en contacto transicional a la Formación Santiago.

**EDAD Y CORRELACIÓN.** De acuerdo con los estudios paleontológicos (Imlay, 1963), y por la presencia de las especies Neuquenucera, Neogaeum y Reinckea se le asignado

edad del Calloviano Medio y Superior. Esta Formación se correlaciona con la formación Minas Viejas del norte del país.

### III. 6 JURÁSICO SUPERIOR.

#### FORMACIÓN SANTIAGO (JSS)

**DEFINICIÓN.** Fue propuesta originalmente por Imlay, et al (1948), como miembro de la Formación Tamán; posteriormente fue estudiado por el Dr. Cantú Chapa en 1969 y elevada a la categoría de formación en vista de sus características particulares de bíofacies, litofacies y edad.

Esta formación consiste en una secuencia de limolitas calcáreas carbonosas de color gris oscuro a negro con pirita diseminada y se intemperiza a color pardo amarillento, además, crucero diagonal a los planos de estratificación. Su nombre se deriva del arroyo de Santiago, que desemboca en el río Moctezuma, en el pueblo de Tamán, S.L.P; se designa en esta región como su localidad tipo.

**LITOLOGÍA Y ESPESOR.** Está constituida por limolitas calcáreas carbonosas de color gris oscuro a negro, con pirita diseminada y fractura subconcoidea. Contiene secreciones calcáreas que se localizan hacia la cima de la formación, así como amonites piritizados. Presenta crucero en dos direcciones, uno diagonal y otro perpendicular al rumbo de los estratos. Su espesor en el área no ha sido medido.

**DISTRIBUCIÓN.** Se encuentra distribuida ampliamente en todo el distrito y es de gran interés en la exploración regional, ya que subyace al horizonte manganesífero.

**RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS.** Sobreyace en contacto transicional a la formación Tepexic y subyace concordemente al horizonte manganesífero contenido por la Formación Chipoco.

**EDAD Y CORRELACIÓN.** De acuerdo con su contenido fosilífero estudiado por Cantú (1969), se le asigna edad del Oxfordiano.

#### FORMACIÓN CHIPOCO (JSCH)

**DEFINICIÓN.** Anteriormente se le ha denominado formación Tamán mixta. Actualmente se define como una secuencia de calizas y limolitas calcáreas alternadas, ambas de color gris oscuro, se presenta en estratos delgados y medianos. El horizonte manganesífero está integrado en esta formación; dicho horizonte se encuentra en la base constituido por una secuencia de calizas manganesíferas de grano fino de color gris oscuro a negro, que se intemperiza a color pardo, de estratificación laminar. Ocasionalmente presenta laminaciones de 1 a 2 mm; presenta fracturas rellenas de cuarzo, calcita y en ocasiones rodocrosita, presenta cristales romboédricos y escalenoédricos de color rosado no mayores a un centímetro en tamaño, su localidad tipo se encuentra en el poblado de Chipoco, Hermoso de la Torre y Martínez Pérez, (1972).

**LITOLOGÍA Y ESPESOR.** Tiene un espesor que varía de 40 hasta 240 m, el espesor disminuye al oriente hasta desaparecer (Ochoa Camarillo, 1996,). De la base a 0.50 m hacia arriba se compone principalmente de caliza manganesífera, con porcentajes bajos de Mn (10% a 22%), sobre está se encuentran 7 metros de espesor de caliza manganesífera que aumenta su ley a un 28 % en promedio de Mn, las cuales representan el horizonte económico de la mina de Tetzintla, con matriz de grano fino y estratificación laminar, hacia la parte superior los estratos tienden a engrosar hasta 1m de espesor a medida que disminuye el contenido de Mn hasta 10% este espesor es aproximadamente de 18 m, sobre este paquete de rocas se encuentran una secuencia rítmica de calizas color gris claro y limolitas calcáreas de color gris oscuro. En las zonas donde aflora el horizonte manganesífero se presenta la transformación de carbonatos a óxidos de Mn, producida por los procesos de meteorización, que origina el enriquecimiento supergénico del horizonte manganesífero.

A continuación se describe con más detalle cuatro unidades litológicas de la base a la cima, en un estudio detallado por Aguayo Camargo, 1977 y complementados con barrenos de exploración, Ochoa Camarillo, 1996.

1. La unidad manganesífera está constituida por caliza manganesífera arcillosa negra, en estratos de 10 a 20 cm, con algunas intercalaciones de lutitas calcáreas negras. La parte basal (4 a 8 m), está constituida por caliza negra, laminar, con brillo vítreo, intemperizada se observa oxidación, presenta pirita diseminada y cantidades menores de magnetita. Esta unidad tiene un espesor de 40 a 80 m.
2. La unidad arenosa esta constituida por arenisca calcárea gris oscura en estratos de 20 a 60 cm, con algunos horizontes de gránulos de cuarzo blanco lechoso. Los granos están bien redondeados y bien clasificados, las intercalaciones de lutita calcárea arenosa son muy comunes. Esta unidad tiene un espesor de 20 a 30 m.
3. La unidad limolítica, se caracteriza por un predominio de limolita y lutita calcárea con tonalidad gris oscura con algunas intercalaciones de caliza arcillosa negra, esta unidad tiene un espesor de 20 a 40 m.
4. La unidad rítmica está constituida por una secuencia de caliza negra recristalizada en estratos de 10 a 40 cm, ínter estratificado en forma rítmica con lutita negra en estratos de 2 a 5 cm, presenta un espesor de 20 a 40 m.

**RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS.** Descansa concordemente sobre la formación Santiago y subyace en contacto transicional a la formación Pimienta.

**EDAD Y CORRELACIÓN.** Según estudios paleontológicos (Cantú 1969), con Ostracodos, Equinodermos y Amonites, se le asignó edad del Oxfordiano superior en la base y Tithoniano en la cima. Se correlaciona con la formación Tamán al norte y al este del área de estudio, con la Formación San Andrés de la cuenca de Chincotepec y con las Formaciones la Casita y la Caja del norte del país.

**DISTRIBUCIÓN.** Aflora en varias partes del distrito. Existen afloramientos visibles a lo largo del corte de la carretera federal # 105, entre Nonoalco y Alumbres, donde se

observan los pliegues del tipo chevrón; también se observa en la carretera entre la mina Tenzintla y la zona industrial de la *COMPAÑÍA MINERA AUTLÁN*.

### III. 7 CRETÁCICO TEMPRANO

#### **FORMACIÓN TAMAULIPAS INFERIOR.**

Consta de una secuencia de calizas aporcelanada gris con estilolitos paralelos a la estratificación, separada por un horizonte lutítico, (Formación Otates), descansa concordantemente sobre la Formación Pimienta. El espesor promedio de la Formación Tamaulipas Inf, es 350m. El espesor exacto no se conoce porque presenta muchos intervalos con pliegues, se infiere que puede estar en el orden de 300-400 m, tomando en cuenta el plegamiento interno, la edad que se le asignado a la Formación Tamaulipas Inferior, Cantú (1984), la considera del Huateriviano al Aptiano.

#### **FORMACIÓN OTATES.**

Está constituida por calizas arcillosas gris oscuro con pedernal negro y margas, presenta abundantes amonites del genero Dutrenoya y bivalvos del genero Inoceramus.

El Horizonte Otates se encuentra descansando sobre la Formación Tamaulipas Inferior en forma concordante. Este horizonte está cubierto por la Formación Tamaulipas superior en contacto concordante. Tiene un espesor promedio de 10 m. La edad asignada es del Albiano o del Aptiano (Carrillo-Bravo, 1961).

**FORMACIÓN TAMAULIPAS SUPERIOR.** La formación se encuentra representada por calizas criptocristalinas, de color gris crema y gris oscuro a negro, en capas de espesor de medio a grueso, con estilolitos mal desarrollados paralelos a la estratificación y algunos nódulos irregulares de pedernal negro. Esta formación descansa, concordantemente, encima del Horizonte Otates y se encuentra debajo de la Formación Agua Nueva en contacto transicional. El espesor varia de 200-300m. La edad asignada a la formación Tamaulipas Superior con base a los foraminíferos planctónicos abarca el Albiano-Cenomaniano, Carrillo-Bravo (1961).

### III. 8 CRETÁCICO TARDÍO

#### **FORMACIÓN AGUA NUEVA.**

Fue descrita por (Muir, 1936), que señalo que el Cañón de la Borrega como localidad tipo. Esta formación es sinónimo de la Formación Xiliyla utilizado por Heim (1940), y por Seibertz y Buitrón (1988), en el trabajo de Ochoa Camarillo, 1996.

La litología consiste de caliza marina gris de estratificación delgada (10-40cm), en ocasiones ondulada, de textura mudstone-wackestone con nódulos e intercalaciones de

pedernal negro. Contiene limolita verde, que se encuentra en estratos de 5-10cm de espesor y abundante glauconita. El contacto inferior es concordante con la Formación Tamaulipas Superior. El contacto superior es concordante con las areniscas y lutitas de la Formación San Felipe.

El espesor de esta formación en esta región es aproximadamente 80m. La edad asignada en base a los foraminíferos planctónicos abarca el Cenomaniano-Turoniano.

### **FORMACIÓN SAN FELIPE.**

Fue descrita por Muir (1936), como una alternancia de caliza con lutita. La localidad tipo se encuentra en la vía de ferrocarril, al poniente del poblado San Felipe.

Litológicamente está constituida por caliza de textura wackestone-packstone bien estratificada, en capas de 10-30cm de color gris y verde, en algunas partes presentan nódulos de pedernal, así como intercalaciones de lutita verde en estratos 2-5cm de espesor, intercaladas con capas de areniscas verdes y grauvaca, Suter (1990). El contacto inferior es concordante y transicional con la formación Agua Nueva y localmente el contacto superior es tectónico. La edad que se le asigna a esta formación es Coniaciano-Santoniano temprano (Muir, 1936); del Campaniano temprano (Pessagano, 1969); y del Coniaciano-Campaniano medio.

### **FORMACIÓN MÉNDEZ.**

Fue definida por Muir (1936) como un paquete de lutitas que suprayacen a la Formación San Felipe, la Formación Méndez, consiste principalmente de Marga poco estratificadas de color gris y verde que cambia a un color amarillo, con intercalaciones pequeñas de areniscas hacia la cima de la formación. La Formación Méndez descansa sobre la Formación San Felipe en forma concordante y transicional. Su espesor se desconoce pero el espesor mínimo es de 350m.

La edad que se asigna a esta formación en base a su fauna de foraminíferos planctónicos es de Campaniano temprano-Maastrichtiano tardío.

## **III. 9 PALEÓGENO.**

**ROCAS ÍGNEAS.** En la región de Acuatitla, así como en gran parte del distrito manganesífero, se encuentran extensas fallas superficies cubiertas por rocas ígneas extrusivas, principalmente basaltos del Oligoceno. En general se trata de corrientes de lava, pero en base de estas o intercaladas entre ellas, existen algunos espesores delgados de acumulaciones piroclásticas (principalmente tobas). Se encuentran también rocas ígneas extrusivas del tipo andesítico, pero son relativamente escasas, lo que se debe en gran parte a que esta cubiertas por los derrames basálticos que fueron los últimos en ocurrir. Se ha determinado por medio de barrenos de diamante un cuerpo de composición diorítica de forma irregular, el cual interrumpe la secuencia estratigráfica normal, que provoca alteraciones en las rocas adyacentes, Robin C. (1976), según el trabajo de Ochoa Camarillo.

### **III. 10 NEÓGENO.**

En la región existen pocas acumulaciones de aluvión y material clástico, esto se debe, a que la topografía abrupta no permite la sedimentación. La única acumulación importante de aluvión se encuentra en el lecho del río Claro y no excede los 15 m de espesor (Ochoa Camarillo, 1996).

### **III. 11 EVENTOS TECTÓNICOS.**

Para estas áreas se consideran tres eventos tectónicos.

Una fase de extensión que se inició en el Jurásico Temprano y terminó a finales del Jurásico Medio. Este evento propicio la formación de pilares y fosas tectónicas, que están delimitados por fallas normales de orientación NNW-SSE Y N-S. Durante el Jurásico Medio continuó la deformación distensiva, que propició en parte, la formación de fosas nuevas y pilares tectónicos. El paquete sedimentario de rocas jurásicas y cretácicas fue plegado entre el Cretácico Superior y el Eoceno tardío (Orogenia Laramidica) y formó un complejo de pliegues y cabalgaduras llamado Anticlonorio de Huayacocotla, muy complejo, causado por la disposición estructural preexistente del basamento Precámbrico.

Otro fenómeno laramidico es la reactivación de las fallas normales Jurásicas como fallas inversas, que delimitan al Horts Jurásico de Huiznopala. La mina de manganeso de Molango está ubicada en la zona de mayor complejidad estructural.

El último elemento tectónico es por extensión pospliocenica, evidenciada por fallas normales de rumbo NW-SE, que delimitan al Graben de Molango. El graben presenta una longitud de más de 100 Km. y un salto de más de 200 m.

Se tiene un esquema de la columna estratigráfica que va del Precámbrico al Neogéno y representa solamente algunas Formaciones del Jurásico. Las más importantes, como la; Formación Santiago y Formación Chipoco que delimitan el horizonte manganesífero (Fig. 4).

## COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GEOLÓGICA.

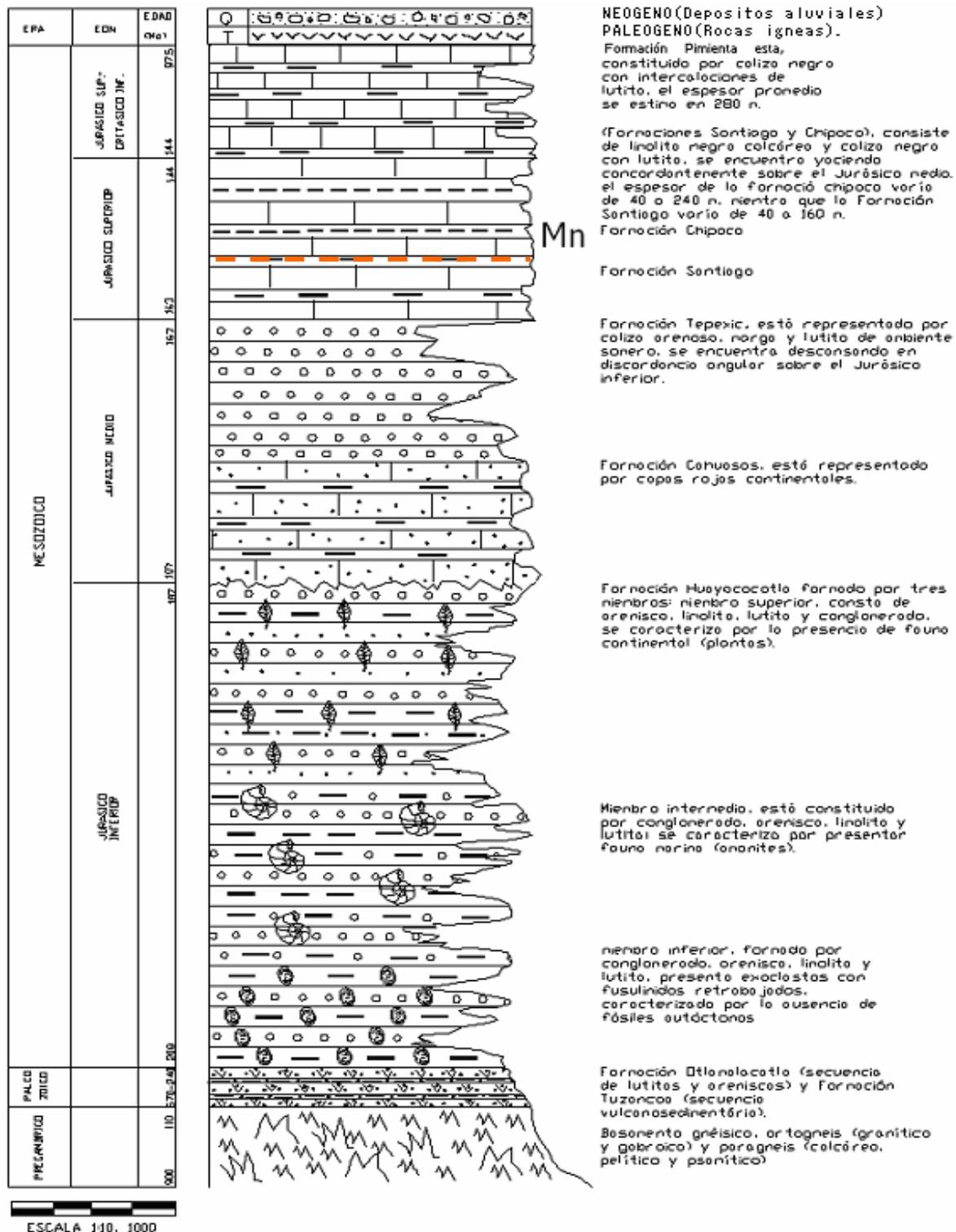


Fig. 4 Columna Estratigráfica y Geológica tomada de la tesis de Ochoa Camarillo, 1996, digitalizada por Oros Pantoja, modificada por Jiménez Velázquez, 2007. Se observa la representación del horizonte Manganesífero en la base de la formación Chipoco.

## **IV.-GEOLOGÍA ECONÓMICA.**

### **IV. 1 LOS YACIMIENTOS MANGANESÍFEROS DEL DISTRITO MOLANGO.**

#### **RESEÑA HISTORICA.**

Si bien hacia los principios de este siglo los yacimientos de manganeso del país fueron objeto de algunos denuncios mineros, fue hacia la segunda década cuando se comenzó formalmente la explotación de algunos depósitos, cuyos productos fueron utilizados a baja escala en pocas fundiciones, Ochoa Camarillo, 1996. Con la primera guerra mundial se inició la exploración y explotación de los depósitos manganésíferos del país para suplir el consumo de las plantas acereras, aunque entonces los yacimientos de Molango no llamaron la atención de los prospectores, ya que eran considerados como muy pequeños y de poca importancia.

Los primeros antecedentes de explotación de manganeso en Molango se remontan a 1956, cuando la compañía minera de Puebla S.A, explotaba, con medios rudimentarios y sin gran éxito las menas oxidadas del área de Nonoalco. En 1960 dicha compañía ofreció sus fondos a la Compañía Minera Autlán. El cual le beneficiaría a la compañía ya que sus reservas eran bajas, en la mina San Francisco, en Autlán Jalisco.

El personal de la compañía empezó sus estudios formales en el Distrito Molango, que permitieron dilucidar que el manganeso se presentaba en dos formas de ocurrencia: como óxidos y como carbonatos. Asimismo se llegó a la conclusión que el volumen de los óxidos era insignificante comparado con el de las menas de carbonatos; sin embargo la ley de los carbonatos era baja, motivo por el cual en ese entonces no resultaba económico explotarlos.

Investigaciones metalúrgicas concluyeron que el gran tonelaje de carbonatos sería beneficiable si se implementaban procesos de calcinación que aumentarían la ley. Esto condujo a la construcción de horno de nodulización; mientras se llevaba a cabo la construcción del horno, la compañía Autlán comenzó a beneficiar las menas oxidadas del área de San Fernando y reactivó las de Nonoalco, que años después comenzaron a producir bióxido de manganeso grado batería.

A principios de 1968 se terminó la construcción del horno y en mayo de 1968, comenzó su operación. Al mismo tiempo, se inició la explotación de carbonatos de manganeso en el Distrito Molango por el sistema de “tajo a cielo abierto”. En 1976 comenzó la explotación de carbonatos por medio de obra subterránea y la explotación ha sido continua hasta la fecha.

## IV. 2 DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO.

Según Okita y colaboradores (1986), el yacimiento manganesífero de Molango es uno de los más importantes del mundo y el más grande de Norte América. Así mismo es el primer productor mundial de bióxido de carbono de manganeso grado batería. La mena está constituida totalmente por carbonatos, lo que hace un yacimiento especial, dado que los otros depósitos gigantes, como Tchiatura en Rusia y Groot Eeylandt en Australia, están constituidos principalmente por óxidos (Forcé y Cannon, 1988) en el trabajo de Ochoa Camarillo, 1996.

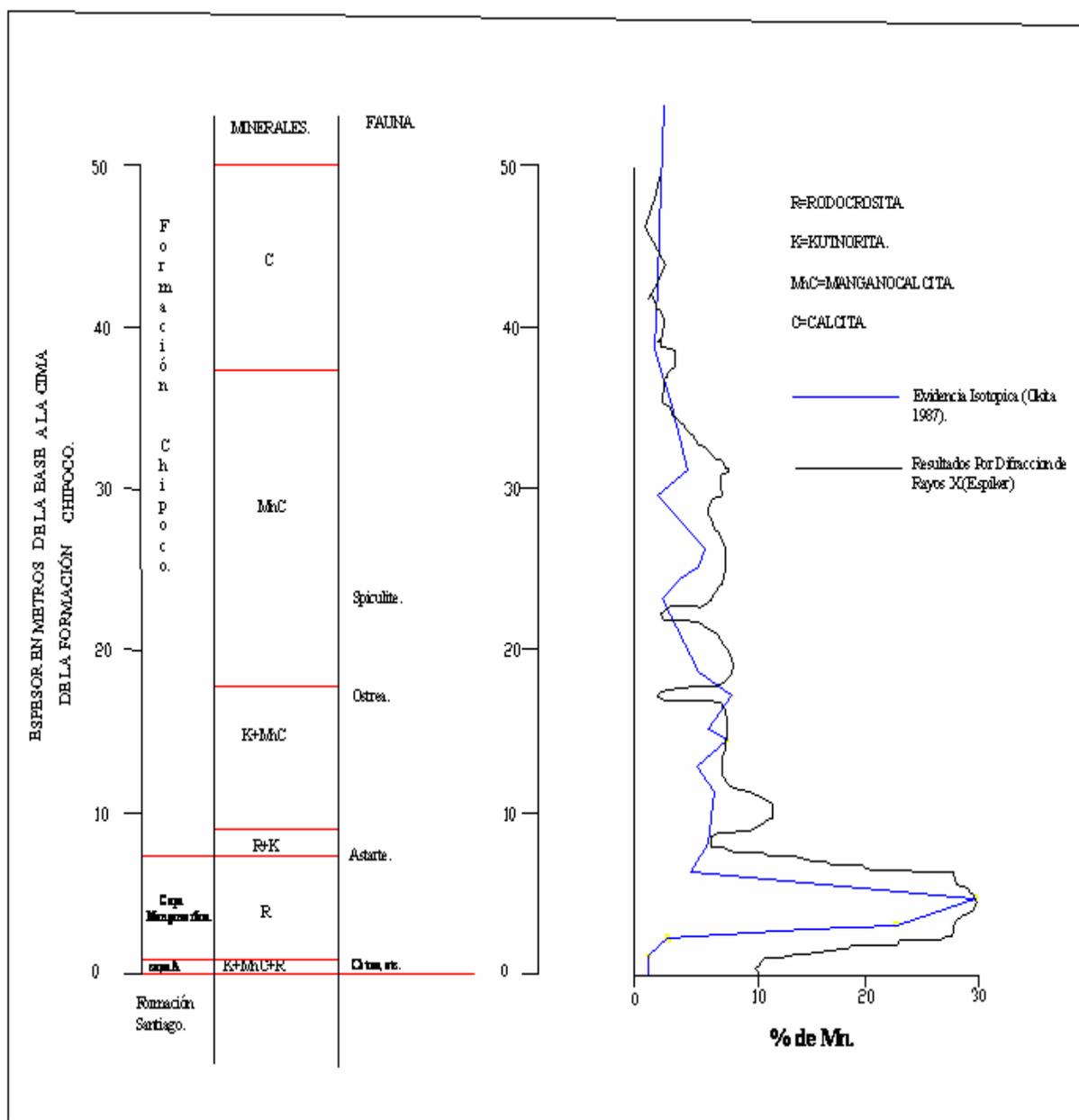


Fig. 5 En la gráfica se muestra la variación del contenido de manganeso con la profundidad en las Formaciones Santiago y Chipoco. Se aprecia el cambio súbito en el contenido de manganeso de un 0% a un 30% en la base de la formación Chipoco, así como la fauna existente encontrados en los diferentes intervalos. (Modelo tomado de Okita, 1987, digitalizado por Jiménez V. Leonardo, 2006).

El manganeso en el distrito de Molango se presenta en una faja de orientación NNW, de aproximadamente 30 Km de anchura y la longitud aún no se ha determinado porque tanto en

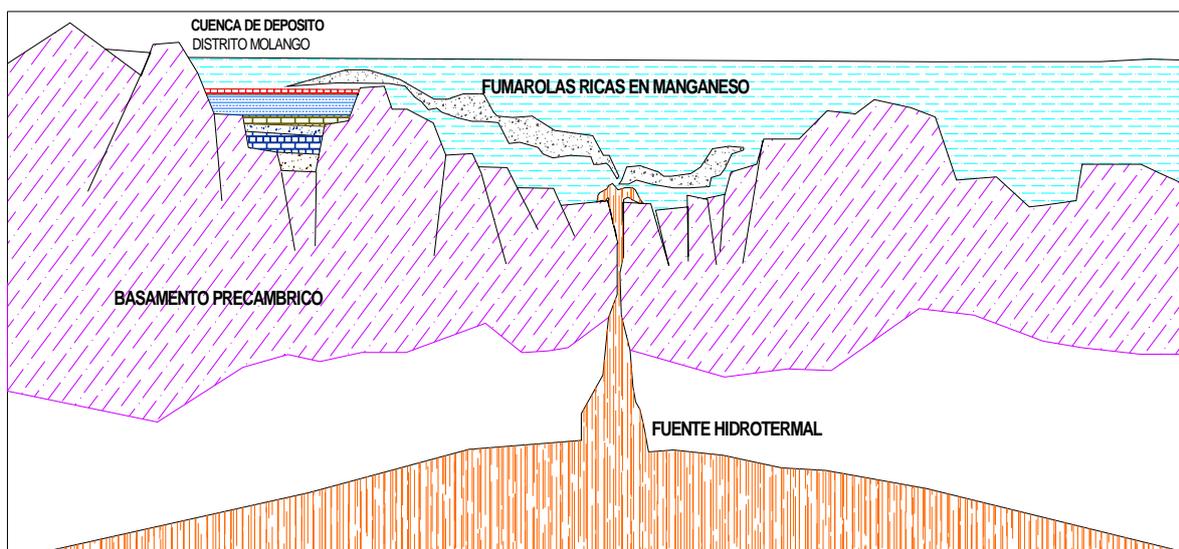
la parte meridional como septentrional se encuentra cubierta por rocas más jóvenes, pero es de más de 50 Km (ver en anexos, sección transversal); lateralmente; hacia el oriente y occidente, el manganeso desaparece bruscamente. El espesor del horizonte manganesífero es de aproximadamente 65 m, aunque solo los 10 a 18 m interiores son de importancia económica (Fig. 5). La mena es estratiforme, megascópicamente es similar a una caliza negra. Mineralógicamente, la parte inferior está constituida casi totalmente por rodocrosita criptocristalina (Pablo Galán, 1965; Okita, 1987), aumenta la porción de mangancalcita hacia la parte no económica superior. Los cristales megascópicos de rodocrosita son raros y solo se presentan en forma de vetillas, por lo general perpendiculares a la estratificación. La ley promedio de la mena en los carbonatos es del 27% de Mn, el ancho máximo es de 18 m, pero el promedio se aproxima más a 10 m (Fig.5).

#### **IV. 3 GENESIS DEL YACIMIENTO.**

Según varios autores (Okita 1987; Force y Cannon 1988; y Maynard et al. 1990) el manganeso se encontraba disuelto en un ambiente reductor, porque el manganeso en condiciones reductoras es soluble como Mn, mientras que en condiciones oxidantes es insoluble y precipita como  $MnO_2$  (Krauskopf, 1979) Según Force y Cannon (1988) en el trabajo de Ochoa Camarillo, 1996. La precipitación del  $MnO_2$  habría tenido lugar en la interfase de los ambientes reductor y oxidante, aunque gran parte de los sedimentos manganesíferos precipitados no se acumularon en la cuenca, porque deben de haber sido redissueltos al entrar en contacto con el ambiente reductor del fondo de la cuenca (Okita, 1987). Mientras tanto, el manganeso sólo se acumuló en las aguas menos profundas del talud bajo condiciones oxidantes. Así, la Formación Chipoco respondería a facies de talud y la Formación Tamán a facies de cuenca. Okita (1987), concluyó que los óxidos de manganeso después de precipitarse fueron transformados a carbonatos, durante la diagénesis. Según los estudios de isótopos de carbón (Okita, 1987; Maynard et al, 1990) realizados en este distrito, indican que los carbonatos precipitados de las aguas marinas presenta valores  $\delta C$  de  $0$  a  $+2.5$ , mientras que en la mena presentan valores  $\delta C$  de  $-16.4$  a  $-11.5$  (isótopos de carbón ligero). Esta diferencia de valores  $\delta C$  indica que el carbón de la mena tiene distinta firma isotópica que el carbón de la roca encajonante. Por esto, según Okita (1987), el manganeso no pudo haberse precipitado como carbonato, sino como óxido. Además, no se conocen cuencas sedimentarias con isótopos de carbón ligero (Okita, 1987). Para explicar la presencia de carbonatos en la mena, dicho autor sugiere que después de haber sido precipitado el manganeso como óxido, éste fue transformado a carbonato como consecuencia de la reacción diagenética entre óxido de manganeso y carbón orgánico por medio de bacterias; también cita, “que la ausencia de óxidos sedimentarios en Molango se debe a este proceso”. Sin embargo, Ochoa Camarillo, 1996, piensa que es insólito que en todo el distrito de Molango no se haya conservado algún remanente de óxidos sedimentarios, ya que en los modelos para cuencas de manganeso estratificado siempre se ha encontrado la fase de óxidos; incluso, es la fase más extensa (Force y Cannon, 1988). Se hace hincapié, que los óxidos explotados en el Distrito de Molango no son sedimentarios, sino de origen supergénico.

Según Okita, (1987) y Maynard et al, (1990), el manganeso se depositó en ambiente de talud (Formación Chipoco). Pero Ochoa Camarillo, 1996, está en desacuerdo con esta teoría porque si el manganeso se hubiera depositado en un ambiente de talud la faja manganésifera tendría la forma de cuña y en algún extremo se presentarían los óxidos primarios. Por lo contrario, sus observaciones de campo, revelan que la faja manganésifera termina abruptamente en ambos lados y que hay una ausencia absoluta de óxidos primarios, lo que es incongruente con el modelo de Okita, (1987), Maynard y colaboradores, (1990). Según los últimos autores, el manganeso de Molango se depositó en ambos taludes de la cuenca, y llaman al oriental “facies de talud Chipoco” y suponen que el talud occidental, donde también debió haberse precipitado el manganeso, no está expuesto. Sin embargo, Ochoa Camarillo realizó caminamientos con el objeto de encontrar el talud occidental y sí se encontraron afloramientos, pero sin manganeso. Por ejemplo, el afloramiento del arroyo Acoyocapa, sin manganeso, que contrasta radicalmente con las interpretaciones de Okita, (1987) y Maynard et al. (1990) e indica que el manganeso se depositó en una fosa tectónica.

Según (Ochoa Camarillo, 1996), es probable que el manganeso haya llegado a una fosa reductora por medio de un canal que la comunicaba con el mar abierto (Fig.6). El manganeso precipitado en las aguas superficiales oxidantes habría sido redissuelto en las aguas profundas reductoras, provocando la sobresaturación en la parte inferior de la cuenca de circulación restringida. Posiblemente hacia finales del Oxfordiano y principios del Kimmeridiagno, dicha fosa experimentó una comunicación repentina con el mar abierto, quizá se debió a la comunicación de la fosa Huayacocotla con el Golfo de México, con lo que provocó que las aguas oxigenadas, se mezclaran con las aguas anóxicas del fondo de la cuenca. Una mezcla de esta clase causaría una precipitación masiva de manganeso y depositación de carbonatos de Mn. De esta manera se explicaría la aparición repentina del manganeso en la base de la Formación Chipoco. La disminución del contenido del manganeso hacia la parte superior de dicha formación indicaría la formación de la cuenca hacia un ambiente oxidante. En donde el manganeso se habría precipitado gradualmente sin permitir su saturación, porque el ambiente ya no era anóxico.



**Figura No.6 MODELO QUE TRATA DE REPRESENTAR EL ORIGEN DEL YACIMIENTO . MUESTRA COMO POR MEDIO DE UNA FUENTE HIDROTHERMAL SE PRODUCEN FUMAROLAS MARINAS (BLACK SMOKERS), RICAS EN Mn, DISUELTO EN MEDIOS ANOXICOS Y PRESIPITADO EN MEDIOS OXIDANTES. (PROPORCIONADO POR LA COMPAÑÍA MINERA AUTLÁN).**

## **IV.4 GEOLOGÍA HISTÓRICA.**

### **IV.4.1 PALEOGEOGRAFÍA DEL GOLFO DE MÉXICO DEL OXFORDIANO AL TITONIANO.**

Es muy importante conocer la paleogeografía del ancestral Golfo de México para comprender un poco más sobre la correlación estratigráfica de los yacimientos manganesíferos de Molango, ya que las diferentes transgresiones y regresiones marinas así como sus eventos tectónicos durante su formación representan información clave para su comprensión sobre su origen. Se debe recordar que el Golfo de México es consecuencia de la disgregación de Pangéa y uno de los primeros océanos que formaron el antiguo Golfo de México se iniciaron en el Batoniano tardío al Caloviano, pero su mayor prolongación de la invasión en su área fue durante el Oxfordiano debido a subsidencia de la cuenca y durante el Jurásico Superior su invasión fue cada vez más progresiva.

La secuencia sedimentaria de edad oxfordiana es conocida a lo largo de la cuenca del Golfo de México en algunas partes de la Florida, el Istmo de Tehuantepec, Campeche y solo algunas rocas del oeste central de México, noreste de Guerrero y noroeste de Oaxaca. (Amos Salvador, 1987). En algunos mapas paleogeográficos se asume que la conexión del Golfo de México y el océano Atlántico no fue establecida si no hasta el Kimmeridgiano Tardío ya que en el sureste del Golfo de México no hay sedimentación presente del Oxfordiano al Kimmeridgiano Temprano. La Sedimentación más representativa de edad Oxfordiana son Carbonatos, que se encuentran a lo largo de la Sierra Madre Oriental, en Ciudad Victoria por la Formación Novillo y más al sur por la Formación Santiago constituida principalmente por calizas negras. Una posible Conexión del Golfo de México y el Océano Pacífico en esta edad es correlacionada por su fauna al este de Durango que bien puede ser interpretada como un indicador de conexión.

La extensa invasión marina que comenzó durante el Oxfordiano continuó aún más en el Kimmeridgiano Temprano. En el Kimmeridgiano Temprano la conexión del antiguo Golfo con el océano Pacífico todavía estaba por el centro de México, en Florida y Yucatán las plataformas fueron expuestas y se asume que la conexión del antiguo Golfo y el Atlántico todavía no estaba, ya que como estas dos plataformas estaban por arriba del nivel del mar impedían la conexión, y no fue si no hasta el Kimmeridgiano Tardío. (Amos Salvador, 1987). En el Kimmeridgiano Tardío, el este central al sur de México la sedimentación es similar al Kimmeridgiano Temprano y está representado por calizas negras de la parte superior de la Formación Tamán.

A lo largo del flanco norte de la cuenca del Golfo de México, en el Titoniano, existe un contrastaste radical con la sedimentación predominante de carbonatos en el Jurásico Superior ya que está representada principalmente por sedimentos terrígenos, en México por la Formación Pimienta (Shearer, 1938, Hazzard, 1939, et al), en el trabajo de Amos Salvador, 1987. Lo cual indica el comienzo de una regresión marina a finales del Titoniano.

Por lo tanto las condiciones paleogeográficas del Kimmeridgiano al Titoniano no solo influyeron en la cuenca del Golfo si no también en la margen pacífica de México.

## **IV.4.2 INTERPRETACIÓN PALEOGEOGRAFICA.**

### **IV.4.2.1 FORMACIÓN TEPEXI.**

Los sedimentos marinos de la formación Tépexic indica el inicio de la sedimentación de carbonatos en este sector. Puesto que las formaciones Cahuasas y Huayacocotla antes descritas (ver pág 21), presentan una ausencia total de carbonatos. De este modo, al menos en la región de interés, se observa un cambio abrupto en la naturaleza química de los sedimentos del Jurásico Inferior y los del Jurásico Medio. Este cambio está señalando el hundimiento de esta región y el inicio de una trasgresión marina, posiblemente relacionada con el Golfo de México, cabe mencionar que la Fosa de Huayacocotla aún no estaba conectada con el Golfo,(Ochoa Camarillo, 1996).

### **IV.4.2.2 FORMACIÓN SANTIAGO.**

Según la interpretación paleogeográfica de Erben (1956), y Schmidt-Effing(1980)en el trabajo de Salvador Amos,1987, en la fosa de Huayacocotla estaba comunicada por el protogolfo de México, pero según Imlay (1980) y Salvador (1987), estaba comunicada por el Océano Pacífico, hasta la fosa de la Formación Santiago; porque las Formaciones Jurásicas se acuñan hacia el oriente, lo que hace suponer que había un alto topográfico en esa dirección. Además, en la base de la Formación Chipoco hay un cambio Físico-Químico abrupto, que según la interpretación de Ochoa Camarillo (1996), señala la edad en que la fosa de Huayacocotla se comunicó con el protogolfo de México.

### **IV.4.2.3 FORMACIÓN CHIPOCO.**

La aparición abrupta de manganeso en la base de la Formación Chipoco; la ausencia total de manganeso en la cima de la Formación Santiago y el cambio litológico abrupto entre ambas formaciones, sugieren, un cambio brusco en las condiciones fisicoquímicas de la fosa, donde se depositaba la Formación Santiago (Ochoa Camarillo, 1996). Este cambio, se piensa, se debió a la comunicación de la fosa de Huayacocotla con el Golfo de México, que a la vez permitió la comunicación entre los océanos Pacífico y Atlántico. Entonces en el Kimmeridgiano fue cuando se comunico el protogolfo de México con el Océano Atlántico, es decir hace aproximadamente 156 Ma. Recientemente Maynard y Klein (1995) en el trabajo de Ochoa Camarillo, 1996, sugieren que el intervalo manganésífero de la formación Chipoco está relacionado con la abertura del Golfo de México.

Hermoso de la Torre y Martínez Pérez (1972) consideraron a la Formación Chipoco como de facies de talud y la Formación Tamán de la misma edad como de cuenca. Según Aguayo Camargo, 1977, La formación Chipoco representa un ambiente sedimentario marino somero de plataforma. Por otro lado, Maynard et al. (1990), consideran a la Formación Chipoco como Facies de Talud y a la Formación Tamán como de cuenca, sin embargo en el trabajo realizado por Ochoa Camarillo, 1996, no fue posible distinguirlas. La existencia para diferenciarlas es el horizonte manganésífero, mientras que la Tamán no lo presenta. Destaca también que tanto en la formación Tamán como en la Chipoco se observaron los mismos microfósiles.

De acuerdo a la interpretación paleogeográfica ya descrita, el que escribe piensa que la Formación Chipoco se depositó en facies de cuenca, porque la presencia súbita de manganeso posiblemente se debe a un cambio brusco en el ambiente físico-químico marino.

#### **IV. 5 ORIGEN DEL YACIMIENTO.**

Existen dos hipótesis para explicar la génesis del yacimiento:

1.- Que el manganeso haya tenido un origen continental.

2.-Que el manganeso se haya originado en el mar.

El origen continental es poco probable debido a que el manganeso no es soluble en condiciones oxidantes. Por consiguiente, se descarta que el manganeso haya provenido del continente, lo más lógico es que el manganeso sea de origen marino.

Parece ser que el manganeso fue generado por fuentes exhalativas termales (Fig.6). Las emisiones hidrotermales pudieron haberse derivado de las fallas normales que dieron origen al sistema de fosas y pilares tectónicos de la fosa de Huayacocotla, o bien por algunas dorsales submarinas formadas por la ruptura de Pangea, ya que las dorsales submarinas se caracterizan por altos flujos de calor y serían las fuentes emisoras de manganeso. Más aún, actualmente se conocen emisiones hidrotermales submarinas enriquecidas con Pb, Ni y Mn conocidas como “black Smokers” (Heath, 1981), en el trabajo de Ochoa Camarillo, 1996.

#### **IV. 6 CLASIFICACIÓN DEL YACIMIENTO.**

El yacimiento Manganesífero del Distrito de Molango se encuentra confinado a un solo intervalo estratigráfico por lo que se puede clasificar del tipo sedimentario estratiforme. Mientras que de acuerdo a su origen sedimentario, marco tectónico y si se acepta que el manganeso es de origen hidrotermal, el depósito podría ser catalogado como distal de tipo sedimentario-exhalativo (“SEDEX”). El origen hidrotermal es lo único que no se ha comprobado en el yacimiento de Molango. Los yacimientos SEDEX se caracterizan por ser portadores de menas de Pb-Zn y no de manganeso, elemento que sólo se presenta en la periferia o zonas distales de algunos Yacimientos de tipo SEDEX (Goodfellow, et, al 1993, Pp205; Russell 1992) en el trabajo de Ochoa Camarillo,1996. Los yacimientos de este tipo se originan en las zonas de extensión o rifts continentales y la presencia de este rasgo tectónico en la fosa de Huayacocotla apoya a que los yacimientos de Manganeso sean considerados como depósitos de tipo “SEDEX”.

Aunque también es importante mencionar que los óxidos de manganeso son clasificados por su origen en epigenéticos y supergénicos, más adelante se profundiza sobre el tema (sub.cap IV. 8).

## IV.7 MINERALOGÍA

La composición mineralógica del yacimiento es difícil de determinar megacosmicamente, ya que la apariencia de la roca es como la de cualquier caliza o roca sedimentaria con matriz de grano fino.

En 1965, Pablo Galán realizó un estudio detallado sobre los minerales de Manganeso de Molango. Los cuales consistieron en estudios de difracción de rayos X, absorción de radiación infrarroja, petrografía y análisis químicos y de trazas, hechos sobre dieciséis muestras representativas de los yacimientos de manganeso de Molango, las cuales indican que son de dos tipos: unos, sedimentarios primarios, formados por la precipitación de carbonato de manganeso en cuencas cerradas en medio alcalino reductor y representados por el sistema rodocrosita-kutnahorita y otros, secundarios, originados por enriquecimiento supergénico.

El resultado del análisis mineralógico para estos carbonatos, muestra lo siguiente:

**Rodocrosita** ( $\text{MnCO}_3$ ), Como especie mineralógica principal, formando parte de la matriz cristalina.

Se presenta como finos microcristales (menores de 0.005 cm), redondeados, equigranulares que se depositaron como conglomerados y monocristales, en sedimentos con textura paralela bandeada original, que sugieren una lenta y ordenada precipitación química.

Los análisis químicos presentados no permiten afirmar que esta rodocrosita sea carbonato de manganeso puro. El análisis de la muestra uno indicó 58.57%  $\text{MnCO}_3$  y contenidos de calcio, hierro y magnesio que estando en solución sólida sustituyendo en la celda de la rodocrosita, formarían un 78.07% de un carbonato ( $\text{Mn}_{0.72} \text{Ca}_{0.06} \text{Fe}_{0.08} \text{Mg}_{0.14}$ )  $\text{CO}_3$ . Tal sustitución es posible si se considera que los radios iónicos de  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  (0.83, 0.78 y 1.06 Å<sup>0</sup> respectivamente y los potenciales iónicos (2.7, 3.0 y 2.0) son cercanos a los valores de 0.91 Å<sup>0</sup> y 2.5 aceptados para el  $\text{Mn}^{2+}$ . (Pablo Galán, 1965).

**Kutnahorita**  $\text{Ca}(\text{Mn,Fe,Mg})(\text{CO}_3)_2$  mineral análogo de la dolomita, en el que el manganeso ha venido a ocupar totalmente el magnesio.

**Manganocalcita**  $\text{MnCa}(\text{CO}_3)_2$ , se le considera así por que la calcita es la matriz, contiene algo de manganeso en solución sólida y llega a ser suficiente como para considerarlo tal.

**Calcita** ( $\text{CaCO}_3$ ) junto con los tres minerales arriba mencionados, constituyen la matriz cristalina de la roca. La predominancia de uno u otro componente depende del contenido de manganeso en la roca, siendo en general la rodocrosita es la que más contribuya a dar la roca un valor económico.

En conjunto los análisis presentan una rodocrosita microcristalina, relativamente pura, con contenidos bajos de calcio, magnesio y hierro asociada a pequeñas cantidades de arcilla, cuarzo y calcedonia e identificándose espectrográficamente los elementos Mn, Fe, Ca, Mg, Al, Si y Na, K, Ti, Sr, y Zr, en trazas (Pablo Galán, 1965).

Una posible génesis de la rodocrosita de Molango supone un origen químico en el que se tenían originalmente soluciones ácidas de hidróxidos o carbonatos de manganeso, de las que

se formaron abundantes precipitados que dieron lugar a los yacimientos actuales. Varias razones hay para tal interpretación.

Los valores de acidez considerados, representan tanto aguas terrestres como marinas (pH 7-8). Es claro que en un sistema de hidróxidos o carbonatos, un cambio de acidez traería consigo la inmediata precipitación de abundantes hidróxidos o carbonatos de manganeso (Pablo Galán 1965). La precipitación de los iones en solución depende también del potencial de oxidación-reducción (Eh) pero, la evidencia presentada por los minerales de Molango, es de que éstos se precipitaron en condiciones reductoras y en presencia de abundante materia orgánica, lo cual concuerda con los estudios realizados por Okita (1987), el que escribe piensa que estos dos trabajos realizados son clave para entender la geoquímica de los carbonatos de Mn.

#### **IV. 8 YACIMIENTOS DEL BIÓXIDO DE MANGANESO (GRADO BATERÍA)**

En el distrito manganesífero de Molango existen yacimientos epigénicos y supergénicos de óxidos de manganeso, derivados directamente de los carbonatos de manganeso, los cuales constituyen el resultado de fenómenos recientes de oxidación y lixiviación de los sedimentos manganesíferos, allí donde lo permitió la posición de las capas de carbonato, la topografía y bajo condiciones fisicoquímicas favorables, en donde se han originado pequeños depósitos de óxido de manganeso de no más de 200 m de largo por 50 m de ancho y espesor que no supera los 10 m, (Ochoa Camarillo, 1996 y Jiménez Velázquez, 2006).

##### **IV.8.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LITOLÓGICA.**

Estos yacimientos epigenéticos están compuestos por bióxidos de manganeso; predomina la pirolusita, criptornelano, hasumanita y birnesita, todos de color negro, se presenta arcilla interstratificada de color amarillo ocre, hematita en fracturas y cavidades. En la Tabla No. 1 se muestra la ley promedio de los óxidos de Mn y otros elementos en menor proporción, (Compañía Minera Autlán, 2006).

% MnO <sub>2</sub>	% Mn	% Fe	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%CaO	%MgO	%C
55.85	38.93	8	2.9	2	0.4	1	0.1

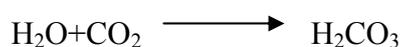
Tabla No. 1 Porcentajes de la ley promedio.

**IV.8.2 ORIGEN**

Las rocas carbonatadas se lixiviaron con aguas meteóricas ácidas que pusieron en solución iones de  $Mn^{++}$ ,  $Fe^{++}$  y  $Mg^{++}$ . Al neutralizarse la acidez de las soluciones y encontrarse estas en presencia de oxígeno pueden precipitar el manganeso y también algo de hierro en forma de hidróxido, que finalmente pueden cristalizar como óxidos. Todas las condiciones locales favorecen este proceso, existe exceso de humedad, exuberancia de la vegetación, confinamiento de la circulación de las soluciones y gran permeabilidad de las capas superiores, en contraste con las capas impermeables de la Formación Santiago.

Desde el punto de vista químico, se explica con las siguientes reacciones

- 1) Formación del ácido carbónico



Al atacar el ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ) a los carbonatos, se produce la siguiente reacción



En presencia de agua sufre hidratación, produciendo un hidróxido de Mn.



Este hidróxido  $Mn(OH)_2$  al ser oxidado produce bióxido de Mn



La distribución de los yacimientos de bióxido de manganeso es muy local, ya que están restringidos a las áreas donde los carbonatos de manganeso afloran y a la profundidad e intensidad de la acción del intemperismo.

## V.- GEOLOGÍA DE DETALLE.

### V. 1 DESCRIPCIÓN DE LA MINA SUBTERRÁNEA.

La Mina Coyoles presenta tres principales áreas: Tetzintla, Acuatitla, Tletlaxco que se encuentran en el interior de la mina, la entrada principal de la Mina Coyoles consta de 2570 m, (antes de llegar a los rebajes de explotación), en ésta existen dos formaciones principales la Fm Santiago y la Fm Chipoco, (ver en anexos sección en planta de la mina subterránea).

La Mina Coyoles está dividida en siete bloques y rampas, en nivel 700 se encuentra una banda transportadora donde lleva el mineral crudo hacia las tolvas que se encuentran en el exterior de la mina, con capacidad de 300 ton, mismo que se lleva a triturar a la zona industrial, se dejan bloques de 3/2 pulgadas para que finalmente pase por el proceso de nodulización.

#### V.1.1 ÁREA DE MANTENIMIENTO.

Dentro de la mina se encuentra el área de mantenimiento, que esta en la 730 y nivel 30. El área se reparte en 6 secciones:

- ✓ Área de lavado 300-1600hrs
- ✓ Área de lubricación
- ✓ Área de mayores; para hacer maniobras
- ✓ Área de soldadura
- ✓ Área de llanta
- ✓ Área de corriente eléctrica

Tabla No. 2. La maquinaria que utilizan dentro de la mina es:

✓ Camiones Anfo Mex	Se utiliza para transportar explosivos
✓ J-Camión modelo A-64-Anfo	Para explosivos
✓ Cargadores STTIL	Estos se utilizan para acarreo
✓ 2 Cargadores bro 400D	
✓ 4 Camiones MT425	Camión minero capacidad 25/30toneladas aire
✓ 2 Compresores G0.600cfm	Mantenimiento de camiones
✓ moto GT 120B	
✓ Retro 46B	Fabricación Francesa
✓ 2 J-Secoma Mercuri14	Fabricación Irlandés
✓ 2 Jumbos Minimatiz	

En el área de mantenimiento los dos objetivos importantes son:

El mantenimiento de los equipos y la operación de cada equipo (Tabla No. 2), debe tener el 75% de disponibilidad física. La operación debe tener 500, 600 tn/año.

Los mantenimientos preventivos para el equipo son de 300hrs, 900hrs, 1800hrs, 3600hrs.

## V.2 MÉTODOS DE TRABAJO.

### V. 2. 1 CONTROL GEOLÓGICO DE CARBONATOS DE Mn.

En la Compañía Minera Autlán, el Depto. de Geología tiene dos aspectos importantes.

- **EL PROPÓSITO**

Consiste en aplicar las técnicas (ver tabla No.5), que comprenden el control geológico de los carbonatos de manganeso, tanto en la etapa de reserva para la elaboración de un proyecto de minado como en su etapa de exploración.

- **EL ALCANCE:**

Su alcance comprende a todas las zonas que contengan mineralización, por carbonatos de manganeso dentro del distrito manganesífero de Molango.

### INTRODUCCIÓN.

El control geológico, ayuda a determinar las características cualitativas y cuantitativas de zonas importantes de carbonatos de Mn, para encontrar nuevas reservas minerales y así tener una mejor calidad de producción para el proceso de extracción de carbonatos, esta información es emitida a Planeación e Ingeniería y Operación de Mina, lo cual es realizado por el Jefe de Geología.

La fase de exploración se refiere al proceso de reunir la información necesaria de las características físico-químicas, y geográficas, de un lugar con posibilidades de contener cantidades importantes de carbonato de manganeso in-situ.

Para la mina subterránea, la exploración se realizara mediante obras mineras a rumbo del manto de carbonatos de Mn, denominado *frente de exploración*. El control geológico en frentes de exploración y preparación se realiza en el área de Geología.

Dentro del proceso de extracción, la responsabilidad del departamento de geología es guiar la explotación hacia los lugares con contenido de manganeso económicamente explotable para el proceso, recabar la información del comportamiento geológico estructural del cuerpo mineralizado y verificar la calidad y cantidad del mineral extraído durante el proceso, generar así en un reporte de recuperación.

Otra actividad realizada es la elaboración de compósitos de  $MnCO_3$ , de los muestreos realizados, con base en los resultados emitidos por el Laboratorio Químico, los cuales dan el porcentaje de la ley en el punto de muestreo y los elementos asociados que castigan al

mineral. En la tabla No. 3 muestra los elementos antes mencionados y el porcentaje de la ley promedio del manganeso. (Punto de muestreo: GM-4064 Y GM-4065, TOPE 714 NORTE).

%Mn	%Fe	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%CaO	%MgO	%S
28.24	5.83	10.59	2.08	3.31	9.39	0.59
28.18	6.77	10.40	1.81	2.73	9.07	0.85

**Tabla No.3 Porcentajes de la ley promedio.**

### **V.3 CONTROL GEOLÓGICO EN OBRAS DE EXPLORACIÓN Y PREPARACIÓN.**

Sirve para recabar y registrar toda la información de los rasgos geológicos estructurales en el desarrollo de cada una de los frentes de exploración y de preparación de minas subterráneas, con el objetivo de conocer características cualitativas y cuantitativas de la roca (apoyo para definir el mineral económicamente explotable).

#### **V. 3. 1 LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO DE TOPE**

Para un buen levantamiento geológico lo primero que se debe de hacer es contar con el equipo adecuado de seguridad y trabajo, establecido por la Compañía Minera Autlán (misma que se encuentra certificada por las normas de ISO 9000 e ISO 14001), a continuación se presenta una lista de los materiales utilizados.

#### **EQUIPO DE SEGURIDAD**

- Botas de seguridad.
- Casco, gafas, guantes.
- Cinturón, respirador.
- Lámpara minera.

#### **EQUIPO DE TRABAJO**

- Brújula tipo Bruntón.
- Martillo de geólogo.
- Flexómetro, frasco gotero con HCl.
- Cinta de fibra de vidrio de 30 m.
- Carpeta con broche de presión tamaño carta.

#### **MATERIAL DE TRABAJO**

Secciones topográficas transversales del rebaje proporcionadas por el departamento de ingeniería, lápiz, rumbera, escalímetro, pintura spray blanca. Copia del levantamiento, plano

del levantamiento topográfico del rebaje, secciones geológicas con escala 1:200 del rebaje, bolsas de polietileno tarjeta de identificación de muestras.

### MEDIDAS DE SEGURIDAD

Inspección del lugar poniendo especial atención a los últimos 10 m., del avance de la frente y eliminar las condiciones inseguras.

Todo tipo de levantamiento tiene un proceso, en este caso *el levantamiento geológico de tope*, se hace de la siguiente manera:

El ayudante del geólogo, se ubica abajo del punto topográfico más cercano al tope y el obrero se dirige hacia el centro del tope, llevándose el inicio de la cinta, el ayudante del geólogo tensa la cinta y toma la distancia entre el centro del tope y el punto topográfico.

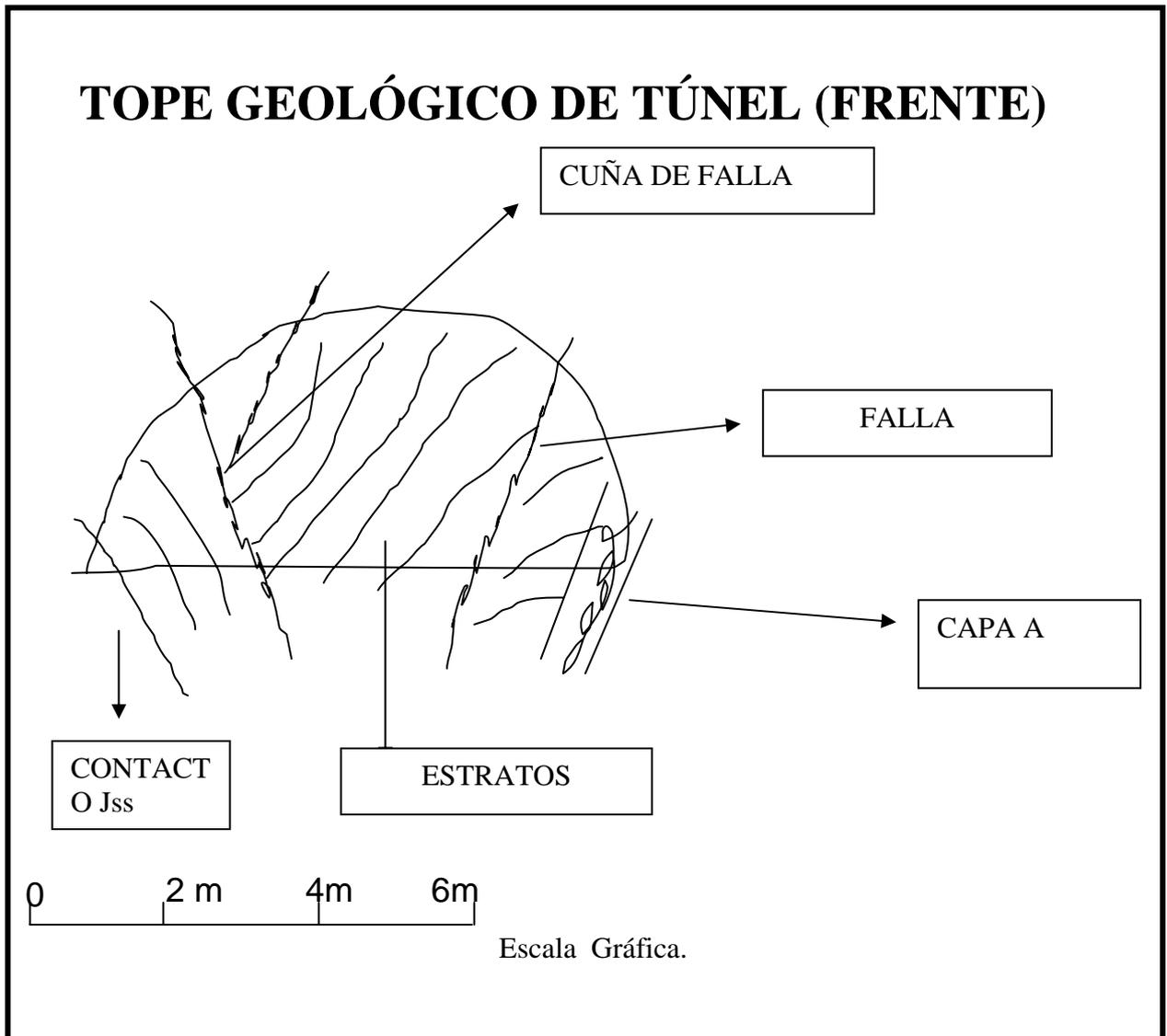
El ayudante del geólogo anota la distancia medida en el renglón del formato G-10-F-01(ver anexos) y checa el avance de la obra con la distancia del tope anterior levantado. Se observan los principales rasgos estructurales expuestos en el tope (contactos del bajo (Formación Santiago) y alto (Formación Chipoco) como fallas, fracturas, plegamientos, etc.) y se marca con pintura spray. Después el ayudante del geólogo y el obrero miden el ancho del tope (Fig. 7), a un metro del piso y marcan con una cruz la distancia medida. El geólogo anota la distancia del ancho del tope en el formato G-10-F-01(ver anexos), en la cuadrícula con escala 1:50 del formato, se toma como punto de partida el centro de la misma altura de un metro, y se marca la distancia medida hacia ambos lados (Fig.7). El obrero con ayuda del flexómetro toma distancias para definir puntos en el contorno del tope, y toma como base el punto de partida de las cuales dictará el ayudante de geólogo primero la distancia horizontal y después la distancia vertical.



FIG No. 7 OBSERVESE AL AYUDANTE DE GEÓLOGO A LA DERECHA Y EL OBRERO A LA IZQUIERDA MIDIENDO EL ANCHO DEL TOPE GEOLÓGICO.

Todos los datos se marcan en la cuadrícula 1:50 del formato G-10-F-01(ver anexos) los cuales son la base para dibujar el contorno de la frente.

Para finalizar el levantamiento, se toman todas las distancias de los rasgos geológicos que se hayan marcado, se lleva una secuencia del bajo al alto del manto, configurando así la sección geológica del tope (Fig. 8). Una vez dibujado los rasgos geológicos, con la brújula se toman datos estructurales, se enumeran en el dibujo y se anotan los datos en el renglón correspondiente.



**FIG NO. 8 ESQUEMA QUE REPRESENTA COMO QUEDA PLANTADO UN LEVANTAMIENTO DE UN TOPE GEOLÓGICO EN EL FORMATO G-10-F-01(VER ANEXOS). DIGITALIZADO POR PORRAS VICTOR.**

### V. 3. 2 MUESTREO

El muestreo se realiza cada 20 metros longitudinalmente al cuerpo mineralizado y 12 m en su altura. Se realiza siempre perpendicular al echado del manto y del bajo al alto, considerando los rasgos estructurales. El espesor del muestreo no deben ser mayor a 0.50 mts y las muestras deben ser tomadas en cantidades homogéneas.

Con pintura spray se marca sobre el tope el número de muestras que deberán de cubrir el total del espesor del manto expuesto en el tope, se marca en orden alfabético, si esta expuesta a la capa "A" (capa con un espesor de 0.5 m, en la base de la Formación Chipoco, no económica) en contacto con las limolitas de la Formación Santiago o con número progresivo si no esta expuesto al contacto, (Fig. 9).



FIG No 9. MARCADO DEL MUESTREO EN REBAJES DE EXPLOTACIÓN. OBSERVESE QUE EL MUESTREO SE REALIZA PERPENDICULAR AL ECHADO DEL MANTO Y QUE ENTRE CADA LETRA D, E, F EXISTE UNA DISTANCIA DE 0.5 m.

El obrero es el que se encarga de medir el espesor de cada una de las muestras marcadas en el tope en forma ascendente y lo apunta en el formato, CC-53-F-41, (ver anexos). Después apunta con marcador en las bolsas el nombre del rebaje, número de paralelo, y número o letra de la muestra correspondiente. Tomada la muestra se cierra la bolsa y debe ponerse a una distancia mayor a 3.00 m del tope para evitar una posible contaminación de la muestra.

### V. 3. 3 CONTROL GEOLÓGICO EN REBAJES DE EXPLOTACIÓN

El objetivo principal es recabar la información del comportamiento geológico estructural del cuerpo mineralizado para el control y el apoyo de la delimitación del mineral económicamente explotable en los lugares de producción.

Para la revisión del área de trabajo se marcan con una pintura o spray ( Fig. 10), el contacto del bajo del manto, fallas, fracturas, así como también el contacto del alto, delimitado con el apoyo de HCl (ya que el HCl efervesce al contacto con el mineral no económico y con los carbonatos de manganeso no tiene reacción, es decir dentro de la mina el HCl es una de las herramientas más importantes del geólogo), éste debe quedar debidamente identificable a lo largo del rebaje con la leyenda “Alto”, marcando el límite lateral de la explotación.



Fig No 10. CONTROL GEOLÓGICO EN REBAJE DE EXPLOTACIÓN. OBSERVESE COMO LA CUADRILLA DE TOPOGRAFÍA MARCA LINEAS CADA 4 m PARA LA ORIENTACIÓN DEL DETALLE GEOLÓGICO.

Se localiza la primera sección en levantar y verificar de acuerdo a la orientación de la misma, el detalle topográfico proporcionará líneas marcadas con pintura spray cada 4 m en las paredes laterales del rebaje (tablas), para la orientación del detalle geológico (Fig. 10).

Se localizan los contactos geológicos y rasgos estructurales (fallas, fracturas, desplazamiento, sistemas de diaclasas, etc.), que cruzan la sección.

Con el flexómetro se toman medidas, como referencia se usan las líneas de nivel, del bajo al alto geológico, y se miden las distancias sobre la horizontal y la vertical para ubicar cada detalle geológico.

Con la brújula se toman rumbos y echados sobre los principales rasgos estructurales, se anotan todos los datos sobre la hoja de sección, y se indica su origen (falla, fractura, contacto, estratificación, etc.).

Al terminar debe asegurarse de recoger y transportar todo el material utilizado.

## V.4 DESCRIPCIÓN DE BARRENO DE DIAMANTE

La descripción debe realizarse con base en la recuperación del núcleo obtenido (Fig. 13), en un barril muestreador. Para seguir con el estudio detallado de la mina y así encontrar nuevas estructuras que contengan Mn, se perforan para sacar núcleos (Fig.11) y poder estudiarlos para saber el comportamiento del manto que lleva el mineral económico.

Se obtiene el porcentaje de recuperación de núcleo dividiendo la longitud de la muestra obtenida entre la longitud del tramo barrenado que es informado.

Se describe el núcleo por tramos cortos (logueo), para lo cual se definen los cambios de textura, color, datos estructurales como; cambios de inclinación de los estratos, fracturamiento, fallas, y se determina la profundidad de cada dato descrito así como tomar las inclinaciones con la brújula Bruntón en cada uno de los datos descritos.

En el formato (G-10-F003) ver anexos, en la columna horizontal rayada se anota el tramo barrenado, el porcentaje de recuperación del núcleo y la descripción de la roca, en la columna vertical graduada, por el lado izquierdo se anotaron las inclinaciones de fallas y fracturas por el lado derecho.

Obsérvese la maquinaria que se usa para la barrenación, así como los núcleos obtenidos, en la Fig.12 se muestra la extracción de la tubería de barrenación, la extracción del núcleo de exploración(Fig.13), la barrenación en curso impulsada por un motor a diésel, el cual utiliza agua para el sistema de enfriamiento de la barrena (Fig. 11).



Fig. 11



Fig.12



Fig.13



Fig.14

## V. 5 TRABAJO DE GABINETE.

Finalmente en el trabajo de gabinete se procesan y vacían todos los datos tomados en campo con el objetivo de visualizar el comportamiento de la mina con una visión más general y complementar información de Minería y Topografía. Por lo regular los trabajos de gabinete se realizan al salir de la mina y ocasionalmente se necesita todo un día si se necesitaran datos por necesidades de la misma.

A continuación se presentan las diferentes actividades realizadas según el rango del personal de geología.

- ***Obrero general***

Sacará una copia al carbón del levantamiento geológico de tope e iluminará con los colores correspondientes: limolitas de la formación Santiago (azul aguamarina), mineral de buena ley (Rojo carminado), mineral de baja ley (Alto) y la capa A (anaranjado). Nomenclatura de colores establecidos por el Depto. de Geología (Tabla No.4).

Formación Santiago	Azul agua marina
Capa A	Anaranjado
Mineral de buena ley	Rojo carminado
Mineral de baja ley	Anaranjado

**Tabla No. 4**

- ***Ayudante de geólogo***

Sugiere indicaciones para la barrenación del tope levantado, escribiendo en el apartado correspondiente, muestra la información al Jefe de Geología y entrega una copia al Depto. de Planeación.

### ELABORACIÓN DE LA PLANTA

Reunido todo el material en la mesa de luz, se sobrepone el plano geológico sobre el plano topográfico actualizado y se hacen coincidir líneas de coordenadas, paralelos y líneas bases. Se copia fielmente el avance de la obra así como los puntos de control topográfico.

En tabla No. 5 se muestra un resumen del mapeo de procesos realizados por el departamento de geología.

MAPEO DE PROCESOS			
Macro proceso	Procesos	Micro procesos	
<b>GEOLOGÍA</b>	Planeación anual de la producción	Análisis y evaluación	Calidad y cantidad de las reservas a explotar Definición de las obras a exploración
	Control geológico mina subterránea	Control geológico en obras de exploración y reparación	Delimitación de la estructura Cantidad de mineral Calidad de mineral Reservas Recuperación y dilución de obras en exploración
		Control geológico en rebajes de explotación	Levantamiento de secciones Marcaje de contactos y condiciones estructurales Muestreo de cabeza Chequeo de rezaga o disparo Recuperación y dilución de obras en explotación
		Reportes	Reporte anual de reservas Reporte mensual obras de exploración Reporte mensual recuperación y dilución

Tabla No. 5

## V.6 CÁLCULO DE RESERVAS

Dentro del trabajo de gabinete el cálculo de reservas es muy importante, ya que este cálculo determina decisiones muy importantes en la compañía incluso a nivel corporativo, y lo satisfactorio de esto es que lo hacen los geólogos, lo cual consiste en determinar reservas probables y posibles.

El procedimiento para el cálculo de reservas probables es por medio de una recopilación de todo el trabajo de la geología de detalle además de las secciones de los rebajes proporcionadas por topografía y esto consiste simplemente en calcular el área y volumen del cuerpo mineralizado para posteriormente dar el resultado en toneladas. Finalmente se genera una sección del bloque calculado, donde se establecen las reservas en toneladas (ver anexos, levantamiento topográfico).

Para las reservas posibles se analizan los núcleos de los barrenos de exploración y se hace un cálculo muy similar, (ver anexos, proyección de barreno).

En cuanto a la producción, la ideal sería: 31 500 ton/mes - 2000 ton/día, en realidad sacan entre 1200 ton/día en explotación y su ley de corte es de: 25-27%. En la tabla No. 6 se muestra un resumen de las reservas en las diferentes áreas del yacimiento.

- Las reservas potenciales del distrito son de 250 millones de toneladas métricas.
- En la actualidad las reservas probadas de carbonatos son 31,573,388 millones de toneladas, localizadas en 5 diferentes zonas dentro del distrito.

**TABLA NO. 6 INFORMACIÓN DE RESERVAS PROPORCIONADA POR LA COMPAÑÍA AUTLÁN. QUE REPRESENTA UN RESUMEN DE LAS LEYES Y RESERVAS DE LAS DIFERENTES ÁREAS DEL YACIMIENTO.**

<b>RESERVAS</b>					
<b>ÁREA</b>	<b>TONELADAS MÉTRICAS</b>	<b>LEYES</b>			
		<b>% Mn</b>	<b>% Fe</b>	<b>Mn/Fe</b>	<b>Nódulos.</b>
<b>TETLAXCO</b>	<b>4,600,661</b>	<b>26.66</b>	<b>5.56</b>	<b>4.79</b>	<b>41.08</b>
<b>M. A. NTE. TETZ.</b>	<b>753,329</b>	<b>25.84</b>	<b>5.07</b>	<b>5.10</b>	<b>40.24</b>
<b>M. A. SUR TETZ.</b>	<b>2,955,390</b>	<b>27.39</b>	<b>4.26</b>	<b>6.43</b>	<b>40.60</b>
<b>ACOXCATLAN</b>	<b>3,331,000</b>	<b>28.50</b>	<b>5.40</b>	<b>5.28</b>	<b>43.20</b>
<b>(*) CERRO PRIETO Y OTRO</b>	<b>274,700</b>	<b>23.22</b>	<b>3.26</b>	<b>7.12</b>	<b>34.80</b>
<b>SUB - TOTAL</b>	<b>21,270,867</b>	<b>27.53</b>	<b>5.66</b>	<b>4.97</b>	<b>41.44</b>
<b>MINADO A CIELO ABIERTO</b>					
<b>NAOPA</b>	<b>8,331,504</b>	<b>28.14</b>	<b>6.97</b>	<b>4.04</b>	<b>41.24</b>
<b>COMEXTETITLA</b>	<b>1,800,932</b>	<b>27.50</b>	<b>5.70</b>	<b>4.82</b>	<b>40.50</b>
<b>TAJO CHIPOCO</b>	<b>170,085</b>	<b>26.90</b>	<b>5.80</b>	<b>4.64</b>	<b>40.00</b>
<b>SUB - TOTAL</b>	<b>10,302,521</b>	<b>28.01</b>	<b>6.73</b>	<b>4.16</b>	<b>41.09</b>
<b>RESERVAS TOTALES</b>	<b>31,573,388</b>	<b>27.69</b>	<b>6.01</b>	<b>4.61</b>	<b>41.32</b>
<b>RESERVAS POTENCIALES EN EL DISTRITO MANGANESÍFERO DE MOL.</b>				<b>250,000,000</b>	
<b>(*) ESTE ES CONSIDERADO POR SU BAJO CONTENIDO DE FIERRO Y PUEDE SER UTILIZADO PARA MEZCLAS.</b>					
 <b>COMPAÑÍA MINERA AUTLÁN</b>					

### V. 7 SISTEMA DE MINADO

En la unidad Molango se han desarrollado dos sistemas de minado subterráneo, aparte de la explotación a cielo abierto, para obtener carbonatos de manganeso, con una ley mínima de 28% . En la mina Tetzintla se utiliza un sistema de hundimiento por subniveles, (Fig. 16), en retroceso. Este sistema es de muy alta productividad, pero baja recuperación. La mina Acuatitla se explota por corte y relleno con tepetate. Este sistema permite altas recuperaciones, pero su productividad es limitada. Una proporción menor (14%) del mineral explotado proviene de los tajos abiertos en las zonas de Ahueyapan y San Fernando. En la unidad Nonoalco, todo el mineral es explotado a cielo abierto, (Fig. 15).



Fig. 15 UNIDAD NONOALCO, EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO.

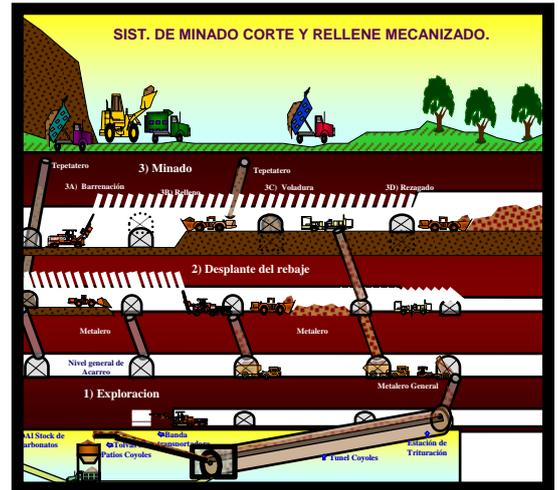


Fig.16. MUESTRA EL SISTEMA DE MINADO POR CORTE Y REELLENADO.

### V. 8 BENEFICIO

En la unidad Molango, se cuenta con dos plantas para procesos metalúrgicos planta de medio pesado y hornos de nodulización, (Fig. 17 y 18), debido a la dificultad de extraer libre de contaminación el mineral procedente de las minas subterráneas, no es posible su tratamiento directo en el horno de nodulización por lo que aproximadamente un 35% de este mineral tiene que pasar primero por la planta de medio pesado. En la unidad Nonoalco, todo el mineral explotado es lavado y concentrado por medio de principios gravimétricos, para eliminar impurezas.



FIG 17. MUESTRA EL HORNO DE NODULIZACIÓN.

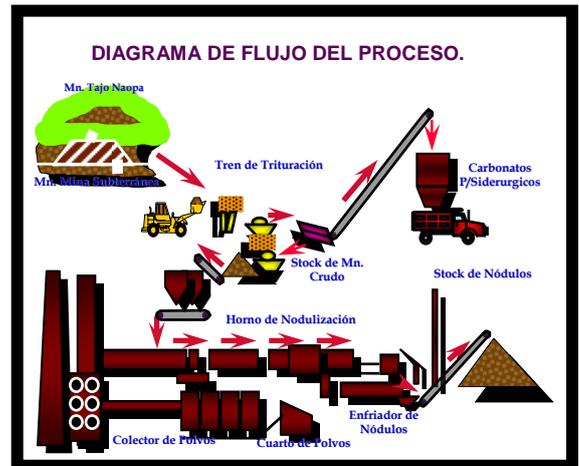
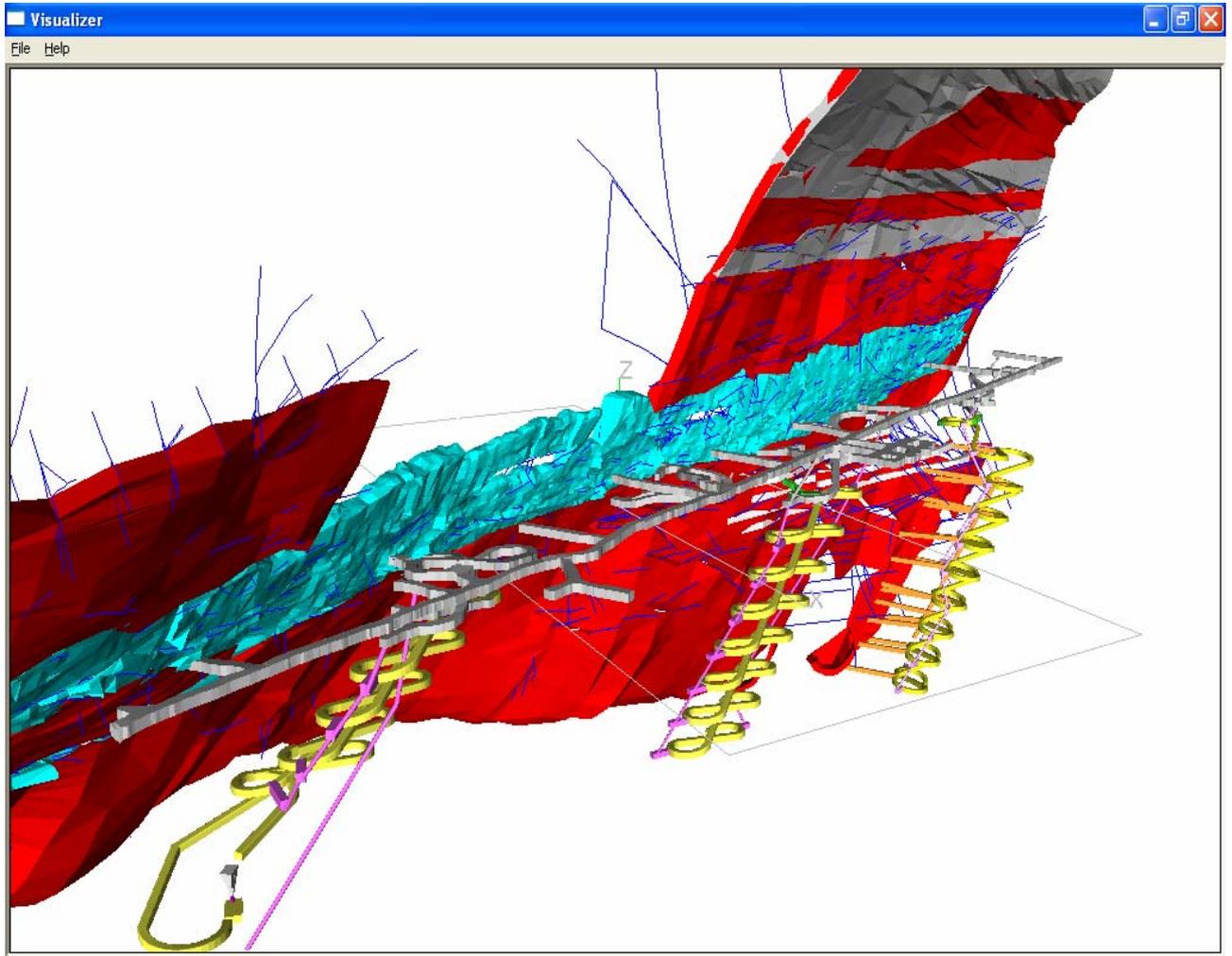


FIG 18. PROCESO DE NODULIZACIÓN.

A continuación se presenta una imagen sobre el proceso de minado, (Fig.19), y la forma de la capa del manganeso, con ayuda del programa Data Mine, se cargan los datos de exploración, barrenación, muestreo ya que este programa es de mucha utilidad tanto para geología como para el departamento de planeación.

FIG No 19 REPRESENTACIÓN EN TRES DIMENSIONES DE LA CAPA MINERALIZADA. DEBIDO A LA CONFIDENCIALIDAD DE LA COMPAÑÍA NO SE ORIENTA NI SE DAN CORDENADAS DEL CUERPO.



**CAPA CON MANGANESO DE BUENA LEY.**



**RELLENO.**



**RAMPAS NEGATIVAS (OBRA MINERA).**



**TUNEL DE ACARREO Y ACCESO A LOS REBAJES.**

## VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Es importante reiterar que dentro de la industria minera, el geólogo indiscutiblemente se va enfrentar a diferentes tipos de yacimientos ígneos, metamórficos, sedimentarios (como aquí fue el caso) y mixtos, por lo mismo el tipo de mineralización será diferente y cambiarán así los métodos de excavación y explotación debido a las características que estos presenten.

Además si una roca es; sana, resistente, fracturada, alterada, masiva, porosa, estratificada, etc., características y parámetros que van a determinar la estabilidad de una obra minera o excavación subterránea.

Por lo tanto pienso que la preparación y explotación de una excavación subterránea dependerá definitivamente de poder llevar adecuadamente un buen “*control geológico*”.

Así que, si se aplican las técnicas mencionadas y recomendadas en este trabajo (subcapítulo V.3.1), en cualquier frente de exploración y explotación independiente del yacimiento que se trate, se tendrán resultados satisfactorios del comportamiento del cuerpo geológico de interés, aclarando que se deben tomar en cuenta las características propias y específicas de cada uno de ellos.

En este trabajo se mencionaron algunos parámetros y/o formatos ya establecidos por la Compañía Minera Autlán, lo cual cubre las necesidades específicas del yacimiento, sin embargo, comprendiendo como se debe de llevar un buen control geológico de tope en rebajes y obras de explotación y exploración, se pueden realizar y adecuar los formatos, parámetros y normas para cualquier otro yacimiento, tomando como primer punto la seguridad e integridad humana, siendo que la vida humana es lo más importante y entonces así poder evitar accidentes eliminando o asegurando zonas inseguras. Tener conocimiento de la magnitud del frente, túnel o cualquier excavación subterránea proporcionará una idea más detallada de la elaboración del formato a escala que se deba utilizar.

En conclusión este trabajo va dirigido a los estudiantes de Ingeniería Geológica y creo que al leer ó consultar este trabajo tendrán un mayor conocimiento a lo que podrían enfrentarse en una estancia ó práctica profesional en la industria minera, ya que muchas de las veces el estudiante sólo parte con una idea de aventurarse sin poder aprovechar el conocimiento y prever el riesgo que ello conlleva.

### VI.1 COMENTARIO SOBRE EL ORIGEN DEL YACIMIENTO.

Muchos autores han tratado de dar bases para explicar la génesis del yacimiento manganesífero de Molango expuesto en la formación Chipoco, todas estas teorías han ido cambiando y algunas otras se han fortalecido teóricamente, también se han rediseñado nuevos modelos del yacimiento gracias a la exploración que con el tiempo ha aportado cada vez más datos.

Por lo tanto, en base a las observaciones que se detallan más adelante, el autor de este trabajo piensa que efectivamente primero tuvo que existir una fuente hidrotermal, estas emisiones pudieron haberse generado en algunas dorsales submarinas seguramente formadas por la ruptura de Pangéa, ya que las dorsales se caracterizan por altos flujos de calor (Ochoa Camarillo, 1996), que originan yacimientos minerales y que se conocen como tipo “SEDEX”, las cuales sirvieron para la exhalación de manganeso y otros sulfuros en solución, aunque esto no ha sido comprobado (Ochoa Camarillo, 1996), sin embargo más adelante se definen los puntos (1,2,3 y 4), que podrían demostrar dicha teoría.

Posteriormente el manganeso llegó a una fosa de ambiente anóxico lo que provocaría que el Mn fuera redissuelto en ese ambiente y provocar la sobresaturación en la parte inferior de la

cuenca de circulación restringida. Después, hacia finales del Oxfordiano y principios del Kimmeriagiano, debido a la comunicación de la fosa de Huayacocotla con medios oxidantes, permitiría que las aguas oxigenadas se mezclaran con las aguas anóxicas del fondo de la cuenca. Esta mezcla causaría una precipitación y posteriormente una depositación masiva de los carbonatos de manganeso.

Tomando como base las siguientes observaciones efectuadas dentro de la mina (1, 2, 3 y 4), se utilizaron para poder postular una teoría sobre el origen del manganeso en este yacimiento.

1. Todo el cuerpo manganesífero contiene una capa llamada capa "A", por el Depto. de Geología que tiene un bajo contenido de mineral económico que reduce los estándares de la ley establecidos, que va de unos 30 a 50 cm, esto se explica debido a que cuando se juntaron las aguas anóxicas de las que estaban oxigenadas, no hubo tanta comunicación con la parte de la base ya que como en un medio de fosa semicerrado se distingue por tener un ambiente de poca energía, es decir no hubo tanta circulación en la parte más somera, además de que la invasión fue de una forma gradual por lo tanto el contenido de oxígeno no era lo suficiente para precipitar grandes cantidades de manganeso, de esta manera el manganeso no se precipitó en las cantidades como en la capa económica.
2. De acuerdo al concepto de las invasiones marinas de forma gradual las transgresiones que tuvieron lugar del Oxfordiano al Kimmeridgiano duraron varios millones de años y que paleogeográficamente coinciden con la formación del Antiguo Golfo de México; en ese momento hubo varias zonas de rifts, las cuales no perduraron, pero sí generaron varios puntos de grandes emisiones de calor por lo cual se piensa que posiblemente fueron varios eventos de este tipo en ese intervalo de tiempo que hicieron posible la aparición del manganeso con diferentes cantidades del mismo, siendo así se comprendería las diferentes leyes existentes de la base a la cima de la Formación Chipoco.
3. En cuanto a las observaciones realizadas en la mina subterránea el barreno de exploración (TE-578), tiene inclinación de  $41^{\circ}$  al SW y el rumbo del barreno es  $S78^{\circ}E$ , al tocar la capa de manganeso se encontró con una capa de 1 cm de espesor de pirita, paralela a la sedimentación y perpendicular al barreno, núcleo que no muestra que la pirita halla sido cristalizada posterior a la formación ya que no presenta ningún tipo de discontinuidad como falla o fractura si no que fue contemporánea al manganeso, seguramente de exhalación hidrotermal lo cual apoya más la existencia de tipo "SEDEX". Cabe mencionar que en algunos rebajes aflora pirita de este tipo.
4. Indudablemente la precipitación del manganeso tuvo lugar en un ambiente de cuenca oceánica semicerrada de ambiente nerítico somero donde existieron cambios fisicoquímicos drásticos, es decir un ambiente reductor y oxidante, ya que en el rebaje 714 se encontraron muestras de Moluscos pelicipodos del tipo "Lucina" y amonites del tipo "Aspidoceras Alamitocenesi y Mazapilites sp" del Kimmeridgiano-Titoniano en la capa económica de los Carbonatos de Manganeso, dicha fauna característica del Jurásico Superior.

## **VI. 2 RECOMENDACIONES.**

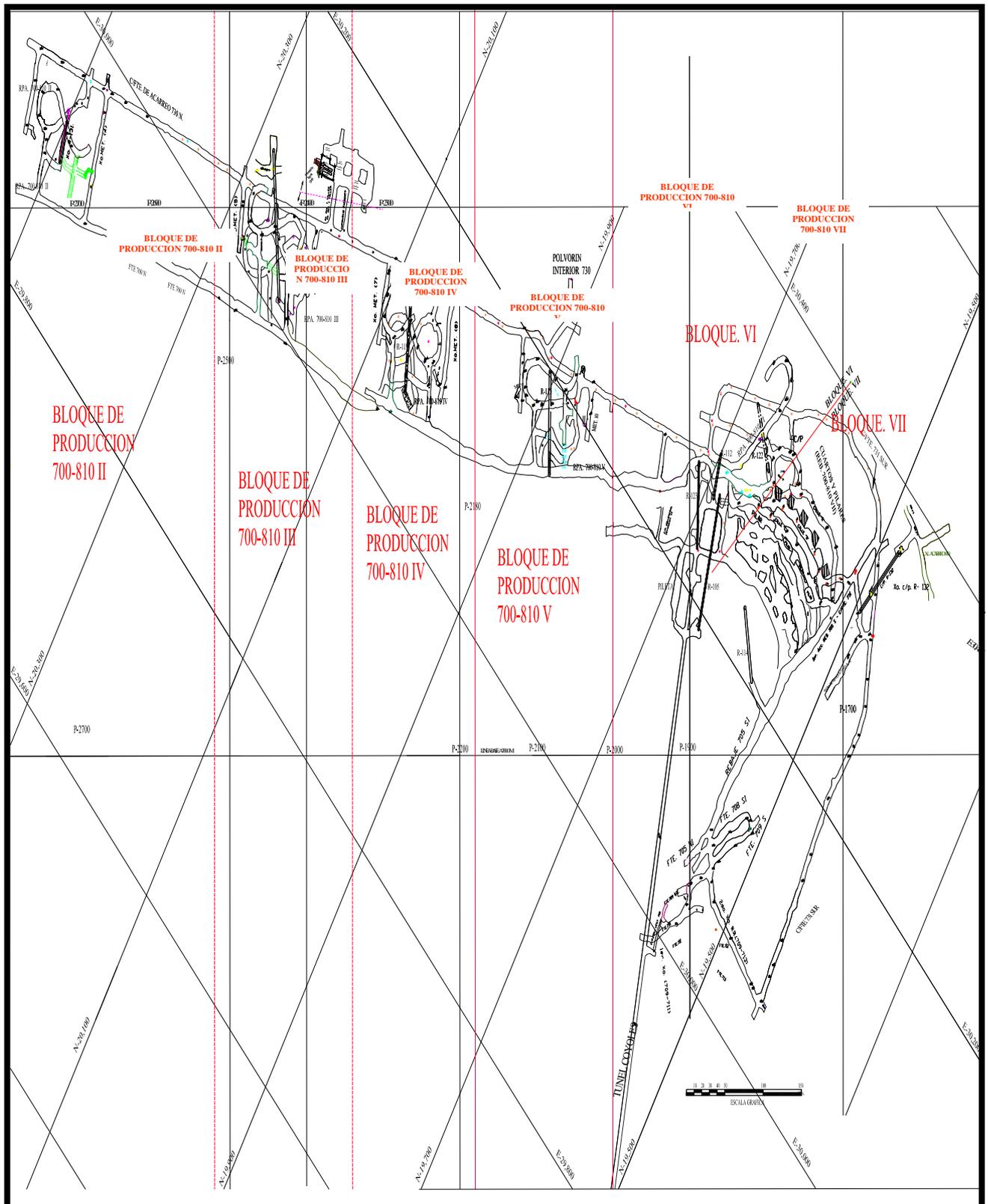
- Es importante continuar con la barrenación de exploración para un nivel 600 msnm, para ubicar con una buena exactitud la Formación Chipoco y por consiguiente la capa manganesífera con valor económico de explotación.
- Preparar cuanto antes obras de minado en el mismo nivel para conservar el tiempo y cantidades de las reservas.
- Investigar nuevos métodos para aumentar la ley en las facies manganesífera que tienen baja ley, una posibilidad sería endulzar el mineral (combinar mineral de buena ley con el de baja ley).
- Es importante proporcionar un vehículo a la brigada de geología para un acceso más rápido a los rebajes, ya que pierde casi 2 horas en la entrada y salida; ese tiempo se puede aprovechar para el levantamiento de algunos otros frentes en producción.

## **ANEXOS.**

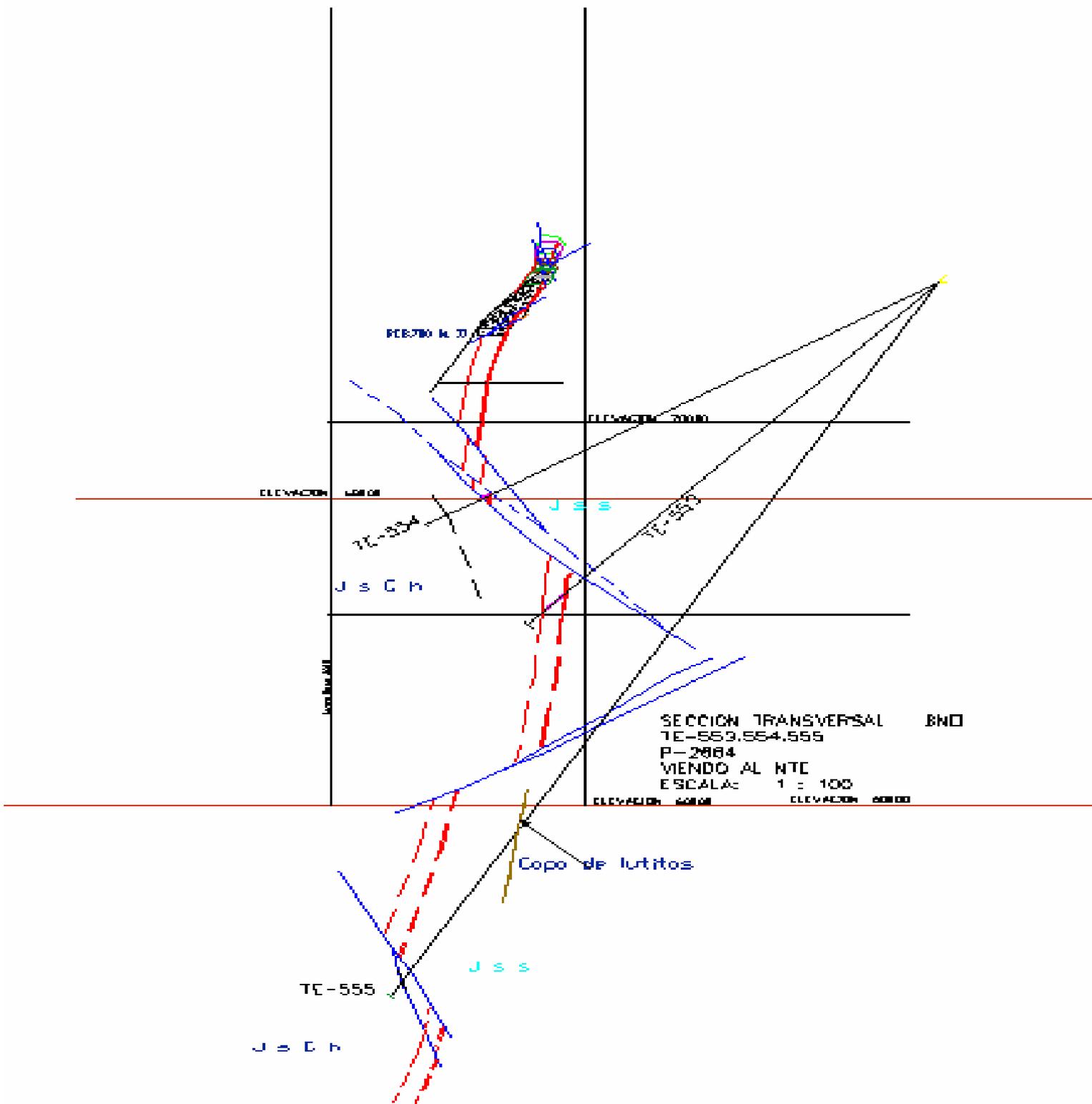
- FORMATO G-10-F-01.
- SECCIÓN TRANSVERSAL.
- PLANTA GEOLÓGICA DE LAS OBRAS DE EXPLOTACIÓN.
- PROYECCIÓN DE LA BARRENACIÓN DESDE UN REBAJE DE EXPLORACIÓN.
- TARJETA DE IDENTIFICACIÓN PARA LA MUESTRA (CC-53-F-41).
- FORMATO DE LOGUEO (G-10-F-003).
- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO (EN OBRAS DE EXPLOTACIÓN).







**SECCIÓN EN PLANTA DE LA MINA SUBTERRÁNEA.**



SE OBSERVA UNA PROYECCIÓN DE UN BARRENO DE EXPLORACIÓN HACIENDO USO DE AUTCAD PARA VER EL COMPORTAMIENTO DE SU DIRECCIÓN, Y SABER EN QUE MOMENTO LLEGA A LA CAPA MINERALIZADA CON DESCRIPCIÓN DEL MISMO. TOMANDO EN CUNETA TODOS LOS DATOS ESTRUCTURALES Y LITOLÓGICOS.

COMPANIA MINERA AUTLAN S.A. DE C.V. UNIDAD MOLANGO		TARJETA DE IDENTIFICACION DE MUESTRA			
CLAVE		ML			
DESCRIPCION	FECHA				
ANALISIS POR:	Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
	MgO	S	PxC		
CC-53-F-41	RESPONSABLE				

FORMATO DE IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS. (CC-53-F-41).

G-10-F-003

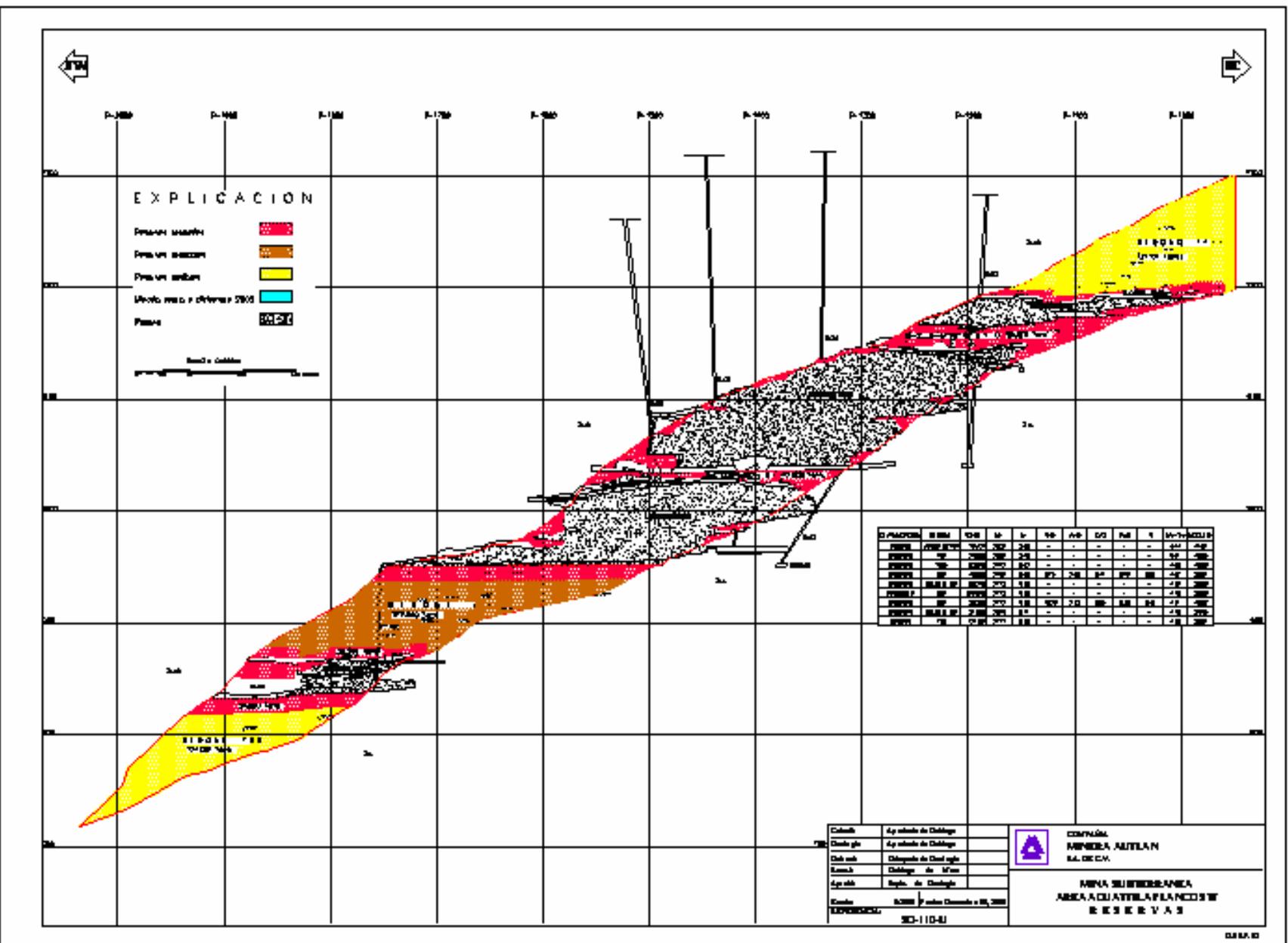
 **COMPANÍA MINERA AUTLAN**  
S.A. de C.V.

DESCRIBIO \_\_\_\_\_  
FECHA \_\_\_\_\_

**BARRENO N°** \_\_\_\_\_

Mts.		Mts.	
0		0	
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	

FORMATO PARA EL LOGUEO (G-10-F-003).



LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO (EN OBRAS DE EXPLOTACION).

---

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- Aguayo-Camargo, J. E., 1977. Sedimentación y diagénesis de la Formación Chipoco (Jurásico Superior) en afloramientos, Estados de Hidalgo y San Luis Potosí: Rev. Inst. Méx. Petróleo, V. 9, p. 11-37.
- Buitrón Sánchez Blanca Estela, et al, 1989. Paleontología General “Invertebrados”. Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Cantú- Chapa, A., 1969. La serie Huasteca (Jurásico Medio-Superior) del centro este de México: Rev. Inst.Mex. Petróleo, v.3, p. 17-40.
- Carrillo-Bravo, José, 1961. Geología del Anticlinorio Huizachal Peregrina al NW de Ciudad Victoria Tamaulipas: Bol. Asoc. Méx. Geólogos Petroleros, v. 13, p. 1-98.
- \_\_\_\_\_1965. Estudio Geológico de una parte del Anticlinorio de Huayacocotla: Bol, Asoc. Méx. Geólogos Petroleros, v. 17, p. 73-96.
- Gradstein Felix M. Ogg James G, et al, 2004. A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. Episodes “Journal of international Geoscience”. Articles, Vol. 27 No. 2 Pp 83-100.
- Force. E., y Cannon, F., W., 1988. Depositional model for shallow- marine manganese deposits around black shale basins: Econ. Geol., v. 83. p. 93-117.
- Hermoso-de la Torre, Carlos, y Martínez- Pérez, Jesús, 1972. Medición detallada de formaciones del Jurásico Superior en el frente de la Sierra Madre Oriental: Bol, Asoc. Méx. Geólogos Petroleros, v. 24, p. 45-64.
- Martínez Pérez J, 1962. Estudio Geológico de una porción de la Sierra Madre Oriental al Oriente de Zacualtipán, Hidalgo: Inst. Politéc. Nacional. Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura. Ciencias de la Tierra. Tesis Profesional 47 p.
- May, E.d., 1990. Petrography, Paleogeography and depositional environment of the Chipoco facies. Taman Group, Molango mining district, Hidalgo and San Luis Potosí, México: University of Cincinnati, Ohio, tesis de maestría, 70p. (Inédita).
- Maynard, J. B., Okita, P. M., May, E.D., y Martínez- Vera, Alfonso, 1990. Paleogeographic setting of the late Jurassic manganese mineralization in the Molango district, México: Internal. Assoc. Sedimentologists, Spec. Publ., núm. 11, p. 17-29.
- Muir J.M, 1936, Geology of the Tampico region. Tulsa Amm.Assoc. Petroleum Geologist, 280 p.
- Ochoa Camarillo R Hector, 1996. Tesis de Maestría, Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la region de Molango, Estado de Hidalgo. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

- Okita, P.M., 1987. Geochemistry and Mineralogy of the Molango manganese ore body, Hidalgo State, México: University of Cincinnati, Ohio, disertación doctoral, 362p. (Inédita).
- Okita, P.M., Maynard, J.B., y Martínez-Vera, Alfonso, 1986. Molango; a giant sedimentary manganese deposit in Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists bull., v. 70, p 627. (Resúmen).
- Okita, P.M., Maynard, J.B., Spiker, E.C., y Force, E.R, 1988. Isotopic evidence for organic matter oxidation by manganese reduction in the formation of stratiform manganese carbonate ore: Geochim. Cosmochim, Acta. 52, p. 2679-2685.
- Pablo Galán, Liberto de, 1965. Los minerales de manganeso de Molango, Hidalgo: UNAM, Inst, Geología, Bol, 76, p,1-38.
- Pessagno. E.A. Jr, 1969. Upper Cretaceous stratigraphy of the western Gulf coast área of México. Geol. Soc. American. Mem. 111-139 p.
- Robin y Claude, 1975. Las facies del vulcanismo en la región de Tlanchinol (Hidalgo, México) según datos paleomagnéticos y geoquímicos .UNAM. Inst. Geol. Bol. 95, 49-85 p.
- Rodríguez Díaz Augusto Antonio, et al, 2005. Clasificación de los yacimientos de manganeso y ejemplos de depósitos mexicanos e internacionales. Boletín de Mineralogía (ISSN 0186-470X). UNAM. Instituto de Geofísica. Pp 33-43.
- Salvador, Amos, 1987. Late Triassic- Jurassic paleogeography and origin of Gulf of México: Am, Assoc. Petroleum Geologists bull., v. 71, p, 419-451.
- Suter, Max, 1984. Cordilleran Deformation along the eastern edge of the Valles San Luis Potosi American Bull, V.95, p.1387- 1397.
- Monografía Geológico-Minera del Estado de Hidalgo. Consejo de Recursos Minerales. Publicación M-3e. Abril 1992.