



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Sustentabilidad en la pequeña  
minería de no metálicos: Estudio de  
caso Planta Procesadora de  
Materiales Pétreos**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero de Minas y Metalurgia**

**P R E S E N T A**

Arroyo Ramírez Rogelio

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Servín Jungdorf Carl Anthony



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



*Pero la juventud tiene que crear.  
Una juventud que no crea  
es una anomalía realmente.*

Comandante *Che* Guevara

*En la tierra hace falta personas  
que trabajen más y critiquen menos,  
que construyan más y destruyan menos,  
que prometan menos y resuelvan más,  
que esperen recibir menos y dar más,  
que digan mejor ahora que mañana.*

Comandante *Che* Guevara



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi padre Emigdio Arroyo y mi madre Ma. Concepción Ramírez, por todo el apoyo incondicional que me han dado a lo largo de mi vida y mi trayectoria escolar, además de exigirme e inculcarme que siempre ante cualquier circunstancia se debe de actuar con fundamento en los valores. Agradezco a ambos también por prepararme y darme las herramientas necesarias para enfrentar este largo camino de la vida y enseñarme que no importa “cuántas veces te caigas, si no cuántas te levantas”, enseñarme a nunca dejar de luchar por lo que quieres y, además, recordarme que siempre que se inicia algo no hay que detenerse hasta terminarlo.

A mi hermana Tania Arroyo, por apoyarme en este proyecto de principio a fin, sin ella no podría haberlo llevado a buen término, le agradezco también los regaños y enojos que al final concluyeron en cosas positivas. Gracias por el tiempo invertido y las enseñanzas aprendidas a lo largo de esta tesis.

A mi hermana Alejandra Arroyo por encontrar siempre palabras de aliento para impulsarme a elaborar y terminar es proyecto. Además de demostrarme que siempre tendré su apoyo incondicional, sin importar las distancias que se interpongan entre nosotros.

A Mariana Muriel Martínez Herrera por su compañía, por no permitir que claudicara en esta empresa y por ayudarme a enfrentar los altibajos y situaciones que se me presentaron a lo largo del desarrollo de este proyecto. Gracias por estar a mi lado.

A Elías y Boris por sus sabios consejos que me han sido de mucha utilidad y por escucharme, además de compartirme anécdotas de vida, ayudándome a ser siempre una mejor persona.



## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I. MÉXICO Y LA MINERÍA SOSTENIBLE, ALGUNAS REFLEXIONES GENERALES.....</b>	<b>18</b>
1.1. La importancia de la minería sustentable o sostenible .....	18
1.2. Los pilares de la minería sostenible.....	23
1.3. La minería sostenible en México, avances y retos .....	31
Reflexiones finales.....	36
<b>CAPÍTULO II. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....</b>	<b>38</b>
2.1. El Estado de México y la importancia de la actividad minera .....	38
2.2. Municipio Calimaya de Díaz González, características del entorno .....	42
2.3. Descripción del proyecto.....	44
2.4. Servicios y maquinaria disponibles .....	51
2.5. Funcionamiento de las plantas trituradoras .....	54
2.6. Condiciones actuales de la mina, reservas o datos de exploración, precios y mercado.....	59
Reflexiones finales.....	61
<b>CAPÍTULO III. PROCESOS DE EXPLOTACIÓN DEL BANCO “LA NATIVIDAD” .....</b>	<b>62</b>
3.1. Características geológicas y estratigráficas del Estado de México, de Calimaya de Díaz González y del Banco “La Natividad” .....	62
3.2. Estimación de volumen de material .....	73
3.3. Método de minado que actualmente se utiliza.....	77
3.4. Producción actual, costos nivelados y proyección .....	78
Reflexiones finales.....	83
<b>CAPÍTULO IV. PROPUESTA DE PLAN DE MINADO .....</b>	<b>86</b>
4.1. Canteras y métodos explotación aplicables .....	86
4.2. Propuesta de método de minado: Terrenos Horizontales .....	87
4.3. Forma de implementación del método de mina Terrenos Horizontales .....	89
4.4. Acciones para mejorar la eficiencia del proceso de explotación .....	91
4.5. Equipo y personal necesario para la explotación.....	107

4.6. Comparación entre el método de explotación actual y el que se propone ...	108
4.7. Costos nivelados teóricos para el proyecto Banco “La Natividad” .....	109
Reflexiones finales.....	111
<b>CAPÍTULO V. PROPUESTA DE MEJORAS EN PLANTA DE BENEFICIO: CALIDAD Y CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS FINALES.....</b>	<b>114</b>
5.1. Certificación bajo los criterios de la EMA e ISO 9001 .....	114
5.2. Aspectos importantes en el diseño de las Instalaciones de un laboratorio ..	115
5.3. Equipo necesario para un laboratorio de agregados pétreos .....	116
5.4. Pruebas y procesos de laboratorio para el análisis de agregados pétreos..	118
Reflexiones finales.....	135
<b>CAPÍTULO VI. PROPUESTAS GENERALES PARA UNA OPERACIÓN MINERÍA SUSTENTABLE.....</b>	<b>136</b>
6.1. Propuesta de estudio de impacto ambiental .....	136
6.2. Plan de mantenimiento para los equipos y normatividad en seguridad aplicable para la operación de la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM.....	141
6.3. Propuesta de apoyo a la comunidad de Calimaya de Díaz González por parte de la empresa Planta Procesadora de Agregados Pétreos .....	153
6.4. Propuestas generales de mejora para la empresa Planta de Agregados Pétreos JAEM.....	154
Reflexiones finales.....	156
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>158</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>164</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>166</b>

## RESUMEN

Hoy en día la preocupación por el uso racional de los recursos naturales se ha vuelto una prioridad, es por ello que la **sustentabilidad o sostenibilidad** y su implementación es en la actualidad un tema recurrente en la práctica de la minería. La sustentabilidad implica pues satisfacer las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer el futuro de las oportunidades de las nuevas, de ahí que el reto de la minería sea lograr una explotación de los recursos naturales sin comprometer la estabilidad de nuestras futuras generaciones.

Ahora bien, normalmente cuando no se conoce del tema, se asume que el concepto de sustentabilidad es contrario a la actividad minera, esta tesis pretende cambiar esa idea y para ello en un principio se realiza una breve reflexión teórica en torno al concepto de sustentabilidad aplicado específicamente en la minería, englobando en forma general tres aspectos fundamentales que resultan ser interdependientes: el aspecto social, el ambiental y el económico; a su vez, de ellos se derivan seis pilares que son la base de la sustentabilidad en la minería y se explicarán a detalle en el capítulo uno de esta tesis.

En función de lo anterior, en este trabajo se propone como viable aplicar la sustentabilidad en la pequeña minería, desechar el argumento erróneo de que su implementación incrementa los costos de producción y demostrar la posibilidad de lograr un incremento en las utilidades mediante su aplicación; tal situación beneficiaría el desarrollo económico del país, considerando que la pequeña minería resulta ser una actividad económica sustentada en su mayoría por capital mexicano y que, por tanto, se evita con su fortalecimiento la fuga de capital y se apoya, a su vez, de forma importante la industria de la construcción.

La parte central de esta tesis realiza un estudio de caso de las características y generalidades de un proyecto de explotación: la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM, la cual se encuentra dedicada a la extracción y procesamiento de materiales conocidos como agregados pétreos. El análisis considera desde la ubicación de la mina, sus características geológicas, geográficas y la

descripción de su entorno, hasta las condiciones bajo las que opera tanto la explotación como el proceso de beneficio (trituración y clasificación) para obtener los productos finales (grava y arena).

Se busca entonces detectar las deficiencias de la empresa y, con ello, elaborar propuestas que ayuden a mejorar el funcionamiento de la misma, con base en el concepto de sustentabilidad. Para lograrlo se hizo necesario identificar las fortalezas y debilidades, así como, las oportunidades y amenazas de la empresa. Con respecto a esto último, se pueden enfatizar los siguientes puntos:

#### **Fortalezas:**

- Cercanía con el área urbana de la Cd. de Toluca.
- Potencialmente, es posible desarrollar mercados basados en productos secundarios o productos con valor agregado.
- La empresa cuenta con reservas de material alojados en diversos terrenos aún no explotados.
- Dentro de la empresa se cuenta con equipo y maquinaria relativamente moderno, ya que se tiene la ideología de que la maquinaria es parte fundamental de la explotación.
- Se tiene la visión de crecimiento a nivel nacional, de fortalecer y mejorar la calidad de la empresa.
- Cuenta con capital para llevar a cabo las mejoras necesarias.

#### **Debilidades:**

- Falta de cuantificación de reservas.
- Desconocimiento de la calidad de los materiales
- Falta de un departamento o de personal capacitado para llevar a cabo la ingeniería y planeación en los procesos de explotación, trituración y clasificación de los agregados pétreos.
- Falta de implementación de un método de minado y de un laboratorio de pruebas para la certificación y mejora de la calidad de los productos finales.

- Falta de un programa de mantenimiento.
- Falta de atención de los problemas operativos, descuido de la planeación y la profesionalización de las actividades administrativas de exploración y explotación.
- Desconocimiento parcial de reglamentos y normas en aspectos ambientales, lo cual genera daños colaterales y posibles protestas sociales.
- Existe desconocimiento parcial de las normas que contemplan el aspecto de seguridad e higiene en el trabajo, lo cual genera ausentismo e inseguridad entre sus trabajadores.
- No se proporcionan los apoyos o medios a la comunidad para compensar los daños que conlleva la explotación minera en sí misma, se debe fortalecer, por tanto, la consciencia y responsabilidad social.
- Falta de un sistema de defensa contra las prácticas desleales de la competencia.

#### **Oportunidades:**

- La cercanía del municipio de Calimaya de Díaz González facilita la contratación de mano de obra operativa barata.
- La empresa cuenta con la aceptación de la comunidad del municipio de Calimaya de Díaz González, en tanto representa una oportunidad de empleo.
- Se cuenta con instancias estatales y federales que facilitan asesoría técnica y capacitación.
- Se cuenta con programas de apoyo a la exploración (PAE) que proporciona por el Fideicomiso de Fomento Minero, dependiente la Dirección General de Minería.
- Incremento de la demanda de materiales pétreos, considerando que la población dominante de nuestro país es joven y potencialmente demandante de vivienda.
- La explotación de materiales pétreos está exenta del pago de derechos y obligaciones de la ley minera. La región cuenta con una estabilidad en el precio de los materiales y una demanda ascendente.

## **Amenazas**

- El constante aumento en los precios del combustible.
- La influencia de intermediarios en la elevación de los precios de los materiales.
- Interrupciones, cierre o clausura por violaciones a las normas ambientales o de seguridad, por fallas en la seguridad del personal o por afectaciones a terceros.
- Carencia de información base para la toma de decisiones.

## **Propuestas**

- Mejorar la productividad de la empresa a través de un plan de minado que se adapte a las características del área de explotación minera.
- Propuesta para el montaje de un laboratorio de pruebas de materiales sobre los agregados pétreos para certificar y mejorar la calidad de los productos finales.
- Conocer ampliamente la normatividad y reglamentación que regula los aspectos ambientales.
- Establecimiento de un procedimiento a seguir para realizar un estudio que permita conocer el impacto ambiental de la operación minera.
- Dar a conocer la normatividad en cuanto a seguridad e higiene aplicables a este proyecto.
- Elaboración de un plan de mantenimiento para generar un ambiente laboral más seguro y, con ello, reducir costos y pérdidas, disminuyendo los riesgos de ocasionarse un accidente por fallas en los equipos o maquinaria.
- Aplicar un porcentaje mínimo de las utilidades para apoyo a la comunidad que beneficie a la sociedad de Calimaya de Díaz González ,y a su vez, a la empresa, puesto que este porcentaje sería deducible para ella.

En suma, el objetivo de esta tesis es demostrar que realmente se puede llevar a cabo una explotación minera exitosa con la aplicación del principio de sustentabilidad, de ahí que se busque brindar argumentos válidos para cambiar la idea negativa que se tiene sobre la minería.

## INTRODUCCIÓN

La principal actividad de los ingenieros mineros se enfoca en “la obtención, la extracción, el beneficio y la comercialización de yacimientos minerales, fuente de abastecimiento de materias primas para la industria y para satisfacer otras necesidades del ser humano” (UNAM: 2016, párr. 1). En coincidencia con ello, esta tesis propone aportar los conocimientos para realizar el aprovechamiento óptimo de los recursos minerales en beneficio de la sociedad, contemplando tanto el factor de eficiencia en los procesos productivos al menor costo posible, como también pensando en la importancia de establecer un equilibrio entre el factor humano y el ejercicio de una minería sustentable y amable con nuestro medio ambiente, acordes con las necesidades demandadas hoy en día por la evolución social.

En términos generales, la minería implica el conjunto de técnicas para extraer los minerales metálicos, no metálicos y otros materiales de la corteza terrestre con fines económicos. Esta actividad se realiza sobre los depósitos de minerales o materiales, localizados en la superficie terrestre o bajo tierra, así la minería se divide en minería a cielo abierto o minería subterránea. (López A.: 2008, 21)

Ahora bien, en el caso del sector minero en México, éste representa entre 1.17% y 1.5% del producto interno bruto nacional y contribuye con el 1.5% al empleo nacional; además, aproximadamente, la producción minera nacional representa el 2.4% de la producción minera mundial y, tan solo en el año 2000, la gran minería aportó, el 84.1% del valor total de la producción minero-metalúrgica nacional, la mediana minería contribuyó con el 13.0% y la pequeña minería aportó el 2.9% (Musik: 2016,1).

Si bien es cierto, la pequeña minería comprende menos del 3% de la producción minera total del país, sin embargo, representa al sector que en su mayor parte posee inversión nacional, esto implica la permanencia en el país de las ganancias generadas, favoreciendo el desarrollo económico. De ahí que el sector minero de la pequeña minería, particularmente el de la extracción de minerales no metálicos, enfrente una problemática distinta a la gran minería, su práctica en México conlleva deficiencias que impactan tanto los aspectos ambientales y sociales, como los correspondientes a los

procesos de extracción y organización, con consecuencias en su rentabilidad. Además, en nuestro país, la pequeña minería es un sector extractivo ampliamente regularizado y reglamentado pero muchos de los empresarios de este sector no se preocupan por estos aspectos o los desconocen.

Resolver estos problemas mencionados implica para la pequeña minería implantar sistemas de minado mejor organizados, más amigables con el medio ambiente y armónicos con el ambiente laboral, lo que impactaría directamente su productividad y la calidad de los diferentes productos del sector. Por ello, se considera fundamental conocer las diferentes normas y regulaciones aplicables a este sector y comprender el concepto general de sustentabilidad, en aras de lograr mejores prácticas extractivas. El ejercicio de dicha minería sustentable implicaría así la consideración de tres rubros: el económico, el social y el ambiental; íntimamente relacionados a un grado tal que las acciones de cada uno de ellos afectará a los otros dos aspectos, lo que genera una dependencia mutua. (Trundinger y Spitz, párr. 4)

Dado lo anterior, se considera que analizar un caso específico permitirá visualizar la manera de resolver las dificultades y problemas planteados. De la mina administrada por Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM, se seleccionó “La Natividad”, por ser una mina pequeña, ubicada en las cercanías de Toluca y de la Ciudad de México, además posee un amplio mercado pero evidentes deficiencias en los tres aspectos de la sustentabilidad ya mencionados.

Por tanto, se propone elaborar un diagnóstico certero que permita proponer soluciones para impactar de manera positiva en el funcionamiento del banco de explotación y de la planta de beneficio. De fundamental importancia resulta en este caso el comenzar a planear, organizar, dirigir y ejecutar trabajos tendientes a la exploración, la explotación, el beneficio y la comercialización de los minerales, seleccionando los métodos más adecuados según el tipo de yacimiento y la naturaleza de los minerales, cuidando los aspectos de la sustentabilidad.

Se partirá de la hipótesis de que con la aplicación de las medidas que han sido promulgadas por el gobierno para el sector de la minería, como son, leyes, reglamentos

y normas, junto con la implementación de distintas técnicas diseñadas para obtener mejoras en los procesos de extracción, se hace posible incrementar la calidad de la producción de la pequeña minería en México, al tiempo que se promueve el ejercicio de una práctica de la minería sustentable. Para facilitar la comprensión de la hipótesis general, se proponen las siguientes hipótesis específicas:

- Es posible incrementar la producción mediante un proceso de extracción continuo si se recurre a fundamentos teóricos y a una buena planeación; ya que haciendo la extracción más rentable y eficiente, se puede reducir el tiempo de extracción del material y las jornadas laborales creando un mejor ambiente de trabajo.
- Si en el área de la planta de trituración y clasificación se implantan procesos de certificación mediante pruebas normadas, se logrará obtener una clasificación y separación más organizada y eficiente de los distintos productos. Esto permitiría obtener certificados de calidad para los distintos materiales de la planta, ampliando con ello su aceptación en el mercado.
- Si se armoniza el funcionamiento de la mina con las normas ambientales y de seguridad, se logrará ejercer una minería sustentable, menos dañina para el medio ambiente y con menos riesgos para el personal; lo que se traduce en: garantizar la continuidad de la producción; mejorar las condiciones laborales con menores riesgo de accidentes, al evitar cansancio y fatiga del trabajador y aumentar su niveles de atención en las labores a realizar; y, en practicar una minería más responsable con el medio ambiente, al optimizar el uso de los insumos y racionalizar la explotación de los minerales.

Para comprobar la hipótesis general y las hipótesis específicas se ha propuesto por objetivo general identificar y analizar las complejidades y los retos que enfrenta la pequeña minería de materiales pétreos para diseñar y proponer, con fundamentos y criterios de minería sustentable, los lineamientos prácticos con miras a hacer eficientes los procesos de extracción de agregados pétreos, en aras de una explotación racional y menos agresiva con el medio ambiente. Para ello se ha considerado partir de los siguientes objetivos particulares:

- Desarrollar un planteamiento teórico orientado al estudio y conocimiento de los requerimientos para hacer una minería sustentable o sostenible, lo cual implica concretar propuestas organizacionales y metodológicas tendientes a optimizar el uso de los insumos y la explotación de minerales, afectando al mínimo la rentabilidad de las empresas y respetando al máximo el medio ambiente, la flora y fauna, así como los usos, costumbres e intereses de las comunidades asentadas en el entorno de las zonas de explotación.
- Conocer de manera directa las instalaciones de la empresa “Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM”: sus tres bancos de explotación, su organización y funcionamiento; su entorno natural, enfatizando la observación de la topografía y las fuentes hidrológicas; así como, el entorno socioeconómico y cultural. Cabe señalar que la decisión de seleccionar esta pequeña empresa minera, para realizar este trabajo de tesis, fue tomada durante la realización de las prácticas de campo, así, los conocimientos concretos y prácticos obtenidos durante las visitas a las instalaciones de la empresa, combinados con los conocimientos académicos y teóricos, permitirán plantear líneas generales de funcionamiento sustentable para las empresas de la pequeña minería.
- Utilizar los conocimientos teóricos y prácticos obtenidos durante el desarrollo de las visitas, sistematizarlos y analizarlos para dar origen a una propuesta, siempre con miras a obtener la sustentabilidad de los procesos de producción de los materiales pétreos.
- Diagnosticar la situación que guarda la operación y funcionamiento de la planta trituradora y el banco “La Natividad”, para proponer, con fundamento en la sustentabilidad, soluciones a los problemas detectados y de esta manera, hacer más rentable la explotación y mejorar la calidad de los materiales producidos.

Finalmente, para organizar los contenidos de este trabajo se ha propuesto su distribución en seis capítulos, a continuación descritos de manera breve.

En el primer capítulo se realizará una breve reflexión teórica y contextual sobre la minería sustentable (también conocida como sostenible), para comprender en qué

consiste tal tipo de minería, cuál es su importancia en la actualidad y por qué es importante comenzar a implementarla en México.

En el segundo capítulo se abordarán los aspectos generales del entorno de la cantera ubicada en el municipio de Calimaya de Díaz González, Estado de México. Este capítulo también contempla datos históricos mineros del estado y la región, así como características culturales, sociales, económicas, geográficas y ecológicas tanto del Estado de México, como del municipio de Calimaya de Díaz González. Finalmente, describe algunos aspectos generales de la empresa, abarcando la ubicación de sus instalaciones, vías de acceso, infraestructura y maquinaria con la que se cuenta, así como los servicios y productos que ofrece.

En el tercer capítulo se da a conocer, las características geológicas de la zona de explotación y las reservas del material obtenido del Banco “La Natividad”; posteriormente, se explica el funcionamiento y los procesos bajo los que opera actualmente, incluyendo un cálculo del costo por metro cúbico de material extraído, empleándose el método de costos nivelados y determinar la rentabilidad de la explotación.

En el cuarto capítulo se presenta una propuesta de plan de minado, acorde a las condiciones del Banco “La Natividad”, abordando para ello conceptos generales sobre lo que es una cantera, los diferentes métodos aplicables a ellas, para después seleccionar el idóneo para el Banco “La Natividad” y adaptarlo a sus condiciones específicas; finalmente, se hace una comparación entre el método de explotación que actualmente se utiliza y el método seleccionado.

En el capítulo quinto se formula una propuesta para asegurar y certificar la calidad de los productos finales de la planta trituradora de la empresa, Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM, acorde con el diagnóstico realizado en los capítulos anteriores. Se propone para ello el montaje de un laboratorio de pruebas, aplicadas a los agregados pétreos, que incluye el equipo e instrumentos necesarios para su funcionamiento, así como las pruebas y procedimientos que se deberán aplicar a los agregados pétreos con la finalidad de certificar los productos finales.

Finalmente, en el sexto capítulo se dan a conocer diversas propuestas enfocadas hacia los aspectos ambientales y sociales, con el fin de lograr el cumplimiento y aplicación del concepto de sustentabilidad a la pequeña minería.

## CAPÍTULO I.

### MÉXICO Y LA MINERÍA SOSTENIBLE, ALGUNAS REFLEXIONES GENERALES

#### 1.1. La importancia de la minería sustentable o sostenible<sup>1</sup>

El debate internacional en torno a la actividad minera ha tomado gran relevancia en los últimos años, las posturas oscilan entre dos visiones sustancialmente distintas, sobre todo en torno a lo que atañe a la minería a cielo abierto. En términos generales, por un lado, se advierte que esta actividad alienta las inversiones y ofrece enormes beneficios económicos para los países, ricos en recursos naturales, como es el caso de México. Sin embargo, en el otro extremo se pueden encontrar una enorme cantidad de denuncias en torno a que la minería genera impactos nocivos en lo social, cultural, económico y ambiental y que tales daños, dada esta forma de extracción, continuarán comprometiendo el desarrollo de futuras generaciones.

En el centro del debate se encuentra la idea de practicar una minería impulsada bajo el principio del “desarrollo sostenible” o “desarrollo sustentable”. Este concepto habría sido discutido por primera vez en la comunidad internacional cuando se reunió la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU y así, bajo un enfoque optimista la Comisión publicó en abril de 1987 el informe denominado “Nuestro Futuro Común”, el cual planteaba la posibilidad de lograr un crecimiento económico basado en políticas de sostenibilidad y expansión de la base de recursos ambientales. (Morán: 2016, 184)

La Comisión observó en 1987 que la tan ansiada búsqueda del “desarrollo” estaba desembocando, en muchos casos, en exactamente lo contrario de lo que se buscaba, incrementos de la pobreza, vulnerabilidad e incluso degradación del ambiente, se propuso entonces el concepto de “desarrollo sostenible”, definido como “aquel desarrollo que satisface las necesidades de las presentes generaciones sin

---

<sup>1</sup> En este trabajo ambos términos se usarán de manera indistinta, atendiendo a los planteamientos teóricos que sostienen que el uso de ambos términos no responde a una diferenciación conceptual, sino más bien a un problema de traducción del término *sustainable mining* que proviene del inglés.

comprometer la habilidad de las futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Morán: 2016, 184).

De esta manera, pese a que se vislumbra un panorama poco alentador para la humanidad, el concepto de desarrollo sostenible ha ido evolucionando también con el paso de los años de forma tal que hoy se le entiende más como un proceso, antes que como un estado ideal que la humanidad habría de alcanzar, de igual forma, se entiende que sus prioridades y enfoques pueden variar de país en país y, aunque aún se le vincula de manera íntima con el desarrollo económico, se le ha otorgado ya el mismo nivel de importancia a las dimensiones sociales, ambientales e institucionales.

Hablando concretamente de la minería, se advierte que en la década de los 70 las preocupaciones en torno a ella tenían que ver con la interrogante de si habría la cantidad suficiente de recursos minerales para satisfacer un aumento general de nivel de vida de las naciones equiparable con el nivel que poseían por entonces los Estados Unidos.

Casi cinco décadas después, las preocupaciones han cambiado y aunque se puede observar cómo países como China, India, Brasil, entre muchos otros, han logrado incorporarse al consumo masivo, antes protagonizado por la sociedad estadounidense, resulta evidente que la cantidad de recursos minerales ha dejado de ser el problema. En cambio, el efecto invernadero y los efectos generados por el cambio climático ocupan ahora el primer lugar en la lista de preocupaciones, es así como ha cobrado importancia el tema de los efectos ambientales de las actividades mineras y particularmente de la extracción de los hidrocarburos (Oyarzún: 2011, 9).

De particular interés resulta el caso de la minería “a cielo abierto”, “que es la que se utiliza para la extracción de materias primas minerales de yacimientos cercanos a la superficie” (Álvarez: 2016, 52), pudiendo realizarse la extracción mediante diversas técnicas de explotación. La extracción seca es similar para minerales sueltos y consolidados, con la diferencia de que estos últimos deben ser separados primero de la roca, para luego, de la misma manera que los minerales sueltos, ser cargados,

transportados y procesados mecánicamente; las minas a cielo abierto que se explotan mediante esta técnica se deben desaguar.<sup>2</sup>

Por otro lado, “en la explotación por vía húmeda las materias se extraen mecánica o hidráulicamente y se transportan como lodo para su procesamiento. La mayoría de estas plantas de extracción se instalan directamente en el agua, y constan a menudo de plataformas flotantes en cauces de ríos o en lagos artificiales” (Álvarez: 2016, 52).

Ahora bien, con respecto al tipo de materias primas que se pueden extraer mediante las técnicas mencionadas, éstas pueden ser observadas en el cuadro 1:

<b>Minería a cielo abierto: Métodos de explotación y principales materias primas extraídas</b>					
<b>Minería en rocas consolidadas</b>		<b>Minería en rocas sueltas</b>			
<b>Extracción en seco</b>		<b>Extracción en seco</b>		<b>Extracción en húmedo</b>	
				<b>En tierra</b>	<b>En plataforma continental</b>
Bloques de construcción	Minerales metálicos (cobre, hierro, plata, estaño)	Lignito	Minerales pesados (ilmenita, rutilo, minerales de tierras raras, circón)	Diamantes	Diamantes
Diamantes	Esquisto bituminoso	Diamantes	Arcilla	Oro	Minerales pesados (ilmenita, rutilo, circón, monacita)
Piedras preciosas	Hulla	Oro	Casiterita	Minerales pesados	Casiterita
Feldespato	Menas de uranio	Caolín	Arena, grava	Casiterita	
Yeso		Fosfatos		Arena, grava	
Caliza / materias primas para la fabricación de cemento		Arena, grava			

**Tabla 1 tomado de “La minería en México”(2016) de Carlos Álvarez**

<sup>2</sup> Ver breve explicación de la técnica de extracción en: Álvarez: 2016, 53

Con respecto al tipo de proyectos mineros que se pueden desarrollar a partir de la minería a cielo abierto, éstos pueden ser sumamente variados, un proyecto pudiera implicar desde una superficie muy pequeña, hasta explotaciones en gran escala con un diámetro de varios kilómetros. Sin embargo, independientemente del tipo de proyecto, “los efectos ambientales de la minería a cielo abierto dependen siempre de la extensión y de la ubicación del terreno explotado, sobre todo en lo que respecta a las condiciones climáticas, regionales y de infraestructura” (Álvarez: 2016, 53). Así, según se observa en el cuadro 2 (Álvarez: 2016, 54), los potenciales efectos nocivos y contaminantes que pueden generar los proyectos mineros según el método de extracción pueden ser múltiples y de diversa escala en cuanto a su impacto:

<b>Minería a cielo abierto: Métodos de explotación y principales efectos ambientales</b>		
	<b>Extracción en seco</b>	<b>Extracción en húmedo</b>
Superficie terrestre	Devastación de superficies; alteración de la morfología; peligro de derrumbes en frentes de arranque; destrucción de bienes culturales	Devastación de superficies, modificación de la morfología y del curso de los ríos; formación de grandes escombreras
Aire	Ruido y vibraciones en general, ruido y vibraciones de detonaciones; formación de polvo por tráfico y erosión; humos (Incl. humos de escombreras autoinflamadas); vapores de voladura, gases nocivos	Ruido producido por equipos generadores de energía, trabajos de extracción, tratamiento y transporte; gases de escape
Aguas superficiales	Alteración del ciclo de nutrientes (posible eutrofización); contaminación con aguas residuales; contaminación causada por una intensificación de la erosión	Desnitrificación; contaminación del cauce receptor con grandes cantidades de aguas residuales lodosas y/o con aguas residuales contaminadas
Aguas subterráneas	Descenso del nivel freático; deterioro de la calidad de las aguas subterráneas	Alteración del balance hídrico y de la calidad de las aguas subterráneas
Suelo	Erosión en la zona de explotación; disminución del rendimiento, desecación, hundimiento del suelo, peligro de empantanamiento tras el restablecimiento del nivel freático, erosión	Erosión en la zona de explotación
Flora	Destrucción de la flora en el área de explotación; destrucción parcial/alteración de la flora en el área circundante debido a cambios del nivel freático	Destrucción de la flora en el área de explotación
Fauna	Desplazamiento de la fauna	Desplazamiento de la fauna
Población	Conflictos relacionados con el uso del suelo; establecimiento o desarrollo de asentamientos a raíz de las actividades mineras, destrucción de zonas de recreación	Conflictos relacionados con el uso del suelo; conflictos sociales en períodos de auge, establecimiento o desarrollo de asentamientos debido a las actividades mineras
Edificaciones	Daños causados por el agua tras restablecer el nivel freático	
Otros	Posible modificación del microclima	Modificación del microclima; proliferación de agentes patógenos y vectores en aguas estáticas

**Tabla 2 tomado de “La minería en México”(2016) de Carlos Álvarez**

Los efectos de la minería no deben ser considerados cosa menor y, como lo refieren Jorge y Roberto Oyarzún, podría decirse que la minería en sí misma es “intrínsecamente insostenible”, por lo que “será necesario hacer, al menos, el mayor esfuerzo posible por minimizar los daños al ambiente o a otras actividades económicas (y a la trama socio-cultural cuando corresponda)” (2011, 11), por tanto, estos autores sugieren que la minería sostenible puede ser entendida como:

una actividad que tiene una cierta continuidad en el tiempo, preferentemente en la misma localidad o región, de modo que logra una inserción adecuada en el desarrollo general. También se entiende que esa minería coexistirá satisfactoriamente con otras actividades económicas en su área de influencia geográfica y que idealmente contribuirá a impulsarlas. Esto último es especialmente importante cuando se acerca el fin de la vida activa de la mina o fundición y existe una localidad estrechamente ligada a ésta. Naturalmente, el concepto de minería sostenible implica también el respeto y cuidado por el medio ambiente, y de un modo particular por sus recursos hídricos, tanto durante la explotación como después del cierre de ésta. Finalmente, una minería sostenible implica el respeto por la dignidad y derechos de sus trabajadores y otras partes interesadas, y de modo especial por los derechos de las poblaciones originarias del área, particularmente cuando éstas poseen valores culturales y sociales diferentes (2011, 10).

Se entiende por tanto que la sustentabilidad no implica que la empresa deba sacrificar su objetivo primordial de incrementar su valor económico, por el contrario, la sustentabilidad demanda que la empresa logre armonizar tal objetivo con su capacidad de “contribuir al valor social y ambiental de la localidad, la región y el territorio en el que se desarrolla” (Torres: 2013, 82).

En este mismo sentido, Jenkins y Yakovleva advierten que para que la minería se practique de manera sustentable se requiere que, en primer lugar, el agotamiento de los recursos sea compensado por la generación de nuevas riquezas que al ser capital útil y perdurable, puedan beneficiar a generaciones presentes y futuras; en segundo lugar, que el agotamiento de los minerales no necesariamente deba ser considerado como un problema en tanto que haya la posibilidad de reciclar metales y minerales no combustibles; y, en tercer lugar, habrían de realizarse esfuerzos por descubrir nuevos yacimientos minerales, así como por desarrollar tecnología para mejorar la recuperación de los minerales de los depósitos previamente no rentables” (Torres: 2013, 84 ).

De lo planteado por estos autores se desprende entonces que es posible hablar de una minería sustentable, lo que no implica negar los efectos nocivos de tal actividad, como tampoco la necesidad de ejercer la minería teniendo por objetivo la búsqueda de una utilidad, sin embargo, en un análisis más profundo e integral Jorge y Roberto Oyarzún señalan también que la práctica de una minería sostenible implicaría, por fuerza, el cumplimiento de algunas condiciones, las cuáles serán examinadas a detalle en el siguiente apartado.

## **1.2. Los pilares de la minería sostenible**

Para considerar a la minería como una actividad sustentable, Jorge y Roberto Oyarzún proponen seis condiciones que la práctica minera debería considerar establecer como criterios universales en aras de disminuir su impacto ambiental, aquí nos limitaremos a esbozarlos brevemente para que sirvan de referencia para entender su posible aplicación en el ámbito de la pequeña minería y, en concreto, en el estudio de caso, analizado en esta tesis.

El primero de ellos apela a la **conservación de los recursos**. Normalmente, se considera que los recursos naturales se clasifican en renovables y no renovables a escala humana, partiendo de esa consideración, los recursos minerales no son renovables. Sin embargo, los hermanos Oyarzún advierten que:

el descubrimiento de depósitos antes ocultos (y que podrían haber permanecido así indefinidamente), implica la adición de nuevos recursos y por lo tanto la renovación del *stock* de minerales. De esta manera la exploración minera permite extender la vida de un yacimiento considerado agotado, así como la actividad minera de un distrito, una región o un país por períodos de tiempo difíciles de imaginar. La necesidad de renovar el *stock* de recursos es fácil de entender si se considera que el crecimiento de la demanda de minerales supera con creces al de la población mundial (2011, 18).

Entendida de esta manera, la *renovabilidad* no dejará de crecer si se ejerce una excelente exploración geológica, de la misma manera, habría que considerar el paradigma del “coste oportunidad”, ya que éste evalúa las relaciones mutuas entre oferta, demanda y precio, pudiendo sucederse una mayor demanda, en cuyo caso un aumento de su precio posibilitaría la extracción de recursos de mayor costo de explotación, así como el desarrollo de tecnología para facilitar la extracción; o bien,

podiera ocurrir que simplemente la demanda de un mineral desaparezca al ser reemplazada por otro tipo de material.

De la misma manera, la *renovabilidad* estaría sujeta a la efectividad de las técnicas de exploración, las cuáles deberían considerar no sólo la presencia del mineral buscado, sino de los riesgos ambientales que conllevaría la explotación en términos de fisiografía, clima y sismicidad. De igual forma, la *renovabilidad* depende del grado de fracturación del macizo rocoso, de los tipos de alteración hidrotermal y litologías, así como de la mineralogía de mena, pues de ella dependería la cantidad de la producción de ácido sulfúrico, si es que dicha mina cuenta con los elementos para su producción. En este mismo sentido no hay que perder de vista las posibles afectaciones sociales, ya que “no puede haber indicios de sostenibilidad si existe un conflicto. Para que una empresa minera pueda funcionar adecuadamente en una región habrá de llegar a acuerdos razonables con las comunidades locales antes de comenzar cualquier labor extractiva” (Oyarzún: 2011,33).

Finalmente, sería importante advertir que la *renovabilidad* se encuentra en relación directa con las lógicas del consumo, así, como concluyen Jorge Oyarzún y Roberto Oyarzún:

Más allá de la hipocresía de “si quiero los metales pero por favor que los extraigan en otra parte”, el querer la minería significa vivir con lo que ésta significa en temas ambientales y sociales. Esto es regulable, pero aquí está el quid de la cuestión, sobre el cómo desarrollar una legislación que vele por los derechos de las comunidades autóctonas y el medioambiente sin asfixiar al mismo tiempo a las empresas mineras a un nivel tal que éstas dejen de ser económicamente viables. (2011, 38)

La segunda condición se encuentra vinculada con la **protección de la demanda**. En este sentido, debemos pensar en que la minería es dependiente de las necesidades que plantea el mercado, su éxito depende fundamentalmente de las fluctuaciones de la economía mundial, de la compatibilidad de los metales con las tendencias tecnológicas y ambientales, así como de lo exitosa que sea la propia industria minera encontrando nuevos yacimientos. Un ejemplo paradigmático en este sentido, fue el caso del plomo cuando se exigió su eliminación de las gasolinas. Al respecto, Jorge y Roberto Oyarzún proponen que lo mejor que se puede hacer en

cuanto a la demanda es buscar mantener un equilibrio en los precios: “ni demasiado bajos debido al exceso de oferta o inventarios, ni demasiado altos (en particular en períodos largos) para no estimular su sustitución” (Oyarzún: 2011, 42).

Sin embargo, los mismos autores reconocen que bajo la lógica del globalismo financiero y social, tal equilibrio depende de una enorme cantidad de factores que intervienen en la determinación de la demanda de ciertos minerales. Destaca en este sentido el papel de la opinión pública, o bien, los procesos bajo los que se crea la opinión pública, para nadie resulta ajeno que el uso de ciertos minerales ha sido criminalizado en muchos casos por las razones o rumores equivocados, así, si bien es cierto que el uso del plomo debe ser excluido en las cañerías, tuberías de agua potable o en las gasolinas, su extracción aún es importante para satisfacer usos distintos, por ejemplo, en las baterías de coches (Oyarzún: 2011, 45). De la misma manera, existen minerales que aunque han sido señalados por distintos grupos de presión, aún no se han encontrado sustitutos más efectivos para las funciones que desempeñan, o peor aún, los hallados han resultado ser, o bien, más dañinos, o bien, más cara su extracción.

Así, el cumplimiento de esta condición dependerá entonces de varios factores, destacando por su puesto la difusión de información efectiva sobre el uso y aprovechamiento de los minerales, así como de los impactos ambientales que estos generan; asimismo, será importante invertir en el desarrollo de investigaciones científicas que permitan desarrollar un conocimiento más amplio sobre los impactos positivos y negativos de los minerales; y, derivado de ello, elaborar marcos legales acordes con tales hallazgos y no con las estigmatizaciones que realizarían grupos de presión de manera irresponsable.

Como tercera condición, Jorge y Roberto Oyarzún, señalan la **seguridad y salud ocupacional**. La minería es una actividad que normalmente implica condiciones laborales de alto riesgo y, pese a que ha habido un avance importante en el reconocimiento de esta situación, la mejora de las condiciones laborales no se ha

conseguido en todos los países ni a todos los niveles de empresas de un mismo país.  
En el caso de México:

[...] la revista *Forbes*, la agencia *Reuters* y el diario *The Wall Street Journal* han publicado trabajos sobre el tema. Coinciden en que tres de los hombres más ricos de México tienen empresas en este sector, y en que anualmente obtienen grandes utilidades de la minería. También coinciden en que éste es un sector en el que se pagan bajos salarios a los trabajadores, a cambio de largas jornadas (hasta 14 horas diarias) y hay pocas condiciones de seguridad. (Aristegui: 2013, párr. 2-3)

Respecto a los riesgos, existen una serie de factores importantes a considerar. En primer lugar destaca el la estabilidad de las rocas, a menudo difícil de predecir, además, ésta varía en función de la explotación, ya que su evolución hace variar continuamente la resistencia y la distribución de los esfuerzos en el macizo (Oyarzún: 2011,50). Un segundo factor de riesgo es la relación “a prueba de fallos” que se requiere entre el trabajador minero y las enormes máquinas que extraen y transportan el mineral de la mina a la planta, aquí se puede presentar desde la simple explosión de un neumático, hasta un descuido de un trabajador, pues recordemos que los turnos son largos y monótonos, lo que puede llevar a costosas distracciones; de manera continua los trabajadores realizan trabajos especialmente peligrosos y se enfrentan a un ambiente agresivo (Oyarzún: 2011, 51).

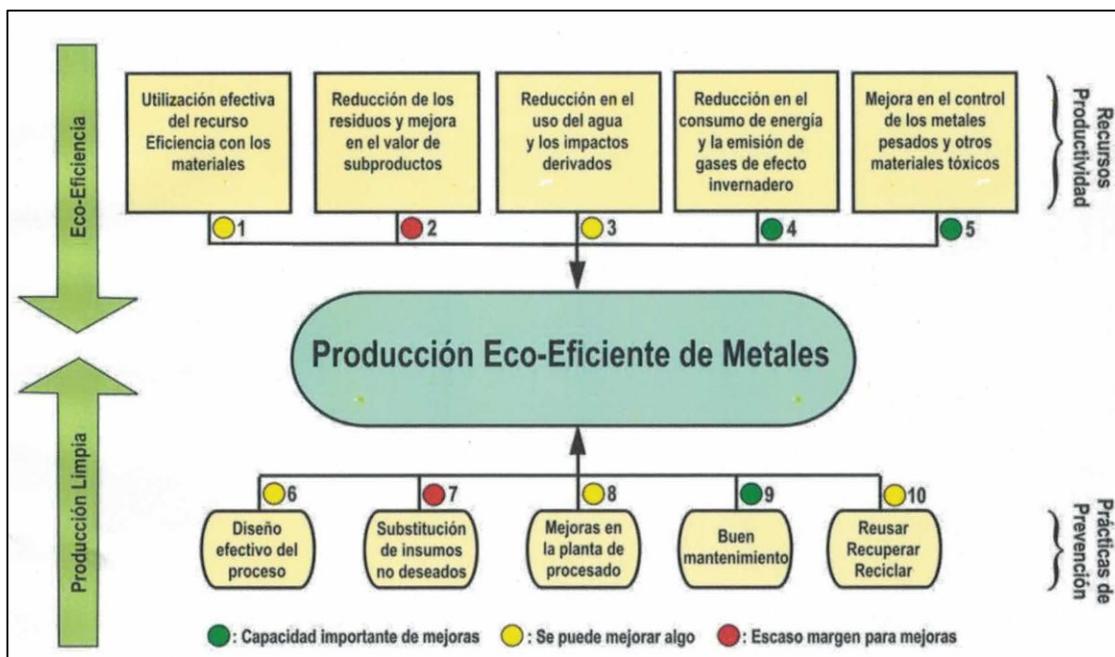
También hay que referir los riesgos de desarrollar enfermedades a causa de la actividad, éstas abarcan no sólo padecimientos físicos, como el cáncer y la silicosis, sino también padecimientos psicológicos (Oyarzún: 2011, 55). De esta manera, las empresas mineras deberán continuar realizando esfuerzos por “[...] mitigar estos problemas que son intrínsecos a la naturaleza del trabajo minero, cuya localización está determinada por la naturaleza más que por la voluntad humana y en el que es virtualmente imposible eliminar causas de riesgos, ya sea en términos de accidentes o daños a la salud.”(Oyarzún: 2011, 59)

Como cuarta condición Jorge y Roberto Oryazún señalan la necesidad de **resguardar la rentabilidad y eco-eficiencia** de la operación minera. Para la rentabilidad se sugiere que habría de analizarse la posibilidad de trabajar bajo condiciones de pérdida si éstas se estiman transitorias, sobre todo cuando los costos

sociales y materiales de la paralización de labores son aún mayores que los ocasionados por continuar la producción durante el período de bajos precios del producto principal (Oyarzún: 2011, 60).

En cuanto a la eco-eficiencia, ésta se refiere al ejercicio de una producción limpia, la cual implica el desarrollo de una estrategia ambiental preventiva integrada, aplicada a procesos, productos y servicios, “Implica el uso eficiente de los recursos naturales y por lo tanto minimiza los residuos y la contaminación, así como los riesgos a la salud y humana, mejorando la seguridad. Aborda además los problemas en su origen y no al final del proceso de producción”. La eco-eficiencia implica, por tanto, no sólo la entrega de bienes y servicios a precios razonables que permitan la satisfacción de las necesidades humanas, sino también el control y reparación de los impactos ambientales.

Finalmente, habría que advertir que tanto la rentabilidad de las empresas mineras como su eco-eficiencia están sujetas a dos factores importantes, por un lado, los ciclos económicos y, por el otro, a las modificaciones en las demandas de los minerales, así, en forma importante intervienen aquí las políticas tributarias, las cuáles deberían ser diseñadas en la comprensión de la modificación de las dos variables señaladas, ya sea para no ahogar a las empresas mineras, o bien, para en épocas de bonanza demandarles cargas tributarias importantes que permitan desarrollar otros sectores como los de la investigación y producción de conocimiento en torno a la práctica de una minería sustentable.



**Tabla 3: Relaciones entre los parámetros de eco-eficiencia y producción limpia en la industria minera, cuadro tomado de: “Minería sostenible: Principios y prácticas” (2011, 71) de Jorge y Roberto Oyarzún.**

La quinta condición señalada por Jorge y Roberto Oryazún está vinculada con el **manejo de los recursos humanos, hídricos y energéticos**. En cuanto a los recursos humanos hay que reconocer que existe una falta de profesionistas en el sector debido a la modificación de las tendencias vocacionales de la juventud universitaria, así como al desprestigio de la actividad minera<sup>3</sup>; en la actualidad existen pocas escuelas de minería y una escasa matrícula en las mismas.

Esta situación ha obligado a muchas empresas mineras a emprender una labor formativa, ya sea directamente o en alianza con centros universitarios, sin embargo, socialmente no debemos perder de vista que la formación de personal especializado resulta ser “un aspecto vital para la sostenibilidad de una industria mal comprendida por la sociedad actual pero esencial para la subsistencia misma (Oyarzún: 2011, 79)”.

<sup>3</sup> En este sentido Jorge y Roberto Oryazún destacan el caso de Australia, país que requiere incorporar doscientos ingenieros en minas cada año debido a que un buen porcentaje de ellos migra a otras profesiones después de cinco años de labor. *Ibíd*, pág. 76.

Con respecto a los recursos hídricos es importante considerar que todos los procesos mineros requieren agua, tanto las operaciones de mina como las de metalurgia extractiva, de manera que la disponibilidad de agua y la competencia por recursos hídricos escasos constituyen un aspecto esencial de la minería sostenible. En este sentido, es fundamental considerar que no se trata sólo de la cantidad de agua utilizada, sino que se tiene que garantizar también que las aguas de desecho no contaminen otros cuerpos de agua. Una de las posibles soluciones que ayudan a mitigar este impacto ambiental es la maximización de la reutilización y reciclaje del agua, lo cual, pudiera ser cuantificado mediante:

Procedimientos formales como la “contabilidad hídrica”, que permite llevar un control de los flujos utilizados a través de un “diagrama de cajas”, mediante programas computacionales como *WaterMiner*. Este procedimiento se puede combinar con análisis químicos isotópicos del agua circulante que permiten estimar la cuantía de las pérdidas por evaporación y el grado de contaminación registrado en las distintas etapas del proceso (Oyarzún: 2011, 77).

Pese a ello, el problema del agua aún enfrenta enormes retos tanto por la demanda que ejerce la actividad minera, como por el nivel de toxicidad con el que se queda el líquido que deberá ser desechado.

Finalmente, la sexta condición advertida por Jorge y Roberto Oryazún es la **necesaria aceptabilidad de la minería por la opinión pública**, de acuerdo con los autores:

La minería, como la producción de energía, las industrias químicas y otros sectores de la economía tradicional, se enfrenta a una creciente oposición de parte de las personas y grupos organizados que la temen o la rechazan, o la aceptan pero a condición de que se realice lejos de sus ciudades o países. Ese rechazo se explica tanto por razones objetivas como por motivos “ideológicos”, que se corresponden con modas intelectuales e incluso percepciones de orden neo religioso, aunque los individuos en si no sean necesariamente conscientes del fenómeno. (2011, 81)

Así, por ejemplo, se puede señalar el caso de Chile en donde debido a presiones de la opinión pública fue suspendida la construcción de un grupo de represas en el curso superior del Río Biobío y, posteriormente, de otros proyectos, lo que ha llevado a Chile a enfrentar en los últimos años un gravísimo problema energético que se ha resuelto con la proliferación de plantas termoeléctricas a carbón, “En esta materia

debemos tener en cuenta que Chile es el país que más ha aumentado porcentualmente sus emisiones de CO<sub>2</sub> en los últimos años y en este sentido hay que considerar además los daños que puede causar a la salud y el medioambiente la quema de carbón”( Oyarzún: 2011, 82).

Como en el caso anterior, existe una gran cantidad de casos similares para el sector de la minería y si bien es cierto que hay que reconocer que la minería ha generado históricamente una enorme cantidad de daños ambientales y humanos, el sector se ha ido haciendo más sensible a ello, los retos para lograr el ejercicio de una minería sustentable aún son enormes, sin embargo, como lo concluyen Jorge y Roberto Oyarzún:

Más allá de los factores psicológicos y sociológicos difíciles de neutralizar, es importante que la minería se enfrente adecuadamente a las reticencias que puedan encontrarse en la población. Todo esto sin acudir al fácil pero equivocado procedimiento de “comprar voluntades”. Sin duda, un manejo adecuado de información y comunicación, que incluya también actividades educativas, es muy conveniente. Todo ello requiere tacto y buen criterio, así como una gran honestidad. Es mejor reconocer los riesgos e impactos que perder credibilidad tratando inútilmente de ocultarlos (2011,87).

Lo anterior resulta fundamental si consideramos que nuestra civilización tecnológica impacta el ambiente y que toda ella depende de la minería, no existe en la actualidad un simple aspecto de nuestras vidas en que la minería no esté presente. El debate implica sin dudas una reflexión ética, ya que resulta sencillo:

realizar manifestaciones callejeras o desarrollar cientos de documentos web contra la minería para luego subirse a un coche (auto), encender la luz eléctrica en casa, enviar un SMS por el móvil (celular) y poner en funcionamiento la tele o el ordenador. Todas estas son actuaciones que serían imposibles si no hubiera empresas que extraen los metales que hacen posible la tecnología y los productos de los que disfruta una parte importante del mundo, incluyendo (por supuesto) a los sectores sociales que rechazan la minería. Pero he aquí la paradoja ética, porque quienes más acceso tienen a las modernas tecnologías más cuestionan la minería. Por otra parte, si todo este revuelo creado en algunos países conlleva en la práctica (como consecuencia final) que los más pobres carguen con el peso principal de la actividad minera (como de hecho ocurre), pocas palabras pueden definir un hecho así. Digamos no obstante que estaríamos hablando de cuotas masivas de hipocresía ambiental (Oyarzún: 2011, 88).

Si bien es cierto, como Jenkins y Yakovleva lo señalan, “ el desarrollo sostenible en el contexto empresarial de la minería requiere un compromiso de una mejora ambiental y socioeconómica continua, desde la exploración de mineral, a través de la

operación, hasta el cierre”(citado en: Torres: 2013, 84), sin embargo, como hemos observado a lo largo de este capítulo, la práctica de la minería sostenible no sólo implica los esfuerzos de las empresas mineras, sino los correspondientes a los diversos actores de la sociedad, pasando por los organismos internacionales, los gobiernos, las instituciones, los actores empresariales, hasta llegar hasta la propia ciudadanía al referirnos a una necesaria educación informada sobre la actividad minera, así como a la formación de una opinión pública local, nacional e internacional informada y consciente sobre la imprescindibilidad de la minería.

En suma, recuperando de nuevo a Jenkins & Yakovleva, la actividad minera podría lograr los primeros grandes avances hacia la sustentabilidad, si se propusiera integrar al menos tres dimensiones del desarrollo sostenible, en principio, buscar el desarrollo económico y la inversión de los ingresos generados para asegurar el futuro desarrollo y la subsistencia a largo plazo de las comunidades; una segunda dimensión, promover la protección del medio ambiente intentando que el impacto ambiental de la explotación de los recursos naturales sea minimizado y el suelo rehabilitado, para permitir su posterior uso; y, finalmente, en la tercera dimensión, tiene que apostar por el sostenimiento de la cohesión social, así como, por minimizar los trastornos sociales y culturales con las comunidades, sobre todo a través del ejercicio del diálogo entre los interesados y la transparencia de la operación minera (Torres: 2013, 84).

### **1.3. La minería sostenible en México, avances y retos**

La minería es una actividad económico-productiva muy importante para México, tan sólo en 2014 la minería extractiva representó el 2.3% del PIB de nuestro país, mientras que la minería ampliada, sin considerar el petróleo, fue del 5.5%; de la misma manera, el sector minero es un importante generador de empleos, así, en junio de 2011 el sector minero registró un total de 305 mil 800 empleos directos, de ahí que, como lo señala Carlos Álvarez (2016, 23), Presidente de *México, Comunicación y Ambiente, A.C.*, sea “innegable y evidente que esta actividad significa un renglón muy importante para nuestra economía, tanto en empleos como en generación de riqueza y de divisas”.

En cuanto a la proyección internacional de la minería mexicana se advierte que en 2010 las exportaciones tuvieron un valor de 15 mil 610 millones de dólares americanos, lo que implicaría un crecimiento de 53% con respecto al año inmediato anterior. Para el año 2010 existían en México 286 empresas con capital extranjero, mismas que cuentan con 757 proyectos, de los cuales 615 están en proceso de exploración. De aquellas 286 empresas que cuentan con inversión extranjera directa, 210 tienen capital canadiense (Álvarez: 2016, 23). De acuerdo con el mismo Carlos Álvarez, “Somos ahora el quinto lugar como mejor destino para invertir en proyectos mineros, sólo después de Australia, Canadá, Chile y Brasil” (Álvarez: 2016, 27) y es que es importante considerar que la minería es el primer eslabón de la cadena productiva de muchas industrias, de la misma forma, la tendencia mundial se perfila hacia el uso de minerales para la creación de nuevas tecnologías. De ahí la importancia nacional e internacional del sector minero para el país.

La minería en México se ejerce bajo un marco legislativo e institucional sumamente laxo y permisivo, baste recordar que las concesiones mineras en nuestro país pueden durar hasta 50 años y ser renovadas por otros 50 años, con pocas restricciones para que ello no suceda; de la misma manera, nuestra legislación permite que las empresas extranjeras puedan constituirse con un 100% de capital extranjero y además cuentan con la ventaja de que el gobierno (hasta 2015) no cobra derechos sobre productos minerales (Álvarez: 2016, 27), recientemente se generó un impuesto especial para la minería, pero este se aplica sólo sobre utilidades.

Se podría deducir que las mineras extranjeras pueden llevarse todos los beneficios de la extracción de minerales, mientras que los costos sociales y ambientales serán absorbidos por nuestro país, por desgracia, como lo refieren Jorge y Roberto Oyarzún, “en los países ‘en desarrollo’ con bajos niveles de democracia efectiva y gobernanza, y un alto nivel de corrupción, lo más probable es que los costos corran a cargo de la población y que los beneficios vayan a parar a una minoría y salgan del país”( Oyarzún: 2011, 11).

Lo anterior, es en gran parte resultado de una política gubernamental que históricamente se ha orientado hacia la privatización y extranjerización del sector minero, no obstante que el artículo 27 de la Constitución Política haya establecido desde 1917 que corresponde a la Nación el dominio directo “de todos los minerales o sustancias que en vetas, mantos, masas o yacimientos, constituyan depósitos cuya naturaleza sea distinta de los componentes de los terrenos, tales como los minerales de los que se extraigan metales y metaloides utilizados en la industria” (Constitución Política: 2016).

De tal política gubernamental, el desarrollo de la pequeña minería se ha visto especialmente impactado. Francisco González-Sánchez y Antonio Camprubi nos recuerdan que la pequeña minería ha estado obligada a sobrevivir a la adversidad desde el periodo del Porfiriato, cuando se favoreció la entrada de compañías extranjeras al sector minero; más tarde, vendría otro cambio sustancial en la legislación, cuando en 1929 se propusiera “[...] el incremento de las obligaciones y costos impositivos para los concesionarios. Ello implicó un costo inasumible para muchos pequeños mineros, motivo por el cual se produjo un decremento significativo en el número de microempresas mineras”(González: 2016, 103); de nueva cuenta en 1930 sería promulgada una nueva Ley Minera que supondría otro golpe devastador para la pequeña minería al regresar a una política similar a la del Porfiriato (González: 2016, 103).

En años posteriores se realizaron cambios al artículo 27 de la Constitución, sin embargo, éstos no afectaron las prácticas monopólicas de las grandes empresas transnacionales, aunque si terminaron “afianzando y consolidando a una determinada fracción de la clase empresarial mexicana” (González: 2009, 103), de esta manera, hoy en día la pequeña minería representa en México tan sólo un 2.9% de la producción total (López: 2008, 21). Pese a las críticas que se hacen en la actualidad a la pequeña minería y la minería social en torno a que éstas explotan la riqueza nacional sin que su contribución a la economía nacional del país respectivo sea de importancia, habría que advertir que en los últimos años existe una revalorización de la pequeña minería y de la

minería social, puesto que éstas ofrecen enormes potencialidades en cuanto al desarrollo local.

En la actualidad existen pocos estudios que analicen la relación costo-beneficio de impulsar la pequeña minería y la minería social, sin embargo, Felix W. Hruschka y Michael Priester señalan que para estos momentos es posible hablar ya de beneficios geológico-mineros, sociales y macro-económicos. Con respecto a los primeros se advierte que la pequeña minería y la minería social posibilitan la explotación de yacimientos más pequeños, la realización de prospecciones exitosas y sin grandes costos, así como la explotación de minas abandonadas o de cola; en cuanto a los beneficios sociales se advierte la cualificación de la mano de obra, la consideración de los derechos de las comunidades residentes y las comunidades indígenas para la operación, la generación de fuentes de ingreso en la localidad sede, así como la creación de puestos de trabajo directos e indirectos en pequeña escala. (Hruschka: 2016)

En cuanto a los beneficios macro-económicos, los autores señalan la movilización de recursos nacionales; el recaudo de impuestos en pequeña escala; el efecto activador para la balanza de pagos; contribución al desarrollo económico regional por circulación monetaria, de inversiones, de demanda de productos y prestaciones de servicio; evita el éxodo rural; promueve el desarrollo de la infraestructura; la oferta de producto se vuelve relativamente estable aún en caso de fluctuaciones del mercado; aporta en la diversificación de productos y de la exportación; promueve la sustitución de importaciones; entre otras serie de ventajas.

Ahora bien, en el caso de México la minería social ha sido explorada, aunque muy poco, en comunidades agrarias o ejidales. Según lo advierte un informe del Centro de Estudios de Competitividad:

“...es un caso especial de pequeña y mediana minería en la que intervienen comunidades ejidales y agrarias para quienes la actividad minera es el único ingreso. La minería social tiene un fuerte componente de trabajo manual, está dirigida a la explotación, beneficio o comercialización de minerales no metálicos, sobre todo rocas dimensionales (mármol, granito, cantera, ónix). La explotación de este tipo de minerales es adecuada para el sector social porque se trata de minerales no concesibles (exentos

del pago de derechos y obligaciones mineras), no se requieren grandes trabajos de exploración, las inversiones asociadas, los procesos de beneficio y de comercialización son mucho menos complejos que los del segmento de minerales metálicos. La minería social es un tipo de organización que trae amplios beneficios a las comunidades más alejadas de las ciudades. El número de sus integrantes es variable: existen empresas de este tipo desde 6 socios ejidatarios hasta más de 150.” (2004, 56)

Sin embargo, nuestro país destaca por la práctica de la pequeña minería sobre todo en el caso de los agregados pétreos; tales materiales se exceptúan en la Ley Minera como no concesibles, salvo que requieran trabajos subterráneos para su extracción, de esta manera, “En palabras sencillas, un mineral o sustancia considerada como ‘no concesible’ está exenta de pago por derechos mineros, así como de las disposiciones de la Ley Minera, sin embargo, su regulación es de competencia estatal. El mineral es patrimonio del dueño del terreno, siempre que su extracción sea por tajo o en cantera, sistema conocido como ‘a cielo abierto’” (Centro de Estudios de Competitividad: 2015, 6).

Con respecto al ramo de los agregados pétreos en México, en general, se advierte que estos establecimientos se interesan más por la producción que por la promoción de ventas y en la mayoría de los casos, el propietario es al mismo tiempo artesano y trabaja junto con sus empleados. Este tipo de proyectos suelen enfrentar “problemas de cuantificación de sus reservas, desconocimiento de la calidad de sus minerales, insuficiencia de capitalización y de recursos financieros por falta de garantías; carencia de asesoría técnica y ausencia de capacitación para la exploración, explotación, beneficio y comercialización de los minerales” (Dirección General de Desarrollo Minero: 2015, 56).

La mayor parte de estos proyectos se encuentran en zonas cercanas a los centros de desarrollo urbano y de ampliación de la red carretera, lo que resulta lógico por ser un producto destinado principalmente para construcción; “En la mayoría de las operaciones productivas, la extracción de agregados pétreos [...] se realiza mediante el uso de sustancias o equipos de fragmentación. Sin embargo, carecen de un plan o método de minado y restauración, se cuenta con maquinaria para los procesos generalmente en mal estado por falta de un programa de mantenimiento y de administración de recursos” (Dirección General de Desarrollo Minero: 2015, 7).

En el tema de financiamiento, existen productos financieros de la banca comercial, por su parte la Coordinación General de Minería y a través del Fideicomiso de Fomento Minero tienen diferentes programas de apoyo, entre ellos el Programa de Apoyo a Exploración (PAE), así como esquemas de créditos directos y créditos mediante intermediarios financieros a tasas relativamente competitivas (Dirección General de Desarrollo Minero: 2015, 7).

Así, resulta evidente que la pequeña minería en general, y, en lo particular, la pequeña minería de agregados pétreos, enfrenta enormes dificultades pese a la enorme cantidad de beneficios que puede ofrecer en términos de la promoción y dinamización del entorno económico y social inmediato, aunque es importante señalar que también enfrenta enormes retos en materia ambiental, puesto que no se cuenta con las facilidades necesarias para invertir en tecnología e implementación de procesos enteramente sostenibles.

Por lo anterior, resulta de fundamental importancia comenzar a impulsar la pequeña minería y a practicar una minería sustentable o sostenible en nuestro país y es que a veces se olvida que, en términos generales, así lo establece la Carta Magna, en su artículo 25, párrafo primero, “corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para que éste sea integral y sustentable [ y ] fortalezca la soberanía de la nación y su régimen democrático” (Constitución Política Mexicana: 2016), más adelante, en este mismo artículo se advierte que el Estado se apoya en los criterios de equidad social y productividad que fundamentan la actividad del sector privado y social, aclarando que éstos se someten al interés público, al beneficio general y a la conservación del medio ambiente. Así, tanto la promoción de la minería sostenible como el impulso del desarrollo de la pequeña minería, dado su potencial en cuanto al beneficio social y ambiental que ofrece, resultan ser por tanto una obligación del Estado.

### **Reflexiones finales**

De acuerdo con lo que se ha planteado en este capítulo, la minería en México debe practicarse en su totalidad bajo los criterios que se correspondan con la práctica de una

minería sostenible y ello depende no sólo de la responsabilidad empresarial, sino de la generación del marco institucional que desarrolle mecanismos de evaluación o vinculación idóneos y efectivos para que la multiplicidad de los actores involucrados en la actividad tengan referentes claros para promover e implementar una práctica sostenible de la minería, como lo advierte Agustín Torres y *Et. Al.*:

La evaluación de la sustentabilidad empresarial de proyectos mineros se presenta entonces como una herramienta de incuestionable valor para el tomador de decisiones. Es evidente que, a partir de la aplicación de algún instrumento para la medición de los disímiles aspectos de las diferentes dimensiones, se pueden identificar las mejoras tecnológicas, así como los elementos críticos, dentro de la actividad, que necesitan tenerse en cuenta por los decisores para la gestión de la empresa minera. (2013,88)

Tales mecanismos de evaluación podrían desempeñar una triple función, en primer lugar, servirían a la empresa para mejorar sus proyectos al brindarle la oportunidad de identificar los componentes y variables que se tuvieran que corregir o fortalecer, ello trabajando siempre bajo una visión de responsabilidad social corporativa; en segundo lugar, les servirían a los gobiernos para redireccionar o reforzar políticas públicas para hacerlas más eficientes; y, en tercer lugar, servirían a nivel comunitario como un documento orientador, de transparencia y trabajo participativo, por el cual se conocería cómo trabaja verdaderamente el proyecto minero. (Torres: 2013,89)

Evaluar el funcionamiento de los proyectos mineros desde un enfoque sustentable nos permite observar su desarrollo de manera integral al estar en posibilidades de considerar varias de sus dimensiones para entonces poder realizar una toma de decisiones integral y con un alto nivel de compromiso social y medioambiental, sin menguar el aspecto de la rentabilidad, como bien concluye Agustín Torres y *Et. Al.*, “La evaluación de la sustentabilidad de un proyecto empresarial requiere de un análisis holístico que permita evaluar, de manera multicriterial, las diferentes decisiones que puedan tomarse encaminadas a este propósito” (Torres: 2013, 91). Es por ello, que a lo largo de esta tesis se intentará aproximarse hacia un diagnóstico integral y multidimensional que permita observar con claridad las variables y componentes que pudieran ser corregidos y fortalecidos para convertir el caso de estudio, ya evaluado, en un proyecto sustentable.

## CAPÍTULO II.

### GENERALIDADES DEL PROYECTO

#### 2.1. El Estado de México y la importancia de la actividad minera

##### *Actividades económicas y productivas*

Las actividades económicas mexiquenses contribuyen con un 9.5% al Producto Interno Bruto (PIB) de México, lo que le posiciona como la segunda economía del país, sólo detrás de la Ciudad de México. Las actividades económicas más destacadas del Estado de México y de mayor peso en el PIB estatal son: en un 28% por la industria manufacturera de maquinaria y equipo, de electrónicos, automotriz, textil y maquiladora; un 57% por el sector servicios, conformado en su mayoría por el comercio, hoteles, restaurantes, servicios financieros y actividades inmobiliarias; y el 15% restante se compone de las demás actividades económicas de la entidad. (Economía de Estado de México: 2016, párr.1)

En cuanto a las actividades primarias podemos advertir que éstas aportan tan solo el 1.60% del producto interno bruto estatal, siendo muy importante la producción de clavel, crisantemo, rosa. En esta entidad también se producen nopal, tuna, xoconostle, zanahoria, papa, chile, calabaza, frijol, tomate verde, chícharo, maíz en grano, cebada y trigo. Además de ser un estado que a pesar de carecer de litoral (acceso al mar) se posiciona como el primer productor acuícola nacional de trucha y carpa (Instituto Nacional de Estadística y Geografía: 2016, 1).

Ahora bien, en relación a las actividades económicas secundarias, la minería cubre el 0.43% del producto interno bruto estatal, mientras que las actividades económicas de la construcción, electricidad, agua y gas cubren un 7.55%; en tanto que las industrias manufactureras representan un 26.89% para este sector (Instituto Nacional de Estadística y Geografía: 2016, 1).

Finalmente, en el sector de las actividades económicas terciarias, el comercio, restaurantes y hoteles aportan al producto interno bruto estatal un 20.13%; transportes,

correos y almacenamiento aportan 6.95%; los servicios financieros e inmobiliarios 15.65%; los servicios educativos y médicos 9.50%; seguido por las actividades del gobierno con un 4.38%; y, por último, otros servicios con un 6.92% (Instituto Nacional de Estadística y Geografía: 2016, 1).

El tamaño de la economía mexiquense le coloca a la par de otras grandes economías latinoamericanas. En la entidad operan el 11% de las empresas de todo México, sus grandes parques industriales y la gran fuerza exportadora de sus productos y artesanías, le confirman su posición como una gran potencia industrial en nuestro país (Instituto Nacional de Estadística y Geografía: 2016, 1).

#### *El desarrollo minero en el Estado de México*

Los minerales no metálicos, en tiempos recientes, se han convertido en los de mayor importancia en el estado, “[...] alcanzando en los últimos años un crecimiento sostenido de hasta el 20% anual [...] Los minerales no metálicos de mayor importancia y contribución al PIB minero del estado fueron los materiales de agregados pétreos como arena y grava, caliza, tezontle, y tepetate. Otros, de menor importancia, son la dolomía, tepojal, arcillas y diatomita” (Servicio Geológico Mexicano: 2014, 2).

## VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN MINERA ESTATAL 2009-2013 (Toneladas)

PRODUCTOS	2009	2010	2011	2012	2013 /p
<b>Metálicos</b>					
ORO (kg)	802	783	861	1,080	1,322
PLATA (kg)	157,250	158,731	164,090	181,389	212,8320
CADMIO	7	-	-	-	-
COBRE	1,874	1,724	1,889	2,472	2,675
PLOMO	7,860	7,888	7,200	7,705	8,839
ZINC	35,072	35,562	37,371	39,685	43,586
<b>No Metálicos</b>					
ARCILLAS	859,980	786,660	830,560	1,054,190	969,284
ARENA 1/	19,169,690	17,382,249	15,532,610	21,093,837	13,940,882
CALCITA 2/	4,590	2,380	2,720	2,890	2,800
CALIZA	3,036,400	3,684,065	2,915,510	4,302,186	3,408,919
CANTERA	1,581,669	1,410,614	855,275	1,575,432	909,999
GRAVA 3/	8,485,230	7,411,803	6,505,820	8,143,615	6,877,523
ROCAS DIMEN.	10,920	10,080	10,500	11,060	17,400
TEPETATE	1,087,250	970,787	953,430	1,157,051	1,942,633
TEPOJAL	488,040	428,330	504,840	530,131	627,253
TEZONTLE	2,110,204	2,103,509	1,763,593	4,236,918	5,965,422

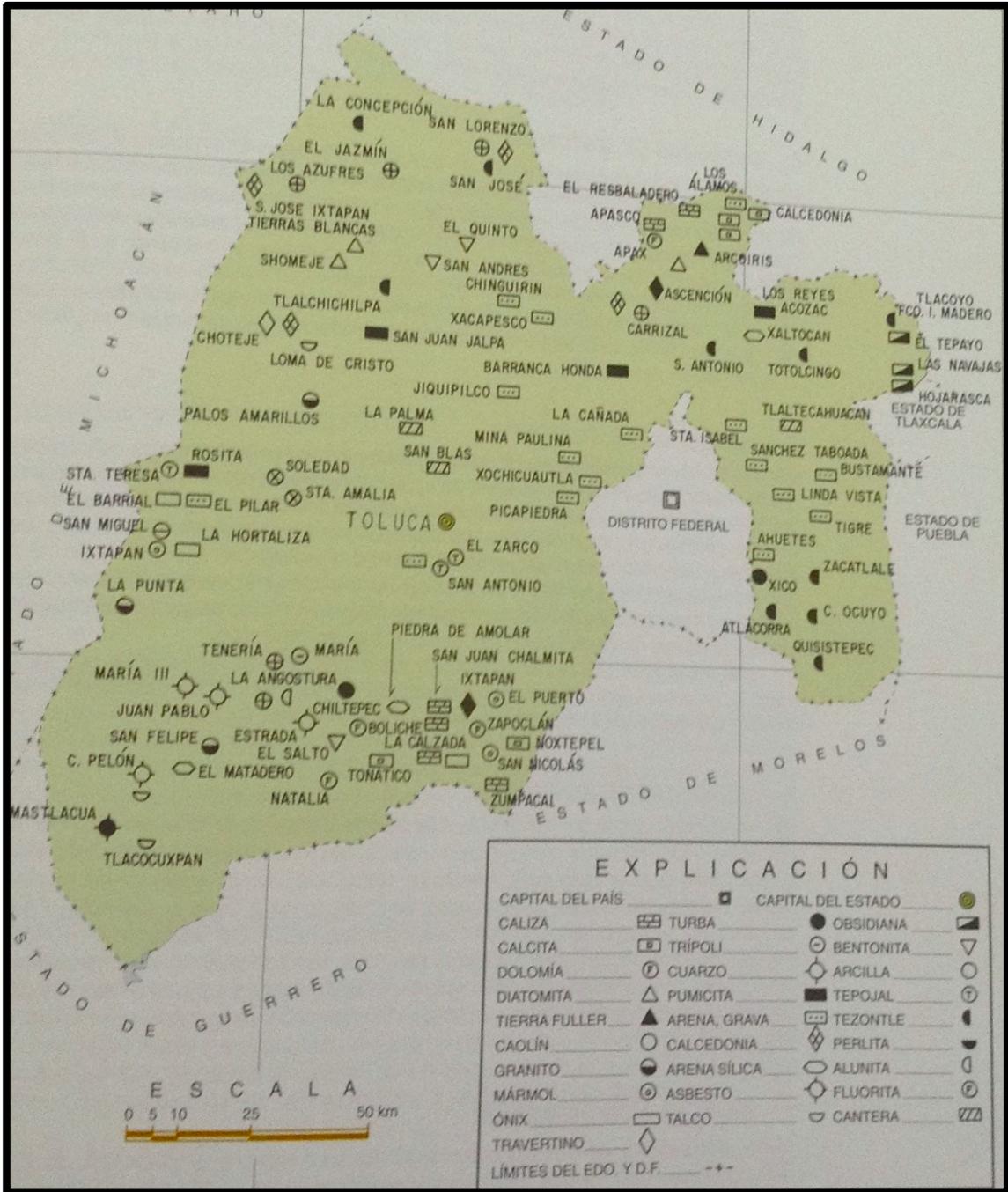
Tabla 4. Fuente: Servicio Geológico Mexicano, cuadro tomado de Panorama Minero del Estado de México, (2014) del Servicio Geológico de México.

## PARTICIPACIÓN EN VOLUMEN Y VALOR EN LA PRODUCCIÓN NACIONAL

### NO METÁLICOS 2013

PRODUCTO	VOLUMEN PRODUCCIÓN NACIONAL (t)	VOLUMEN PRODUCCIÓN ESTATAL (t)	VALOR PRODUCCIÓN NACIONAL (mdp)	VALOR PRODUCCIÓN ESTATAL (mdp)	PORCENTAJE
ARENA 1/	92,374,443	21,093,837	10,209	2,331	22.83
GRAVA 3/	71,870,834	8,143,615	8,187	927	11.33
ARCILLAS	8,436,673	1,054,190	944	117	12.49
CALIZA	55,725,761	4,302,186	4,014	309	7.72
R. DIMENSION.	3,820,517	11,060	4,367	12	0.28
CALCITA 2/	4,694,156	2,890	2,001	1	0.06

Tabla 5. Fuente: Servicio Geológico mexicano, cuadro tomado de Panorama Minero del Estado de México, (2014) del Servicio Geológico de México.



**Imagen 2: Ubicación de zonas de explotación en el Estado de México, tomado de “Monografía geológico-minera del Estado de México (2014) del Consejo de Recursos Mineros.**

Es importante destacar que en los últimos años, la minería de no metálicos en el Estado de México ha tenido un gran auge debido al obligado paralelo desarrollo de este sector con respecto al de la construcción. En los últimos años, la construcción ha ido en crecimiento a la par del desarrollo de la región y la urbanización de las diferentes

comunidades cercanas a la capital del estado. En parte la demanda de los materiales no metálicos ha crecido en las últimas décadas debido a que el Gobierno ha generado nuevas obras de infraestructura y construcción en el estado, utilizando como base los materiales no metálicos, en específico los agregados pétreos. Es así como los agregados pétreos han adquirido una gran importancia en el mercado a nivel estatal, convirtiéndose en una de las actividades de extracción de materiales no metálicos de mayor producción en el estado de México.

## 2.2. Municipio Calimaya de Díaz González, características del entorno

### *Entorno físico*

El clima en el municipio de Calimaya de Díaz González se clasifica como templado lluvioso, con lluvias predominantes en verano. Los meses de lluvia son de mayo a septiembre; mientras que en los meses de junio a septiembre se suscitan incrementos de humedad que varían de 28.01% a 48.14% con precipitaciones máximas de 190 mm. La época de heladas se presenta en los meses de noviembre a enero, ocasionalmente en mayo (heladas tardías) y en septiembre (heladas tempranas) (H. Ayuntamiento de Calimaya; 2007, 13).

El municipio se encuentra dentro de tres zonas climáticas: Zona Templada, con una superficie que representa el 63.49% de la superficie municipal; la zona Semifría que abarca el 36.21% del territorio; y por último, la zona Fría, que sólo cubre una superficie del 0.30% del territorio municipal (H. Ayuntamiento de Calimaya; 2007, 13).

Temperatura baja	4 C°
Temperatura media	12C° a 14 C°
Temperatura alta	22 C°
Precipitación anual	800 a 1,500 mm

**Tabla 6: elaboración propia, datos tomados de “Modificación del Plan de Desarrollo Municipal de Desarrollo Urbano de Calimaya” ( 2007) de H. Ayuntamiento de Calimaya**

La superficie del Municipio es regada por los arroyos Las Cruces, El Ojo de Agua, Las Palmas, entre otros. Destaca el Río Grande como corriente permanente. Por otro lado, cabe destacar que en el municipio, por su ubicación geográfica, se localizan mantos freáticos a 80 centímetros de profundidad (H. Ayuntamiento de Calimaya; 2007, 15).

### *Entorno biológico*

La flora del municipio de Calimaya de Díaz González se integra en gran medida por la siguiente vegetación:

- Bosques de encino, de oyamel y de pino
- Pradera natural e inducida
- Existencia árboles frutales de aguacate y durazno, así como, una mínima vegetación de nopales

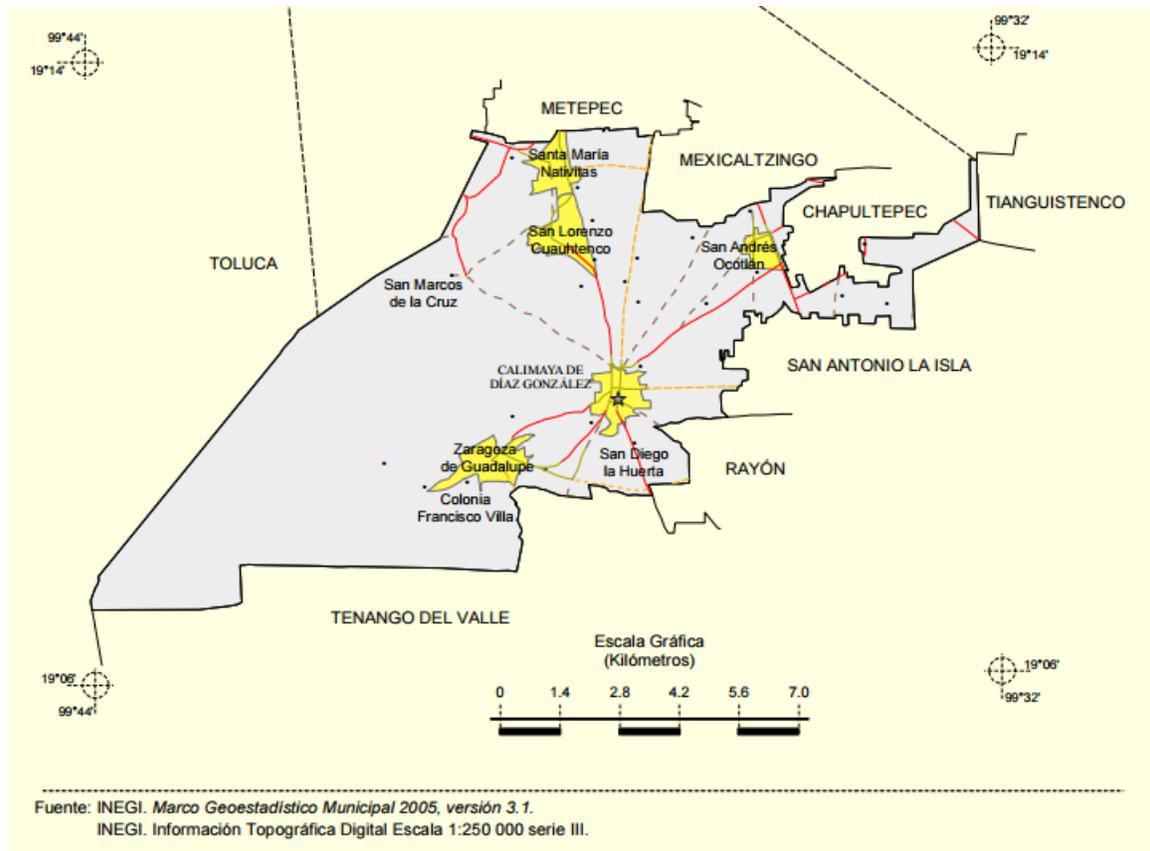
Ahora bien, con respecto a la fauna que existe en el municipio de Calimaya de Díaz González, el propio Ayuntamiento del municipio advierte que:

El municipio de Calimaya, en los últimos cuarenta años, ha cambiado su paisaje natural, ocasionado en su gran mayoría por impactos antropogénicos sobre la cubierta vegetal original, que ha influido en la desaparición del hábitat de las especies animales, tales como el venado que habitaba en las faldas del volcán, el gato montés y tipos de águilas y lechuzas. Lo que a su vez ha inducido en el desplazamiento de las mismas, quedando sólo algunos reductos en las barrancas, las cuales cumplen una función de refugio y corredores biológicos para la fauna local. (2007, 47)

### *Entorno social*

De acuerdo con los datos estadísticos del INEGI de 2010, el municipio tiene una población total de 47,033 habitantes, con un total de viviendas habitadas de 10,694; el municipio cuenta con 31 localidades y tiene una extensión territorial de 624.9 Km<sup>2</sup> (H. Ayuntamiento de Calimaya; 2007, 49-53).

Como ya se mencionó anteriormente, la extensión territorial de Calimaya de Díaz González es de 624.9 Km<sup>2</sup>, tal extensión se presenta a continuación considerando la distribución territorial que tiene el municipio:



**Imagen 3: Extensión territorial de Calimaya de Díaz González imagen tomada de “Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Calimaya, México (2009) de INEGI.**

Las principales actividades que se realizan en el municipio corresponden al sector primario: agricultura y ganadería. Otras actividades que realiza la población son la elaboración de tabique y tabicón, así como el comercio y la minería (extracción de agregados pétreos).

### 2.3. Descripción del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Calimaya de Díaz González, localidad que se ubica a 13.9 km. de la capital del Estado de México, geográficamente, se encuentra en el paralelo 99° 37' 02" de longitud oeste y en el paralelo 19° 10' 25" de latitud norte. Limita al norte con los municipios de Toluca, Metepec, Mexicaltzingo y Chapultepec; al oriente con Tianguistenco y San Antonio la Isla; al occidente con Toluca; y al sur con Tenango del Valle y Rayón. (INEGI: 2009, párr. 1)

Este proyecto minero comprende tres bancos de explotación, tres plantas trituradoras móviles y un área donde se ubican cinco plantas fijas de clasificación y trituración de material. Es importante advertir que este proyecto de investigación sólo considerará la evaluación y diagnóstico de uno de los bancos, involucrando además dos plantas móviles y el área de las plantas fijas.

La planta de Materiales Pétreos JAEM se ubica a 15 minutos de la cabecera municipal al Noreste del municipio de Calimaya de Díaz González, entrando por la calle Miguel Hidalgo, con dirección hacia el sur (ruta mostrada en imagen 4).

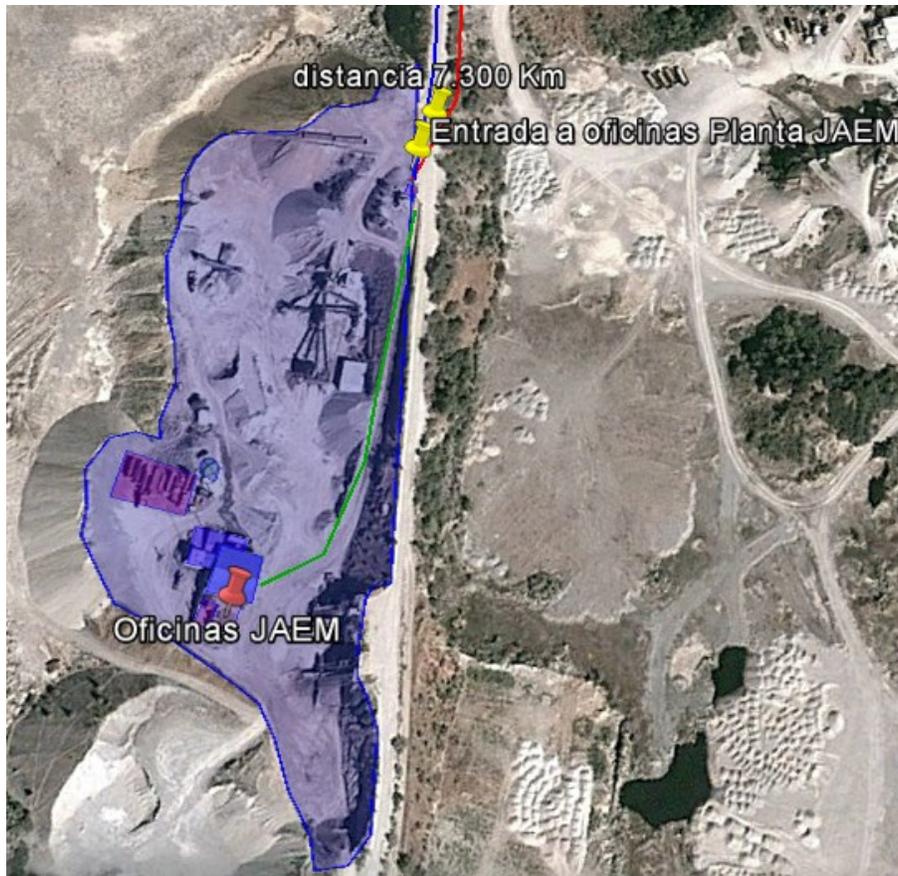


**Imagen 4: Mapa de ubicación del poblado y de la planta JAEM, Imagen tomada de: Google Earth.**

La empresa tiene varias vías de comunicación, ya que se encuentra cercana a la cabecera municipal de Calimaya de Díaz González, las vías de comunicación más importantes resultan ser la calle Miguel Hidalgo y la avenida Javier Ibarra; de la misma manera, se localiza también cercano a la carretera federal número 55 Toluca – Tenango de Arista.

En cuanto a los caminos y accesos al área de plantas y bancos, por principio, se puede señalar que se tiene un camino propio para el acceso principal hacia el área de las plantas y oficinas de la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM, el cual inicia en la calle Miguel Hidalgo del Municipio de Calimaya de Díaz González y

corre hasta la entrada de la empresa, éste camino tiene una longitud de 180 m., y cuenta con una pendiente de 10° de inclinación y 4 m. de amplitud.

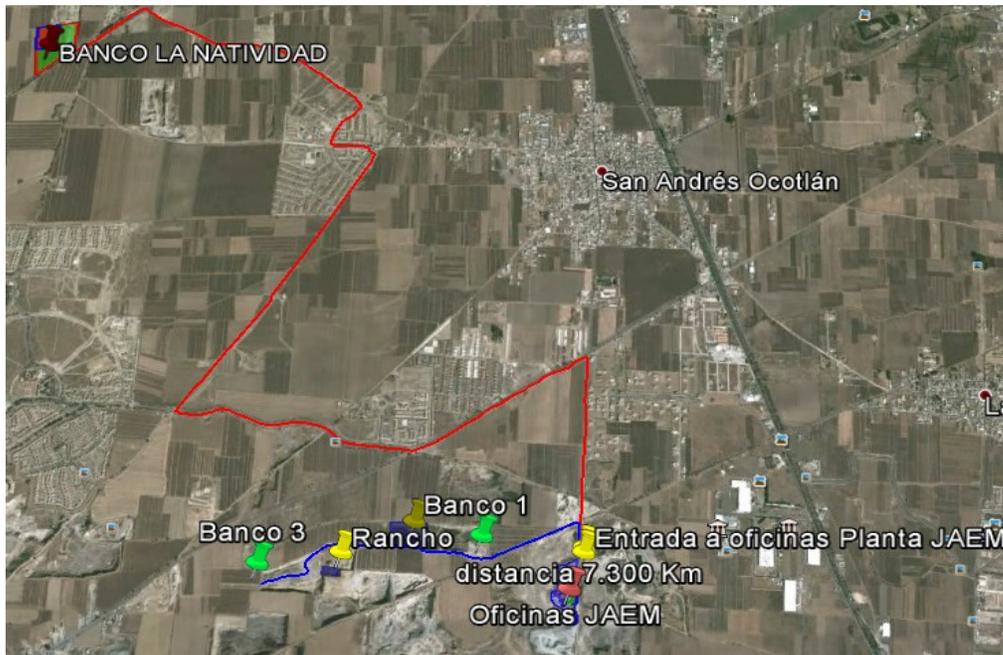


**Imagen 5: Ruta (en color verde) del acceso principal a las oficinas de la Planta Procesadora de Materiales pétreos JAEM, Imagen tomada de: Google Earth**

Existen dos caminos de terracería, uno de ellos sirve de guía hasta el acceso al banco 1 continuando hasta llegar al banco 3 (ruta en color azul en la imagen siguiente), siendo esta ruta de carácter ejidal. El tramo que lleva al banco 1 tiene una longitud de 800 m., mientras que el tramo que lleva del banco 1 al banco 3 tiene una longitud de 1800 m., ambos con una amplitud cuatro metros.

El camino que lleva al banco 2, conocido como banco “La Natividad”, (banco de explotación que se investigará) tiene una longitud de 7300 m. (ruta en color rojo en la imagen número 6) y el recorrido se realiza por caminos de terracería (ejidales) y por caminos de asfalto (calles del municipio). Al existir una gran distancia entre este banco y el área de plantas y oficinas de la empresa, se optó por colocar plantas móviles

dentro del banco, evitando la saturación de las plantas fijas de clasificación de material, así como el trabajo forzado de las mismas. Destaca también que el material obtenido de este banco sólo necesita ser clasificado en diferentes granulometrías, por lo que los productos finales no necesitan pasar por un proceso de trituración como el que se tiene en el área de plantas.



**Imagen 6:**  
**Ruta en color azul: Camino de acceso al banco 1 y 3**  
**Ruta en color rojo: Camino de acceso al banco 2**  
**(Imagen tomada de: Google Earth)**

La única manera para llegar hasta las oficinas de Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM en cuanto a transporte es mediante el uso de auto particular, ya que los medios de transporte público no llegan hasta la mina, los trabajadores que no cuentan con transporte propio, llegan a la planta caminando.

Ahora bien, en relación a la infraestructura con la que cuenta la empresa, podemos comenzar por señalar el área de las plantas de beneficio. Dicha área comprende una gran extensión, de esta manera, las ocho plantas, tres móviles y cinco fijas, se encuentran distribuidas según se muestra en la siguiente imagen:

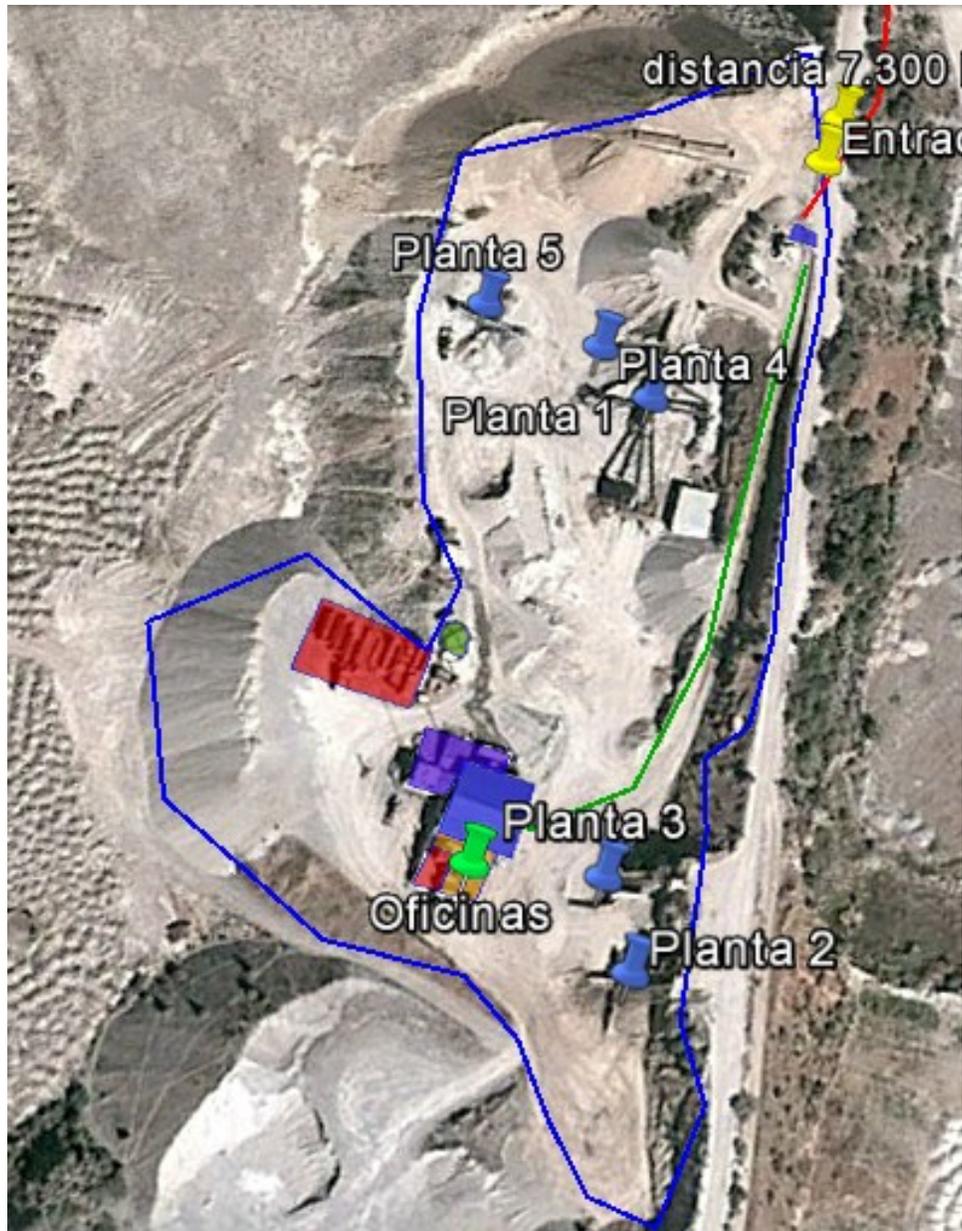
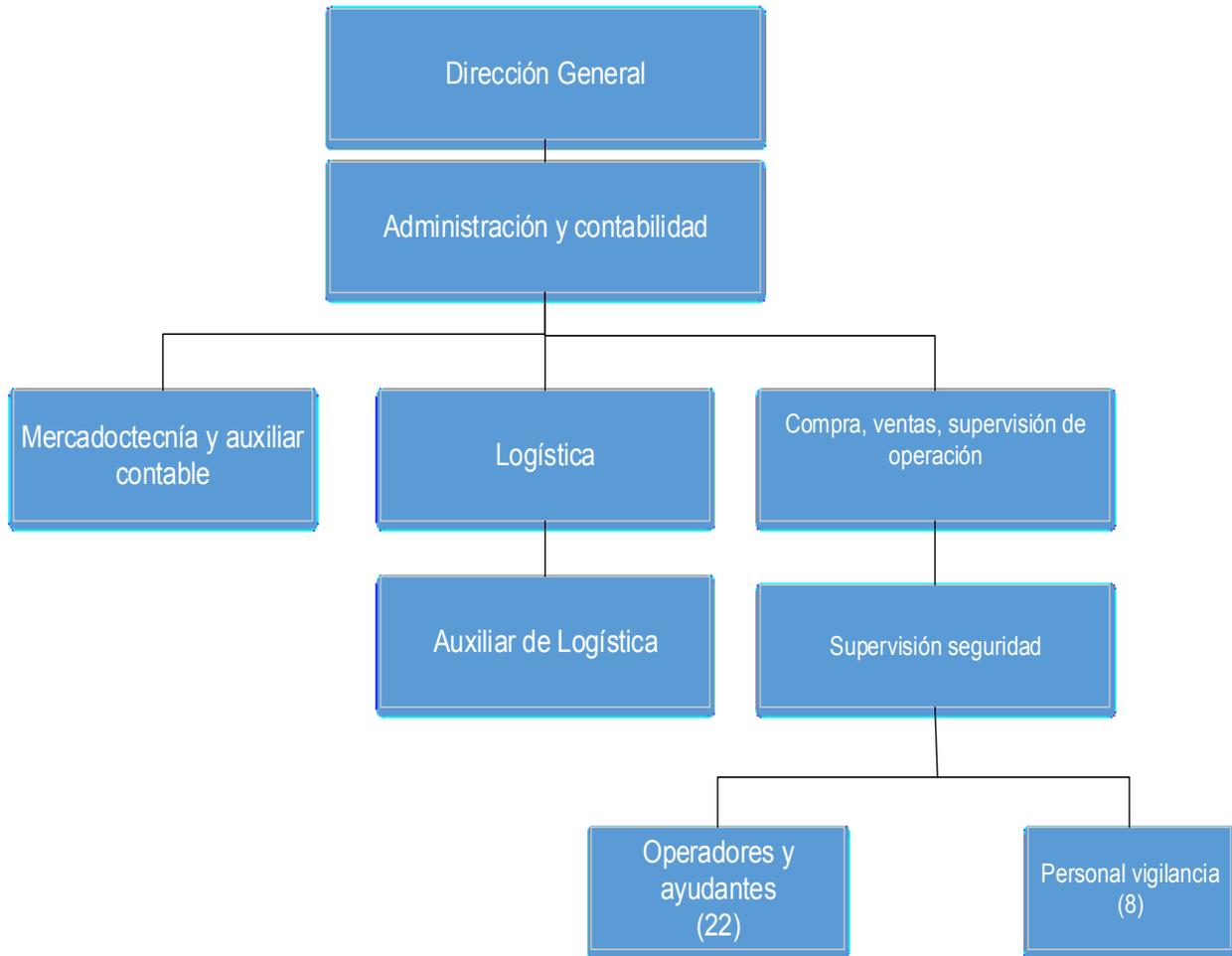


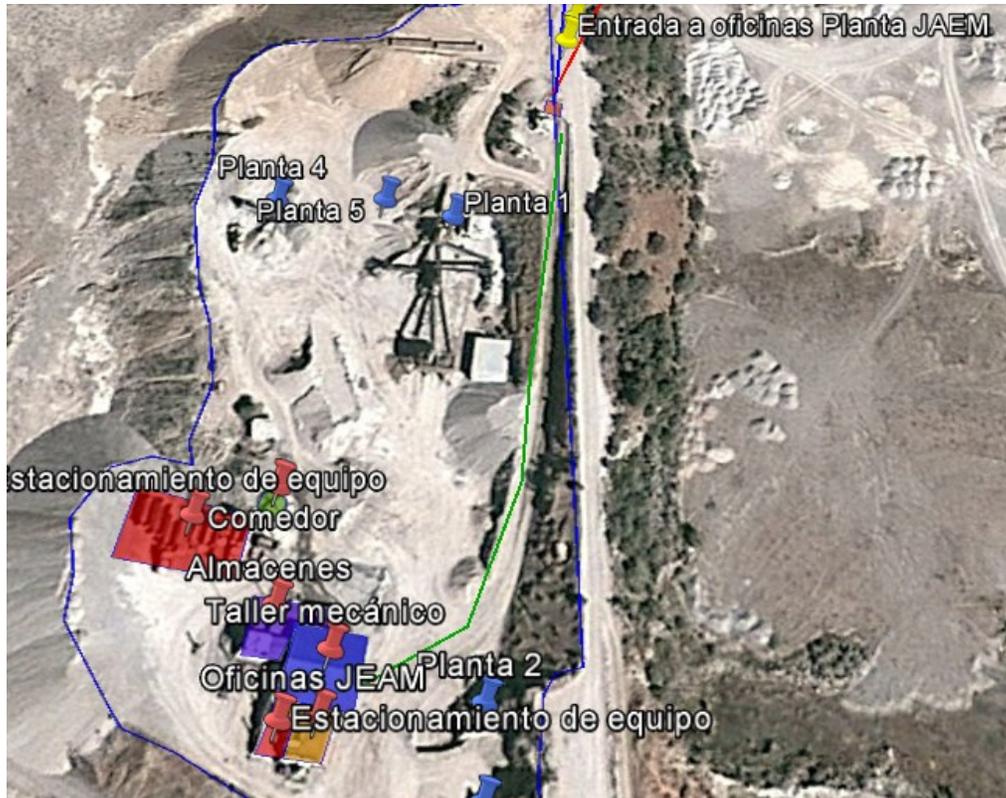
Imagen 7: Distribución de las plantas de beneficio, imagen tomada de: Google Earth

En el área de oficinas se ubica el personal administrativo, logístico y de ventas; esta área cuenta con una superficie de 145 m<sup>2</sup> en un edificio de dos plantas. Las áreas de oficinas cuentan con servicios telefónicos, luz, agua y drenaje.

Por otra parte, la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM S.A. de C.V. organiza a su personal con base en la consideración del siguiente organigrama de responsabilidades, puestos y trabajo a desempeñar:



Otra áreas de la planta son para el taller mecánico (335 m<sup>2</sup>), el área de comedor (33 m<sup>2</sup>), el área de Almacenes (210 m<sup>2</sup>), las áreas de Estacionamiento para equipos (área 1= 530 m<sup>2</sup>, área 2= 60 m<sup>2</sup>) y la caseta de vigilancia (15 m<sup>2</sup>). En la imagen 8 se expresa de manera gráfica la distribución de dichas áreas.



**Imagen 8: Distribución de las áreas de la empresa Planta de Agregados pétreos JAEM, imagen tomada de: Google Earth.**

Además se cuenta con dos áreas de restauración que fueron explotadas y ahora son utilizadas como áreas de uso agrícola y de recreación, dichas áreas se presentan en la imagen 9:



**Imagen 9: Ubicación de áreas de uso agrícola y recreación explotación, imagen tomada de: Google Earth.**

## 2.4. Servicios y maquinaria disponibles

### *Servicios (energía eléctrica y suministro de agua)*

El suministro de energía eléctrica es proporcionado por la Comisión Federal Electricidad (CFE) mediante una línea de tensión media de 13.2 kvolts, con una descarga de 440 volts, la cual es utilizada para el funcionamiento de la planta de beneficio principal. Se cuenta con un sistema de transformadores eléctricos para proporcionar electricidad con una tensión de 120 volts para oficinas y almacén.



**Imagen 10: Suministro de energía eléctrica en la planta JAEM  
(Fotografía propia)**

El consumo de agua en la empresa es relativamente bajo, ya que sólo se usa para consumo y necesidades humanas, por ello la red de suministro es la proporcionada por el municipio. La empresa también cuenta con su propia red de drenaje, la cual está conectada al sistema de drenaje del Municipio de Calimaya de Díaz González.

### *Maquinaria y equipo disponible*

Los equipos que se tienen en operación son:

Equipos de cargado
Cargador Frontal, CAT, modelo 950G, Cap. cucharón 3.1 m <sup>3</sup> , potencia 180 hp.
Excavadora, CAT, Modelo 322B, Cap. cucharón 1.1 m <sup>3</sup> , potencia 153 hp.
Excavadora, CAT, Modelo 320D, Cap. cucharón 1 m <sup>3</sup> , potencia 140 hp
Cargador de Ruedas, CAT, Modelo 950G, Cap. cucharón 3.1 m <sup>3</sup> , potencia 180 hp.
Excavadora, CAT, Modelo 330C, Cap. cucharón 1.4 m <sup>3</sup> , potencia 244 hp.

**Tabla 9: Equipos de cargado, cuadro de elaboración propia.**

Equipos de Acarreo
Semi-Remolque tipo volteo, Vilchis, Capacidad 24-2 m <sup>3</sup> , Express, Año 2012
Semi-Remolque tipo volteo, Vilchis, Capacidad 24-2 m <sup>3</sup> , Express, Año 2012
Semi-Remolque tipo volteo , Vilchis Apolo, Capacidad 24-2 m <sup>3</sup> , Año 2011
Semi-Remolque tipo volteo , Vilchis Apolo, Capacidad 24-2 m <sup>3</sup> , Año 2011
Tractocamión Kenworth, Modelo 2008, tipo T800B, potencia 410 hp.
Tractocamión Freightliner CL20 Columbia 6x4, Año 2008, potencia 450 hp.
Tractocamión Kenworth, T660, Modelo 2009, potencia 400 hp.
Semi-Remolque tipo volteo , Vilchis Apolo, capacidad 24-2 m <sup>3</sup> , Año 2010
Semi-Remolque tipo volteo, Vilchis Apolo, capacidad 24-2 m <sup>3</sup> , Año 2010
Tractocamión Kenworth, T660, Modelo 2009, potencia 400 hp
Tractocamión Kenworth, T660, Modelo 2009, potencia 400 hp.

Semi-Remolque tipo volteo, Vilchis Apolo, Capacidad 30-3m <sup>3</sup> , Año 2008
Semi-Remolque tipo volteo, Vilchis Apolo, Capacidad 30-3m <sup>3</sup> , Año 2009
Semi-Remolque tipo volteo, Vilchis Apolo, Capacidad 30-3m <sup>3</sup> , Año 2008
Freightliner 120, volteo, Modelo 1993, Motor 43143250, potencia, 370 hp.
Semi-Remolque tipo Dolly, Vilchis, Capacidad 20-2m <sup>3</sup> , Año 2010

**Tabla 10: Equipos de acarreo, cuadro de autoría propia**

Equipos de Cribado
Powerscreen doble deck, Modelo Chieftain 1400w, capacidad 153 m <sup>3</sup> /h (400 Ton/h)
Criba Vibratoria, Finlay 393CV, capacidad 153 m <sup>3</sup> /h (400 Ton/h),

**Tabla 11: Equipos de cribado, cuadro de autoría propia.**

Equipos Auxiliares
Nissan NP300 4X2 Camión de servicio, año 2011
Nissan NP300 chasis cab. T/M Diesel, Modelo 2009
Explorer, Abedul 247, Modelo 2007

**Tabla 12: Equipos Auxiliares, cuadro de elaboración propia.**

## 2.5. Funcionamiento de las plantas trituradoras

Como se ha señalado ya con anterioridad en la descripción del proyecto, la empresa cuenta con tres plantas móviles y un área donde se ubican cinco plantas fijas de clasificación y trituración de material. Todas estas plantas por vía seca, es decir, procesan materiales pétreos sin intervención de agua o lavado alguno.

Con respecto al funcionamiento de las plantas, es importante señalar que debido a la amplia variedad de aplicaciones con las que cuentan los agregados pétreos, así como al distinto enfoque que cada productor o técnico le da a su planta dentro de un sector poco normalizado, no existen esquemas fijos de tratamiento. De esta



**Imagen 24: Fotografía de planta de beneficio JAEM  
(Fotografía propia)**

manera, en función del producto, de las especificaciones requeridas y de la naturaleza de la explotación y del material es que se diseña el proceso más adecuado. Sin embargo, cualquier planta está basada en combinaciones de los siguientes procesos (López J.: 2003, 315):

- ✚ Trituración (primaria, secundaria, terciaria): Mediante trituradores de mandíbulas, gravilladoras, conos, trituradores de impacto, de martillos, etc.
- ✚ Clasificación (primaria, secundaria, terciaria): Con cribas estáticas o vibrantes.
- ✚ Operaciones auxiliares: Alimentación, transporte, almacenado, etc.

En la empresa “Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM” las ocho plantas mencionadas son utilizadas como a continuación se describe:

<b>Planta No.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Productos</b>
1	Clasificación de Base por Gravedad	Greña
		Tepetate
2	Clasificación por Gravedad	Grava
		Arena
3	Clasificación por Gravedad	Grava Normal
		Arena
		Piedra Bola
4	Trituración	Grava triturada
		Arena Triturada
		Granzón
5	Planta Móvil	Arena
		Grava
		Granzón
6	Planta Móvil	Arena
		Grava
		Granzón
7	Planta Móvil	Arena
		Grava
		Granzón
8	Planta de molienda (gravilla)	Arena

**Tabla 14: autoría propia con base en los datos obtenidos en la planta de beneficio JAEM**

Ahora bien, el funcionamiento de las mismas permite obtener los siguientes productos, con las características que también se mencionan en el cuadro:

Material	Medidas	
	Milímetros	Pulgadas
Grava Normal	9,5 -- 38,1	3/8" -- 1 1/2"
grava 1/2	12,7	1/2"
Grava 3/4	19,05	3/4"
Arena Azul	1 -- 3	0.04 "-- 0.12"
Arena Parda	2 -- 3	0.04 "-- 0.12"
Arena Gris	3 -- 3	0.04 "-- 0.12"
Arena Molida	4 -- 3	0.04 "-- 0.12"
Base	1 -- 25,4	0.04" -- 1"
Tepojal	3 -- 20	0.19" -- 0.79"
Greña	Material in situ	
Piedra Bola	25,4 -- 152,4	1" -- 6"
Piedra Grande	508 -- 1016	20" -- 40"
Granzón	9,5	3/8 "
Tepetate	< 0,0039	< 1 1/2"

**Cuadro 15: autoría propia con base en los datos obtenidos en la planta de beneficio JAEM**

En cuanto a los procesos bajo los que funcionan los diversos tipos de plantas existentes en la empresa, podemos advertir los siguientes:

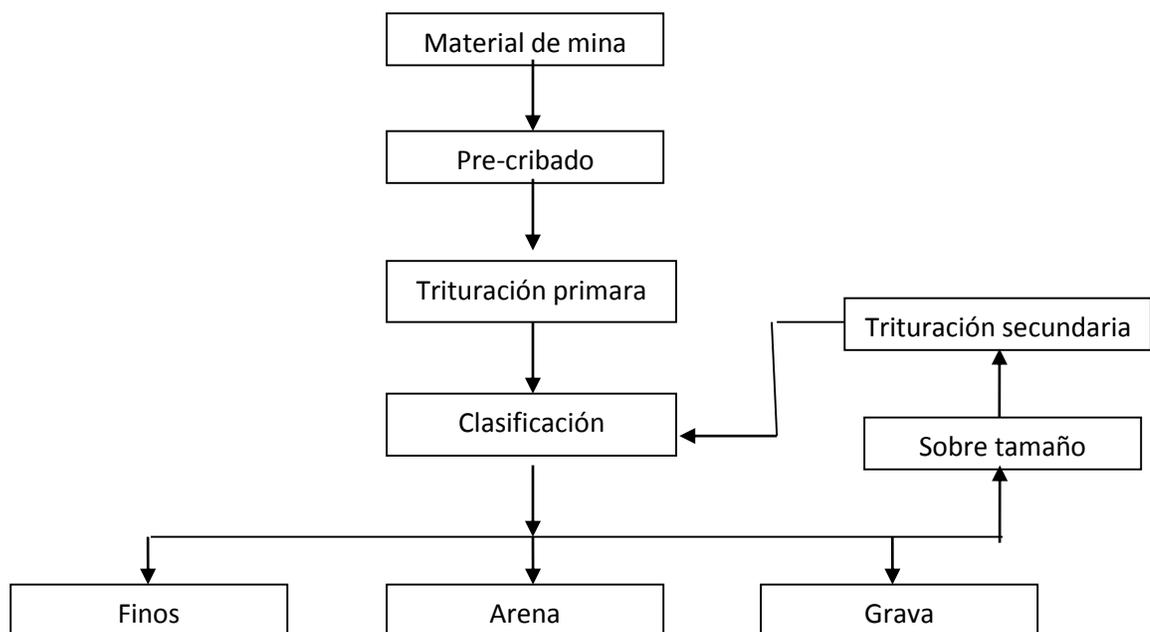
 Plantas fijas:

En la primera fase se descarga el material que es depositado en una criba dónde se separa el material de sobre-tamaño, a esto se le conoce como pre-cribado. Una vez hecha la selección anterior, se hace pasar todo el material a la trituración primaria, la cual se realiza con una trituradora de quijada. Luego de la trituración se pasa a la fase de clasificación, donde se obtienen cuatro tamaños granulométricos diferentes: finos, arenas, gravas y productos de sobre-tamaño.

Los finos son colocados en su respectiva área confinada, las arenas y gravas son colocados en dos tolvas cada una de 300 m<sup>3</sup>, cada material es colocado en su

respectivo cono, mientras que el material de sobre-tamaño es colocado en una banda para ser enviado a una segunda trituración que se realiza con una trituradora de martillos. Después de ser triturado, el material regresa a la alimentación primaria en donde vuelve a pasar al clasificador. Es necesario señalar que esta planta trabaja con energía eléctrica.

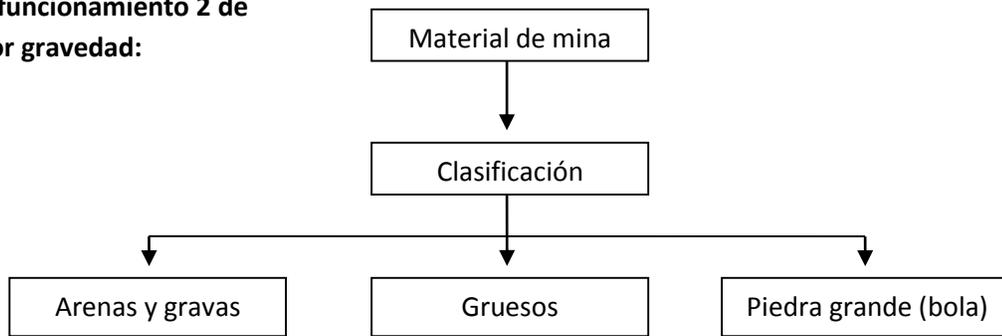
**Diagrama de funcionamiento 1 de planta fija:**



**🚧 Planta fija, separación por gravedad:**

El funcionamiento de esta planta es muy sencillo, ya que se arroja el material en una rampa, la cual cuenta con rejillas de diferentes separaciones organizadas en diversas secciones; por medio de la fuerza de gravedad, se realiza la clasificación del material, en este proceso sólo se obtienen tres diferentes tamaños de partícula: arena y grava, gruesos y piedra grande (bola).

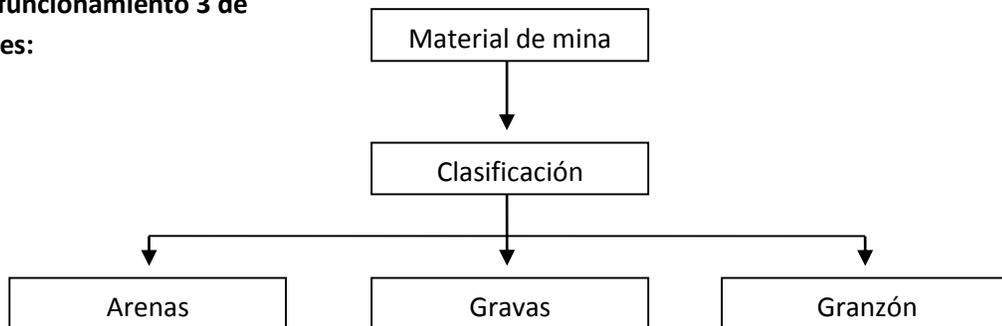
**Diagrama de funcionamiento 2 de planta fija, por gravedad:**



### 🚧 Plantas móviles

Las plantas móviles consisten en un clasificador o criba vibratoria, la cual funciona con combustible (diésel). El proceso se lleva a cabo de la siguiente manera: Primero el material es colocado en el alimentador de planta, donde, posteriormente, es clasificado por medio de la vibración de camas con rejillas, en este proceso sólo se obtienen tres productos: arena, grava y granzón.

**Diagrama de funcionamiento 3 de plantas móviles:**



En términos generales, se observa que la empresa “Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM, cuenta con el número necesario de plantas para procesar la cantidad de materiales que se extraen de la mina.

## **2.6. Condiciones actuales de la mina, reservas o datos de exploración, precios y mercado**

Las condiciones en las que se encuentra la planta, en general, son buenas, sin embargo, se han descuidado algunos detalles en lo que respecta a seguridad laboral, según lo veremos en detalle más adelante, de la misma manera, se tendría que trabajar en implementar una distribución de los equipos más eficiente, así como en realizar algunos esfuerzos para lograr una mejora de los procesos que se llevan a cabo en la planta de beneficio.

En relación a las áreas de explotación podemos señalar que se encuentran ubicadas entre terrenos utilizados como áreas de cultivo y áreas destinadas a la actividad minera de explotación de agregados pétreos. El método de minado es aún rudimentario, de ahí la propuesta de algunas mejoras en la explotación mediante la aplicación de un método de minado con el cual se reduzcan los costos de operación y, de esa manera, poder generar un ambiente más seguro de trabajo.

Es importante mencionar que las fuentes de inversión y capital de la empresa son de carácter privado en su totalidad. Destaca que para el funcionamiento del proyecto no se ha requerido de ningún tipo de financiamiento hasta el momento.

### *Reservas o datos de exploración*

En este punto es importante advertir que no existe acceso a información certera, adicionalmente, la empresa no ha considerado necesario invertir en su incorporación al Programa de Apoyo a la Exploración (PAE) para poder subsanar dichas deficiencias en torno al manejo de esta información tan relevante para el funcionamiento de un banco con estas características. Pese a ello, más adelante en el capítulo III se realiza una estimación de reservas partiendo de la consideración de los datos disponibles.

## Precios y Mercado

El precio de los agregados pétreos se rige por la ley de oferta y demanda en el mercado local, sin embargo, hace algunos años dicho mercado presentaba un estancamiento debido al gran número de canteras en la región y la baja demanda de los agregados pétreos. Pese a lo anterior, recientemente se han registrado aumentos generalizados en los precios de los agregados pétreos, debido al gran incremento promovido por los gobiernos estatales de grandes obras de construcción en el Estado de México y el Distrito Federal, para cuyo desarrollo se demandan grandes cantidades de materiales de construcción.

En la actualidad, los precios varían de los \$60.00 a los \$100.00 por metro cúbico, dependiendo de la calidad, cantidad, punto de entrega, etc. Los principales mercados son: constructoras, casas de materiales y transportistas (que re-venden los agregados).

Material	m3	Precio Unitario	Subtotal	I.V.A.	Total
Grava Normal	6	\$ 90,00	\$ 540,00	\$ 86,40	\$ 626,40
grava 1/2	6	\$ 120,00	\$ 720,00	\$ 115,20	\$ 835,20
Grava 3/4	6	\$ 130,00	\$ 780,00	\$ 124,80	\$ 904,80
Arena Azul	6	\$ 120,00	\$ 720,00	\$ 115,20	\$ 835,20
Arena Parda	6	\$ 90,00	\$ 540,00	\$ 86,40	\$ 626,40
Arena Gris	6	\$ 100,00	\$ 600,00	\$ 96,00	\$ 696,00
Arena Molida	6	\$ 100,00	\$ 600,00	\$ 96,00	\$ 696,00
Base	7	\$ 45,00	\$ 315,00	\$ 50,40	\$ 365,40
Tepojal	7	\$ 58,00	\$ 406,00	\$ 64,96	\$ 470,96
Greña	7	\$ 80,00	\$ 560,00	\$ 89,60	\$ 649,60
Piedra Bola	7	\$ 80,00	\$ 560,00	\$ 89,60	\$ 649,60
Piedra Grande	7	\$ 80,00	\$ 560,00	\$ 89,60	\$ 649,60
Granzon	7	\$ 70,00	\$ 490,00	\$ 78,40	\$ 568,40
Tepetate	7	\$ 40,00	\$ 280,00	\$ 44,80	\$ 324,80
Grava/Arena	7	\$ 90,00	\$ 630,00	\$ 100,80	\$ 730,80

**Tabla 13: Lista de precios y productos Planta JAEM, cuadro de elaboración propia, con datos otorgados por planta procesadora de materiales pétreos JAEM.**

## **Reflexiones finales**

A lo largo de este capítulo hemos podido conocer algunos detalles histórico-económicos sobre el Estado de México, de la misma manera hemos entrado en detalle con respecto a la actividad minera en la entidad, esto con la intención de obtener un conocimiento más profundo sobre la comunidad y el ambiente en el que se desarrolla el proyecto en cuestión.

Posteriormente, nos centramos en el estudio pormenorizado del municipio de Calimaya de Díaz González con la idea de generar un contexto mucho más específico sobre las características del entorno más inmediato que rodea al proyecto para, de esta manera, poder elaborar propuestas que no sólo ayuden a la empresa, sino la comunidad y al medio ambiente en el que se desenvuelve la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM.

Más adelante, en un tercer apartado realizamos una descripción detallada del proyecto considerando aspectos centrales como infraestructura, organización y ubicación geográfica de las áreas que forman parte del mismo, también se observaron algunos elementos con respecto al funcionamiento. Todo ello con la finalidad de que más adelante nos sea posible detectar las deficiencias y ventajas que se tiene para hacer más eficiente la productividad de la empresa en todos los aspectos (Económico, ambiental y social) y cumplir con el concepto de sustentabilidad, es por ello que también es importante conocer la infraestructura, servicios y maquinaria con la que se cuenta para así aprovecharlos al máximo.

En consonancia con lo que hemos planteado a lo largo de este segundo capítulo, en el siguiente nos detendremos a analizar el funcionamiento de las plantas de beneficio del proyecto, así como los procesos de explotación de, específicamente, uno de los bancos de la Planta JAEM, el cual ha sido nombrado Banco “La Natividad”. En este siguiente apartado hemos de observar las particularidades del funcionamiento para posteriormente poder elaborar un diagnóstico certero sobre el mismo.

## CAPÍTULO III.

### PROCESOS DE EXPLOTACIÓN DEL BANCO “LA NATIVIDAD”

#### 3.1. Características geológicas y estratigráficas del Estado de México, de Calimaya de Díaz González y del Banco “La Natividad”

##### *Geología*

##### Estado de México

La geología del Estado de México está constituida principalmente por un basamento de rocas metamórficas del Triásico-Jurásico (Esquisto Taxco y Roca Verde Taxco Viejo). Dichas rocas se encuentran cubiertas de forma discordante por rocas carbonatadas con intercalaciones de material clástico y volcánico de edad mesozoica. Asimismo, ciertas rocas cenozoicas, esencialmente volcánicas, cubren la parte superior de la columna geológica. Finalmente, la estructura geológica culmina con depósitos detríticos y derrames volcánicos del Cuaternario. Las rocas ígneas intrusivas se localizan en el suroeste del Estado de México y se representan principalmente por granito, granodiorita, diorita y monzonita; tales rocas fueron emplazadas durante el Mesozoico e inicios del Terciario (Consejo de Recursos Mineros: 2016, 24).

##### Calimaya de Díaz González

El sistema montañoso comprendido por el Nevado de Toluca se origina en el periodo Neógeno (76.06%) y Cuaternario (18.04%). (INEGI: Carta Geológica del Estado de México) Se encuentra constituido por material andesítico, arrojado en el segundo periodo de actividad volcánica de los tres existentes en la entidad. El material se depositó sobre andesitas de la primera etapa eruptiva, las que a su vez se encontraban superpuestas sobre rocas sedimentarias del cretácico medio e inferior.

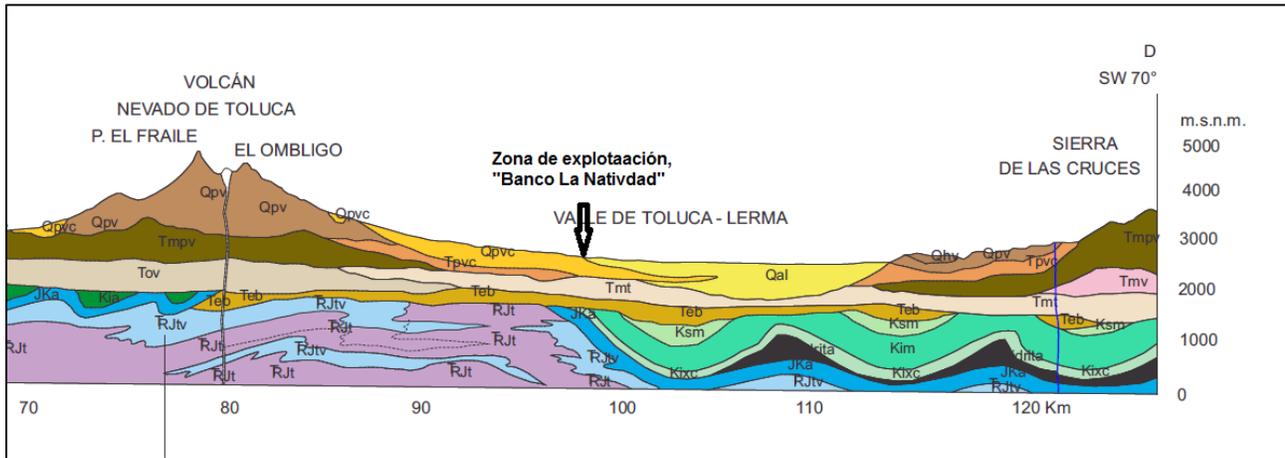
El territorio del municipio de Calimaya está conformado en un 64.66% de roca ígnea extrusiva volcanoclástica; un 4.87% de andesita; un 6.52% por brecha sedimentaria; 18.01% de suelo aluvial y por un 0.04% de suelo lacustre (INEGI: Carta Geológica del Estado de México).

## Banco “La Natividad”

La geología en la zona de explotación del Banco “La Natividad” se ubica en una área de contacto entre dos capas, una de ellas está compuesta por aluvión de la era Cuaternaria; lo cual indica que es una zona donde existe grava, arenas y limos con interestratificación de ceniza volcánica (valles de México y Toluca), resultado del drenaje por actividad volcánica. La segunda capa está constituida por Lahar y depósitos volcanoclásticos; sin embargo, aunque en menor cantidad, existen también depósitos fluviales interestratificados (INEGI: Carta Geológica del Estado de México) la zona de contacto se muestra a continuación en la imagen 11 y la composición del material se plasma en la imagen 12.



**Imagen 11: Ubicación del Banco “La Natividad”  
(Imagen tomada de: Carta Geológica del Estado de México)**



**Imagen 12: Ubicación del Banco “La Nativdad”  
(Imagen tomada de: Carta Geológica del Estado de México)**

### *Estratigrafía*

#### Cuenca de México

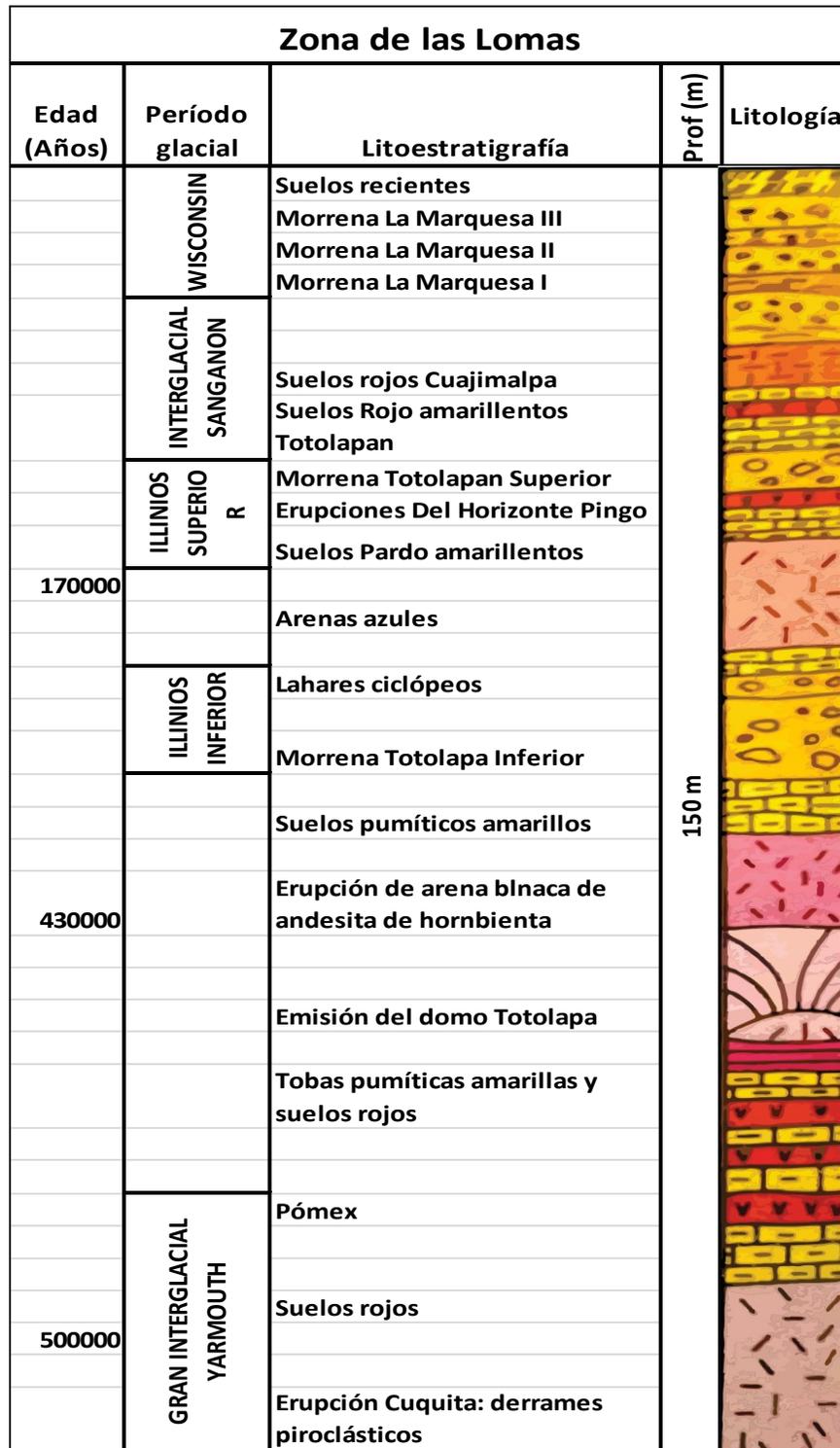
Con ayuda de los datos climáticos registrados en el último millón de años (Pleistoceno), se ha podido establecer la estratigrafía de la Cuenca del Valle de México. Zeevaert, en el año 1951, dio a conocer la primera interpretación de la secuencia estratigráfica de los depósitos lacustres. Más tarde, en el año 1985 Mooser agregó información fundamental sobre la interpretación de edades geológicas y las correlaciones establecidas entre los depósitos; clasificando la información en zonas del Lago, Transición y Las Lomas (Consejo de Recursos Mineros: 2016, 39), de esta manera, en las imágenes 13 a 17 se presenta en forma sintética la interpretación de la estratigrafía.

### Columna estratigráfica de la Cuenca de México

Zona de la Planicie					
Edad (Años)	período glacial	Litoestratigrafía	Prof. (m)	Litología	Características Litológicas
	RECIENTE	Suelos Húmicos del Holoceno	0		Serie lacostre Arcillas poco consolidadas
10000		Caliche			
11000		Pómez tripartita			
15000	<b>WISCONSIN</b>	Pómez con andesita	10		
		Ceniza basáltica			
		Arcilla suelo duro			
		Arcilla	20		
		Suelo duro			
		Arcilla	30		
80000	SANGA MON	Capa dura			
			40		
100000	<b>ILLINOS SUPERIOR</b>	Arcilla			
		Pómez			
		Arcilla			
		Arena y grava	50		
		Deslaves de glaciares			
		Arcilla	60		
		Erupción			
	<b>ILLINOS INFERIOR</b>	Arcilla	70		
170000					
		Erupción de arenas azules	80		
		Deslaves (arena y grava)			
				Serie lacostre inferior Arcillas muy consolidadas	

Imagen 13: Zona de Planicie, Zona de las lomas, cuadro tomado de Monografía geológico-minera del Estado de México (1995) del Consejo de Recursos Mineros.

### Columna estratigráfica de la Cuenca de México



**Imagen 14:** Zona de las lomas, cuadro tomado de Monografía geológico-minera del Estado de México (1995) del Consejo de Recursos Mineros.

## Columna estratigráfica de la Cuenca de México

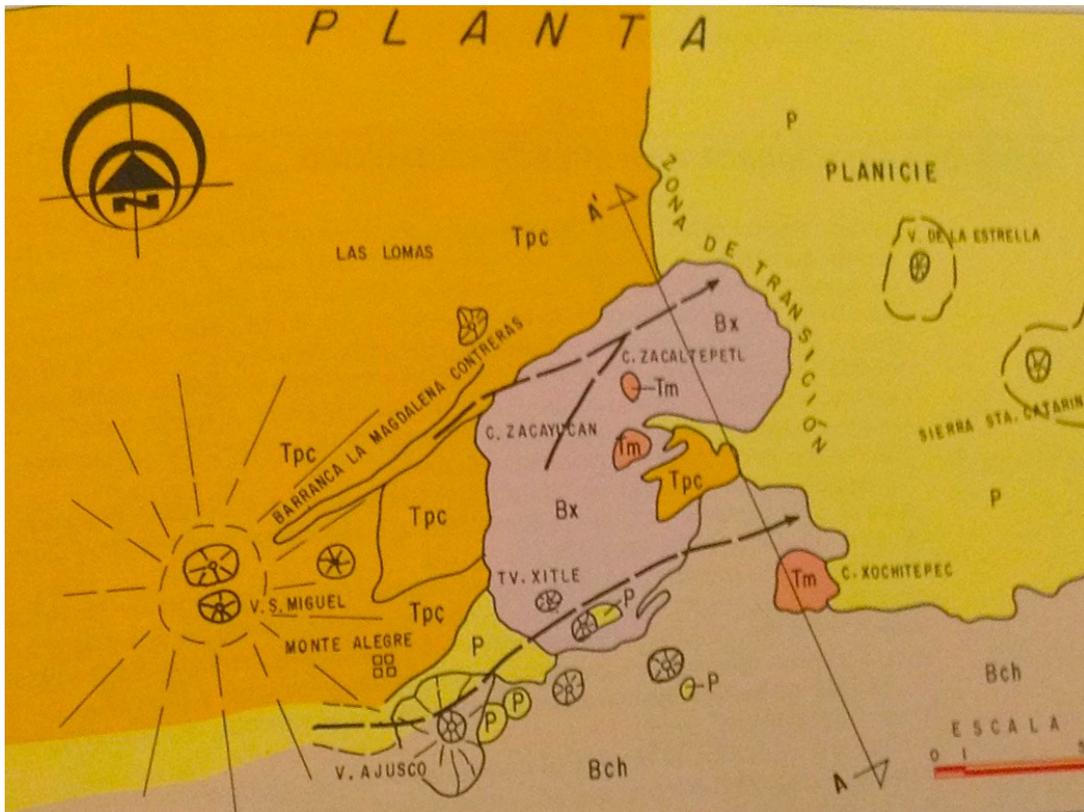


Imagen 15: Dato de la imagen: Carta geológica de la Cuenca de México vista en Planta, de Monografía geológico-minera del Estado de México (1995) del Consejo de Recursos Mineros.

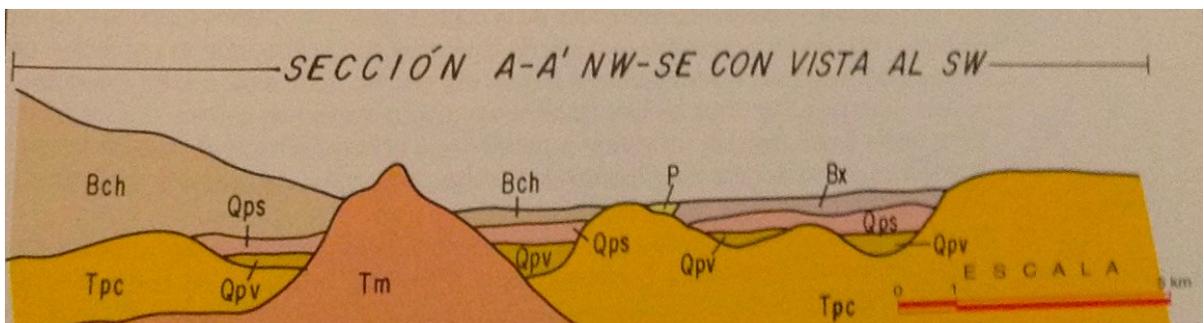
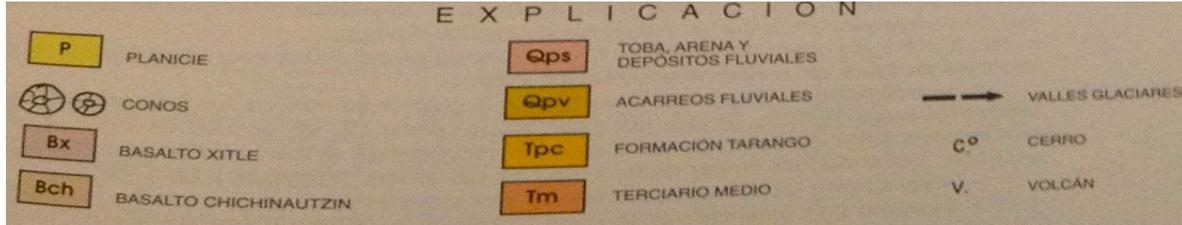


Imagen 16: Dato de la imagen: Sección topográfica de la Cuenca de México de Monografía geológico-minera del Estado de México (1995) del Consejo de Recursos Mineros.



**Imagen 17: Simbología e interpretación de colores en la imagen, tomado de Monografía geológico-minera del Estado de México (1995) del Consejo de Recursos Mineros.**

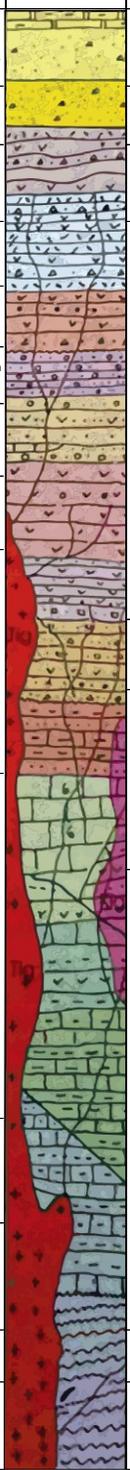
### *Estado de México*

El territorio que ocupa la Cuenca Alta del Río Lerma está constituido mayormente por materiales volcánicos y, en menor medida, por materiales sedimentarios lacustres y fluviolacustres que rellenaron las depresiones de los valles de Toluca-Ixtlahuaca y de Acambay-Temascalcingo. De esta manera, su estratigrafía está representada por terrenos de diversos tipos y de edades diferentes (Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México, 2014, 34).

- Sierra Nahuatlaca-Matlazinca. Los materiales más antiguos que afloran en la Sierra Nahuatlaca-Matlazinca son depósitos volcanoclásticos de composición andesítica, pertenecientes a los lahares de la Formación Tepoztlán del Mioceno. Los afloramientos en la Sierra son escasos y los terrenos que sobresalen están representados por materiales volcánicos muy recientes, agrupados como Basaltos Tenango (Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México, 2014, 34).
- Volcán San Antonio. La más antigua de estas estructuras geológicas es el Volcán San Antonio, compuesto por derrames de lavas de composición andesítica y dacítica del Mioceno Tardío-Plioceno. Las rocas que estratigráficamente le suceden son muy recientes, del Pleistoceno y Cuaternario y corresponden a los materiales extrusivos expulsados a través del Volcán Nevado de Toluca (Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México, 2014, 34).

- Volcán Nevado de Toluca. El Nevado de Toluca es uno de los volcanes más estudiados en los últimos tiempos porque los materiales más antiguos que comenzaron a edificar este volcán datan de 1.6 a 1.5 millones de años según algunos autores, aunque otros consideran edades más viejas (2.6 millones de años). Los materiales más recientes del Nevado de Toluca constituyen el cuerpo principal. Dichos materiales están representados en su mayoría por abundantes derrames de lavas de composición andesítico-basáltica y depósitos vulcanoclásticos que, junto con sedimentos fluviales, son el origen de abundantes flujos de lahares. Las dos últimas erupciones de este volcán sucedieron hace 25 000 y 11 600 años (Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México, 2014, 34).

## Columna estratigráfica del Estado de México

Columna Estratigráfica del Estado de México							
Eratema	Sistema	Serie Piso	Unidad en Mapa	Litoestratigrafía	Litología	Depósitos Minerales	
<b>Cenozoico</b>	<b>Cuaternario</b>	<b>Holoceno</b>	Qal	Depósitos lacustres, aluvión compuesto por fragmentos de roca volcánica del tamaño de grava, arena, limo y arcilla.		Evaporitas	
		<b>Pleistoceno</b>	Qps	Suelo residual y material piroclástico re trabajado.		Material para construcción	
			Qpb	Derrames de lava, toba, aglomerado y rocas epiclásticas: Formaciones Chichinautzin y Popocatepetl			
			Qv	Derrames de lava andesítico-basáltica: Formación Iztacchuatl.			
			Qpp	Derrames de lava andesítico-basáltica con intercalaciones de ceniza: Formación El Pino.			
			Qpv	Toba, aglomerado y derrames de roca volcánicas: Formación Llano Grande.			
	<b>Terciario</b>	<b>Plioceno</b>	Tpp	Depósitos continentales derivados de rocas volcánicas: Formaciones Cuernavaca y Chontalcoatlán		Vetas auríferas en el oeste del estado	
			Tpc	Grava, arena y limo con intercalaciones de toba y lentes de caliza: Formaciones Tarango y Calpulalpan			
		<b>Mioceno</b>	Tmv	Rocas piroclásticas y derrames de lava andesíticos: Formaciones Tepoztlán, Zempoala y Las Cruces.			Tig: Granito, monzonita y cuarzo diorita
		<b>Oligoceno</b>	Tov	Derrames piroclásticos riolíticos y en menor grado, riofacítico-dacíticos: Riolita Tilzapotla.			
<b>Eoceno</b>		Tecg	Conglomerado calcáreo de matriz limoarcillosa, con derrames escasos de lava andesítica: Formación Balsas y Grupo El Morro.				
<b>Mesozoico</b>	<b>Cretácico Superior</b>	Maastrichtiano	Ksm	Arenisca, limonita, lutita y lutita calcárea con lentes de caliz: Formación Mexcala	Kig: Cuarzomonzonita, gabra, peridotita.	Vetas auríferas asociadas a rocas intrusivas	
		Campaniano					
		Santoniano					
	Coniaciano						
	Turoniano						
	<b>Cenomaniano</b>	Kimd	Caliza de plataforma, de estratificación gruesa a masiva, con horizontes dolomitizados y lentes y nódulos de pedernal: Fms. Morélos y El Doctor				
	<b>Cretácico Inferior</b>	<b>Albiano</b>	<b>Superior</b>	Kia			Lutita, limolita, arenisca y derrames de lava andesítica: Formación Xochipala
			<b>Medio</b>	Kix			Rocas volcánicas andesíticas con intercalaciones de lutita y caliza: Formación Xochipala
			<b>Inferior</b>				
		<b>Aptiano</b>	Kiexc	Caliza arcillosa y caliza carbonosa, de estratificación delgada a media, con intercalaciones de lutita y caliza: Formaciones Amatepec y Xochicalco			
<b>Necomiánico</b>		Barremiano	Jmet	Lutita con intercalaciones de grauvaca, arenisca y conglomerado de fragmentos de roca metamórfica; en la cima, rocas volcánicas y caliza escasa: formación Acuitlapán			
	Hauteriviano						
<b>Jurásico</b>	<b>Tithoniano</b>	Jkrv	Dacita, andesita y basalto con bajo grado de metamorfismo: Roca Verde Taxco Viejo	Vetas argentíferas			
	<b>Triásico</b>	k met	Esquistos de sericita, cuarzo, clorita y grafito, y pizarra: Esquisto Taxco.	Sulfuros masivos vulcano-sedimentarios y vetas argentíferas			

**Imagen 18: Estratigrafía del Estado de México, imagen tomada de Monografía geológico-minera del Estado de México (1995) del Consejo de Recursos Mineros.**

### *Depósitos existentes en la zona: arena y grava*

La arena y la grava son de los materiales más utilizados en la industria de la construcción y se consideran juntos debido a que la única diferencia técnica de importancia entre ellos es el tamaño de la partícula. El empleo más común de arena y grava es la construcción de caminos y la elaboración de concreto, entre muchas otras aplicaciones. Es por esto que los depósitos de arena o grava invariablemente deben ubicarse a poca distancia de los lugares de consumo, ya que el transporte es un factor que puede hacer incosteable la explotación de un depósito de este tipo (Herrera: 1993, 195).

La arena y grava que posee el Estado de México son materiales pétreos de suma importancia económica para la entidad. Los depósitos de arena y grava resultan de una asociación ígnea volcánica de composición intermedia a básica, del Terciario-Superior al Holoceno y su origen fue principalmente de productos piroclásticos de los volcanes de las sierras Las Cruces, Zempoala, Chichinautzin y Guadalupe, así como el Nevado de Toluca y el Iztaccíhuatl (Herrera: 1993, 48). Los principales depósitos del Estado de México se encuentran en los municipios de Huixquilucan, Calimaya, Chicoloapan, Lerma, Naucalpan, Villa del Carbón, Texcoco, Ozumba, Otumba, Zinacantepec y Metepec (Herrera: 1993, 48).



**Imagen 19: Fotografía Banco de arena y grava (autoría propia)**

En el Estado de México, la mayoría de las localidades de arena y grava corresponden a depósitos volcánicos del Terciario Superior y Cuaternarios poco consolidados, así como a canteras de roca volcánica masiva. De esta manera, por trituración, se obtiene material de tamaño de arena o grava para la industria de la construcción o revestimiento de carreteras en las zonas aledañas. Las gravas son acumulaciones naturales de fragmentos de roca redondeados, aunque también es posible producirla por medio de la trituración artificial de roca. El tamaño de los agregados de la grava a menudo es retenido en una malla con aberturas de 4.75 milímetros, aunque algunas clasificaciones consideran tamaño grava a las partículas que pasan aberturas de entre 2 a hasta 76 milímetros (Herrera: 1993, 195-196).

La arena está constituida por fragmentos redondeados de roca, resultado de la desintegración natural y también es producida por medio de la trituración de piedra o grava. El tamaño de partícula de la arena varía entre 0.74 y 4.75 milímetros.

Tanto la arena como la grava pueden estar compuestas de diversos tipos de rocas, lo cual provoca que difieran en sus propiedades físicas. Las rocas ígneas de textura gruesa, procedentes de lavas cuyo enfriamiento rápido formó cristales muy finos, forman gravas resistentes o duras y químicamente inertes. Dichas rocas pueden contener minerales o materiales amorfos que produzcan reacciones químicas que afecten la estabilidad del concreto; sin embargo, muchas gravas de origen por enfriamiento, son aceptables para formar agregados pétreos (Herrera: 1993, 196).

Las rocas metamórficas generalmente producen agregados de alta calidad; sin embargo, rocas como los esquistos y los gneises, con un contenido alto de mica, pueden no ser de tan alta calidad, ya que se deterioran rápidamente en los depósitos de grava. Además, las rocas sedimentarias de origen químico (como sal, yeso, y anhidrita) no son adecuadas para el uso de agregados debido a su solubilidad en agua. Por otra parte, algunos tipos de pedernal provocan problemas severos debido a su facilidad para desarrollar reacciones químicas con los álcalis del cemento Portland; sin embargo, los tipos de pedernal no susceptibles de formar compuestos solubles con el

cemento Portland, pueden ser considerados como agregados de alta calidad debido a su gran resistencia a la abrasión (Herrera: 1993, 196).

Otras rocas sedimentarias de origen orgánico, tales como el carbón mineral, son dañinas como componentes en los agregados debido a su baja dureza. Es así que las calizas y las dolomías se consideran aceptables para formar agregados, con excepción de aquellas variedades silíceas o arcillosas (Herrera: 1993, 196).

### **3.2. Estimación de volumen de material**

#### *Topografía de Calimaya de Díaz González*

La topografía que se tiene en la región de Calimaya de Díaz González es, esencialmente, irregular porque cuenta con montes, vastas cañadas y pequeños valles como el de Santa María Nativitas, el cual se interna profundamente hacia las faldas del volcán del Nevado de Toluca. La zona montañosa se concentra básicamente en El Nevado de Toluca y en los montes de Calimaya, Calavera y Tepemajalco. Este último está compuesto por dos cumbres muy similares que se elevan a unos 500 metros sobre el nivel del valle (Municipio de Calimaya de Díaz Gonzáles: 2010,).

El 100% del territorio calimayense pertenece al Eje Neo-volcánico Transversal y se encuentra conformado en un 41.49% de llanura aluvial; 30.85% pertenece a la sierra volcánica; mientras que 22.65% lo constituye lomerío de basalto y 5.01% se conforma de Vaso Lacustre o piso rocoso cementado. En la parte poniente de la Topografía de Calimaya Díaz González se encuentra una pendiente que excede el 25% de inclinación. Por otro lado, en la parte oriente se observan suelos fangosos, principalmente en los límites de San Antonio la Isla (Municipio de Calimaya de Díaz Gonzáles: 2010,).

Con respecto a la estimación de volúmenes, por principio, habría que señalar que el acceso y disponibilidad de información se encuentra restringido por lo que no ha sido posible realizar un cálculo certero y exacto, de esta manera, para fines de este trabajo de investigación se ha realizado un cálculo aproximado mediante la aplicación del método de toma de puntos a través del uso de tecnología GPS.

Mediante el uso de dicha tecnología se procedió al cálculo de un volumen, obteniendo las dimensiones del bloque directamente en el área de explotación. La ubicación del terreno y la topografía del lugar ayudan a realizar un cálculo de reservas sencillo, ya que el terreno está ubicado sobre una llanura, en la cual no existe deformación alguna. Otro dato importante que facilitó el proceso de cálculo de los volúmenes, es el hecho de que se puede extraer todo el material, ya que todo el material tiene valor en el mercado.

#### *Análisis de los datos disponibles*

Actualmente, no se tienen trabajos de exploración que confirmen los volúmenes de material concretamente, la estimación se realizó a partir de la geología de la región, suponiendo una uniformidad en función de la interpretación estratigráfica.

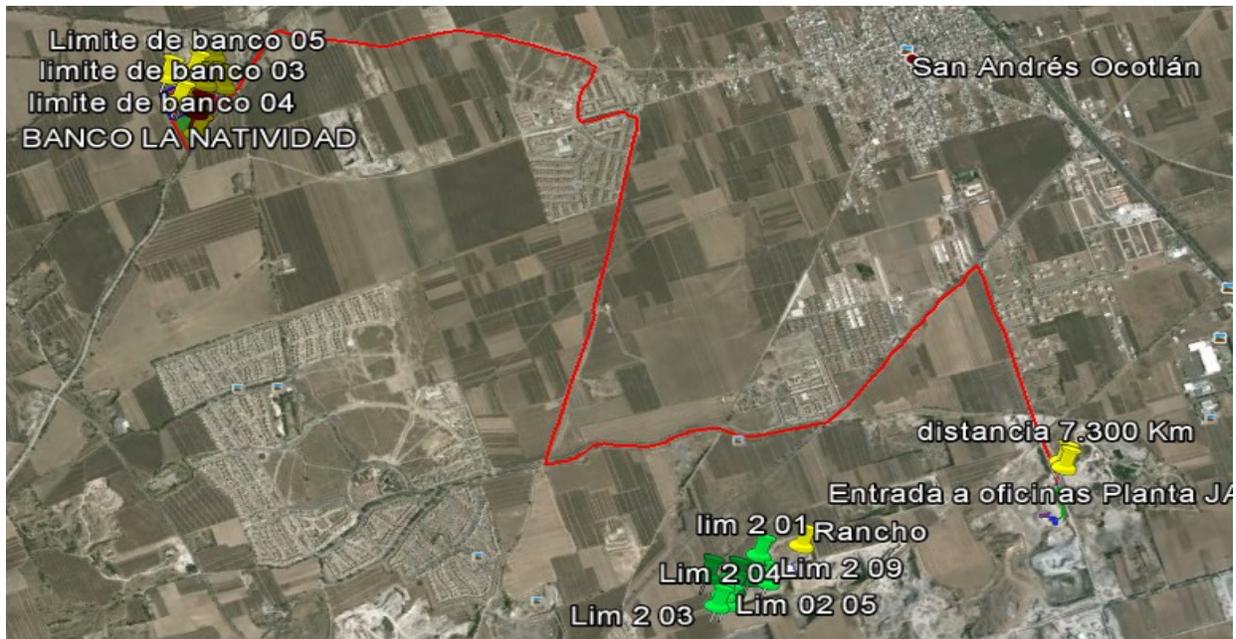
Por medio de un GPS se obtuvieron los puntos de los límites y la profundidad del banco de explotación. Generándose un área que, al ser multiplicada por la profundidad, nos permite obtener un volumen aproximado de las reservas del banco a explotar. Es importante mencionar que a las alturas obtenidas en este banco se le resta lo que mide el encape vegetal.

El banco de explotación “La Natividad” se encuentra, aproximadamente, a 20 minutos hacia el Noroeste de las instalaciones de “Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM, ingresando por caminos de terracería. El área de minado del Banco “La Natividad” está delimitado como se muestra a continuación en la imagen 20:



**Imagen 20: Banco de explotación “La Natividad”  
(Imagen tomada de: Google Earth)**

El Banco “La Natividad” se encuentra ubicado a 7 km. hacia el Noroeste (NW) de las instalaciones de “Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM”, observar imagen 21.

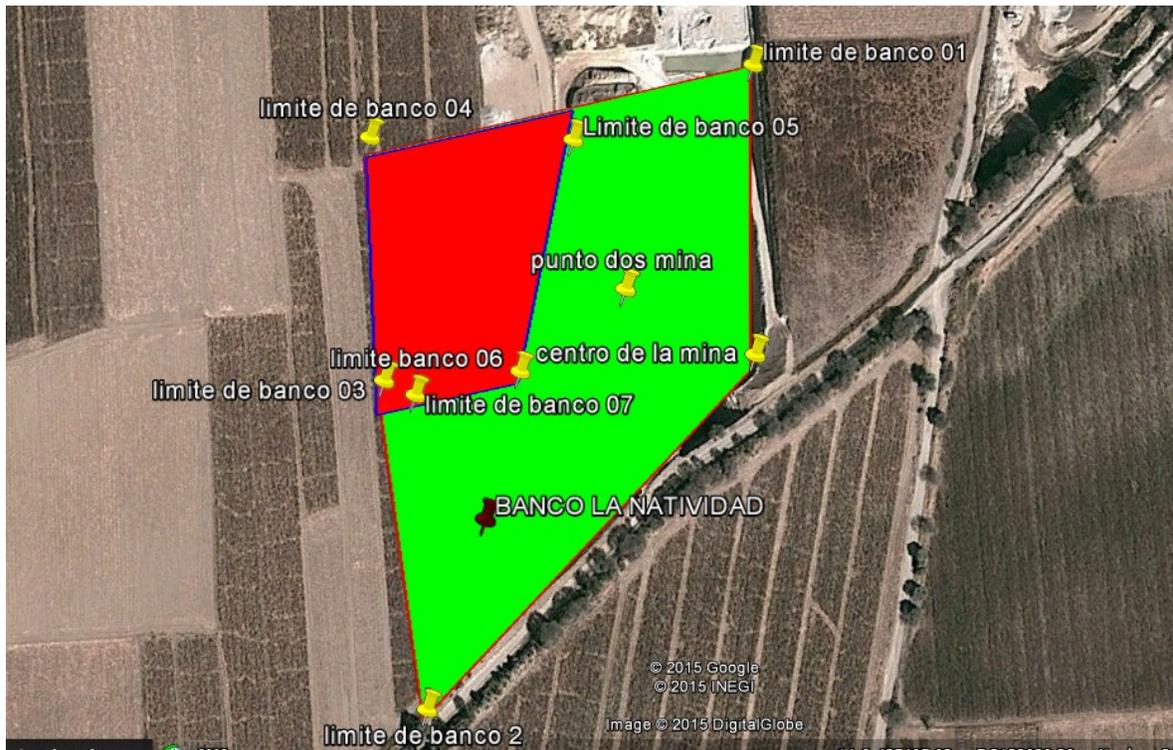


**Imagen 21: Ruta del banco de explotación La Natividad a la planta de Beneficio  
(Imagen tomada de: Google Earth)**

Luego de la identificación de la ubicación exacta del Banco “La Natividad”, se procedió a realizar los cálculos correspondientes, obteniendo los siguientes datos mostrados en la tabla 14:

<b>El área del terreno</b>	<b>55, 676.93 m<sup>2</sup></b>
<b>El área del banco</b>	24,028. 21 m <sup>2</sup>
<b>La altura del banco</b>	16.5 m (restándose 1.5 m del encape vegetal)
<b>Reservas de bloque</b>	360,423.15 m <sup>3</sup>
<b>Material extraído de banco</b>	474,730.80 m <sup>3</sup>
<b>Material Total</b>	835,153.95 m <sup>3</sup>
<b>Tiempo de vida del “Banco La Natividad”</b>	de 3 a 5 años más, con el método de explotación actual

**Tabla 14. Cálculos de volúmenes Banco “La Natividad”**



**Imagen 22: Cuantificación del terreno (Cuadro de elaboración propia)  
(Imagen tomada de: Google Earth)**

### **3.3. Método de minado que actualmente se utiliza**

Como la mayoría de operaciones de agregados pétreos, en la planta JAEM se realiza la explotación a cielo abierto; esto debido a que el yacimiento se encuentra cercano a la superficie y la relación de descapote permite realizar la explotación de esta manera.

Actualmente, en el Banco “La Natividad” no se cuenta con algún método de explotación, por ello se recomienda implementar un método de explotación que se adecue a las necesidades y características que presenta el terreno y así explotarlo de manera eficiente, continua, segura y más amigable con el medio ambiente.



**Imagen 23: Fotografía del Banco “La Natividad” (Autoría)**

### *Equipo utilizado para la explotación*

Actualmente se cuenta con la siguiente maquinaria para realizar las diferentes actividades de desmonte, cargado, acarreo, separación y clasificación de los productos finales. En la tabla 15 se muestran los equipos y su clasificación según su aplicación:

<b>Equipo</b>	<b>Aplicación</b>
1 Excavadora, CAT, Modelo 322B	Arranque Mecánico
1 Excavadora, CAT, Modelo 330C	Arranque Mecánico
1 Cargador frontal, CAT, Modelo 950G	Cargado
4 Tractocamiones kenworth, T660, Modelo 2009	Acarreo
4 Semi-Remolques tipo volteo, Vilchis, Modelo VE-24-2M, Express, Año 2009	Acarreo
1 Criba vibratoria Powerscreen doble deck, Modelo Chieftain 1400w	Separación y Clasificación
1 Criba Vibratoria, Finlay 393CV	Separación y Clasificación

**Tabla 15. Equipos utilizados en para la explotación y sus aplicaciones**

### *Personal disponible para la explotación*

Para realizar las labores de explotación únicamente se cuenta con los operadores, uno para cada equipo y camión, esto implica un total de nueve operadores; se cuenta además con un encargado de seguridad, que realiza la supervención en todas las áreas de la empresa y en los diferentes bancos de explotación.

## **3.4. Producción actual, costos nivelados y proyección**

### *Tonelaje actual*

La producción diaria estaría dada por la capacidad de las dos plantas, las cuales pueden recibir 153 m<sup>3</sup>/h (400 Ton/h), cada una. De esta manera, se podría plantear que las plantas laboraran 8 horas al día en dos periodos distintos, de 7:00 a 11:00 y de 13:00 a 17:00 hrs, así podría llegarse a una capacidad hipotética de 2448 m<sup>3</sup>/día (6400 Ton/día).

Desafortunadamente en la actualidad no se llega a la capacidad hipotética estimada, ya que, según los datos obtenidos de la base de datos proporcionada por la empresa, se tiene una producción mensual del Banco “La Natividad” de 7,649 m<sup>3</sup> (19964 Ton), esto dividido entre la cantidad de días laborados promedio de un mes (28 días) nos refleja una producción promedio de 274 m<sup>3</sup> por día (846 Ton por día).

*Costos nivelados actuales de proyecto Banco “La Natividad”*

A continuación se presenta un estudio, en el cual se hace una comparación de lo que actualmente le cuesta a la empresa la producción de un m<sup>3</sup> de sus productos y lo que le costaría realizando un aumento de la producción del 5% anual.

Costos nivelados sin aumento de producción (interés 10%), producción del 35% de la producción general (Tabla 16 y 17):

<b>Producción (m3)</b>	73,600.00
<b>Inversión (Pesos MXN)</b>	\$ 9,743,700.00
<b>Costo producción anual (Pesos MXN)</b>	\$ 3,000,000.00
<b>Precio de venta (pesos MXN/m3)</b>	86.2
<b>Duración proyecto (Años)</b>	17 años
<b>Interés (10%)</b>	0.1
<b>Reservas (m3)</b>	835,153.95
<b>VP Egresos totales (Pesos MXN)</b>	\$ 37,111,612.08
<b>VP Producción (Pesos MXN)</b>	\$ 54,448.74
<b>Costos nivelados (Pesos MXN)</b>	\$ 68.67

**Tabla 16. Tabla elaborada con base en los datos de planta JAEM.**

Año	Inversión (Pesos MXN)	Costos producción (Pesos MXN)	producción (m3)
0	\$ 9.743.700,00		
1		\$ 3,000,000.00	73,600.00
2		\$ 3,150,000.00	73,600.00
3		\$ 3,307,500.00	73,600.00
4		\$ 3,472,875.00	73,600.00
5		\$ 3,646,518.75	73,600.00
6		\$ 3,828,844.69	73,600.00
7		\$ 4,020,286.92	73,600.00
8		\$ 4,221,30.27	73,600.00
9		\$ 4,432,366.33	73,600.00
10		\$ 4,653,984.65	73,600.00
11	\$ 1.810.000,00	\$ 5,026,303.42	92,000.00
12		\$ 5,277,618.59	92,000.00
13		\$ 5,541,499.52	92,000.00
14		\$ 5,818,574.50	92,000.00
15		\$ 6,109,503.22	92,000.00
16		\$ 6,414,978.38	92,000.00
17		\$ 6,735,727.30	92,000.00

**Tabla 17: Tabla elaborada con base en los datos de planta JAEM**

Ahora se presentan los resultados del estudio costos nivelados, si se aumentará la producción en un 5% anual y con un incremento del interés anual del 10% (Tabla 18 y 19):

<b>Producción (m3)</b>	73,600.00
<b>Inversión (Pesos MXN)</b>	\$ 9,743,700.00
<b>Costo producción anual (Pesos MXN)</b>	\$ 3,000,000.00
<b>Precio de venta (Pesos/m3)</b>	86.2
<b>Duración proyecto (Años)</b>	17 años
<b>Interés (10%)</b>	0.1
<b>Reservas (m3)</b>	835,153.95
<b>VP Egresos totales (Pesos MXN)</b>	\$ 37,111,612.08
<b>VP Producción (Pesos MXN)</b>	\$ 671,426.11
<b>Costos nivelados (Pesos MXN)</b>	\$ 55.27

**Tabla 18: Tabla elaborada con base en los datos de planta JAEM**

Año	Inversión (Pesos MXN)	Costos producción (Pesos MXN)	Producción (m3)
0	\$ 9.743.700,00		
1		\$ 3,000,000.00	73600.00
2		\$ 3,150,000.00	77280.00
3		\$ 3,307,500.00	81144.00
4		\$ 3,472,875.00	85201.20
5		\$ 3,646,518.75	89461.26
6		\$ 3,828,844.69	93934.32
7		\$ 4,020,286.92	98631.04
8		\$ 4,221,301.27	103562.59
9		\$ 4,432,366.33	108740.72
10		\$ 4,653,984.65	114177.76
11	\$ 1.810.000,00	\$ 5,026,303.42	123311.98
12		\$ 5,277,618.59	129477.58
13		\$ 5,541,499.52	135951.45
14		\$ 5,818,574.50	142749.03
15		\$ 6,109,503.22	149886.48
16		\$ 6,414,978.38	157380.80
17		\$ 6,735,727.30	165249.84

**Tabla 19: Tabla elaborada con base en los datos de planta JAEM**

Como resultado de este estudio se nota una clara disminución en los costos de producción, aumentando en un 5% la producción anual (Tabla 17 y 18). Ya que sin el aumento de la producción se tiene un costo de 68.67 \$/m<sup>3</sup> (Tabla 17) y con el aumento se tiene un costo de 55.27 \$/m<sup>3</sup> (Tabla 15), dándonos un resultado favorable y generando una mayor ganancia.

Ahora se presentarán los costos nivelados para un periodo de proyección de 4 años, período de vida pronosticado para el Banco “La Natividad”. En las siguientes tablas se muestran los costos nivelados del Banco “La Natividad”, sin aumento de la producción (Tabla 20 y 21).

<b>Producción (m3)</b>	92,000.00
<b>Inversión (Pesos MXN)</b>	\$ -
<b>Costo producción anual (Pesos MXN)</b>	\$ 4,000,000.00
<b>Precio de venta (Pesos MXN/m3)</b>	86.2
<b>duración proyecto (Años)</b>	4 años
<b>Interés (10%)</b>	0.1
<b>Reservas (m3)</b>	360,423.15
<b>VP Egresos totales (Pesos MXN)</b>	\$ 14,670,104.50
<b>VP Producción (Pesos MXN)</b>	\$ 300,376.45
<b>Costos nivelados (Pesos MXN)</b>	\$ 48.84

**Tabla 20: Tabla elaborada con base en los datos de planta JAEM**

<b>Año</b>	<b>Inversión (Pesos MXN)</b>	<b>Costos Producción (Pesos MXN)</b>	<b>Producción (m3)</b>
	\$ -		
1		\$ 4,320,000.00	96600.00
2		\$ 4,536,000.00	101430.00
3		\$ 4,762,800.00	106501.50
4		\$ 5,000,940.00	111826.58

**Tabla 21: Tabla elaborada con base en los datos de planta JAEM**

En las siguientes tablas se muestran los costos nivelados del Banco “La Natividad”, teniendo un aumento de la producción anual del 5 % en la producción (Tabla 22 y 23).

<b>Producción (m3)</b>	92,000.00
<b>Inversión (Pesos MXN)</b>	\$ -
<b>Costo producción anual (Pesos MXN)</b>	\$ 4,000,000.00
<b>Precio de venta (Pesos MXN/m3)</b>	86.2
<b>Duración proyecto (Años)</b>	4 años
<b>Interés (10%)</b>	0.1
<b>Reservas (m3)</b>	360,423.15
<b>VP Egresos totales (Pesos MXN)</b>	\$ 14,670,104.50
<b>VP Producción (Pesos MXN)</b>	\$ 328,039.84
<b>Costos nivelados (Pesos MXN)</b>	\$ 44.72

**Tabla 22: Elaboración propia con base en los datos de planta JAEM.**

Año	Inversión (Pesos MXN)	Costos Producción (Pesos MXN)	Producción (m3)
	\$ -		
1		\$ 4,320,000.00	96600.00
2		\$ 4,536,000.00	101430.00
3		\$ 4,762,800.00	106501.50
4		\$ 5,000,940.00	111826.58

**Tabla 23: Elaboración propia con base en los datos de planta JAEM**

Como resultado de este estudio se nota una clara disminución en los costos de producción en un periodo de 4 años, aumentando en un 5% la producción anual. Ya que sin el aumento de la producción se tiene un costo de 48.84 \$/m<sup>3</sup> (Tabla 19) y con el aumento se tiene un costo de 44.72 \$/m<sup>3</sup> (Tabla 21), dándonos un resultado favorable al generarse una posible mayor ganancia.

### **Reflexiones finales**

A lo largo de este capítulo se abordó de manera amplia las características geológicas y el comportamiento geográfico del Estado de México. En relación con lo anterior, se estudiaron las características geológicas de manera más específica para el banco de explotación “La Natividad”, esto con el fin de distinguir el material que se extrae, en este caso los agregados pétreos: arena y grava. De estos materiales se dio una reseña que presenta sus características y su composición, ya que se considera que resulta idóneo el conocimiento de dichas características para la correcta explotación del banco.

Más adelante se realizó el estudio y cálculo de reservas con las que cuenta el Banco “La Natividad”, propiedad de la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM. Para comenzar dicho estudio se ubicó, en primera instancia, el banco de explotación; después de esto se investigó la existencia de datos sobre las reservas del banco, pero al no obtener datos o referencias certeras fue menester iniciar otro estudio. A través de este último estudio fue posible calcular las reservas del banco y finalmente se obtuvieron los resultados aproximados de la cantidad de material que

queda por extraer y que se ha extraído, así como las medidas exactas del predio donde se sitúa la explotación.

Finalmente, en el tercer apartado se ha realizado una descripción detallada de los aspectos centrales de la zona de explotación. Dentro de la descripción fue posible estudiar a detalle las características del sistema de extracción que actualmente se utiliza en la planta, así como la maquinaria y el personal destinado específicamente al Banco “La Natividad”; asimismo, se expusieron los datos del tonelaje de producción que se tienen actualmente.

En este punto resulta relevante mencionar que en la actualidad el Banco “La Natividad” no cuenta con un método de minado plenamente consolidado, es por ello que se propondrá en el capítulo IV de manera general un método de minado que se acople y se adapte a las obras de explotación ya existentes. Lo anterior con el fin de enriquecer las obras y aprovechar las condiciones geológicas y geográficas del lugar.

Como parte de este último apartado se elaboró un estudio que determina la rentabilidad del proyecto Banco “La Natividad”, este estudio es llamado “costos nivelados”, en el cual fue menester retomar y usar varios de los datos obtenidos a lo largo del capítulo. De igual forma, se hizo una comparación entre la forma en que actualmente se lleva a cabo el proyecto y una propuesta en la cual se plantea un aumento del 5% en la producción anual del banco.

Las conclusiones a la cuales fue posible arribar después de realizar el estudio por costos nivelados y la comparación fueron las siguientes: en primer lugar que el proyecto, en la forma que se está desarrollando, es rentable, ya que genera ganancias en cuanto al costo de extracción por metro cúbico; en segundo lugar, de acuerdo con la comparación que se hizo con la propuesta de aumento de la productividad en un 5% anual, el resultado fue que al aumentar la productividad en un 5% al año se obtendría un costo por metro cúbico más bajo, generando así una mayor ganancia y, sobre todo, mayor eficacia en el proyecto.



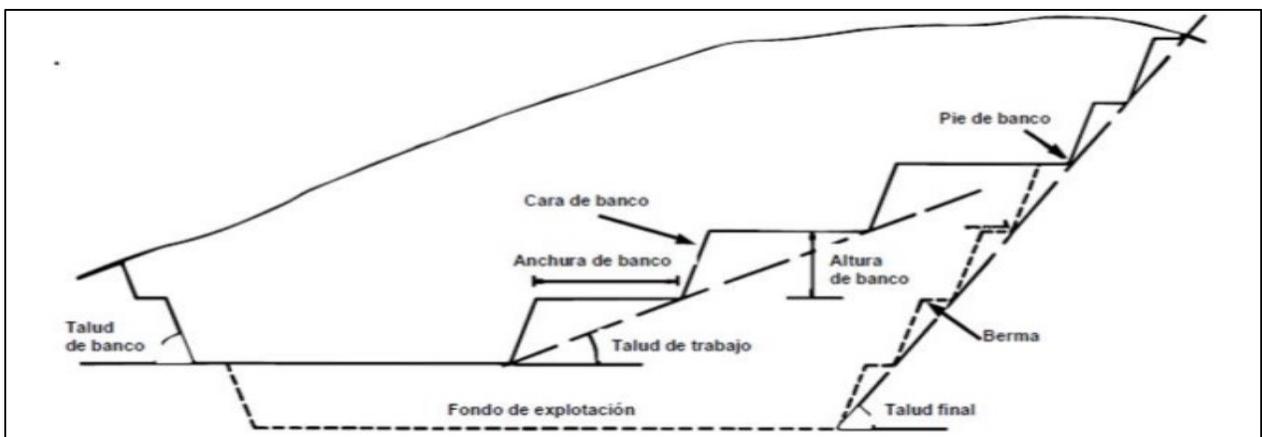
## CAPÍTULO IV.

### PROPUESTA DE PLAN DE MINADO

#### 4.1. Canteras y métodos explotación aplicables

Las canteras o bancos de explotación se refieren a explotaciones mineras que generalmente son a cielo abierto, de ellas se obtienen rocas, minerales metálicos, no metálicos (industriales), ornamentales o agregados pétreos. Las canteras suelen ser explotaciones de dimensiones pequeñas, aunque el conjunto de ellas a nivel nacional representa probablemente un gran volumen de la minería mundial.

Los productos obtenidos en ellas, a diferencia del resto de las explotaciones mineras, no requieren ser sometidos a procesos de concentración, únicamente a procesos de clasificación, además en estos bancos se evitan los gastos generados por la adquisición de reactivos químicos empleados en los procesos de separación de minerales de mena y de ganga, todo lo cual representa un ahorro considerable en la inversión de estos proyectos. Particularmente, en el caso de los agregados pétreos únicamente se requiere la disminución del tamaño de partícula del material para ser transportado y vendido (Rodríguez: 2015, 25-26).



**Imagen 25: Componentes y elementos de una cantera o banco de explotación, imagen tomada de “Tesis: Propuesta De Un Nuevo Diseño Para Incrementar La Producción De Una Cantera De Agregados Ubicada en el Estado de México” (2015)**

Existe una gran variedad de métodos de minado aplicables a la explotación de canteras. La selección del método idóneo dependerá de las condiciones del lugar y de diversos factores, tales como: la morfología del lugar, la topografía, el producto a explotar y las condiciones económicas que se tienen para el proyecto de explotación, entre otros más. Así, los métodos de explotación más adecuados para las canteras resultan ser: Terrenos Horizontales, Minado de Laderas, Bancos Individuales, o bien, Bancos múltiples.

#### **4.2. Propuesta de método de minado: Terrenos Horizontales**

Actualmente, en el Banco “La Natividad” se desarrolló un método de minado empírico, sin embargo, de acuerdo a los hallazgos se propone utilizar el método de minado **Terrenos Horizontales**, el cual “se caracteriza por la necesidad de tener que realizar trabajos de apertura más costosos con el fin de disponer del frente de un banco para la extracción de los materiales. Las labores se inician en forma de trinchera, hasta alcanzar la profundidad del primer nivel, ensanchándose a continuación el hueco creado” (Jimeno: 2003, 96).

De acuerdo con Carlos López Jimeno (2003, 96), la ampliación del hueco en superficie puede compaginarse con la profundización, de esta forma, se compensan las distancias de acarreo, se concentran los tajos en los que se trabaja y se afecta a una superficie de terreno menor.

El principal inconveniente de estas canteras o tipos de bancos estriba en la necesidad de efectuar todo el transporte de materiales contra pendiente. Por el contrario, presenta la ventaja de que una vez excavado un hueco con dimensiones suficientes es posible instalar la planta de tratamiento dentro del mismo banco. De esta manera, se evitan los problemas de impacto ambiental por intrusión visual, polvo y ruido y, a la vez, se produce una menor ocupación de terrenos. De igual forma, es importante mencionar que en estas canteras “es posible proyectar la pista general en una posición que no tenga que moverse durante mucho tiempo y con un trazado rectilíneo o poligonal, facilitando la implantación del sistema cintas transportadoras” (Jimeno: 2003, 96).

## *Ventajas*

Una de las ventajas en este proyecto en cuanto a la explotación es que no es necesario utilizar explosivos, ya que las características del material y de las condiciones geológicas de la zona, hacen que la extracción del material sea sencilla y se realice con equipo mecánico.

Además, es posible colocar cribas vibratorias en el centro de tajo para dejar listo el material para su acarreo largo. Este método también permite proyectar la pista general de transporte en una posición que no tenga que moverse en mucho tiempo y, de la misma manera, evitar problemas de impacto ambiental que pudieran darse por contaminación visual, contaminación por polvos, o bien, contaminación por ruido. Otra ventaja importante es la posibilidad de utilizar y desarrollar rampas y caminos con mayor vida útil.

Finalmente, es necesario advertir que el banco de explotación cumple con los parámetros requeridos por la norma técnica estatal ambiental NTEA-002-SMA-DS-2009 que regula la exploración, explotación y transporte de minerales no concesionables en el Estado de México, la cual menciona que “los taludes finales con alturas superiores a 15 m. deberán contar con una berma en proporción 3.1 (tres unidades verticales por una horizontal) y/o con taludes que correspondan al ángulo natural de reposo del material suelto del que se trate” (Secretaría del Medio Ambiente: 2010, 6), así, no es necesario generar un talud final, pues la altura del Banco “La Natividad”, 15 m., se presta para dejarlo con un ángulo de 90°, estableciendo la norma esta posibilidad siempre y cuando el banco sea igual o menor a esta altura (Jimeno: 2003, 96-97).

## *Desventajas*

Aunque son pocas las desventajas que se pueden observar al aplicar este método, es necesario mencionarlas. La primera de ellas tiene que ver con la necesidad que existe de efectuar el transporte de material contra pendiente, dicha situación implicará, en consecuencia, un mayor desgaste en los equipos de acarreo, así como la elevación de

los costos en sistemas de drenaje y bombeo para mantener seca la obra de explotación (Jimeno: 2003, 96-97).

#### **4.3. Forma de implementación del método de mina Terrenos Horizontales**

El método de minado que resulta más adecuado de acuerdo con las características y parámetros del lugar es una explotación por el método de minado en terrenos horizontales, el cual ya ha sido explicado de manera general con anterioridad. Este proceso de minado consta de los siguientes subprocesos: desmonte de capa vegetal, extracción de agregado pétreo (arranque mecánico y acarreo), separación de material en planta móvil, carga, y embarque.

En un principio se comienza con las labores de desmonte de la capa vegetal del área delimitada para ser explotada. Una vez retirada la capa, ésta deberá ser colocada en un área confinada, dándole mantenimiento y cuidados, y preservarla en buen estado para después volverse a colocar al término de la explotación para que pueda entonces ser reutilizada, en este caso, como tierra de cultivo.

Una vez terminadas las labores de desmonte, se procede a realizar las obras de preparación del bloque a explotar, generando la rampa de acceso y, posteriormente, generar una trinchera, hasta alcanzar la profundidad del primer nivel. Por la altura del banco, sólo será necesario un nivel, (cabe aclarar que para este proyecto ya se cuenta con dichas obras). La altura propuesta para este banco es de 15 metros.

Para la explotación de este banco se propone realizar un movimiento de ataque de izquierda a derecha o de derecha a izquierda (dependiendo de la ubicación de la rampa de acceso), llevando el banco de explotación de manera frontal, hasta terminarse el material del bloque delimitado, este proceso se realiza desde la parte posterior del banco empleando una excavadora, la cual raspa con el cucharón la pared del banco para conseguir soltar el material.

Una vez suelto el material con la excavadora es depositado con la excavadora en la planta móvil (criba vibratoria) donde se realiza la separación del material en diferentes tamaños de partícula, obteniéndose los productos finales de arena y grava,

los cuales serán depositados por medio de un cargador frontal en camiones para su transporte y resguardo en el almacén que se encuentra ubicado en la planta de beneficio JAEM.

Además, para fines de eficiencia en el proceso se propone que la rehabilitación de la zona de explotación se haga de forma simultánea a la extracción del material, esto quiere decir que conforme se vaya extrayendo el material del bloque a explotar, se vaya colocando nuevamente la capa vegetal, que anteriormente se colocó en una zona confinada para su resguardo y cuidado, este proceso tiene la finalidad de que la recuperación de la zona de explotación sea más rápida y eficiente, además de cumplir ciertamente con el concepto que se ha venido manejando de la sustentabilidad en la minería y cumplir con un punto más del aspecto ambiental de dicho concepto.



**Imagen 26: Fotografía del equipo del Banco “La Natividad”  
(Autoría propia)**

#### 4.4. Acciones para mejorar la eficiencia del proceso de explotación

Para realizar los cálculos teóricos de cargado y acarreo. Lo primero que se debe realizar es tomar los tiempos y movimientos de los equipos que se tienen en operación, esto con el fin de tener una operación más continua, mejor diseñada y eficiente.

##### *Desmonte de capa vegetal*

Ahora bien, se comenzará a realizar los cálculos de cargado y acarreo para la remoción de la capa vegetal del banco de explotación “La Natividad”, obteniendo como resultado el tiempo estimado de retiro de dicha capa.

A continuación se presenta una tabla, de los tiempos de maniobra registrados por los equipos, la cual sirve para establecer tiempos promedio y, a partir de ellos, poder efectuar los cálculos con parámetros reales de operación.

Cargado con Excavadora CAT 322B:

CAT 322B											
ciclo de cargado rezaga	ciclo #1 (s)	ciclo#2 (s)	ciclo #3 (s)	ciclo#4 (s)	ciclo#5 (s)	ciclo#6 (s)	ciclo #7 (s)	ciclo#8 (s)	ciclo #9 (s)	ciclo #10 (s)	promedios
Carga del Cucharon	10	10	9	11	12	10	9	10	9	9	9,9
Giro con Carga	5	3	3	4	3	4	3	4	5	3	3,7
Descarga del Cucharon	3	4	4	3	5	4	6	3	3	4	3,9
Giro sin Carga	2	3	4	4	3	4	3	3	4	3	3,3
Tiempo Total	20	20	20	22	23	22	21	20	21	19	20,8

**Tabla 24: Elaboración propia, tiempos y movimientos Excavadora CAT 322B.**

El tiempo promedio de cada ciclo de llenado de cucharón en la excavadora CAT 322B es de **20.8 segundos**. Una vez obtenido este resultado se procede a calcular el promedio de tiempo que tarda en cargarse un semi-remolque de 22 m<sup>3</sup>:

Semi-remolque, volteo	# ciclos llenado	t total (s)	t acomodo (s)	M3	tons
Semi-remolque, volteo #1	26	501	23	22	48
Semi-remolque, volteo #2	27	519	22	23	50
Semi-remolque, volteo #3	25	480	20	21	46
Semi-remolque, volteo #4	27	518	21	23	50
Semi-remolque, volteo #5	26	502	24	22	48
Semi-remolque, volteo #6	24	465	23	20	44
Semi-remolque, volteo #7	27	519	22	23	50
Semi-remolque, volteo #8	25	484	24	21	46
Semi-remolque, volteo #9	26	501	23	22	48
Semi-remolque, volteo #10	27	517	20	23	50
Promedios	26	501	22	22	48

**Tabla 25: Elaboración propia, tiempos de llenado de semi-remolque.**

De acuerdo con la tabla anterior el tiempo promedio de cargado de un semi-remolque de 22 m<sup>3</sup> con una excavadora CAT 322b es de 501 segundos, mientras que el tiempo promedio de acomodo del semi-remolque es de **22 segundos**.

Lo siguiente a realizar, es registrar los tiempos de acarreo de la capa vegetal del banco de explotación al área confinada de depósito de esta capa.

Acarreo capa vegetal	Ciclo #1 (s)	ciclo #2 (s)	ciclo#3 (s)	Ciclo #4 (s)	ciclo #5 (s)	Promedios
Tiempo Cargado	501	519	480	518	502	504
Tiempo bajada carg.	208	340	456	356	346	341
Tiempo descarga	258	35	58	75	45	94
Tiempo de subida sin	296	380	484	384	398	388
tiempo espera	23	22	20	21	24	22
tiempo total	1286	1296	1498	1354	1315	1350
tiempo total sin esp.	1263	1274	1478	1333	1291	1328

**Tabla 26: Elaboración propia, tiempos y movimientos de remoción de capa vegetal.**

Como resultado de los tiempos tomados en el acarreo de la capa vegetal se obtuvo el tiempo promedio por ciclo de 1328 segundos.

De los cálculos anteriores se desprende que para el cargado con CAT 322b se tiene que el tiempo promedio de llenado de cucharón es de **21 segundos** y la capacidad del cucharón de la excavadora es de **1.1 m<sup>3</sup>**, así, el factor de disponibilidad mecánica del equipo para trabajar propuesto es del 80%, un factor de llenado de cucharón del 90% y un factor de abundamiento del 85%. De estos dos últimos factores

se obtiene que el llenado de cucharón será de **0.84 m<sup>3</sup>**; considerando que la capacidad de un semi-remolque es de **22 m<sup>3</sup>** de carga y que el tiempo del ciclo de acarreo es de **1328 segundos**, se procede a realizar los siguientes cálculos.

Primero se realizará el cálculo para determinar el número de pasadas que se necesitan para cargar el semi-remolque:

$$\# \text{ Pasadas} = \frac{\text{capacidad de semi - remolque}}{\text{capacidad de cocharón}} = \frac{22 \text{ m}^3}{0.84 \text{ m}^3} = \mathbf{26.2}$$

Ahora una vez obtenidas el número de pasadas, que fue de **26.2 pasadas**, se procede a calcular el tiempo del ciclo de cargado y el tiempo total que se utiliza en ambos ciclos:

$$\text{Ciclo cargado} = (\text{tiempo cargado})(\text{Número de pasadas})$$

$$\text{Ciclo cargado} = (21 \text{ segundos})(26.2) = 550 \text{ segundos}$$

$$\text{Tiempo total} = \text{tiempo de acarreo} + \text{ciclo de cargado}$$

$$\text{Tiempo total} = 1328 \text{ segundos} + 550 \text{ segundos} = \mathbf{1878 \text{ segundos}}$$

Con este tiempo total de **1878 segundos** podemos ahora calcular el número de camiones a utilizar en el subproceso de remoción de la capa vegetal:

$$\# \text{ camiones a utilizar} = \frac{\text{tiempo total}}{\text{ciclo cargado}} = \frac{1878 \text{ segundos}}{550 \text{ segundos}} = \mathbf{3.4 \text{ camiones}}$$

Con el resultado obtenido de los camiones a utilizar, que fue de **3.4 camiones**, que en la operación real equivale a **3 camiones**, y considerando el tiempo calculado del ciclo de cargado (**550 segundos**) y el tiempo de total (**1878 segundos**), ya calculados anteriormente, se obtendrán los tiempos de cargado de los **3 camiones** y los tiempos de pérdida al cargar los camiones:

$$Tiempo\ cargado = (\#camiones)(ciclo\ cargado)$$

$$Tiempo\ cargado = (3\ camiones)(550\ segundos) = 1650\ segundos$$

$$Tiempo\ perdido = tiempo\ cargado - tiempo\ total$$

$$Tiempo\ perdido = 1650\ segundos - 1878\ segundos = -228\ segundos$$

Ahora con los resultados obtenidos del tiempo de cargado (**1650 segundos**) y el tiempo perdido (**228 segundos**) se calcularán los factores opresión y tiempo perdido en porcentaje:

$$Factor\ operacional = \left( \frac{Tiempo\ cargado}{Tiempo\ total} \right) (100)$$

$$Factor\ operacional = \left( \frac{1650\ segundos}{1878\ segundos} \right) (100) = 87.85\%$$

$$Tiempo\ perdido = \left( \frac{Tiempo\ perdido}{Tiempo\ Total} \right) (100)$$

$$Tiempo\ perdido = \left( \frac{228\ segundos}{1878\ segundos} \right) (100) = 12.15\%$$

Con los factores obtenidos de opresión, que fue del **87.86%**, y el de tiempo perdido, que fue de **12.15%**, ahora se procede a determinar la cantidad de camiones necesario para no generar pérdidas en una hora:

*tiempo total* → 3 camiones

*tiempo efectivo* → X

31.3 minutos → 3 camiones

50 minutos → 4.80 camiones

$(\% \text{ factor operacional})(\text{camiones}) = \text{Número de camiones/hora}$

$(87.85 \%) (5 \text{ camiones}) = 4.40 \text{ camiones/hora} = 4 \text{ camiones.}$

Una vez determinada la cantidad de camiones por hora, que fue de **4 camiones por hora**, se realizan los cálculos para determinar la cantidad de camiones por día y con ello determinar la cantidad de toneladas de capa vegetal por día a mover.

$(\text{Número de camiones/hora})(\text{Horas disponibles del equipo})$

$(5 \text{ camiones/hora})(6.8 \text{ horas}) = 34 \text{ camiones/día}$

$(\text{camiones /día})(\text{tonelaje promedio de carga})$

$(34 \text{ camiones/Día})(22 \text{ m}^3/\text{camión}) = 748 \text{ m}^3/\text{día}$

$(\text{Volumen})(\text{Densidad}) = \text{Masa}$

$(748 \text{ m}^3/\text{día})(2.61 \text{ Ton}/\text{m}^3) = 1952.28 \text{ Ton/día}$

Con los datos anteriores se puede determinar el tiempo en que se podrá extraer el material de encape o capa vegetal. Cabe destacar que los cálculos reflejan que se necesitan **3 camiones**, pero la empresa sólo dispone **2 camiones** para la extracción de la capa vegetal,, por ello a continuación se realizarán los mismos cálculos hechos anteriormente pero ahora sólo con la disponibilidad de **2 camiones** (como dato obtenido de los cálculos anteriores se sabe que el tiempo del ciclo de cargado y el ciclo de acarreo del camión es de **1878 segundos**).

$$\text{Tiempo cargado} = (\#\text{camiones})(\text{ciclo cargado})$$

$$\text{Tiempo cargado} = (2 \text{ camiones})(550 \text{ segundos}) = \mathbf{1100 \text{ segundos}}$$

$$\text{Tiempo perdido} = \text{tiempo cargado} - \text{tiempo total}$$

$$\text{Tiempo perdido} = 1100 \text{ segundos} - 1878 \text{ segundos} = \mathbf{-778 \text{ segundos}}$$

De estos cálculos se obtuvo que el tiempo de cargado fue de **1100 segundos** y el tiempo perdido fue de **778 segundos**, ahora se calcularán los factores operacional y de tiempo perdido en porcentaje:

$$\text{Factor operacional} = \left( \frac{\text{Tiempo cargado}}{\text{Tiempo total}} \right) (100)$$

$$\text{Factor operacional} = \left( \frac{1100 \text{ segundos}}{1878 \text{ segundos}} \right) (100) = \mathbf{58.58\%}$$

$$\text{Tiempo perdido} = \left( \frac{\text{Tiempo perdido}}{\text{Tiempo Total}} \right) (100)$$

$$\text{Tiempo perdido} = \left( \frac{778 \text{ segundos}}{1878 \text{ segundos}} \right) (100) = \mathbf{41.42\%}$$

El factor operativo obtenido fue de **58.58 %** y el factor de tiempo perdido fue de **41.42%**, al utilizar **2 camiones**, ahora se procede a determinar la cantidad de camiones llenados en una hora:

*tiempo total* → 2 camiones

*tiempo efectivo* → X

31.3 minutos → 2 camiones

50 minutos → 3.20 camiones

(% factor operacional)(camiones) = Número de camiones/hora

(87.85 %)(3 camiones) = 2.6 camiones/hora = **3 camiones/hora**

Una vez determinada la cantidad de camiones por hora, se realizan los cálculos para determinar la cantidad de camiones por día y con ello determinar la cantidad de toneladas de la capa vegetal por día a remover.

(Número de camiones/hora)(Horas disponibles del equipo)

(3 camiones/hora)(6.8 horas) = 20.4 camiones/día

(camiones /día)(metros cubicos promedio de carga)

(20 camiones/Día)( 22 m<sup>3</sup>/camión) = 448.8 m<sup>3</sup>/día

(Volumen)(Densidad ) = Masa

(448.8 m<sup>3</sup>/día)(2.61 Ton/m<sup>3</sup>) = 1171.37 Ton/día

La cantidad de toneladas a remover por día fue de **1171.37 ton.**, ahora se procede a calcular el tiempo de retiro de material de descapote (capa vegetal), contando con la siguiente información:

- Área del banco: 24,028 m<sup>2</sup>
- Altura del banco: 16.5 m
- Espesor de la capa vegetal: 1.5 m
- Reservas de bloque: 360,423 m<sup>3</sup>
- Capa de vegetal: 36,042 m<sup>3</sup>

Con los datos de la cantidad de metros cúbicos de la capa vegetal, la cual es de **36,042.32 m<sup>3</sup>** y con la cantidad de m<sup>3</sup> extraídos por día que fue de **448.8 m<sup>3</sup>** se puede obtener el tiempo en días en que se removerá la capa vegetal, a continuación se presenta los cálculos:

$$\frac{\text{Capa vegetal}}{\text{Metros cubicos extraidos en un día}} = \text{Tiempo en remover capa vegetal en días}$$

$$\frac{36,042.32 \text{ m}^3}{448.8 \text{ m}^3/\text{día}} = 80.3 \text{ días} = \mathbf{81 \text{ días}}$$

Teniendo la información de que se labora 6 días a la semana, se removería toda la capa vegetal en un tiempo aproximado de **tres meses**.

Una vez removida la capa vegetal se comenzará con los trabajos de extracción de agregado pétreo y se procede a realizar los cálculos para extracción de dicho material.

#### *Extracción de agregados pétreos (material de importancia económica)*

Cargado con CAT 330C:

Para comenzar con los cálculos para el diseño de la extracción de los materiales de interés económico, en este caso agregados pétreos, lo primero que se realizó es la toma de los tiempos y movimientos del equipo CAT 330C para el llenado de cucharón, los cuales fueron registrados en la siguiente tabla:

CAT 330 C											
ciclo de cargado rezaga	ciclo #1 (s)	ciclo#2(s)	ciclo #3 (s)	ciclo#4 (s)	ciclo #5 (s)	ciclo#6 (s)	ciclo #7 (s)	ciclo#8 (s)	ciclo #9 (s)	ciclo #10 (s)	promedios
Carga del Cucharon	12	14	13	15	12	14	12	13	12	15	13
Giro con Carga	3	3	2	3	3	2	3	4	3	3	3
Descarga del Cucharon	4	5	5	4	5	4	6	6	4	6	5
Giro sin Carga	2	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3
Tiempo Total	21	25	23	25	23	24	24	26	22	27	24

**Tabla 27: Elaboración propia, tiempos y movimientos Excavadora CAT 330C.**

De la tabla anterior es importante resaltar que el tiempo promedio de llenado del cucharón fue de **24 segundos**. Se sabe que la capacidad del cucharón es de **1.4 m<sup>3</sup>** y se propone como factor de disponibilidad mecánica del equipo para trabajar de un **75%** (esto quiere decir que en una hora el equipo trabajaría un tiempo efectivo de **45 minutos**), de la misma manera, se contempla un factor de llenado de cucharón de un **90%** y un factor de abundamiento del material de un **85%**, de estos dos se obtiene una capacidad de llenado del cucharón de **1.1 m<sup>3</sup>**.

Con todos los datos anteriores se procede a obtener el número de ciclos que el quipo realiza en una hora:

*1 ciclo → tiempo promedio realizado en un ciclo*

*X No. de ciclos → trabajo efectivo*

*1 ciclo → 24 seg.*

*X = **112.5 ciclos** → 2700 seg. (45 min.)*

Una vez obtenido el número de ciclos por hora, **que fue de 112.5 ciclos**, se procede a obtener la cantidad de m<sup>3</sup> que se extraerán en una hora.

*(No. de ciclos)(capacidad de cucharón) = m<sup>3</sup> extraídos en una hora*

$$(112.5 \text{ ciclos})(1.1 \text{ m}^3) = \mathbf{124 \text{ m}^3/\text{hr}}$$

La cantidad de m<sup>3</sup> por hora fue de 124 m<sup>3</sup>. Ahora se utilizará la fórmula de la densidad para obtener las toneladas de material a extraer.

$$\varphi = \frac{M}{V}$$

$$M = (V)(\varphi)$$

$$M = (124 \text{ m}^3) \left( 2.61 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) = \mathbf{324 \text{ ton.}}$$

De lo anterior, se obtiene un estimado aproximado del tonelaje de extracción, el cual fue de **324 ton. por hora**, las cuales servirán como alimentación a la planta móvil, dicha planta tiene una capacidad de 400 ton. por hora por lo cual no se saturará la planta móvil. Anteriormente, se expuso que se contaba con dos plantas móviles y dos excavadoras, por ello las toneladas extraídas por hora aumentarían al doble, generando un total de **648 ton. por hora**.

#### *Planta móvil (separación de agregados pétreos)*

Se tiene en existencia dos plantas vibradoras clasificadoras de material, las cuales tiene capacidades de recepción de material de **400 ton./ hr** en cada una. De acuerdo a los cálculos anteriores se tendría una alimentación en cada una de **324 Ton/h (124 m<sup>3</sup>/h)** determinando así que éstas no estarían trabajando al máximo de su capacidad, por lo que no se estaría trabajando el equipo de forma forzada, se considera también que se les realizaría sus respectivos servicios programados de mantenimiento, de esta manera, sería posible lograr un mayor rendimiento y durabilidad del equipo y se garantizaría una producción continua y con pocos paros.

Es importante mencionar que la separación del material de ambas plantas sería de un total de **648 Ton/h (248 m<sup>3</sup>/h)** ya que la cantidad de material que entra es la misma cantidad de material que sale.

#### *Cálculos para el cargado y acarreo de productos finales (agregados pétreos)*

Este subproceso se llevará acabo con un cargador frontal CAT 950G que llenará dos camiones de 24 m<sup>3</sup>. A partir de esta consideración, se volvieron a tomar tiempos y movimientos de llenado de cucharón y acarreo de los equipos disponibles en la operación y los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

CAT 950G											
ciclo de llenado de cucharón	ciclo #1 (s)	ciclo#2 (s)	ciclo #3 (s)	ciclo#4 (s)	ciclo #5 (s)	ciclo#6 (s)	ciclo #7 (s)	ciclo#8 (s)	ciclo #9 (s)	ciclo #10 (s)	promedio(s)
Carga del Cucharon	31	14	18	18	25	17	13	12	19	77	24
Dezplazamiento con Carga	8	20	16	19	13	18	18	17	19	19	17
Descarga del Cucharon	5	7	6	7	9	7	5	10	9	8	7
Desplazamiento sin Carga	13	15	14	14	14	19	14	18	29	14	16
Tiempo Total	57	56	54	58	61	61	50	57	76	118	65

**Tabla 28: Elaboración propia, tiempos y movimientos Cargador frontal 950G.**

El resultado de importancia de la tabla es el promedio de tiempo total de los ciclos de llenado de cucharón, el cual fue de **65 segundos**. En cuanto al registro de tiempos y movimientos del equipo para el acarreo de material pétreo tenemos lo siguiente:

Ciclos de tiempo de Semi-remolque	Ciclo #1	ciclo #2	ciclo#3	Ciclo #4	ciclo #5	Promedios
Tiempo Cargado	518	389	518	518	648	518
Tiempo recorrido carg.	1051	1065	1005	1126	1166	1083
Tiempo descarga	65	35	58	75	45	56
Tiempo recorrido sin carg.	876	915	897	938	908	907
tiempo espera	64	69	82	71	354	128
tiempo total	2574	2473	2560	2728	3121	2691
tiempo total sin esp.	2510	2404	2478	2657	2767	2563

**Tabla 29: Elaboración propia, tiempos y movimientos de semi-remolque.**

El resultado del promedio del tiempo total de los ciclos de acarreo fue de **2563 segundos**. Una vez obtenidos los tiempos promedios de cargado y acarreo se realizan los siguientes cálculos.

Para este subproceso se cuenta con un cargador frontal CAT 950G, del cual sabemos que su tiempo de llenado y descarga de cucharón promedio es de **65 segundos**, la capacidad del cucharón es de **3.1 m<sup>3</sup>**, pero al aplicarle los factores de llenado de **90%** y un abundamiento del material del **85%**, la capacidad del cucharón reduce a **2.4 m<sup>3</sup>**; se sabe que la disponibilidad mecánica del equipo es de un **85%** (trabaja **51 minutos** efectivos por hora) y que el tiempo de acarreo promedio es de **2563 segundos** y la capacidad de los semi-remolques es de **22 m<sup>2</sup>**.

Adicionalmente, cabe mencionar que el acarreo de los agregados pétreos se realizará del banco de explotación “La Natividad”, hasta la planta de agregados pétreos, este recorrido tiene una longitud de 7.300 Km.

Considerando los datos anteriores, lo primero que se calculará es el número de pasadas o ciclos que se necesitan para cargar un semí-remolque con un cargador frontal, lo cual se realiza de la siguiente manera:

$$\# \text{ Pasadas} = \frac{\text{capacidad de camión}}{\text{capacidad de cargador}} = \frac{22 \text{ m}^3}{2.4 \text{ m}^3} = 9.1 \text{ pasadas}$$

Una vez obtenido el número de pasadas para llenar un semí-remolque, que en este caso fue de **9.1 pasadas**, se calculará el ciclo completo de tiempo de cargado de un camión, además del tiempo de total del ciclo de cargado del camión, junto con el ciclo de acarreo, el cual se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Ciclo cargado} = (\text{tiempo cargado})(\text{Número de pasadas})$$

$$\text{Ciclo cargado} = (65 \text{ segundos})(9.1) = \mathbf{592 \text{ segundos}}$$

$$\text{Tiempo total} = \text{tiempo de acarreo} + \text{ciclo de cargado}$$

$$\text{Tiempo total} = 2563 \text{ segundos} + 592 \text{ segundos} = \mathbf{3155 \text{ segundos}}$$

Una vez obtenidos tanto el tiempo del ciclo de cargado, que fue de **592 segundos**, como el tiempo total, que fue de **3155 segundos**, se obtiene el número de camiones a utilizar, dicho dato se calcula de la siguiente manera:

$$\# \text{ camiones a utilizar} = \frac{\text{tiempo total}}{\text{ciclo cargado}} = \frac{3155 \text{ segundos}}{592 \text{ segundos}} = 5.3 \text{ camiones}$$

Sabiendo la cantidad de camiones a utilizar, en este caso resultó de 5 camiones, se realiza el cálculo de tiempo de cargado del número de camiones a utilizar, así como el tiempo perdido al cargar dicho número de camiones:

$$\textit{Tiempo cargado} = (\#camiones)(\textit{ciclo cargado})$$

$$\textit{Tiempo cargado} = (5 \textit{ camiones})(592 \textit{ segundos}) = \mathbf{2960 \textit{ segundos}}$$

$$\textit{Tiempo perdido} = \textit{tiempo cargado} - \textit{tiempo total}$$

$$\textit{Tiempo perdido} = 2960 \textit{ segundos} - 3155 \textit{ segundos} = \mathbf{-195 \textit{ segundos}}$$

Ahora que se sabe el tiempo de cargado de los **5 camiones** que fue de **2960 segundos** y el tiempo perdido que fue de **195 segundos**, se pasará a obtener los factores operacional y de tiempo perdido en porcentaje, los cuales se calculan de la siguiente manera:

$$\textit{Factor operacional} = \left( \frac{\textit{Tiempo cargado}}{\textit{Tiempo total}} \right) (100)$$

$$\textit{Factor operacional} = \left( \frac{2960 \textit{ segundos}}{3155 \textit{ segundos}} \right) (100) = \mathbf{93.82 \%}$$

$$\textit{Tiempo perdido} = \left( \frac{\textit{Tiempo perdido}}{\textit{Tiempo Total}} \right) (100)$$

$$\textit{Tiempo perdido} = \left( \frac{195 \textit{ segundos}}{3155 \textit{ segundos}} \right) (100) = \mathbf{6.18 \%}$$

Con el factor de carga operacional que fue de **93.82%** y el factor de tiempo perdido que fue de **6.18%**, se procede a determinar la cantidad necesaria de camiones en una hora efectiva de trabajo del equipo (51 minutos):

*tiempo total* → 5 camiones

*tiempo efectivo* → X

52.58 minutos → 5 camiones

51 minutos → 4.85 camiones

$(\% \text{ factor operacional})(\text{camiones}) = \text{Número de camiones/hora}$

$(93.82 \%) (5 \text{ camiones}) = 4.69 \text{ camiones/hora} = \mathbf{5 \text{ camiones.}}$

Una vez determinada la cantidad de camiones por hora efectiva de operación del cargador frontal CAT 950G a cargar, que fue de **5 camiones**, se realizan los cálculos para determinar la cantidad de camiones por día y con ello determinar la cantidad de toneladas por día a extraer:

$(\text{Número de camiones/hora})(\text{Horas disponibles del equipo})$

$(5 \text{ camiones/hora})(6.8 \text{ horas}) = 34 \text{ camiones/día}$

$(\text{camiones /día})(\text{tonelaje promedio de carga})$

$(34 \text{ camiones/Día})(22 \text{ m}^3/\text{camión}) = 748 \text{ m}^3/\text{día}$

$(\text{Volumen})(\text{Densidad}) = \text{Masa}$

$(748 \text{ m}^3/\text{día})(2.61 \text{ Ton}/\text{m}^3) = \mathbf{1952.28 \text{ Ton/día}}$

El resultado de los cálculos anteriores es de **1952.28 Ton/ día (748 m<sup>3</sup>/ día)**. Es importante mencionar que para este subproceso, se calcularon **5 camiones**, con el fin de que fuera continuo y sin muchos tiempos perdidos, pero la empresa únicamente cuenta con **4 camiones** para la extracción, por ello se realizarán los cálculos para únicamente **4 camiones**. Muchos de los datos y apreciaciones ya fueron realizadas en

los cálculos anteriores, es por ello que ya no se explicarán esos datos, empezando los cálculos únicamente en la sustitución del número de camiones a utilizar que para el caso anterior fue de **5 camiones** y ahora para **4 camiones**:

$$\textit{Tiempo cargado} = (\#\textit{camiones})(\textit{ciclo cargado})$$

$$\textit{Tiempo cargado} = (4 \textit{ camiones})(592 \textit{ segundos}) = \mathbf{2368 \textit{ segundos}}$$

$$\textit{Tiempo perdido} = \textit{tiempo cargado} - \textit{tiempo total}$$

$$\textit{Tiempo perdido} = 2368 \textit{ segundos} - 3155 \textit{ segundos} = -787 \textit{ segundos}$$

Una vez obtenidos el tiempo de cargado de **4 camiones**, que fue de **2368 segundos** y el tiempo perdido que fue de **787 segundos**, se calcula el factor operacional y el factor de tiempo perdido en porcentaje:

$$\textit{Factor operacional} = \left( \frac{\textit{Tiempo cargado}}{\textit{Tiempo total}} \right) (100)$$

$$\textit{Factor operacional} = \left( \frac{2368 \textit{ segundos}}{3155 \textit{ segundos}} \right) (100) = \mathbf{75.05 \%}$$

$$\textit{Tiempo perdido} = \left( \frac{\textit{Tiempo perdido}}{\textit{Tiempo Total}} \right) (100)$$

$$\textit{Tiempo perdido} = \left( \frac{787 \textit{ segundos}}{3155 \textit{ segundos}} \right) (100) = \mathbf{24.95 \%}$$

Sabemos que el factor operacional es de **75.05%** y el factor de tiempo perdido es de **24.95%**, demostrando así que este subproceso sigue siendo eficiente. Ahora se procede a determinar la cantidad de camiones a cargar necesarios para no generar mucho tiempo perdido en una hora:

*tiempo total* → 4 camiones

*tiempo efectivo* → X

52.58 minutos → 4 camiones

55 minutos → 4.2 camiones

$(\% \text{ factor operacional})(\text{camiones}) = \text{Número de camiones/hora}$

$(75.05 \%) (4 \text{ camiones}) = 3.002 \text{ camiones/hora} = \mathbf{3 \text{ camiones.}}$

Una vez determinada la cantidad de camiones por hora, que fue de **3 camiones**, se realizarán los cálculos para determinar la cantidad de camiones cargados por día y con ello determinar la cantidad de toneladas por día a mover:

$(\text{Número de camiones/hora})(\text{Horas disponibles del equipo})$

$(3 \text{ camiones/hora})(6.8 \text{ horas}) = \mathbf{20.4 \text{ camiones/día}}$

$(\text{camiones /día})(\text{tonelaje promedio de carga})$

$(20 \text{ camiones/Día})(22 \text{ m}^3/\text{camión}) = \mathbf{440 \text{ m}^3/\text{día}}$

$(\text{Volumen})(\text{Densidad}) = \text{Masa}$

$(\text{m}^3/\text{día})(2.61 \text{ Ton}/\text{m}^3) = \text{Ton/día}$

$(440 \text{ m}^3/\text{día})(2.61 \text{ Ton}/\text{m}^3) = 1148.4 \text{ Ton/día}$

Ahora se procede a calcular el tiempo de retiro del material de valor económico (Agregados pétreos) considerando la siguiente información:

- Área del banco: 24,028.21 m<sup>2</sup>
- Altura del banco: 16.5 m
- Espesor de la capa vegetal: 1.5 m
- Reservas de bloque: 360,423.15 m<sup>3</sup>
- Capa de vegetal: 36,042.32 m<sup>3</sup>

$$\frac{\text{reservas de bloque}}{\text{Metros cubicos extraidos en un día}} = \text{Tiempo en remover capa vegetal en días}$$

$$\frac{360,423.15 \text{ m}^3}{440 \text{ m}^3/\text{día}} = 819.14 \text{ días} = \mathbf{820 \text{ días}}$$

Como resultado obtuvimos que el material será extraído en un total de **820 días**. Teniendo la información de que se labora 6 días a la semana y tomado como referencia que al mes se trabajan 29 días, se estaría removiendo todo el material en un tiempo aproximado de **2 años con 3 meses**. Una vez obtenidos el tiempo de remoción de la capa vegetal del banco y el tiempo de extracción de las reservas de material pétreo, podría determinarse que el tiempo aproximado de vida del Banco “La Natividad” sería de **2 años y 6 meses**.

#### **4.5. Equipo y personal necesario para la explotación**

De acuerdo con los cálculos realizados con anterioridad y con la disponibilidad de equipo que se tiene, el equipo necesario para el diseño de la explotación y con el método propuesto, sería el siguiente:

- 1 Excavadora, CAT, Modelo 322B
- 1 Excavadora, CAT, Modelo 330C
- 1 Cargador frontal, CAT, modelo 950G
- 4 Tractocamiones kenworth, T660, Modelo 2009
- 4 Semi-Remolques tipo volteo, vilchis, Modelo VE-24-2M, Express, Año 2009
- 1 Criba vibratoria Powerscreen doble deck, Modelo Chieftain 1400w
- 1 Criba Vibratoria, Finlay 393CV

Cabe mencionar que es el mismo equipo que se utilizaba anteriormente, pero ahora se utilizará de manera más eficiente y continúa, evitando perdida de tiempos y realizando los movimientos necesarios para desplazarse con más rapidez y fluidez.

Ahora bien, para realizar las labores de explotación únicamente se necesitará a los operadores para cada equipo y camión, esto implica un total de nueve operadores; se contará además con un encargado de seguridad. Es importante mencionar que la cantidad de trabajadores seguirá siendo la misma.

#### 4.6. Comparación entre el método de explotación actual y el que se propone

De acuerdo con los datos otorgados por Planta JAEM se tiene una producción mensual de este bloque de 7,649 m<sup>3</sup>, con lo cual se tendría una producción anual de 91,783 m<sup>3</sup>, considerando un tiempo total de extracción del bloque de 4 años, como se muestra en la tabla 30:

Productos	Producción mensual total por producto (m3)	35 % de la producción mensual (m3)	Extracción anual (m3)	Reservas totales del bloque (m3)	Extracción total del bloque en meses	Extracción total del bloque en años
total de grava	3733	1307				
Total de arena	12450	4358				
Total de granzón	5670	1985				
<b>total</b>	21853	7649	91.783	360.423	47	4

**Tabla 30: Elaboración propia**

Con la propuesta del método de minado, los cálculos realizados y los resultados obtenidos en el apartado anterior, se tendría una producción mensual de 13,200 m<sup>3</sup> y una producción anual de 158,400 m<sup>3</sup>, con ello el tiempo total de extracción del bloque se reduciría a 2 años con 6 meses, contemplando los 3 meses de la remoción de la capa vegetal. Se lograría entonces una reducción del tiempo de extracción de material, del 37.5% y un aumento considerable de la producción, los resultados se muestran en la tabla 31.

Método de minado propuesto	Reservas totales del bloque (m3)	Extracción mensual (m3)	Extracción anual (m3)	Remoción de la capa vegetal en meses	Extracción total del material petróo en meses	Extracción total del banco en meses	Extracción total del banco en años
<b>total</b>	360.423	13.200	158.400	3	27	30	2,5

**Tabla 31: elaboración propia**

Cabe mencionar que el análisis de los cálculos está basado considerando jornadas laborales de 8 horas, con lo cual se observaría también una reducción importante en la jornada laboral, ya que, actualmente el personal labora en jornadas de hasta 12 horas. De esta manera, al realizar la reducción de las horas de trabajo el trabajador estaría disminuyendo al mismo tiempo los niveles de fatiga y estrés y tendría un menor tiempo de exposición, con lo que se reducen los riesgos de tener accidentes.

#### 4.7. Costos nivelados teóricos para el proyecto Banco “La Natividad”

En este punto se pretende hacer una comparación del costo por metro cúbico que se tendría proyectado con el método de explotación actual y el método de explotación que se propone, dicho análisis se realizará con el método costos nivelados.

En las tablas 32 y 33 se muestran los resultados de los costos nivelados con el método empírico de explotación que actualmente se emplea:

<b>Costos nivelados Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM método de explotación actual</b>	
<b>Producción (m3)</b>	91,783.00
<b>Inversión (Pesos MXN)</b>	\$ -
<b>Costo producción anual (Pesos MXN)</b>	\$ 4,000,000.00
<b>Precio de venta (Pesos MXN/m3)</b>	\$ 86.20
<b>Duración proyecto (Años)</b>	4 años
<b>Interés (10%)</b>	0.1
<b>Reservas (m3)</b>	360, 423.15
<b>VP Egresos totales (Pesos MXN)</b>	\$ 14,670,104.50
<b>VP Producción (Pesos MXN)</b>	\$ 290,939.76
<b>Costos nivelados (Pesos MXN)</b>	\$ 50.42

**Tabla 32: Elaboración propia, costos nivelados.**

Año	Inversión (Pesos MXN)	Costos producción (Pesos MXN)	Producción (m3)
	\$ -		
1		\$ 4,320,000.00	91783.00
2		\$ 4,536,000.00	91783.00
3		\$ 4,762,800.00	91783.00
4		\$ 5,000,940.00	91783.00

**Tabla 33: Elaboración propia, Costos y producción anual.**

Como se observa, el costo de producción por metro cúbico actualmente es de **\$50.42 por m<sup>3</sup>** y la duración del proceso de extracción es de **cuatro años**.

Ahora, en las tablas 34 y 35 se muestran los resultados de los costos nivelados con el método de minado propuesto, es decir, por Terrenos Horizontales:

<b>Costos nivelados Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM método de explotación propuesto</b>	
Producción (m3)	158,400.00
Inversión (Pesos MXN)	\$ -
Costo producción anual	\$ 4,000,000.00
Precio de venta (pesos MXN/m3)	\$ 86.20
Duración proyecto (Años)	2.5 años
Interés (10%)	0.1
Reservas (m3)	360, 423.15
VP Egresos totales (Pesos MXN)	\$ 9,465,214.12
VP Producción (Pesos MXN)	\$ 393,917.36
Costos Nivelados (Pesos MXN)	<b>\$ 24.03</b>

**Tabla 34: Elaboración propia, costos nivelados**

Año	Inversión (Pesos MXN)	Costos producción (Pesos MXN)	Producción (m3)
	\$ -		
1		\$ 4,320,000.00	158400.00
2		\$ 4,536,000.00	158400.00
3		\$ 2,381,400.00	158400.00

**Tabla 35: Elaboración propia, Costos y producción anual**

Para este caso se observa que el costo por m<sup>3</sup> es de **\$ 24.03 por m<sup>3</sup>** y el tiempo de extracción del bloque es de dos años y medio. Además, destaca la importante reducción en la jornada laboral que se logra, pues como se señaló con anterioridad las jornadas actuales de 12 horas quedarían reducidas a 8.

Al realizar la comparación entre un método y otro se ve una gran diferencia en el costo por m<sup>3</sup>, de igual forma, se observa que el tiempo de extracción es menor. Es por ello que la propuesta del método de minado Terrenos Horizontales, implicaría una mejora de gran importancia en los aspectos operativo, de seguridad y económico.

### **Reflexiones finales**

A lo largo de este capítulo hemos podido conocer de manera general el concepto de cantera o bancos de explotación, sus componentes y los diferentes métodos de explotación aplicables a las canteras. En relación con lo anterior, se describió el método Terrenos Horizontales, propuesto para la explotación del Banco “La Natividad”, junto con sus ventajas y desventajas.

Más adelante, nos enfocamos en la aplicación del método y se elaboraron cálculos para plantear y diseñar la operación en función de éste. Junto con ello se estimó el tiempo de extracción del material, así como el tonelaje por día, por mes y por año a extraer. También se obtuvo la cantidad de equipos necesarios para la explotación, pero al no contar con todo el equipo necesario, se recalculó todo para cuadrarlo al equipo con el que se cuenta actualmente, buscando optimizar su uso. Se determinó también la cantidad de trabajadores necesarios para llevar a cabo la explotación del Banco “La Natividad”, de lo que surge la propuesta de reducir las jornadas laborales de 12 horas a 8 horas, con el fin de evitar accidentes por fatiga y estrés de los trabajadores, sin afectar la producción de material.

En el último apartado se ha realizado una comparación entre el tonelaje obtenido por el método de explotación que actualmente se emplea en el banco y el tonelaje obtenido por el método de explotación propuesto, llegando al resultado de que con el

método propuesto se obtendrían mayores tonelajes y una operación más segura y eficiente.

Finalmente, es importante mencionar que se ha elaborado también un estudio por costos nivelados en ambos métodos de explotación con el fin de determinar y comparar la rentabilidad de cada uno. De ello se concluye que, si bien es cierto, el proyecto, con el método de explotación actual, es rentable, ya que genera ganancias en cuanto al costo de extracción por metro cúbico; sin embargo, con nuestra propuesta se obtendría un costo por metro cúbico mucho más bajo, generando más ganancias en cuanto al precio de venta del material pétreo.



## CAPÍTULO V.

### PROPUESTA DE MEJORAS EN PLANTA DE BENEFICIO: CALIDAD Y CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS FINALES<sup>4</sup>

#### 5.1. Certificación bajo los criterios de la EMA e ISO 9001

Antes de desarrollar un laboratorio es importante tomar en cuenta la existencia de diferentes requisitos para la obtención de una certificación. Es importante mencionar que las entidades de acreditación, son los órganos encargados de garantizar que los organismos sujetos a una evaluación, sean confiables y técnicamente competentes. En México el órgano encargado de regular y otorgar las certificaciones, es la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

Al montar un laboratorio se necesita conocer los mecanismos, regulaciones, la normatividad nacional e internacional, así como las instituciones que acreditan los procedimientos y equipos necesarios para un laboratorio, puesto que todos ellos permiten evaluar el cumplimiento de los determinados estándares de calidad que se enfocan en la mejora continua y responsabilidad social; y aseguran que un laboratorio cuente con la infraestructura suficiente, confiable y técnicamente competente para ello. Así, la acreditación garantiza que un producto o un servicio que es consumido por la sociedad cumpla con tales estándares, y avala que los laboratorios, unidades de verificación y organismos de certificación cumplan con las regulaciones y normas de forma precisa.

La normatividad aplicable en la certificación de laboratorios es la ISO 9001, la cual es un conjunto de normas enfocadas a la calidad y gestiones. Esta normatividad ha sido elaborada por el Comité Técnico ISO/TC176 de la Organización Internacional

---

<sup>4</sup> Este capítulo ha sido elaborado con base en la información proporcionada por las mismas normas que se refieren, así como por la propuesta de Manual de laboratorio que ha sido generada por Ricardo Alan Mata Larios en: Ricardo Alan Mata Larios, *Manual de laboratorio de agregados para concreto y explotación de canteras enfocado al pequeño y mediano minero*, Tesina presentada para obtener el grado de Ingeniero en Minas y Metalurgia, Universidad Nacional Autónoma de México, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Departamento de Explotación de Minas y Metalurgia, s/fecha, 125 pp.

para la Estandarización (ISO) y en ella se especifican los requisitos para organizar un buen sistema de gestión en la calidad y con ello obtener una certificación.

Al desarrollar un laboratorio en seguimiento de las normas de la ISO 9001 se mejoraría la manera de trabajar, se podría reducir los costos de producción y elevar la calidad del servicio y los productos, puesto que permite realizar el proceso de explotación y tratamiento de minerales de manera mucho más eficiente. De esta manera, para el caso de nuestro proyecto, en cuanto a los procedimientos del laboratorio para el estudio de bancos habría que tomar en cuenta lo siguiente:

- Los métodos de recopilación e identificación de muestras
- El método de selección aleatoria de muestras
- Los criterios de aceptación
- Los criterios de rechazo
- Las reglas para ajustes del alcance de la inspección
- Las reglas para la separación y clasificación de lotes rechazados
- La errónea aplicación de las técnicas estadísticas ya que podría indicar un nivel erróneo de la calidad del producto.
- Las instalaciones y el equipo necesario para un laboratorio de materiales pétreos

## **5.2. Aspectos importantes en el diseño de las Instalaciones de un laboratorio**

Las instalaciones de un laboratorio de pruebas físicas para agregados pétreos se deben diseñar de tal forma que permitan desarrollar las actividades correspondientes de forma segura, eficiente y confortable tanto para el personal que laborará en él, como para el buen desarrollo de los procedimientos a realizarse dentro del mismo.

En relación al tamaño del espacio siempre es importante tener presente las posibles ampliaciones, en primer lugar, porque los equipos e instrumentos que se utilizan en este tipo de laboratorios se encuentran sujetos a un rápido avance tecnológico, así como a un constante proceso actualización; y, en segundo lugar, porque, aunque la demanda de producto de una mina suele mantenerse constante, se

debe tener presente una posible súbita variación del volumen de trabajo por un inesperado incremento de la demanda de producto.

En cuanto al diseño de las instalaciones, éstas deben incluir un espacio independiente para uso del personal de laboratorio, esto ayudará a prevenir accidentes y a conservar la integridad de las muestras, evitando su contaminación. Dicho espacio debería contemplar al menos un área pequeña para cocina y comedor, así como sanitarios y una sección de fumadores, puesto que en el área de laboratorio debe quedar estrictamente prohibido comer, beber y fumar. La infraestructura deberá contemplar también al menos dos entradas/salidas que faciliten la llegada a espacios abiertos y seguros, esto para facilitar la movilidad del personal en caso de incendio o alguna emergencia.

En cuanto a las condiciones internas, el espacio debe garantizar una buena red de abastecimiento de agua y un control adecuado de la temperatura, la humedad y las filtraciones de polvo, con el fin de lograr un buen funcionamiento de los instrumentos y el equipo electrónico, así como la realización en condiciones óptimas de las funciones del personal. En este mismo sentido, es importante recordar que los equipos de cómputo deben ser ubicados de manera que queden protegidos de los campos magnéticos que pudieran ser generados por otros aparatos; mientras que las balanzas e instrumentos ópticos delicados tendrán que quedar distanciados de los equipos o instrumentos que puedan producir alguna vibración.

Finalmente, para la obtención de resultados de calidad en los análisis a realizarse en el laboratorio se debe contar con un diseño que contemple el aislamiento de los lugares donde se manipularán y resguardarán las muestras y las sustancias a utilizar para poder evitar su contaminación, tal diseño debe involucrar también prácticas y procedimientos de trabajo correctos.

### **5.3. Equipo necesario para un laboratorio de agregados pétreos**

Las normas de equipamiento de un laboratorio de agregados pétreos contemplan especificaciones importantes no sólo en relación al equipo necesario para realizar las

pruebas y análisis; sino también en relación al equipo de seguridad que el personal deberá utilizar al desarrollar sus actividades y a los señalamientos específicos que deberán ser colocados en el laboratorio. A continuación señalaremos las especificaciones que se emiten en ISO 9001.

Equipo e instrumentos necesarios:

- Balanza (Capacidad de 60 kg.)
- Balanza (Aproximación 1 Kg.)
- Balanza (Aproximación 1 gr.)
- Fuente de calor (Horno, parrilla o estufa)
- Charolas
- Espátulas
- Brochas
- Mallas o cribas (malla -200 a malla #+4)
- Recipiente cilíndrico con capacidad de 14 Lts. para obtención de peso volumétrico con su respectivo factor y peso (Olla recta y sin tapa)
- Pisón cilíndrico metálico, superficie plana, con un diámetro de 25+/-3 mm. y un peso de 340+/-0.15 gr.
- Frasco de vidrio transparente, con tapa, graduado con una capacidad mínima de 300 ml.
- Máquina de los Ángeles
- Varilla de acero de sección circular de 16 mm. de diámetro y 60 cm. de longitud.
- Enrasador de sección rectangular de 3 mm. de espesor, 50 mm. de ancho y una longitud de 100 mm. mínima
- Cucharón
- Pala
- Vidrios de reloj
- Copa de casa grande
- Ranurador
- Cristal de 10 cm. x 10 cm.

- Moldes rectangulares de 10 cm. x 2 cm. x 2cm.
- Picnómetro para arena
- Molde metálico de cono truncado
- Carta de colores
- Carga abrasiva. Esferas de acero con un diámetro promedio de 45 mm. y cada una con una masa entre 390 gr. y 445 gr.
- Canastilla de alambre
- Tanque de agua
- Cuarteador Johns
- Probetas
- Pizeta
- Tamizador automático

Equipo de seguridad y señalamientos:

- Equipo de seguridad personal
- Extintor
- Señalamiento del equipo de protección personal necesario para el uso de laboratorio
- Señalamiento prohibitivo de los actos que no se pueden realizar dentro del laboratorio
- Reglamento del uso de laboratorio

#### **5.4. Pruebas y procesos de laboratorio para el análisis de agregados pétreos**

El fin del montaje de un laboratorio para materiales pétreos es corroborar que el material extraído y procesado en la empresa Planta procesadora de Materiales Pétreos JAEM es un material de calidad y, de esta manera, pueda quedar certificado como tal. De esta manera, las pruebas y procesos a realizar permiten analizar con mayor certeza las propiedades físicas y químicas de los agregados pétreos, ya que determinar su calidad de manera visual es complicado y, además, resulta ser un método poco eficiente.

En concordancia con lo anterior, a continuación enunciaremos las pruebas y procesos que deberán ser aplicados a los materiales pétreos, así como las normas mexicanas que establecen cómo realizarlas:

Pruebas y procesos	Normas NMX
Cuarteo	NMX C 170
Granulometría	NMX C 77
Densidad y Absorción	NMX C 165 y 164
Masa volumétrica	NMX C 73
Pérdidas por lavado	NMX C 84
Abrasión e impacto	NMX C 196
Contenido de materia orgánica	NMX C 88

**Tabla 36: Elaboración propia, Pruebas y procesos de laboratorio**

*Cuarteo para la obtención de muestras representativas empleando cuarteador mecánico*

La norma NMX-C-ONNCCE-1997 establece los métodos para reducir la cantidad de material en las muestras de agregados pétreos obtenidas en el campo, así como la cantidad necesaria para elaborar las pruebas para que éstas continúen siendo representativas de las muestras obtenidas en campo, mediante el uso de un cuarteador mecánico.

Método:

1. Colocar las quijadas del cuarteador a la abertura necesaria conforme al tamaño y tipo de agregado que se desea cuartear.
2. Colocar la muestra sobre la tolva de cuarteador y distribuir de forma uniforme el material en toda la tolva.
3. Abrir la tolva del cuarteador, de tal forma que todo el material caiga de forma continua en las quijadas y se llenen los dos recipientes receptores de material.
4. Remover los recipientes receptores de material del cuarteador.
5. Desechar el contenido de uno de los recipientes y el contenido del otro recipiente colocarlo nuevamente sobre la tolva del cuarteador.

6. Ambos recipientes se deberán colocar nuevamente en su lugar.
7. Repetir los pasos anteriores hasta obtener una muestra con el peso necesario para la prueba que se quiera realizar.

#### *Cono cuarteo para la obtención de muestras representativas de forma manual*

La norma NMX-C-ONNCCE-1997 establece los métodos para reducir la cantidad de material en las muestras de agregados pétreos obtenidas en el campo, así como la cantidad necesaria para elaborar las pruebas para que éstas continúen siendo representativas de las muestras obtenidas en campo, de forma manual.

Método:

1. Limpiar una superficie plana y uniforme dentro del laboratorio.
2. Colocar una cubierta de plástico sobre la superficie plana, con el fin de mantener libre de posibles contaminantes la muestra a cuartear.
3. Utilizando una pala colocar el material pétreo sobre el plástico, percatándose de que cada palada de material se deposite una sobre otra, apilando el material de forma cónica y homogenizada.
4. Utilizar una pala para presionar la pila de material hasta obtener un espesor y diámetro uniforme.
5. Con la pala dividir el material en cuatro partes iguales.
6. Eliminar dos partes del material que se encuentre de forma opuesta.
7. Mezclar nuevamente las dos partes iguales sobrantes del material.
8. Repetir los pasos anteriores hasta obtener la cantidad de agregado pétreo necesaria para la prueba a realizar.

#### *Granulometría*

La norma NMX C 77 establece el método para realizar la prueba de análisis granulométrico de agregados finos y gruesos, con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños por medio de cribas.

Método:

1. Obtener una muestra representativa del material a analizar (mezclar de manera que los fragmentos queden lo más aleatorio posible). El peso de la muestra deberá ser de 500 gr a 1000 gr.
2. Poner a secar la muestra a una temperatura de 383 K +/- 5 k (100 ° C +/-5 ° C)
3. Armar las cribas, éstas se emplearán en orden descendente del tamaño de las aberturas, terminado con la charola de fondo (la cantidad de cribas dependerá del tipo de curva granulométrica a analizar). Colocar el material en la parte superior y tapar para evitar fuga de material.
4. Colocar las cribas en el tamizador automático y dejarlo trabajar durante 10 min. En caso de no contar con el equipo, este paso se puede realizar de forma manual agitando en forma circular las cribas al menos 200 veces.
5. Dejar reposar el material por al menos 5 mins., permitiendo el asentamiento de las partículas finas.
6. El material almacenado en cada criba se retirará con una brocha evitando dejar material en la criba, para luego pesarlo y registrar los pesos en una tabla de resultados.

Ejemplo de tabla:

No. Malla	RET. g	% RET. PARCIAL	%RET. ACUM.	% QUE PASA	LIM. INF.	LIM. SUP.
3/8"	0	0,00	0,00	100,00	100	100
No. 4	31	3,10	3,10	96,90	95	100
No. 8	291	29,10	32,20	67,80	80	100
No. 16	231	23,10	55,30	44,70	50	85
No. 30	147	14,70	70,00	30,00	25	60
No. 50	68	6,80	76,80	23,20	10	30
No.100	62	6,20	83,00	17,00	2	10
Pasa 100	170	17,00	100,00	0,00	0	0
Suma	1000	100,00				

**Tabla 37: Tabla para el registro de resultados, elaboración propia**

### *Densidad de arena y absorción*

La norma NMX C 165 ONNCCE 2004 establece cómo llevar a cabo el método de prueba para la determinación de la masa específica aparente y la absorción del agregado pétreo fino en la condición de saturado y superficialmente seco.

Método:

1. Obtener una muestra representativa del material de 1.5 a 2 kg.
2. El material de la muestra representativa será colocado en una charola limpia, la cual se llenará de agua hasta cubrir el material. La charola será dejada en reposo por 24 horas. a fin de sobresaturar la muestra.
3. Una vez transcurridas las 24 horas., se coloca la muestra en una parrilla para secarla.
4. La muestra de arena se retirará de la parrilla, una vez que se evapore el agua en exceso y se noten las partículas en estado saturado y superficialmente seco, comprobando ello con un vidrio de reloj (completamente seco) que deberá ser colocado sobre de la muestra.
5. Dejar que el material se enfríe en una charola extendida, evitando la contaminación del material.
6. Revolver con las manos la muestra representativa, eliminando la humedad superficial de la arena.
7. Ahora se procederá a obtener el punto de condición de Saturado y Superficial Seco (SSS) de la arena, realizado el siguiente subproceso:
  - a. Se coloca el cono truncado en el centro de una superficie plana de diámetro mayor al de la base del cono (preferentemente que la superficie sea de vidrio o acrílico).
  - b. Sujetar con fuerza el cono, evitando su movimiento, y llenarlo con arena hasta rebasar el borde superior del cono.
  - c. Compactar el material con el pisón 10 veces sin aplicar fuerza, dejando caer el pisón de una altura de 3 mm. sobre el material pétreo depositado en

el cono y enrasar el sobrante del cono con el pisón. Repetir nuevamente el llenado del cono y compactar nuevamente 10 veces el material y, posteriormente, enrasar el material. Finalmente, repetir lo anterior, pero ahora compactando únicamente el material 5 veces, para luego enrasar nuevamente el material.

- d. Retirar lentamente, con cuidado y en forma vertical el cono del material observando su comportamiento. Si el agregado no pierde la forma del cono, esto indicará que el agregado se encuentra sobresaturado de agua, si al retirar el cono se disgrega totalmente, esto indicará que el material se ha secado más de lo suficiente excediendo la condición del punto SSS. Ahora bien, si al retirar el cono del material, sólo se desmorona la mitad del material, se ha encontrado entonces la condición del punto SSS.
8. Una vez obtenida la condición del punto SSS, se colocará dentro de un picnómetro entre 500 gr. y 600 gr. de la muestra.
  9. Cerrar el picnómetro con su respectiva tapa, llenarlo lentamente de agua hasta la punta de la tapa y agitar hasta eliminar las burbujas de aire de la muestra.
  10. Pesar el picnómetro, con el agua y la muestra (registrar el peso).
  11. Vaciar el picnómetro de agua y retirar el material pétreo húmedo en un recipiente evitando su contaminación.
  12. Llenar nuevamente el picnómetro únicamente con agua hasta el ras de la punta de la tapa (registrar el peso)
  13. Del material húmedo retirado del picnómetro se obtiene una muestra de 200 gr., ésta se pondrá a secar en una fuente de calor (horno ó estufa), ya seco el material, nuevamente se pesará (registrar peso).
  14. Con los registros de los pesos que anteriormente se obtuvieron se realizarán los cálculos necesarios para obtener la Masa específica saturada y superficialmente seca (Messs), la Masa específica aparente seca (Mes) y la Absorción (A), a continuación se expondrán cada una de las formulas a utilizar:

### Masa específica saturada y superficialmente seca ( $M_{esss}$ )

$$M_{esss} = \frac{D}{C + D - E}$$

Donde:

**$M_{esss}$ :** Masa específica saturada superficialmente seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

**C:** Masa del picnómetro lleno de agua (g)

**D:** Masa de la muestra usada (g)

**E:** Masa del picnómetro, muestra y agua (g)

### Masa específica aparente seca ( $M_{es}$ )

$$M_{es} = \frac{M_{esss}}{1 + \frac{A}{100}}$$

Donde:

**$M_{es}$ :** Masa específica aparente seca en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

**$M_{esss}$ :** Masa específica saturada superficialmente seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

**A:** Porcentaje de absorción (%)

### Absorción (A)

$$A = \frac{F - G}{G} * 100$$

Donde:

**A:** Porcentaje de absorción en base a la masa del agregado seco (%)

**F:** Masa de la muestra saturada superficie seca (g)

**G:** Masa de la muestra seca, (g)

15. Realizar reporte del análisis y sus resultados.

### *Densidad de gravas:*

La norma NMX-C-164-ONNCCE-2002 establece el método de prueba para la determinación de la masa específica aparente y la absorción del agregado grueso en la condición de saturado y superficialmente seco.

#### Método:

1. Elaborar una muestra representativa del material pétreo.
2. Colocar la muestra en un recipiente, agregar agua al recipiente hasta cubrir la muestra por completo y dejar reposar por 24 hrs. hasta sobresaturarla.
3. Trascorridas las 24 hrs., se pondrá a sacar el material hasta que se encuentre en su punto de estado Saturado Superficialmente Seco (SSS).
4. Se pesará la muestra en su estado SSS
5. Colocar una canastilla vacía dentro de un tanque de agua, hasta cubrir la canastilla por completo.
6. Colocar una balanza con gancho, al filo de la orilla del tanque con agua para pesar la cubeta sumergida en el tanque de agua y registrar el peso.
7. Se colocará el material pétreo en la canastilla, sumergiéndola en el tanque con agua hasta que la canastilla esté totalmente cubierta.
8. Pesar la canastilla con el material sumergida en el tanque de agua y registrar el peso.
9. Sacar la canastilla del tanque con agua, retirar el material de la canastilla y colocarlo en una charola, llevarlo al horno o parrilla y eliminar toda la humedad.
10. Colocar la charola con la muestra en una fuente de calor (horno o parrilla), para asegurar que la muestra se encuentre totalmente seca. Si la muestra se coloca en horno se deberá poner a una temperatura de  $105 \pm 2$  °C durante 24 hrs. Si la muestra se coloca sobre una parrilla se deberá mover el material para evitar que se queme y se comprobará con un vidrio de reloj la existencia de humedad.
11. Dejar enfriar el material, pesar la muestra ya fría y registrar el peso.

12. Con los registros de los pesos que anteriormente se obtuvieron se realizarán los cálculos necesarios para obtener la Masa específica saturada y superficialmente seca (Mees) y la Absorción (A), a continuación se expondrán las fórmulas a utilizar:

**Masa específica saturada y superficialmente seca ( $M_{ESSS}$ )**

$$M_{ESSS} = \frac{A}{A - B + C}$$

**Donde:**

**$M_{ESSS}$ :** Masa específica saturada y superficialmente seca

**A:** Peso de la muestra SSS

**B:** Peso Canastilla y Agregado pétreo cubiertos con agua

**C:** Peso de canastilla en agua

**Porcentaje de Absorción (A)**

$$\% A = \frac{B - M_{MS}}{M_{MS}} * 100$$

**Donde:**

**% A:** Porcentaje de Absorción

**B:** Peso de la muestra SSS

**$M_{MS}$ :** Masa de la muestra seca

13. Realizar reporte del análisis y sus resultados.

### *Masa volumétrica:*

La norma NMX-C-073-ONNCCE-2004 establece el método de prueba para la determinación de la masa volumétrica de los agregados finos y gruesos o de una combinación de ambos y es aplicable a agregados cuyo tamaño máximo nominal no excedan de 150 mm. (6 in.).

#### Método:

Esta prueba se divide en dos subprocesos, el subproceso de masa volumétrica compactada y el subproceso de masa volumétrica suelta.

#### Subproceso 1. Masa volumétrica compactada:

Esta prueba es aplicable únicamente para materiales pétreos con un Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 40 mm. (1 ½ in.) o menor:

1. Obtener una muestra representativa del agregado pétreo y eliminar la humedad por completo.
2. Llenar una olla recta y sin tapa con la muestra representativa utilizando un cucharón o una pala. El llenado se hará en tres capas o camas iguales. Después de arrojar una capa de material se deberá compactar con una varilla, realizando movimientos en forma de espiral (25 veces), introduciendo la varilla una pulgada en el material. Al añadir cada capa de material se deberá repetir el movimiento de compactación.
3. Realizar el enrasado del material de manera manual, eliminando las partículas sobresalientes en el nivel superior de la olla. Después, con las partículas sobrantes removidas, rellenar los agujeros que se observen sobre la superficie.
4. Colocar la olla con el material sobre una báscula y registrar el peso.

## Subproceso 2. Masa volumétrica suelta:

Esta prueba, únicamente es aplicable para agregados pétreos con un Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 100 mm. o de menor tamaño.

1. Elaborar y obtener una muestra representativa de agregado pétreo.
2. Llenar una olla recta y sin tapa con la muestra representativa de material pétreo utilizando un cucharón o pala hasta que el material se derrame por las orillas. La separación entre la olla y el cucharón o pala al realizarse el llenado debe ser aproximadamente de 5 cm.
3. Realizar enrasado del material de la olla, el cual se lleva a cabo colocando en una orilla de la olla el enrasador y se desliza hasta llegar al otro extremo de la olla eliminando el material sobresaliente del nivel de los bordes de la olla.
4. Colocar la olla con el material sobre una báscula y registrar el peso.
5. Una vez obtenidas la masa volumétrica compactada y la masa volumétrica suelta, se aplica la siguiente fórmula para ambas masas para obtener la masa volumétrica compactada y suelta exacta:

$$M_{vol} \text{ en Kg/m}^3 = (Masa - Tara)(Factor)$$

**Donde:**

**M<sub>vol</sub>:** Masa volumétrica real

**Masa:** Peso de la muestra

**Tara:** peso de la tara

**Factor:** 206.35

6. Por último, se realizará un reporte del análisis y sus resultados.

*Pérdida por lavado:*

La norma NMX-C-084-2006 establece que el método de prueba para determinar el contenido de partículas más finas de una criba debe realizarse mediante la prueba de lavado. Las partículas de arcilla y otras que se disgregan por su lavado, además de las que son solubles en el agua, podrán ser separadas con la aplicación de dicha prueba.

Método:

1. Obtener una muestra representativa del material. La muestra representativa deberá ser de cierto peso, de acuerdo con los diferentes tamaños de los agregados pétreos que se va a emplear para la prueba.

Tamaño máximo del material pétreo	Masa en gramos
2.36 mm. (No. 8)	100 gr.
4.75 mm. (No. 4)	500 gr.
9.5 mm. (3/3 in)	2000 gr.
19 mm. (3/4 in)	2500 gr.
38 mm. (1 ½ in)	5000 gr.

**Tabla 38: Pesos establecidos según el tamaño del agregado, cuadro tomado de, NMX-C-084-ONNCCE: Partículas más finas que la criba 0,075 mm (No. 200) por medio de lavado(2006) de Entidad Mexicana de Acreditación EMA.**

2. Secar el material de la muestra representativa en una fuente de calor ya sea en una estufa u horno. Si el proceso de secado se realiza en estufa se tendrá que revisar continuamente la humedad colocando un vidrio de reloj sobre la muestra. Si el proceso de secado se realiza por medio de un horno se dejará la muestra en él por 24 hrs. a una temperatura de 105 +/- 2 °C.
3. Retirar la muestra de la fuente del calor (horno o estufa), esperando a que se enfríe por completo.

4. Colocar la muestra sobre una balanza sin la charola y registrar el peso (el peso no debe cambiar, deberá ser el mismo que se registró en el paso 1).
5. La muestra se colocará sobre la malla que le corresponde de acuerdo al tamaño granulométrico de la muestra.
6. Se colocará la malla con el material bajo un flujo constante de agua (una llave de agua), mojando toda la muestra, hasta que se elimine totalmente el material fino.
7. El material húmedo se colocará en una charola limpia.
8. Colocar la charola con la muestra húmeda en una fuente de calor (horno o estufa), y permitir que la muestra se seque. Si el proceso de secado se realiza en estufa se tendrá que revisar continuamente la existencia de humedad colocando un vidrio de reloj sobre la muestra. Si el proceso de secado se realiza por medio de un horno se dejará la muestra en él por 24 hrs. a una temperatura de 110 +/- 2 °C.
9. Retirar la charola con el material de la fuente de calor, dejar que se enfríe, colocar el material sin la charola sobre la balanza y registrar el peso de la muestra.
10. Realizar el cálculo para obtener el porcentaje de material perdido por lavado, aplicando al siguiente formula:

$$\%PXL = \frac{M_i - M_f}{M_f} * 100$$

**Donde:**

**%PXL:** Porcentaje por perdida de lavado

**M<sub>i</sub>:** Peso inicial de la muestra

**M<sub>f</sub>:** Peso final del muestra o peso registrado después la prueba de lavado.

11. Realizar reporte de la prueba y sus resultados.

### *Abrasión de Los Ángeles:*

La norma NMX-C-196-ONNCCE-1984 establece el proceso empleado para llevar a cabo la prueba de determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de los agregados pétreos gruesos (grava) de tamaños nominales tanto grandes como pequeños, utilizando la máquina de Los Ángeles.

Método:

1. Preparar una muestra representativa del material pétreo que será empleado en la prueba
2. Introducir la muestra de material y la carga abrasiva (medios de molienda) en la máquina de los Ángeles. En la siguiente tabla se encuentran las diferentes especificaciones a considerar dependiendo el tipo de material que será utilizado para la prueba:

Clasificación granulométrica	Cantidad de medios de molienda (esferas).	Masa de la carga de la muestra representativa (gr.)
<i>Tamaños nominales grandes</i>		
1	12	5000+/- 25
2	12	5000+/- 25
3	12	5000+/- 25
<i>Tamaños nominales pequeños</i>		
A	12	5000+/- 25
B	11	5000+/- 25
C	8	5000+/- 20
D	6	5000+/- 15

**Tabla 39: Especificaciones a considerar según el tipo de material, cuadro tomado de Entidad Mexicana de Acreditación EMA, (2006, 4) cuadro tomado de, NMX-C-196-ONNCCE: industria de la construcción-agregados-determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos usando la máquina de los ángeles (2010) de Entidad Mexicana de Acreditación EMA.**

3. Programar la máquina de Los Ángeles a una velocidad de 30 a 33 rpm y se deja trabajar durante de 500 a 1000 revoluciones, de acuerdo a la granulometría de la muestra con la que se cuenta.
4. Retirar del material de la máquina de Los Ángeles, colocar el material sobre la báscula, pesarlo y registrar el peso de la muestra.
5. Se prepara la criba (malla) de apertura mayor a M.1.70 y un fondo.
6. Se descarga el material molido de la máquina sobre la criba, que anteriormente se preparó, y se agita con ambas manos realizando movimientos circulares para llevar a cabo una separación preliminar del material.
7. Pesar y registrar el peso del material retenido en la criba mayor a M. 1.70
8. El material que pasó el cribado anterior, se volverá a cribar con la malla M. 170.
9. El material retenido en la malla M. 170, se lavará bajo un flujo constante de agua hasta eliminar el polvo.
10. Colocar la muestra en una charola y dejarla secar en una fuente de calor (estufa u horno). Si el proceso de secado se realiza en estufa se tendrá que revisar continuamente la existencia de humedad, colocando un vidrio de reloj sobre la muestra. Si el proceso de secado se realiza por medio de un horno se dejará la muestra en él por 24 hrs. a una temperatura de 110 +/- 2 °C.
11. Una vez seca la muestra se pesará y registrará el peso del material retenido.
12. Con los diferentes pesos obtenidos anteriormente se realizará el cálculo para obtener el porcentaje de pérdida por abrasión, aplicando las siguientes fórmulas:

$$M_{mr} = M_{+m1.70} + M_{-m1.70}$$

**Donde:**

**M<sub>mr</sub>:** Peso del material retenido en ambas cribas (mallas)

**M<sub>+m1.70</sub>:** Peso del material retenido en la criba mayor a 1.70

**M<sub>-m1.70</sub>:** Peso del material secado retenido en la criba menor a 1.70.

$$\% P_{Ab} = \frac{M_T - M_{mr}}{M_T} * 100$$

**Donde:**

**%P<sub>Ab</sub>:** Porcentaje de pérdida de material por abrasión.

**M<sub>T</sub>:** Peso total la muestra

**M<sub>mr</sub>:** Peso del material retenido en ambas cribas (malla mayor a 1.70 y malla menor a 1.70).

13. Realizar reporte de la prueba y sus resultados.

#### *Contenido de materia orgánica*

La norma NMX-C-088-ONNCCE-1997 establece cómo llevar a cabo el procedimiento de la prueba de la determinación aproximada de la existencia de materia orgánica dañina en los agregados pétreos de tamaño fino que se usan de forma específica en la fabricación de concreto.

Método:

1. Elaborar una muestra representativa del material pétreo de una peso aproximado de 1.5 kg.
2. Secar la muestra representativa colocándola en un horno durante 24 hrs. a una temperatura de 105+/- 2 °C.
3. Retirar la muestra del horno y dejarla enfriar.
4. Una vez fría la muestra, colocar el material de la muestra en un frasco (graduado y con tapa), hasta la marca de 130 ml.

5. Agregar en el frasco una solución de hidróxido de sodio (sosa) hasta la marca de los 200 ml.
6. Co su respectiva tapa, tapar y agitar el frasco hasta eliminar las burbujas de aire del material pétreo y de la solución.
7. Verificar que la solución se encuentre en la marca de los 200 ml., en caso de no ser así, agregar más solución hasta alcanzar la marca de los 200 ml.
8. Dejar reposar el frasco con el agregado pétreo y la solución de hidróxido de sodio (cerrado), durante 24 hrs.
9. Pasadas las 24 hrs., se determinará la cantidad del contenido de materia orgánica del material, comparando el color de la solución del frasco con la carta de colores. El nivel máximo requerido de material orgánico en la muestra, de acuerdo con la norma es el número 3 en la escala de la carta de colores.
10. Realizar reporte de la prueba y sus resultados.

#### *Base de datos*

Es importante llevar un control de las diferentes pruebas que se aplicarán a cada una de las muestras de material pétreo. Por ello será necesario contar con una base de datos, la manera más sencilla y económica para elaborarla, es empelando la herramienta de trabajo que la mayoría de las computadoras de hoy en día utilizan, Excel. A continuación se dará a conocer los datos necesarios que deben incluir las fichas de la base de datos:

- Nombre de la prueba
- Normatividad aplicada
- Resultados obtenidos
- Límites establecidos en los que se deben encontrar los resultados obtenidos

## **Reflexiones finales**

A lo largo del quinto capítulo hemos referido los diferentes aspectos necesarios para que los laboratorios que realizan pruebas a los agregados pétreos obtengan la certificación bajo la normatividad de la EMA e ISO 9001. Por principio, se dieron a conocer las organizaciones encargadas de otorgar dicha certificación y las exigencias que las empresas deben considerar para el montaje de un laboratorio, en este caso para un laboratorio adecuado para el manejo de agregados pétreos. Posteriormente, en el segundo apartado se realizó una explicación teórica general de los distintos aspectos que conforman un diseño adecuado de las instalaciones de un laboratorio de agregados pétreos, puntualizando las condiciones de seguridad bajo las cuales debe operar un laboratorio de esta índole para que no exista riesgo alguno y el laboratorio resulte funcional a su cometido.

Más adelante, se dieron a conocer los equipos e instrumentos indispensables para la correcta conformación de un laboratorio de agregados pétreos con el fin de que se pueda llevar a cabo las diferentes pruebas y procesos aplicables a este tipo de materiales. En el último apartado se explicó con detalle cada una de las diferentes pruebas y procesos aplicables a los materiales pétreos, ello con la finalidad de que los productos finales de la planta de beneficio de la empresa cumplan con los estándares de calidad requeridos por el área de construcción y de las áreas donde se utilizan los materiales pétreos.

Finalmente, es importante mencionar que una de las grandes ventajas que otorga el montaje de este laboratorio radica en que en caso de que los resultados obtenidos de las pruebas no cumplan con las especificaciones requeridas, se tendrá la oportunidad de realizar las modificaciones necesarias a nivel laboratorio para luego ser aplicadas en la planta de beneficio. Con el apoyo de un laboratorio se evitarían gastos innecesarios, así como la pérdida de tiempo en la producción, asimismo, ya no sería necesario efectuar modificaciones de forma empírica en la planta de beneficio, ya que los cambios o modificaciones se efectuarán anticipadamente dentro del laboratorio, asegurando con ello la calidad y control de los productos finales.

## CAPÍTULO VI.

### PROPUESTAS GENERALES PARA UNA OPERACIÓN MINERÍA SUSTENTABLE

#### 6.1. Propuesta de estudio de impacto ambiental

Sin duda alguna, según lo hemos visto en nuestro capítulo teórico, lograr una minería sustentable obliga por fuerza a las pequeñas empresas mineras a ir incorporando criterios para lograr un funcionamiento armónico y más amable con el medio ambiente, de ahí que a continuación nos enfoquemos en concentrar los marcos legales, reglamentos y recomendaciones que sería necesario implementar para lograr que la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM pueda aspirar a un verdadero funcionamiento sustentable.

#### *Marco legal general aplicable*

De la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: 2015) es necesario cumplir con el título tercero (política ambiental) en específico con los siguientes lineamientos:

- **Lineamiento III** (Las autoridades y los particulares deben asumir la responsabilidad de la protección del equilibrio ecológico)
- **Lineamiento VIII** (Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique. Asimismo, debe incentivarse a quien proteja el ambiente, promueva o realice acciones de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático y aproveche de manera sustentable los recursos naturales).
- **Lineamiento V** (La responsabilidad respecto al equilibrio ecológico, comprende tanto las condiciones presentes como las que determinarán la calidad de la vida de las futuras generaciones).

- **Artículo 108.** Para prevenir y controlar los efectos generados en la exploración y explotación de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico e integridad de los ecosistemas, la Secretaría expedirá las normas oficiales mexicanas que permitan:
  - I. El control de la calidad de las aguas y la protección de las que sean utilizadas o sean el resultado de esas actividades, de modo que puedan ser objeto de otros usos;
  - II. La protección de los suelos y de la flora y fauna silvestres, de manera que las alteraciones topográficas que generen esas actividades sean oportuna y debidamente tratadas; y
  - III. La adecuada ubicación y formas de los depósitos de desmontes, relaves y escorias de las minas y establecimientos de beneficios de los minerales.
- **Artículo 109.** Las normas oficiales mexicanas a que se refiere el artículo anterior serán observadas por los titulares de concesiones, autorizaciones y permisos para el uso, aprovechamiento, exploración, explotación y beneficio de los recursos naturales no renovables.

*Requisitos para la liberación de autorización*

Los requisitos para cumplir con la autorización son los presentados en el Título 1 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: 2015) en su Capítulo III (Política ambiental), específicamente, en los siguientes apartados:

- **Artículo 15.** Para la formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente, el Ejecutivo Federal observará los siguientes principios:
  - I. Los ecosistemas son patrimonio común de la sociedad y de su equilibrio dependen la vida y las posibilidades productivas del país;

- II. Los ecosistemas y sus elementos deben ser aprovechados de manera que se asegure una productividad óptima y sostenida, compatible con su equilibrio e integridad;
- III. Las autoridades y los particulares deben asumir la responsabilidad de la protección del equilibrio ecológico;
- IV. Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique. Asimismo, debe incentivarse a quien proteja el ambiente, promueva o realice acciones de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático y aproveche de manera sustentable los recursos naturales;
- V. La responsabilidad respecto al equilibrio ecológico, comprende tanto las condiciones presentes como las que determinarán la calidad de la vida de las futuras generaciones;
- VI. La prevención de las causas que los generan, es el medio más eficaz para evitar los desequilibrios ecológicos; VII.- El aprovechamiento de los recursos naturales renovables debe realizarse de manera que se asegure el mantenimiento de su diversidad y renovabilidad;
- VII. Los recursos naturales no renovables deben utilizarse de modo que se evite el peligro de su agotamiento y la generación de efectos ecológicos adversos; LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN Secretaría General Secretaría de Servicios Parlamentarios Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis Última Reforma DOF 04-06-2012 15 de 114
- IX. La coordinación entre las dependencias y entidades de la administración pública y entre los distintos niveles de gobierno y la concertación con la sociedad, son indispensables para la eficacia de las acciones ecológicas;
- X. El sujeto principal de la concertación ecológica son no solamente los individuos, sino también los grupos y organizaciones sociales. El

propósito de la concertación de acciones ecológicas es reorientar la relación entre la sociedad y la naturaleza.

### *Obtención de autorización*

Para obtener la autorización se debe revisar la sección V (evaluación de impacto ambiental), Artículo 30 (Manifestación de Impacto Ambiental) de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual estipula lo siguiente:

Para obtener la autorización a que se refiere el Artículo 28 de esta Ley, los interesados deberán presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental, la cual deberá contener, por lo menos, una descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad de que se trate, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.

Cuando se trate de actividades consideradas altamente riesgosas en los términos de la presente Ley, la manifestación deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente.

Si después de la presentación de una manifestación de impacto ambiental se realizan modificaciones al proyecto de la obra o actividad respectiva, los interesados deberán hacerlas del conocimiento de la Secretaría, a fin de que ésta, en un plazo no mayor de 10 días les notifique si es necesaria la presentación de información adicional para evaluar los efectos al ambiente, que pudiesen ocasionar tales modificaciones, en términos de lo dispuesto en esta Ley.

Los contenidos del informe preventivo, así como las características y las modalidades de las manifestaciones de impacto ambiental y los estudios de riesgo serán establecidos por el Reglamento de la presente Ley (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: 2015).

### *Normatividad aplicable*

Las normas aplicables a este proyecto son las siguientes:

Normas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT):

- ✚ NOM 043 SEMARNAT 1993. La cual habla sobre los niveles máximos permisibles de emisión a la atmosfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

- ✚ NOM 052 SEMARNAT 2005. Que establece las características el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- ✚ NOM 059 SEMARNAT 2001. La cual trata la protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías en riesgo y especificaciones para la inclusión, exclusión o cambio de la lista de especies en riesgo.
- ✚ NOM 138 SEMARNAT 2012. En la cual explica los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación.

Normas teóricas estatales ambientales del Estado de México:

- ✚ NTEA-002-SMA-DS2009, que regula la exploración, explotación y transporte de minerales no concesionables en el Estado de México.
- ✚ NTEA-003-SEGEM-DS-2004, que establece las especificaciones para prevenir y controlar la contaminación visual

### *Proceso para realizar la evaluación de impacto ambiental*

Para la evaluación del impacto ambiental es necesario realizar los siguientes procedimientos:

- 1) Estudio de Línea base. Su objetivo principal es conocer las condiciones ambientales antes de iniciar un proyecto y tener características de referencia. Es de carácter voluntario y cuantitativo.
- 2) Manifestación de Impacto Ambiental (MIA). El objetivo es identificar los posibles escenarios de afectación y con base en ellos proponer acciones de prevención. Es importante debido a que en las operaciones se ocasionan afectaciones al ambiente que es necesario remediar. Es de carácter obligatorio y cualitativo.
- 3) Estudio de Caracterización. El objetivo es determinar la magnitud de la afectación ocasionada, así como su extensión, con el fin de llevar a cabo acciones de limpieza y

remediación. Es fundamental para conocer el desempeño ambiental que se tiene en la empresa. Es de carácter voluntario después de su inicio y es un proceso continuo.

4) Auditoría Ambiental. Su objetivo es determinar el grado de cumplimiento del marco legal e identificar áreas de oportunidad para mejorar el desempeño ambiental. Es de carácter voluntario.

5) Estudio de evaluación de riesgo. El objetivo principal de este estudio es determinar el riesgo que representa la concentración de los contaminantes (en agua o suelo) para los seres vivos y, con base en el riesgo, determinar los niveles de limpieza. En una operación es importante este estudio porque se requiere conocer el riesgo que representa la contaminación del suelo y agua para los seres vivos. Es de carácter voluntario.

## **6.2. Plan de mantenimiento para los equipos y normatividad en seguridad aplicable para la operación de la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM**

### *Plan de mantenimiento*

La importancia de los planes de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones del trabajador. Otra de las finalidades de un plan de mantenimiento es la de encargarse de mantener en buenas condiciones, la maquinaria, herramientas y el equipo de trabajo para permitir un mejor desarrollo de las actividades laborales y de forma segura evitando en parte riesgos en el área laboral.

Ahora bien se puede definir como mantenimiento, al conjunto de operaciones, normas y técnicas necesarias para que las instalaciones, maquinaria y equipos necesarios para la operación minera, funcionen adecuadamente.

En un principio el mantenimiento era visto como las actividades correctivas para solucionar fallas; Las actividades de mantenimiento eran realizadas por los operarios de las maquinas. Hoy en día con el desarrollo tecnológico de las máquinas, es necesario crear y organizar departamentos de mantenimiento con la finalidad de no

solo solucionar fallas sino de prevenirlas, actuando antes que se produzca la falla es por ello dentro de los departamentos de mantenimiento deben de contar con personal dedicado a estudiar el período en el cual se produce las fallas con el fin de prevenirlas y garantizar eficiencia para evitar los costos por avería en la instalaciones, equipos de trabajo, herramientas y maquinaria.

La implementación de un plan mantenimiento tiene por objetivos los siguientes puntos:

- Garantizar el funcionamiento regular de las instalaciones y servicios.
- Optimizar la disponibilidad de los equipos productivos.
- Disminuir los costos de mantenimiento.
- Optimizar los recursos humanos.
- Maximizar de la vida de la maquinaria que forman parte de las instalaciones, evitando su envejecimiento prematuro.

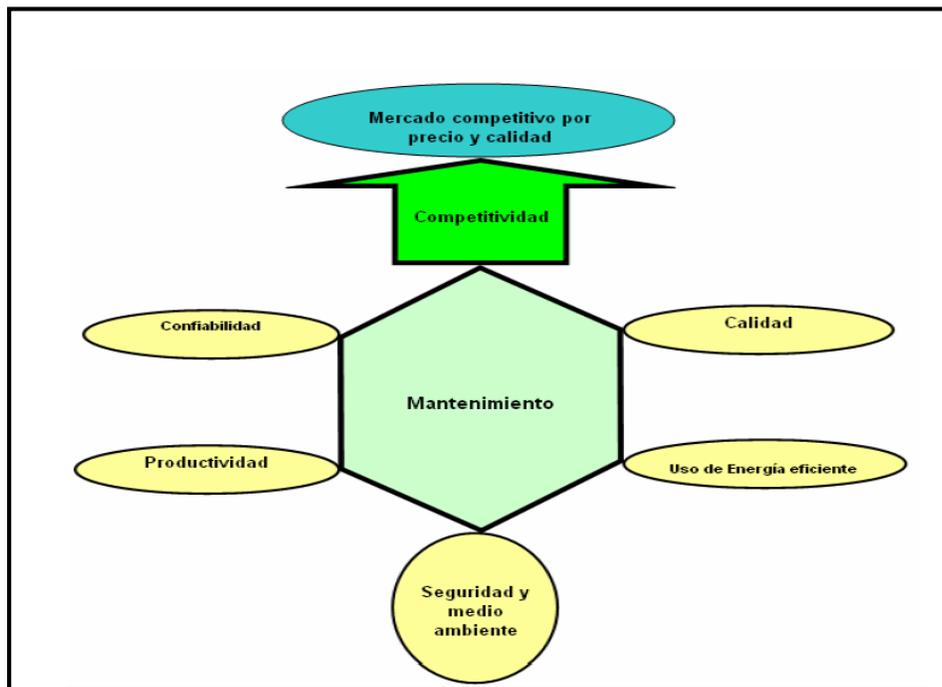


Imagen 27: Objetivos de un plan de mantenimiento

Existen diferentes conceptos en los que se desglosa un plan de mantenimiento, pero de forma sencilla y general para este caso se dividirá en dos tipos de mantenimiento:

### *Mantenimiento preventivo*

El Mantenimiento Preventivo es un conjunto de inspecciones periódicas que buscan detectar condiciones que pudieran causar averías en los equipos, paros de la producción o pérdidas en diferentes aspectos económicos, en relación al tiempo, en recursos humanos y entre otros más. Es por ello que es de suma importancia controlar, eliminar o evitar tales condiciones en sus primeras etapas.

Este tipo de mantenimiento tiene la finalidad de cubrir los siguientes puntos:

- Prevenir la ocurrencia de fallas. Se conoce como Mantenimiento Preventivo Directo o Periódico en el cual sus actividades están controladas en función del tiempo. Se basa en la Confiabilidad de los Equipos. En este tipo de mantenimiento existe diferentes tipos de modelos para efectuarlo, los cuales son:
  - ✚ **Modelo correctivo:** Es un modelo en donde se realiza la reparación de averías y además se incluye una inspección visual y lubricación.
  - ✚ **Modelo condicional:** Modelo de mantenimiento en donde además de las actividades anteriores incluye una serie de pruebas y ensayos que condicionan la actuación a futuro del equipo (Es aplicado a equipos cuya probabilidad de falla es baja).
  - ✚ **Modelo sistemático:** En este modelo se realizan una serie de tareas sin importar las condiciones del equipo, Fundamentalmente se realiza una serie de pruebas y ensayos para planificar tareas de mayor importancia, Este se aplica a equipos que deben tener tareas constantes de mantenimiento que pueden ser planificadas durante ciertos lapsos de tiempo, sin importar el tiempo de funcionamiento del equipo.
  - ✚ **Modelo de alta disponibilidad:** Este modelo de mantenimiento incluye el modelo condicional y sistemático el cual incluye paros en los equipos en

periodos largos de tiempo, Puede ser anual y en este paro se realizan todas las correcciones, modificaciones, reparaciones que pudieron presentarse a lo largo del periodo operativo.

- Detectar las fallas antes de que se desarrollen en una rotura u otras interferencias en producción. Está basado en inspecciones, medidas y control del nivel de condición de los equipos. También conocido como Mantenimiento Predictivo, Preventivo Indirecto o Mantenimiento por Condición. A diferencia del Mantenimiento Preventivo Directo, que asume que los equipos e instalaciones siguen cierta clase de comportamiento estadístico, el Mantenimiento Predictivo verifica muy de cerca la operación de cada máquina operando en su entorno real. Sus beneficios son difíciles de cuantificar ya que no se dispone de métodos tipo para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación.

Una vez explicado el mantenimiento programado y sus derivaciones se explicará la forma en la que se debe llevar a cabo dicho plan. Para ello es necesario ejecutar correctamente un sistema de inspecciones programadas, periódicas, progresivas y cíclicas.

- **Programadas:** Las inspecciones no deben obedecer a un orden aleatorio o fortuito, sino a un programa previamente acordado.
- **Periódicas:** Las Inspecciones deben llevarse a cabo a determinadas UMS (Unidad de Medida de servicios), alcanzadas las cuales, el equipo debe ser inspeccionado según el detalle que requiera el equipo en sí.
- **Progresivas:** Las inspecciones deberán tener un orden de complejidad que irá creciendo a medida que avance la edad en servicio del equipo. Además una inspección deberá incluir la o las anteriores.
- **Cíclicas:** Un plan de MP debe ejecutarse mediante inspecciones que deben ser cumplir con las otras condiciones y estas deben terminar cuando el estado del

equipo sea tal que tenga las mismas características que cuando fue puesto en servicio. Es decir, con la concreción de la inspección “cero UMS”. Lo cual no significa que esta inspección sea ejecutada, pues puede surgir de análisis financieros u operacionales que esa ejecución no sea viable.

Ahora bien las ventajas que presenta el mantenimiento preventivo son:

- **Disminución de paros no programados:** Debido a la programación, las tareas de mantenimiento pueden programarse sin mayores problemas, evitando de esta manera sorpresas desagradables.
- **Mejor conservación de los equipos:** Un equipo sometido a estas prácticas en forma habitual poseerá un estado de conservación mejor que aquel sobre el que no se hayan ejecutado tareas de mantenimiento, excepto las derivadas de las prácticas de mantenimiento correctivo.
- **Costos de mantenimiento menores que el correctivo:** La programación permite conocer el estado de partes visibles y no visibles de un equipo con una cierta exactitud, por lo se pueden planificar reparaciones mayores y medias con anticipación que permiten prever los costos directos e indirectos asociados a éstas.

### *Mantenimiento correctivo*

La finalidad del mantenimiento correctivo es la de corregir o repara una falla que surge de imprevisto en el equipo. También se puede definir como el conjunto de tareas destinadas a colocar el activo averiado en condiciones operativas luego que haya ocurrido una rotura o falla ocasionando paros no programados. Los planes de mantenimiento correctivo se dividen en dos rubros:

Mantenimiento correctivo no planificado: Es aquel que surge de emergencia (reparación de fallas o anomalías) en los equipos o maquinaria. Debe repararse o solucionarse el problema o avería de manera rápida y eficientemente y en el momento

que se presentó, esto con la finalidad de que el equipo sea puesto en operación lo más rápido posible.

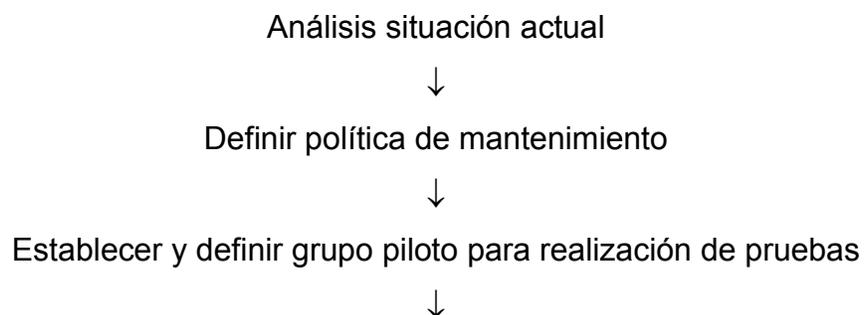
**Mantenimiento correctivo planificado:** En este tipo de mantenimiento se sabe con antelación qué es lo que se debe hacer, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente. Además este tipo de plan de mantenimiento correctivo consiste en dejar los equipos o máquinas en servicio hasta que surja la avería y en este momento el encargado del equipo, llama al departamento de mantenimiento al encargado, para reparar el defecto o falla. Una vez hecha la reparación, el equipo se deja trabajar o en operación hasta que se produce otra falla.

Finalmente es de suma importancia que el mantenimiento correctivo es un conjunto de trabajos de reparación y sólo debería aplicarse a equipos auxiliares que no están directamente relacionados con la producción.

### *Planificación del mantenimiento*

Un mecanismo para planificar y programar el trabajo, y garantizar la recuperación de la información necesaria para que el esfuerzo de mantenimiento se dirija correctamente hacia el objetivo definido.

Un sistema de mantenimiento es un organismo en continua evolución, cuya organización necesitará una modificación continua como respuesta a unos requisitos cambiantes. Como el objetivo principal de la organización es hacer corresponder los recursos con la carga de trabajo, es preciso considerar el siguiente esquema para conformar un plan de mantenimiento:



Recopilar y ordenar datos grupo piloto



Procesar información



Analizar resultados



Readaptación del sistema

mejora continua



Ampliar gestión

Los beneficios que se obtienen de elaborar un buen plan de mantenimiento, son los siguientes:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

Finalmente, para cerrar este apartado sobre el plan de mantenimiento de equipos, infraestructuras, herramientas, maquinaria, etc., es de suma importancia resaltar que representa una inversión que a mediano y largo plazo acarreará ganancias para el empresario ya que, la inversión será revertida en mejoras en la producción, y también en el ahorro que representará al tener un ambiente laborar más seguro para los trabajadores, disminuyéndose los índices en gran cantidad de accidentes dentro de la empresa.

El mantenimiento representa una gran importancia en la seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en los equipos que pueden ser prevenidos. El mantenimiento no solo debe ser realizado por el departamento o encargado de realizarlo, sino por el mismo trabajador que debe crearse un pensamiento de mantener en buenas condiciones los equipos, herramienta y maquinarias, generando con ello una mayor responsabilidad del trabajador y prevención de accidentes.

### *Normatividad aplicable a la minería a cielo abierto y recomendaciones*

Es importante mencionar que en la minería a cielo abierto se debe de cumplir con las Normas Oficiales mexicanas de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, algunas de ellas se mencionan a continuación:

- NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo – Condiciones de seguridad. D.O.F. 24-XI-2008.
- NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad – Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. D.O.F. 9-XII-2010.
- NOM-003-STPS-1999, Actividades agrícolas – Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes – Condiciones de Seguridad e Higiene. D.O.F. 28-XII-1999.

Acuerdo que modifica la Norma Oficial Mexicana NOM-003-STPS-1999, Actividades agrícolas – Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes – Condiciones de seguridad e higiene, D.O.F. 18-XII-2003.

- NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad de la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo. D.O.F. 31-V-1999.

Aclaración a la Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo, D.O.F. 16-VII-1999.

- NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. D.O.F. 2-II-1999.

- NOM-006-STPS-2000, Manejo y almacenamiento de materiales – Condiciones y procedimientos de seguridad. D.O.F. 9-III-2001.
- NOM-007-STPS-2000, Actividades agrícolas – Instalaciones, maquinaria, equipo y herramientas-Condicionde seguridad. D.O.F. 9-III-2001.
- NOM-008-STPS-2001, Actividades de aprovechamiento forestal maderable y de aserraderos – Condiciones de seguridad e higiene. D.O.F. 10-VII-2001.
- NOM-009-STPS-2011, Condiciones de seguridad para realizar trabajos en altura. D.O.F. 6-V-2011.
- NOM-010-STPS-1999, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral. D.O.F. 13-III-2000.

Aclaraciones y Fe de erratas de la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1999, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral, D.O.F. 21-VII-2000.

Acuerdo que modifica la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1999, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporte, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral. D.O.F. 26-II-2001.

- NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. D.O.F. 17-IV-2002.
- NOM-014-STPS-2000, Exposición laboral a presiones ambientales anormales- Condiciones de seguridad e higiene. D.O.F. 10-IV-2000.

Aclaración y Fe de erratas de la NORMA Oficial Mexicana NOM-014-STPS-2000, Exposición laboral a presiones ambientales anormales – Condiciones de seguridad e higiene, D.O.F. 22-VIII-2000.

- NOM-015-STPS-2001, Condiciones térmicas elevadas o abatidas – Condiciones de seguridad e higiene. D.O.F. 14-VI-2002.
- NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal – Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. D.O.F. 9-XII-2008.

- NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. D.O.F. 27-X-2000.

Aclaración a la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo, D.O.F. 2-I-2001.

Acuerdo de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo, D.O.F. 6-IX-2013.

- NOM-019-STPS-2011, Constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene. D.O.F. 13-IV-2011.
- NOM-020-STPS-2011, Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas – Funcionamiento – Condiciones de Seguridad. D.O.F. 27-XII-2011.
- NOM-021-STPS-1993, Relativa a los requerimientos y características de los informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para integrar las estadísticas. D.O.F. 24-V-1994.

Aclaración D.O.F. 8-VI-94.

- NOM-022-STPS-2008, Electricidad estática en los centros de trabajo – Condiciones de seguridad. D.O.F. 7-XI-2008.
- NOM-023-STPS-2012, Minas subterráneas y minas a cielo abierto – Condiciones de seguridad y salud en el trabajo. D.O.F. 11-X-2012.
- NOM-024-STPS-2001, Vibraciones – Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo. D.O.F. 11-I-2002.
- NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. D.O.F. 20-XII-2008.
- NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. D.O.F. 25-XI-2008.
- NOM-027-STPS-2008, Actividades de soldadura y corte – Condiciones de seguridad e higiene. D.O.F. 7-XI-2008.

- NOM-028-STPS-2012, Sistema para la administración del trabajo – Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas. D.O.F. 06-IX-2012.
- NOM-029-STPS-2011, Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo – Condiciones de seguridad. D.O.F. 29-XII-2011.
- NOM-030-STPS-2009, Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo – Funciones y actividades. D.O.F. 22-XII-2009.
- NOM-031-STPS-2011, Construcción – Condiciones de seguridad y salud en el trabajo. D.O.F. 4-V-2011.
- NOM-100-STPS-1994, Seguridad – Extintores contra incendio a base de polvo químico seco con presión contenida – Especificaciones. D.O.F. 8-I-1996.
- NOM-101-STPS-1994, Seguridad – Extintores a base de espuma química. D.O.F. 8-I-1996.
- NOM-102-STPS-1994, Seguridad – Extintores contra incendio a base de bióxido de carbono – Parte 1: Recipientes. D.O.F. 10-I-1996.
- NOM-103-STPS-1994, Seguridad – Extintores contra incendio a base de agua con presión contenida. D.O.F. 10-I-1996.
- NOM-104-STPS-2001, Agentes extinguidores – Polvo químico seco tipo ABC, a base de fosfato mono amónico. D.O.F. 17-IV-2002
- Aclaraciones a la Norma Oficial Mexicana NOM-104-STPS-2001, Agentes extinguidores – Polvo químico seco tipo ABC a base de fosfato mono amónico, D.O.F. 14-V-2002
- NOM-106-STPS-1994, Seguridad – Agentes extinguidores – Polvo químico seco tipo BC, a base de bicarbonato de sodio. D.O.F. 11-I-1996.
- NOM-113-STPS-2009, Seguridad – Equipo de protección personal – Calzado de protección – Clasificación, especificaciones y métodos de prueba. D.O.F. 22-XII-2009.

Acuerdo de modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-113-STPS-2009, Seguridad – Equipo de protección personal – Calzado de protección – Clasificación, especificaciones y métodos de prueba, D.O.F. 24-XII-2010.

Aclaración al acuerdo de modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-113-STPS-2009, Seguridad – Equipo de protección personal – Calzado de protección – Clasificación, especificaciones y métodos de prueba, D.O.F. 25-I-2011.

- NOM-115-STPS-2009, Seguridad – Equipo de protección personal – Cascos de protección – Clasificación, especificaciones y métodos de prueba. D.O.F. 22-XII-2009.

Acuerdo de modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-115-STPS-2009, Seguridad – Equipo de protección personal – Cascos de protección – Clasificación, especificaciones y métodos de prueba, D.O.F. 24-XII-2010.

Acuerdo de modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-115-STPS-2009, Seguridad – Equipo de protección personal – Cascos de protección – Clasificación, especificaciones y métodos de prueba, D.O.F. 07-VI-2013.

- NOM-116-STPS-2009, Seguridad – Equipo de protección personal – Respiradores purificadores de aire de presión negativa contra partículas nocivas – Especificaciones y métodos de prueba. D.O.F. 22-XII-2009.

Acuerdo de modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-116-STPS-2009, Seguridad – Equipo de protección personal – Respiradores purificadores de aire de presión negativa contra partículas nocivas – Especificaciones y métodos de prueba, D.O.F. 24-XII-2010.

Por último, a partir de las observaciones hechas en las visitas realizadas, y retomando las normas anteriores, se brindan las siguientes recomendaciones con el objetivo de mejorar la seguridad dentro de la planta JAEM:

- Es indispensable crear un programa de mantenimiento preventivo para los servicios de la maquinaria. Al realizar este programa se podría mejorar la eficiencia y disponibilidad de los equipos, reduciendo de manera drástica los mantenimientos correctivos y costos en el taller mecánico. También se recomienda llevar un control y registro de todas las fallas y mantenimientos realizados a los equipos, tanto correctivos como preventivos.
- Se recomienda comprar equipo de seguridad para los trabajadores y realizar cursos de capacitación y pláticas informativas para crear conciencia en los trabajadores en el aspecto de la seguridad.

- Se recomienda tener una mayor limpieza y seguridad en las áreas de trabajo, para así eliminar las condiciones inseguras y con ello eliminar también riesgos y accidentes laborales.
- Se recomienda tener un área de almacenamiento para los desechos y chatarra generada por piezas o equipos en desuso.
- Se recomienda incorporar también un área destinada al aseguramiento de desechos peligrosos, para evitar perjuicios a la salud y al medio ambiente.
- Se recomienda implementar un sistema de transporte para los trabajadores, esto permitiría reducir los tiempos de traslado para aquellos que no poseen automóvil, mientras que para los que si cuentan con auto podría implicar una reducción en sus gastos cotidianos. En ambos casos se estaría optimizando el rendimiento de los recursos humanos en el desempeño de sus jornadas laborales.
- Se recomienda realizar revisiones periódicas del equipo de seguridad, para visualizar cuando sería necesario renovarlo.

### **6.3. Propuesta de apoyo a la comunidad de Calimaya de Díaz González por parte de la empresa Planta Procesadora de Agregados Pétreos**

A partir del año 2014, el Gobierno de la República Mexicana determinó la aplicación en la explotación y extracción de metales de un impuesto, éste establece que de las utilidades de la empresas mineras 7.5% será destinado al Gobierno, además se cobrar un impuesto adicional en la extracción de metales preciosos, el cual consta de un 0.5% de las utilidades que de igual manera es otorgado al Gobierno.

En primera instancia, la aplicación de dicho impuesto resulta ser una medida que puede desmotivar la inversión en la actividad minera, sin embargo, hemos detectado que es posible implementar medidas que permitan que en lugar de destinar ese porcentaje de utilidades a la carga de impuestos, tales recursos pudieran ser canalizados hacia una inversión directa en la comunidad.

Tales medidas permiten enfocar aún más el proyecto minero hacia la sustentabilidad al dar cumplimiento al rubro social en el que la empresa minera debe

incorporarse como un elemento que funciona armónicamente con la comunidad. De esta manera, se propone que la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM en apoyo a la comunidad de Calimaya de Díaz González, otorgue donaciones para el mantenimiento de las iglesias del Municipio y para el mantenimiento de los monumentos históricos existentes en Calimaya de Díaz González, tales donativos se podrían otorgar directamente al Centro Regional INAH del Estado de México.

De igual forma, se puede generar un acuerdo con la institución antes mencionada, para la creación de un taller que, funcionando bajo el esquema de cooperativa, permita a la comunidad aprender las diferentes técnicas para fabricar artesanías de la región, con el fin de comercializarlas. Este proyecto permitiría incorporar a las familias de los trabajadores de la empresa, a las autoridades y a la propia comunidad, en aras de incrementar la diversidad de fuentes laborales en la comunidad, de dar a conocer a la empresa minera como un agente empresarial responsable social y ambientalmente, y, en el aspecto de la rentabilidad, disminuir la carga fiscal al canalizar recursos a la comunidad que le permitan funcionar de manera armónica con la misma.

Como una tercera propuesta, se propone elaborar un sistema de donaciones, ya sea monetarias o en especie, al Gobierno Municipal, para el reencarpetamiento asfáltico y señalización de las diferentes vialidades de la comunidad de Calimaya de Díaz González. Este sistema de donaciones también permitiría generar una imagen positiva de la empresa, en el sentido de que se le adverte en la comunidad como un agente empresarial socialmente responsable que aporta recursos y propone medidas para la mejora de los servicios en la misma.

#### **6.4. Propuestas generales de mejora para la empresa Planta de Agregados Pétreos JAEM**

A continuación realizamos una serie de propuestas generales que se consideran que pueden permitir un mejor desempeño y funcionamiento de esta empresa:

- ❖ Para la parte de exploración y cálculo de reservas se recomienda mandar su solicitud al Servicio Geológico Mexicano para la inscripción al Programa de Apoyo a la Exploración (PAE).
- ❖ Utilizar algún sistema de bombeo ó implementar un sistema de drenaje por pozos de filtración, este último consiste en perforar un pozo en el lugar más bajo donde se acumula el agua para luego filtrarla de manera natural y así recargar los mantos acuíferos de la zona.
- ❖ Se recomienda implementar un sistema de transporte para los trabajadores, esto permitiría reducir los tiempos de traslado para aquellos que no poseen automóvil, mientras que para los que sí cuentan con auto podría implicar una reducción en sus gastos cotidianos. En ambos casos se estaría optimizando el rendimiento de los recursos humanos en el desempeño de sus jornadas laborales.
- ❖ Incorporar en el organigrama un área de ingeniería que permita mejorar la parte operativa de la mina y cubrir, con mucha facilidad y eficiencia, los aspectos ambientales y de seguridad laboral.
- ❖ Implementar el plan de minado propuesto para un mejor funcionamiento de la mina, con la finalidad de que la mina aumente su productividad, generándose menos gastos y menos daños al medio ambiente, tomándose en cuenta la seguridad.
- ❖ Implementar la propuesta de montaje de un Laboratorio de pruebas, con la finalidad de obtener productos certificados y de una mejora de la calidad, acorde a las necesidades y especificaciones de cada cliente.
- ❖ Llevar a cabo las acciones necesarias en el aspecto ambiental y concientizarse de que este aspecto tiene la misma importancia que la productividad de la mina.
- ❖ Cumplir con las propuestas generadas en el aspecto social para dar una mejor imagen de la minería, así como ayudar a la comunidad de Calimaya de Díaz González, lugar donde se lleva actualmente a cabo la explotación.

Tomar en cuenta los aspectos de seguridad en la explotación y en las áreas de la planta, para evitar accidentes de trabajo y generar un ambiente laborar adecuado y seguro.

## **Reflexiones finales**

A lo largo este último capítulo se han referido las diferentes propuestas que sería necesario implementar para avanzar en la práctica de una minería sustentable; en específico, estas serían aplicables en dos grandes aspectos de suma importancia para el logro de la sustentabilidad, los ambientales y sociales.

En un principio, se dio a conocer el marco general aplicable en materia de medio ambiente para una explotación de este tipo y magnitud; se describieron los requisitos necesarios para la liberación de la autorización en el ámbito ambiental y el procedimiento a seguir para su obtención; advertimos también la normatividad federal y estatal aplicable a la extracción de materiales pétreos; para, finalmente, relatar el proceso para elaborar un estudio de impacto ambiental, el cual, valga la pena señalar, es de suma importancia para determinar la magnitud del daño ocasionado por la explotación.

En un segundo apartado se elaboró una propuesta de mantenimiento de los equipos con el fin de crear un ambiente laboral más seguro, reducir paros en la producción y disminuir la exposición del trabajador a tener algún accidente. Posteriormente, se dio a conocer la normatividad aplicable a la minería en materia de seguridad, puesto que su aplicación facilitaría que la explotación del Banco “La natividad” y el funcionamiento de la planta de beneficio se realizaran de una forma más segura para sus trabajadores. Este apartado se avocó en atender el aspecto social que es necesario considerar para la práctica de una minería sustentable.

Más adelante, en un tercer apartado se explicaron propuestas enfocadas garantizar el funcionamiento armónico de la empresa con la comunidad, es decir, al ámbito social-comunitario, éstas tendrían como objetivo el apoyo a la comunidad de Calimaya de Díaz González, donde se encuentra asentada la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM. Finalmente, se emitió una serie de recomendaciones generales que se considera podrían mejorar el funcionamiento de la empresa, éstas atacan diversos puntos en donde se detectaron pequeñas deficiencias a lo largo de la investigación realizada para este caso de estudio.



## CONCLUSIONES

La presente tesis se planteó como objetivo general identificar y analizar las complejidades y los retos que enfrenta la pequeña minería de materiales pétreos para diseñar y proponer, con fundamentos y criterios de la minería sustentable, lineamientos prácticos con miras a hacer más eficientes los procesos de extracción de agregados pétreos. Lo anterior en aras de lograr una explotación racional y menos agresiva con el medio ambiente.

Para alcanzar dicho objetivo se propuso como hipótesis general que una correcta aplicación de las medidas promulgadas por el gobierno para el sector de la minería (como son leyes, reglamentos y normas), junto con la implementación de distintas técnicas que han sido diseñadas para obtener mejoras en los procesos de extracción, así como con la práctica de una minería sustentable, sería posible fortalecer el desarrollo de la pequeña minería en nuestro país, de suerte que, al ser un sector que cuenta fundamentalmente con inversión nacional, en última instancia podría aportar de manera importante en la promoción del desarrollo económico de nuestro país.

En consonancia con ello, a lo largo del primer capítulo se retomaron los criterios que se corresponden con una práctica de una minería sustentable y que dependen no sólo de la responsabilidad empresarial, sino de la generación de un marco institucional que contemple mecanismos de evaluación idóneos y efectivos para que la multiplicidad de los actores involucrados en la actividad tengan referentes claros para promover e implementar una práctica sustentable de la minería.

Así, según hemos constatado en esta investigación, estos mecanismos de evaluación podrían desempeñar una triple función, en primer lugar servirían a la empresa para mejorar sus proyectos al brindarle la oportunidad de identificar componentes y variables que se tuvieran que corregir o fortalecer trabajando siempre bajo una visión de responsabilidad social corporativa; en segundo lugar, les serían de gran utilidad a los gobiernos para redireccionar o reforzar políticas públicas para hacerlas más eficientes; y por último, servirían a nivel comunitario como un documento

orientador, de transparencia y trabajo participativo por el cual se conocería cómo opera verdaderamente un proyecto minero.

De esta manera, según se desprende de esta investigación, evaluar el funcionamiento de los proyectos mineros desde un enfoque sustentable nos permite observar su desarrollo de manera integral, puesto que ello permite considerar varias de sus dimensiones para realizar una toma de decisiones completa y con un alto nivel de compromiso social y medioambiental, sin menguar el aspecto de la rentabilidad. Es por ello que en el estudio de caso aquí realizado se intentó generar un diagnóstico integral y multidimensional de la minería que permitiera observar con claridad las variables y componentes que pudieran ser corregidos y fortalecidos para hacer el proyecto evaluado mucho más sustentable.

Fundamentalmente, según se advierte en esta investigación, el concepto de sustentabilidad se basa en tres aspectos importantes, la responsabilidad social, la responsabilidad ambiental y el aspecto económico. A su vez, la implementación de la sustentabilidad nos obliga a considerar como necesario: la conservación de los recursos; la protección de la demanda; la seguridad y salud ocupacional; el resguardo de la rentabilidad y eco-eficiencia; el manejo de los recursos humanos, hídricos y energéticos; así como, la aceptación por parte de la opinión pública de la minería como una actividad necesaria.

De la misma manera, al inicio de esta investigación se propone que la necesidad de comenzar a aplicar la sustentabilidad en la pequeña minería responde al hecho de que la minería en México es una de las actividades económicas más importantes del país y específicamente la pequeña minería representa uno de los sectores que más favorece a la economía interna, puesto que, en gran parte, sus inversiones se componen de capital mexicano, con lo que la riqueza y las ganancias generadas a partir de la explotación se quedan dentro del país, de ahí que se considere de suma importancia apoyar a este sector, ya que también es fundamental para la creación de empleos.

Para complementar el análisis propuesto, se elaboró también una modesta investigación histórica, geográfica y ecológica del Estado de México y Municipio de Calimaya de Díaz González, por ser estos los lugares en donde se ubica el proyecto sujeto a investigación (Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM). Necesario fue también advertir detalles sobre las instalaciones, infraestructura, organización, maquinaria, áreas de trabajo, servicios con los que se cuenta, condiciones bajo las que se opera, precios y algunos otros datos en aras de advertir las deficiencias y ventajas del proyecto.

Más adelante, derivado de las indagaciones geológicas se determinó que son agregados pétreos de origen volcánico los materiales que se pueden extraer en la explotación, de la misma manera se debió realizar el cálculo de reservas del banco en explotación “La Natividad”, propiedad de la Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM, puesto que se desconocía tal información. El cálculo de reservas fue de gran utilidad, ya que con esa información y la aplicación del método de “costos nivelados” se pudo determinar el costo que implica la extracción de un metro cúbico de agregado pétreo. Es importante señalar que al comparar estos resultados con el método de explotación que actualmente se lleva a cabo en la mina, fue posible determinar que con un incremento de la producción de un 5%, se podía reducir el costo de producción de un monto de 48.84 \$/m<sup>3</sup> que actualmente se tiene a un costo de 44.72 \$/m<sup>3</sup>. En este mismo apartado se advirtieron las condiciones bajo las que se explota el “Banco La Natividad”, los hallazgos fueron de mucha utilidad para poder formular propuestas en cuanto al aumento de la productividad y la calidad de los productos finales de la empresa, temas que serían analizados más adelante, en los capítulos cuatro y cinco.

Derivado de la investigación, se propuso emplear el método de minado de terrenos horizontales, ya que resulta ser el que mejor se acopla a las características del “Banco La Natividad”. Al comparar el método actual con el que se propuso, se pudo concluir que el tiempo de duración de la explotación se reduciría de cuatro años a dos años y medio, pudiendo utilizar el tiempo restante en la búsqueda de nuevos bancos de agregados pétreos posibles para una nueva explotación. Otra conclusión importante que derivó de este análisis fue el hecho de que sería posible una reducción

considerable en el costo de extracción por metro cúbico al bajar de 50.42 \$/m<sup>3</sup> a un costo de 24.03 \$/m<sup>3</sup>.

En cuanto a las jornadas laborales, se detectó que actualmente se realizan jornadas laborales de 12 horas, por lo que al implementar el método de minado propuesto, estas jornadas quedarían reducidas a 8 horas con lo que también se podría disminuir la fatiga del trabajador, así como los riesgos de accidente. Esto representa grandes beneficios tanto para el trabajador, ya que estaría en un ambiente laboral más seguro, como para el empresario, puesto que reduciría el riesgo de accidentes en la mina y reduciría también los montos de sus pérdidas en cuanto a tiempo y capital. De esta manera, es importante advertir que con esta propuesta se estaría cumpliendo con los tres aspectos generales que se han señalado como necesarios para la minería sustentable, el aspecto social, ambiental y el económico.

Por otra parte, en el quinto apartado se elaboró una propuesta para mejorar y certificar la calidad de los productos finales de la empresa Planta Procesadora de Materiales Pétreos JAEM, se planteó así la apertura y montaje de un laboratorio de pruebas aplicadas a los materiales pétreos y se propuso un pequeño manual de procedimientos considerando la normatividad aplicable y las Instituciones encargadas de certificar el buen funcionamiento de un laboratorio, se incluyó también los procedimientos y pruebas que deben aplicarse a los materiales en estudio. Se propuso así, que la certificación de los productos finales mejora su calidad y eleva su precio en el mercado, abriéndose entonces nuevas para la comercialización de los productos. Adicionalmente, la certificación permite reducir los costos en la operación de la planta de trituración y clasificación de los materiales, ya que las pruebas se elaboran previamente en el laboratorio y no directamente en la planta. Con esta otra propuesta, se estaría avanzando también en la implementación de una minería sustentable.

Ahora bien, en el último apartado de esta tesis se abordó de lleno el aspecto ambiental y social. En cuanto a lo ambiental, de acuerdo con lo planteado en los primeros capítulos de esta investigación, se detectó que la mina desconoce las reglamentaciones, instituciones y procedimientos que son necesarios para cumplir en

materia legal en este aspecto, se identificó entonces qué de todo lo existente es aplicable para las explotaciones de pequeña magnitud, destacando la necesidad de determinar el daño o afectación que genera la explotación y, por tanto, la necesidad de plantear una propuesta de recuperación del área afectada.

En cuanto al aspecto social, se identificó que las principales deficiencias se ubican en las cuestiones de seguridad, tanto de los trabajadores como de los equipos y la maquinaria empleada en los procesos de extracción, trituración y clasificación. En consecuencia, se refirió la importancia de contar con un plan de mantenimiento y se propusieron las líneas generales para implementar uno idóneo para el caso investigado; de la misma manera, se sintetizó la normatividad aplicable a este tipo de explotaciones en materia de seguridad. Tanto el Plan de Mantenimiento como la consideración de esta normatividad traerían como resultado beneficios para los trabajadores y la empresa, puesto que se generaría un ambiente laboral más seguro al disminuir los riesgos y con ello evitar las pérdidas humanas y económicas dentro de la empresa.

Finalmente, aunque no por ello menos importante, se ha elaborado la propuesta de otorgar cierto porcentaje (7.5%) de las utilidades de la empresa, para desarrollar programas sociales en beneficio de la comunidad de Calimaya. En concreto se propuso la creación de un taller de reproducciones de artesanías, esta actividad no sólo generaría empleos sino que también contribuiría al fortalecimiento de la identidad de la comunidad, así como su acercamiento amistoso con la empresa. Se propuso también la variante de realizar donaciones en especie, aportando material pétreo para la remodelación de escuelas o vialidades en la comunidad. Fundamentalmente, este tipo de propuestas intentan cambiar la idea negativa que se tiene de la minería, sobre todo con respecto a que se considera que es sólo la empresa quién obtiene beneficios de la explotación.

La conclusión general que emana de esta investigación tiene que ver con la idea de que es posible y viable, según se demuestra, comenzar a aplicar el principio de sustentabilidad en la pequeña minería, por tanto, la sustentabilidad y la minería no son

términos contrarios. De hecho la implementación de la sustentabilidad puede derivar en la generación de beneficios no sólo para el empresario, sino también para los trabajadores y para la comunidad en general.

Sin embargo, es importante aclarar que la sustentabilidad demanda el compromiso de todos los actores involucrados: los Gobiernos, legislando en beneficio de los tres aspectos, social, ambiental y económico; las empresas, concientizándose de la responsabilidad que conlleva esta actividad económica de la minería; y la sociedad, dejando de estigmatizar a la minería como una actividad negativa, puesto que a pesar de su impacto destructivo, es necesaria para nuestro desarrollo. Sin duda alguna, lo que debemos tener presente es que la sustentabilidad implica poder satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin poner en riesgo la sobrevivencia de nuestras futuras generaciones, de ahí la importancia de su consideración no sólo en la pequeña minería, tema central de esta investigación, sino en la totalidad de la actividad minera que se desarrolla en el mundo.

## GLOSARIO

**ABRASIÓN.**- Acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material.

**ACARREO.**-Transporte de mineral.

**BANCO.**-Terraplén macizo usado como camino.

**BANCO.**-Explotación escalonada.

**BERMA.**- Espacio llano, cornisa, o barrera elevada que separa dos zonas.

**CANTERA.**-Explotación a cielo abierto, generalmente de minerales o rocas industriales.

**DENSIDAD.**- Magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia.

**DESCAPOTE.**- Operación minera realizada en la superficie natural del terreno para retirar la porción de roca estéril o suelo que cubre un yacimiento mineral.

**EXPLORACIÓN.**-Investigación geológica que se realiza con objeto de descubrir nuevos yacimientos.

**GANGA.**- Material sin valor económico.

**GRANULOMETRÍA.**- Medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

**IMPACTO.**- Efecto que produce una determinada acción sobre el agregado en distintos aspectos.

**LIMO.**- Material suelto con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados.

**MENA.**- Mineral o material de importancia económica.

**MINA.**-Conjunto de obras o excavaciones superficiales o subterráneas cuyo propósito se enfoca a la explotación o disfrute económico de minerales. Conjunto de obras mineras subterráneas o a cielo abierto (según sea el caso) encaminadas a la explotación de minerales.

**MOLINO.**-Equipo metalúrgico utilizado para moler minerales.

**NORMA.**- conjunto de estándares válidos en diferentes ambientes productivos

**RESERVAS.**-Volumen de mineral medido y explotable para operaciones a futuro.

**REZAGA.**-Borra, tepetate o desperdicio. Material suelto producto de una voladura. Pila de mineral.

**REZAGAR.**-Levantar el material fragmentado después de una voladura.

**TAJO.**-Explotación minera que realiza sobre un cuerpo mineral somero localizado en la superficie del terreno o muy cercano a ella. Operación minera superficial.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, Carlos, "La minería en México", *El punto sobre la i*, México, Año 5, núm. 23, Marzo-Abril, 2016.
- Aristegui Noticias, [en línea], "Trabajadores pobres, empresarios ricos... así ve la prensa a las mineras en México", *Aristegui.Noticias*, México, 6 de junio de 2013, Dirección URL: <http://aristeguinoicias.com/0606/mexico/trabajadores-pobres-empresarios-ricos-asi-ve-la-prensa-a-las-mineras-en-mexico/> [Consulta: 04 de abril de 2017].
- Centro de Estudios de Competitividad, *El sector minero en México: Diagnóstico, prospectiva y estrategia*, México, Instituto Autónomo de México, 2004, 65 pp..
- Consejo de Recursos Mineros, *Monografía geológico-minera del Estado de México*, México, SECOFI.
- Constitución Política Mexicana, [en línea], México, *Instituto de Investigaciones Jurídicas*, 14 de junio de 2016, Dirección URL: <http://info4.juridicas.unam.mx/ijure/fed/9/28.htm?s=> [Consulta: 14 de junio de 2016].
- Dirección General de Desarrollo Minero, *Estudio de la Cadena Productiva de los Materiales Pétreos. Documento de Análisis*, [PDF], Secretaría de Economía y Coordinación General de Minería, Agosto de 2015, 34 pp.
- "Economía de Estado de México", [En línea], *Explorando México*, s/fecha, México, Dirección URL: <http://www.explorandomexico.com.mx/state/14/Estado-de-Mexico/economy/> [consulta: 14 de junio de 2016]
- El clima del ClubPlaneta, "Origen y fundación del Estado de México", [En línea], *ClubPlaneta*, s/fecha, México, Dirección URL: [http://www.elclima.com.mx/origen\\_y\\_fundacion\\_del\\_estado\\_de\\_mexico.htm](http://www.elclima.com.mx/origen_y_fundacion_del_estado_de_mexico.htm) [consulta: 20 de mayo de 2016].
- Elias, Herrera, Mariano, *Estratigrafía y recurso minerales del Estado de México*, México, Gobierno del Estado de México, Dirección General de Industria, Minas y Artesanías, 1993.

Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), *NMX-C-084-ONNCCE: Partículas más finas que la criba 0,075 mm (No. 200) por medio de lavado*, [en línea], México, 2006, pag.4, Dirección URL: [http://200.57.73.228:75/directorio\\_le/ListasVerif/LP/C017\\_R2.pdf](http://200.57.73.228:75/directorio_le/ListasVerif/LP/C017_R2.pdf). [consulta: 14 de diciembre de 2016]

Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), *NMX-C-196-ONNCCE: industria de la construcción-agregados-determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos usando la máquina de los ángeles*, México, 2010.

González-Sánchez, Francisco y Antoni Camprubí, “La pequeña minería en México”, [En línea], México, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. 62, Núm. 1, 2019, pp. 101-108.

Guillermo, Musik, “El sector minero en México; Diagnóstico, prospectiva y estrategia”, [En línea], *ITAM Centros Estudios de Competitividad*, Sitio oficial, s/fecha, México, D.F., Dirección URL: <http://cec.itam.mx/sites/default/files/mineria.pdf> [Fecha de consulta: 31 de marzo de 2016]

H. Ayuntamiento de Calimaya, “Modificación del Plan de Desarrollo Municipal de Desarrollo Urbano de Calimaya”, [PDF], Estado de México, H. Ayuntamiento de Calimaya, Noviembre, 2007.

H. Ayuntamiento de Calimaya, “Plan de Desarrollo Municipal de Calimaya 2013-2015”, [PDF], Estado de México, H. Ayuntamiento de Calimaya, Calimaya, México, 2013.

Herrera Mariano Elías, “Estratigrafía y Recursos Minerales Del Estado de México”, Gobierno del Estado de México, Dirección General de Industria, Minas y Artesanías, México, 1933.

“Historia de Estado de México”, [En línea], *Explorando México*, s/fecha, México, Dirección URL: <http://www.explorandomexico.com.mx/state/14/Estado-de-Mexico/history/> [consulta: 20 de mayo de 2016].

Hruschka, Felix W. y Michael Priester, “Costos y beneficios de la pequeña minería en los países en vías de desarrollo”, [En línea], *Tbb.hry, Technical Bureau for Mining*, s/fecha, Dirección URL: <http://www.hruschka.com/felix/article/costbene.html> [Consulta: 25 de julio de 2016].

INEGI, “Carta Geológica del Estado de México”, [PDF], Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México, Secretaría de Desarrollo Económico.

INEGI, “Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Calimaya, México”, [PDF], Sitio Oficial *INEGI*, 2009, Dirección URL: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/15/15018.pdf> [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2015].

Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México, *Atlas geológico ambiental del Estado de México*, México, Gobierno del Estado de México, 2014, pág. 34

Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( México ), “Sistema de cuentas nacionales de México : Producto Interno Bruto por entidad federativa 2005 - 2009 : año base 2003 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía”, [En línea],*INEGI*, S /fecha, México, Dirección URL: <http://www.inegi.org.mx/lib/buscador/bibliotecas/busqueda.aspx?textoBus=Cuentas%20Nacionales&busxCampo=Titulo&busxMetodo=1&CveBiblioteca=32009&totDes=1&tipoRedIntExt=2&av=1> [consulta: 14 de febrero de 2016]

*Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, [en línea], publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988, Texto vigente, última reforma publicada DOF 09-01-2015, Dirección URL: [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1133/1/ley\\_general\\_del\\_equilibrio\\_ecologico\\_y\\_la\\_proteccion\\_al\\_ambiente.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1133/1/ley_general_del_equilibrio_ecologico_y_la_proteccion_al_ambiente.pdf) [consulta: 14 de diciembre de 2016].

López Aburto, Victor, *Fundamentos para la explotación de minas*, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería, México, Ingeniería UNAM, 2008.

López Jimeno, Carlos, *ARIDOS. Manual de prospección, explotación y aplicaciones*, España, Editor LOEMCO, 2003.

Mata Larios, Ricardo Alan, *Manual de laboratorio de agregados para concreto y explotación de canteras enfocado al pequeño y mediano minero*, Tesina presentada para obtener el grado de Ingeniero en Minas y Metalurgia, Universidad Nacional Autónoma de México, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Departamento de Explotación de Minas y Metalurgia, s/fecha, 125 pp.

Morán, Héctor, “Presupuestos filosóficos del desarrollo sustentable”, [en línea], *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, Año V, Núm. 17, Dirección URL: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/economia/17/a12.pdf> [Fecha de consulta: 13 de julio de 2016], pp. 184-200.

Municipio de Calimaya de Díaz Gonzáles, “Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Calimaya”, [PDF], *Sitio Oficial Municipio de Calimaya de Díaz Gonzáles*, 2010; y INEGI.

Oyarzún, Jorge y Roberto Oyarzún, *Minería sostenible: Principios y prácticas*, [PDF], España, Ediciones GEMM, 2011, 418 pp.

Rodríguez García Diego, “Tesis: Propuesta De Un Nuevo Diseño Para Incrementar La Producción De Una Cantera De Agregados Ubicada En El Estado De México, Ingeniería UNAM, México D.F., 2015.

Secretaría del Medio Ambiente, *Norma técnica estatal ambiental NTEA-002-SMA-DS-2009 que regula la exploración, explotación y transporte de minerales no concesionables en el Estado de México*, Gaceta del Gobierno Estado de México, 2010.

Servicio Geológico Mexicano, “Panorama Minero del Estado de Estado de México”, [PDF], *SGM SE*, diciembre 2014, México, Dirección URL: [http://www.sgm.gob.mx/pdfs/EDO\\_MEXICO.pdf](http://www.sgm.gob.mx/pdfs/EDO_MEXICO.pdf) [consulta: 16 de mayo de 2016].

Torres, Agustín, Javier Ascencio, Dilia Leyva y Juan M. Montero; “Sustentabilidad empresarial de proyectos mineros: el análisis multicriterio como perspectiva acertada para su evaluación”, [en línea], Cuba, *Minería y Geología*, Vol. 29, núm. 4, octubre-diciembre, 2013, Dirección URL: <http://www.redalyc.org/pdf/2235/223529301006.pdf> [consulta: 14 de junio de 2016], pp. 79-94.

Trudinger, Jhon y Spitz Karheinz, “Mining and Sustainability: The Three Circles of Sustainable Development”, [En línea], *Environmental Consltants*, Mining and the Environmental, Sitio oficial, s/fecha, Sydney, Dirección URL: <http://www.miningandtheenvironment.com> [Fecha de consulta: 31 de marzo de 2016].

UNAM, “Descripción de la carrera”, [En línea], *Ingeniería de Minas y Metalurgia*, s/fecha, México, Dirección, URL:

[http://www.ingenieria.unam.mx/paginas/Carreras/ingenieriaMinas/ingMinas\\_Desc.php](http://www.ingenieria.unam.mx/paginas/Carreras/ingenieriaMinas/ingMinas_Desc.php)

[consulta: 15 de enero de 2016].

Von Mentz, Brígida, "Historia minera e historia social en el Estado de México de la Colonia al Porfiriato", [En línea], *Diccionario temático CIESAS*, S /fecha, Dirección URL: <http://www.ciesas.edu.mx/Publicaciones/diccionario/Diccionario%20CIESAS/TEMAS%20PDF/Mentz%2077d.pdf> [consulta: 20 de marzo de 2016].