



Universidad Autónoma del Estado de México



Facultad de Geografía

Programa de Estudio

Doctorado en Geografía y Desarrollo Geotecnológico

TESIS

**PARQUES URBANOS SUSTENTABLES COMO MECANISMOS DE
RESILIENCIA ANTE ESPACIOS DEGRADADOS POR ACTIVIDAD MINERA,
MUNICIPIO DE CALIMAYA ESTADO DE MÉXICO.**

Presenta:

M.E.S.R y M. Eduardo Alberto Valencia García

Para obtener el grado de Doctor en Geografía y Desarrollo Geotecnológico

Director:

Dr. Alexis Ordaz Hernández.

Codirectores:

Dr. José Emilio Baró Suarez

Dra. Brisa Violeta Carrasco Gallegos

-Noviembre 2022-

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación consiste en elaborar una propuesta que contribuya a diseñar, preservar, o estructurar las bases para rehabilitar espacios afectados por la minería de extracción a cielo abierto en el municipio de Calimaya, estado de México. Todo ello derivado de la presencia de actividad minera, misma actividad no regulada que ha ocasionado alteraciones al paisaje y afectaciones.

Producto de ello el mecanismo de parques urbanos sustentables se basó en estrategias de participación ciudadana y uso de herramientas geotecnológicas cuya función fue el monitoreo y actualización de información para la conservación de los recursos naturales y, la sustentabilidad del municipio de Calimaya.

La primera fase de la investigación consistió en elaborar un inventario de los sitios de extracción pétreo (principales áreas de trabajo en el presente proyecto). La segunda fase presentó el estado del arte de las leyes en materia de minería a nivel nacional. La tercera, esclarece las características geomorfológicas, edafológicas, geológicas y sociales, con el propósito de ajustar la metodología propuesta a la realidad física y social. Se investigaron aspectos socioeconómicos, culturales, físicos y económicos con el fin de entender la dinámica de los elementos presentes en la zona de estudio; así como los métodos de manejo participativo que conlleven a beneficios económicos y sociales que los individuos puedan demandar.

Se analizó bajo los criterios geográficos y ambientales los beneficios o alternativas que aportan los parques urbanos sustentables. Enfocado en zonas donde la extracción de recursos pétreos ocasionó serios daños al medio ambiente en el sitio de estudio.

Desde los fundamentos de la teoría de sistemas complejos se analizó sus componentes, funciones e interacciones; así como los beneficios ambientales que promueven los parques urbanos.

Mediante técnicas de interpretación cartográfica y fotogramétrica, se identificaron las zonas de extracción, con el fin de caracterizar y categorizar por rangos las áreas que muestren un mayor avance en la llamada sucesión ecológica, y con verificación en campo se geoposicionaron los que a consideración de un grupo de expertos y por el método Delphi, fueron

los sitios aptos para llevar a cabo el diseño de parques sustentables, intentar determinar la tendencia espacial así como la frecuencia en su distribución.

La caracterización físico geográfica permitió la identificación de los elementos que favorecen el establecimiento de las zonas de extracción y de las áreas a rehabilitar.

Se espera que, a través de la observación sistemática en campo se pueda analizar y aplicar técnicas de manejo ambiental para zonas impactadas por extracción, y así establecer relaciones entre especies arbóreas, arbustivas y vegetales. Con estos resultados se delimitarán las zonas que a pesar de las presiones ambientales son capaces de preservar o generar una sucesión ecológica.

Para valorar la importancia de contar con alternativas verdes para la recreación, se realizaron visitas y entrevistas con el fin de lograr la conservación del paisaje y biodiversidad ecosistémica de Calimaya brindándole herramientas para una mayor resiliencia.

El principal aporte de este estudio, fue demostrar cómo los parques urbanos sustentables en el municipio de Calimaya con un diseño adecuado, y a través de las prácticas y técnicas geográficas, ecológicas, urbanísticas, arquitectónicas y sociales; pueden contribuir a la conservación de los recursos naturales, la rehabilitación de espacios abandonados, y la seguridad social.

Palabras clave: Parques sustentables, actividad minera, análisis Geotecnológico.

ABSTRACT

The objective of this research is to elaborate a proposal that contributes to design, preserve, or structure the bases to rehabilitate spaces affected by open-pit mining in the municipality of Calimaya, State of Mexico. All this derived from the presence of mining activity, the same unregulated activity that has caused alterations to the landscape and affectations.

As a result, the mechanism of sustainable urban parks was based on strategies of citizen participation and the use of geotechnological tools whose function was the monitoring and updating of information for the conservation of natural resources and the sustainability of the municipality of Calimaya.

The first phase of the research consisted of elaborating an inventory of the stone extraction sites (main areas of work in the present project). The second phase presented the state of the art of mining laws at the national level. The third phase clarified the geomorphological, edaphological, geological and social characteristics, with the purpose of adjusting the proposed methodology to the physical and social reality. Socioeconomic, cultural, physical and economic aspects were investigated in order to understand the dynamics of the elements present in the study area; as well as the participatory management methods that lead to economic and social benefits that individuals may demand.

The benefits or alternatives provided by sustainable urban parks were analyzed under geographical and environmental criteria. Focused on areas where the extraction of stone resources caused serious damage to the environment in the study site.

From the fundamentals of the theory of complex systems, its components, functions and interactions were analyzed, as well as the environmental benefits promoted by urban parks.

By means of cartographic and photogrammetric interpretation techniques, the extraction zones were identified, in order to characterize and categorize by ranges the areas that show a greater progress in the so-called ecological succession, and with field verification, those were geo-positioned which, according to a group of experts and by the Delphi method, were the suitable sites to carry out the design of sustainable parks, trying to determine the spatial trend as well as the frequency in their distribution.

The physical-geographical characterization allowed the identification of the elements that favor the establishment of extraction zones and areas to be rehabilitated.

It is expected that, through systematic field observation, it will be possible to analyze and apply environmental management techniques for areas impacted by extraction, and thus establish relationships between tree, shrub and plant species. These results will be used to delimit the areas that, despite environmental pressures, are capable of preserving or generating ecological succession.

In order to assess the importance of having green alternatives for recreation, visits and interviews were conducted in order to achieve the conservation of the landscape and ecosystemic biodiversity of Calimaya, providing tools for greater resilience.

The main contribution of this study was to demonstrate how sustainable urban parks in the municipality of Calimaya, with an adequate design, and through geographic, ecological, urban, architectural and social practices and techniques, can contribute to the conservation of natural resources, the rehabilitation of abandoned spaces, and social security.

Key words: Sustainable parks, mining activity, geotechnical analysis.

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	17
ANTECEDENTES	20
Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos como solución ante espacios degradados por minería a cielo abierto en Calimaya	21
Lineamientos para el diseño e implementación de parques públicos comunales	22
PROBLEMÁTICA	23
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	24
HIPÓTESIS	24
OBJETIVO GENERAL	24
OBJETIVOS PARTICULARES	25
JUSTIFICACIÓN	25
CAPÍTULO 1. MARCO TEORICO DE LA HISTORIA MINERA, SUS EFECTOS Y POSIBLES SOLUCIONES DESDE UN PUNTO DE VISTA GEOGRAFICO INTEGRATIVO	29
1.1. Problemáticas de la minería a cielo abierto	29
1.2. La historia de la Geografía ambiental y el espacio geográfico	31
1.3. Evolución geográfica y sus diferentes enfoques	32
1.3.1. La geografía general y sistemática enciclopedista	32
1.3.2. La geografía regional	33
1.3.3. La geografía anarquista	33
1.3.4. La geografía ecológica humana	33
1.4. Elementos y posturas teórico metodológicas de la geografía ambiental	34
1.4.1. Aportaciones de la geografía ambiental al campo de la ciencia	35

1.5. Historia del Urbanismo y su relación con la Geografía Ambiental en los estudios holísticos para la sustentabilidad	38
1.6. Sistemas complejos: la búsqueda de soluciones a problemas de comunidades en transición	40
1.7. Sistemas Complejos y resiliencia en ambientes degradados	42
1.8. Del parque tradicional al parque sustentable la importancia del paisaje sano en comunidades en transición	43
1.9. Marco Legal de la minería en México	45
1.9.1. Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México.	46
1.9.2. Ley General de Equilibrio Ecológico y protección al ambiente.	47
1.10. Ley Minera	49
1.10.1. Reglamento de la Ley Minera	52
1.10.2. Norma Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2003, Trabajos en minas-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo	53
1.11. Ley de Asentamientos Humanos del Estado de México	58
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	63
2.1. Localización y características físico geográficas del municipio	63
2.2. Infraestructura económica y social	70
2.3. Diagnóstico de los servicios públicos municipales	72
2.3.1. Sistema de uso de suelo	72
2.3.2. Potencialidad productiva a través del inventario de recursos en Calimaya.	74
2.4. Crecimiento demográfico 2005-2020	76
2.5. Identificación y clasificación de problemáticas en Calimaya	77
2.6. Características geográfico ambientales para la detección de actividades restaurativas en áreas degradadas debido a minería a cielo abierto.	80
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	83
3.1. Primera etapa metodológica: descripción de los elementos físicos y sociales del área de estudio mediante el método geográfico	84
3.2. Segunda etapa metodológica: Clasificación de las problemáticas y ubicación de socavones en Calimaya, estado de México	87
3.3. Tercera etapa metodológica: delimitación de áreas de aptitud potencial para la instauración de parques urbanos sustentables	92
3.3.1. Modelos de decisión: combinación lineal ponderada MDA	94
3.3.2. Áreas de aptitud potencial para la implementación de parques urbanos sustentables en el municipio de Calimaya	110
3.3.3. Aplicación del método jerárquico	114

3.4. Cuarta etapa metodológica: monitoreo del avance de la actividad minera	116
3.4.1. Planeación	118
3.4.2 Evaluación de índices espectrales	119
3.4.3 Consideraciones para la obtención de recursos de imágenes satelitales	124
3.4.3 Descripción de propiedades pictoricomorfológicas	126
3.5. Quinta etapa metodológica: diseño de parques urbanos sustentables en zonas mineras degradadas	131
3.5.1 Método del equilibrio límite (LEM) para la estabilidad de talud minero en Calimaya Estado de México	134
3.5.2 Propuesta de plan de rehabilitación en zonas afectadas por minería	136
3.5.3 Impedimentos de carácter general para la consecución de los objetivos	138
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	139
4.1. Inventario de socavones o minas del perímetro de estudio	139
4.2. Áreas potenciales para la instauración de parques urbanos sustentables	152
4.3. Zonas mineras a cielo abierto en Calimaya, Estado de México. Empleando sensores remotos	153
4.4. Propuesta de parque urbano sustentable para el municipio de Calimaya.	160
4.4.1. Los usuarios por actividad recreativa	160
4.4.2. Los aspectos morfológicos para el diseño de parques urbanos sustentables	164
4.4.3. Características funcionales a considerar en la implementación de parques urbanos sustentables	178
4.4.4. Diagnóstico general de impacto ambiental	181
CONCLUSIONES	183
BIBLIOGRAFÍA	187
ANEXOS	201

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. DESCRIPCIÓN DEL ENFOQUE DE LA GEOGRAFÍA AMBIENTAL.	35
TABLA 1.2. LEY DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DEL ESTADO DE MÉXICO, ARTÍCULOS APLICADOS EN MATERIA MINERA.....	47
TABLA 1.3. ARTÍCULOS LEY DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DEL ESTADO DE MÉXICO.....	49
TABLA 1.4. PROPUESTA DE SOCIEDAD COOPERATIVA DE RESPONSABILIDAD PARA MANEJO DE MINAS A CIELO ABIERTO, CALIMAYA 2022.....	56
TABLA 2.1 POBLACIÓN TOTAL, TASA DE CRECIMIENTO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN MUNICIPAL.....	70
TABLA 2.2. USO DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO, ACTUALIZADO EN EL AÑO 2019.	73
TABLA 2.3 ESCENARIOS DE POBLACIÓN: CRECIMIENTO TENDENCIAL, MUNICIPIO DE CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.....	76
TABLA 2.4. COMPORTAMIENTO POBLACIONAL EN EL MUNICIPIO DE CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.	77
TABLA 2.5. PROBLEMÁTICAS TERRITORIALES, CAUSAS Y MEDIDAS PREVENTIVAS ÓPTIMAS EN CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.....	78
TABLA 3.1 VARIABLES DE INTEGRACIÓN PARA LA ETAPA NO.1.	86
TABLA 3.2. SEGUNDA ETAPA METODOLÓGICA Y VARIABLES DE ESTUDIO.	89
TABLA 3.3. CLASIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICAS E INSTRUMENTOS DE INTERVENCIÓN PARA MINIMIZAR EL IMPACTO NEGATIVO POR LA PRESENCIA DE ACTIVIDAD MINERA EN EL MUNICIPIO DE CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.....	91
TABLA 3.3. TERCERA ETAPA METODOLÓGICA Y VARIABLES DE ESTUDIO.....	93

TABLA 3.4. FACTORES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.	96
TABLA 3.5. RESTRICCIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.....	97
TABLA 3.6. CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.....	106
TABLA 3.7. JERARQUÍA D VARIABLES A TRAVÉS DE PANEL DE EXPERTOS.....	114
TABLA 3.8. MÉTODO JERÁRQUICO.....	115
TABLA 3.9. COMBINACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES.....	119
TABLA 3.10. ÍNDICES MULTIESPECTRALES DE SENSORES LANDSAT Y SENTINEL.	120
TABLA 3.11. ÍNDICES GENERALES PARA FUSIÓN DE IMÁGENES Y TÉCNICAS ESPECTRALES.	122
TABLA 3.12. LONGITUDES DE ONDA DE UN SENSOR REMOTO.....	123
TABLA 3.13. INFORMACIÓN GEOMÉTRICA Y GEOTÉCNICA EMPLEADA EN LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES. CON ASTERISCO SE INDICAN LA FUENTE DE LOS DATOS	135
TABLA 4.1. ÁREAS ABANDONADAS.....	140
TABLA 4.2. EJEMPLO DE 10 SOCAVONES ACTIVOS DE UN TOTAL DE 70.....	142
TABLA 4.3. ÁREAS MINERAS EN ETAPA FINAL O ABANDONADA 2021.....	144
TABLA 4.4. ÁREAS DE PROPUESTA PARA ACCIONES RESTAURATIVAS EN SITIOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO, CALIMAYA ESTADO DE MÉXICO.....	146
TABLA 4.5. PORCENTAJE DE ÁREAS MÍNIMAS ESTIMADAS PARA USOS EN PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.....	161
TABLA 4.6. HORARIOS DE OCUPACIÓN POR GRUPO DE EDAD.....	163

TABLA 4.7. ÁREAS DE DESTRUCCIÓN POR ESPACIO PARA UNA CANTIDAD DE USUARIOS MÍNIMA.....	163
TABLA 4.8. PROPUESTA DE REQUERIMIENTOS PARA MOBILIARIO URBANO Y CAMINOS PEATONALES.	166
TABLA 4.9. PROPUESTA DE DISEÑO SANITARIO Y ÁREAS DE INGRESO PARA PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.	167
TABLA 4.10. PROPUESTA DE ÁREAS DE ESTACIONAMIENTO Y PARQUEO.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 4.11. PROPUESTA DE ÁREAS DEPORTIVAS PARA PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 4.12. PROPUESTA DE ÁREAS DE JUEGOS INFANTILES PARA PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 4.13. PROPUESTA DE ÁREAS AJARDINADAS PARA PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 4.14. PROPUESTA DE ÁREAS CULTURALES PARA PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 4.15. PROPUESTA DE VEGETACIÓN PARA PARQUES URBANOS SUSTENTABLES EN CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.....	179
TABLA 4.16. DIAGNOSTICO GENERAL DE IMPACTO AMBIENTAL DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.....	181

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FIGURA DE LA IZQUIERDA: CAMBIO DE USO DE SUELO, Y FIGURA DE LA DERECHA: BASURERO A CIELO ABIERTO. MUNICIPIO DE CALIMAYA -----	18
FIGURA 2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PARQUE URBANO SUSTENTABLE. FUENTE: PARQUE LA MEXICANA (MUNDO INMOBILIARIO, GRUPO IMAGEN, 2019). -----	22
FIGURA 3. BENEFICIO DE LOS PARQUES URBANOS. TOMADA DE BONELLS (2019). -----	29
FIGURA 1.1. LOS JARDINES COLGANTES DE BABILONIA -----	38
FIGURA 1.2. EL ARTE CRETENSE -----	39
FIGURA 1.3. PRINCIPALES COMPONENTES TEÓRICOS QUE INTERVIENEN EN LA INVESTIGACIÓN.-----	45
FIGURA 2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.-----	64
FIGURA 2.2. ACTIVIDAD MINERA EN CALIMAYA. -----	67
FIGURA 2.3. MUESTRA DE ROCA ANDESITA. -----	68
FIGURA 2.4. PARQUES URBANOS Y ÁREAS RECREATIVAS. -----	76
FIGURA 2.5. COMPORTAMIENTO POBLACIONAL EN EL MUNICIPIO DE CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.-----	77
FIGURA 2.6. SOCAVÓN Y ALTERACIÓN PAISAJÍSTICA EN CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO (2021).-----	78
FIGURA 2.7. ACCIONES RESTAURATIVAS EN ETAPAS ESPECÍFICAS DE ALTERACIÓN AMBIENTAL.-----	81
FIGURA 3.1. ETAPAS METODOLÓGICAS PARA ELABORAR UNA GUÍA METODOLÓGICA CON EL FIN DE DISEÑAR Y CONSTRUIR PARQUES URBANOS SUSTENTABLES DENTRO DE ÁREAS DEGRADADAS POR PROCESOS MINEROS.-----	84

FIGURA 3.2. PRIMERA ETAPA METODOLÓGICA ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS FÍSICOS, AMBIENTALES, ECONÓMICOS Y SOCIALES DEL ÁREA DE ESTUDIO MEDIANTE EL MÉTODO GEOGRÁFICO.-----	85
FIGURA 3.3. SEGUNDA ETAPA METODOLÓGICA. CLASIFICACIÓN DE SOCAVONES ACTIVOS E INACTIVOS PROPUESTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.-----	89
FIGURA 3.4. TERCERA ETAPA METODOLÓGICA. -----	93
FIGURA 3.5. RASTERIZADO DE CAPA SHAPEFILE DEL MUNICIPIO DE CALIMAYA.-----	111
FIGURA 3.6. ESTANDARIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA DATO DE PIXEL A 30 M.-----	111
FIGURA 3.7. CARGA DE CAPAS EN SOFTWARE TERRSET. -----	112
FIGURA 3.8. SELECCIÓN LOS DATOS A RASTERIZAR.-----	112
FIGURA 3.9. ESTANDARIZACIÓN DE DATOS RÁSTER. -----	113
FIGURA 3.10. RECLASIFICACIÓN DE DATOS. -----	113
FIGURA 3.11. MODULO ASSING PARA RECLASIFICACIÓN A FACTOR.-----	114
FIGURA 3.12. COMBINACIÓN LINEAL PONDERADA PARA LA APTITUD POTENCIAL DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES EN CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO -----	116
FIGURA 3.13. CUARTA ETAPA METODOLÓGICA. -----	117
FIGURA 3.14. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DISEÑADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE POLÍGONOS MINEROS ACTIVOS O ABANDONADOS EN EL MUNICIPIO DE CALIMAYA -----	118
FIGURA 3.15. COMPORTAMIENTO DE BANDAS MULTIESPECTRALES LANDSAT 8.-----	124
FIGURA 3.16. COMPORTAMIENTO DE BANDAS MULTIESPECTRALES SENTINEL 2A----	124
FIGURA 3.17. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA INTERPRETACIÓN VISUAL DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS MODIFICADO A PARTIR DE CASTELLANOS (2016). -----	125

FIGURA 3.18. ANÁLISIS PRELIMINAR DE AVANCE EN LA MINERÍA A CIELO ABIERTO DE CALIMAYA PARA LOS AÑOS 2006, 2012 Y 2020 A TRAVÉS DE GOOGLE EARTH PRO, (2022). -----	126
FIGURA 3.19. PORTAL DE DESCARGA PARA IMÁGENES SENTINEL 2A0. FUENTE: IMAGEN OBTENIDA DE HTTPS://WWW.SENTINEL-HUB.COM/ . FECHA DE CONSULTA 05/01/2021.	127
FIGURA 3.20. CARGA DE ARCHIVOS EN LA INTERFAZ DEL SOFTWARE SNAP. -----	128
FIGURA 3.21. REVISIÓN DEL SITIO A TRAVÉS DE IMAGEN SATELITAL.-----	129
FIGURA 3.22. PROCESO DE REMUESTREO EN IMÁGENES SENTINEL 2A. -----	129
FIGURA 3.23. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) PARA CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO-----	130
FIGURA 3.24. EXPORTACIÓN DE LOS DATOS EN FORMATO GEOTIFF.-----	131
FIGURA 3.25. RECLASIFICACIÓN DE DATOS NDVI EN SOFTWARE QGIS. -----	131
FIGURA 3.26. DESARROLLO METODOLÓGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.-----	133
FIGURA 4.1. CONTEXTO DE LA MINERÍA EN CALIMAYA 2017-2020.-----	141
FIGURA 4.2. SECUENCIA DE CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN EL TERRENO DE UNA MINA ABANDONA A TRAVÉS DEL TIEMPO DE IZQUIERDA A DERECHA AÑO 2006,2012 Y 2020.-	142
FIGURA 4.3. ANÁLISIS DEL AVANCE DE LA ACTIVIDAD MINERA PARA EL MUNICIPIO DE CALIMAYA, PERIODO 2010-2020. -----	144
FIGURA 4.4. MINAS CONTABILIZADAS EN EL MUNICIPIO DE CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO PERIODO 2019-2022. -----	145
FIGURA 4.5. ÁREAS DE INFLUENCIA CERCANAS A LAS ÁREAS MINERAS. -----	147
FIGURA 4.6. DISTRIBUCIÓN DE ACCIONES REMEDIADORAS EN ZONAS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO DERIVADO DEL INVENTARIO DE SOCAVONES.-----	149

FIGURA 4.7. VISTA DE UNA MINA A CIELO ABIERTO Y EL ENCARGADO DEL ÁREA, 2021. -	150
FIGURA 4.8. UBICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES.-----	152
FIGURA 4.9. REPRESENTACIÓN DE LA VARIABLE COLOR EN ZONAS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO, CALIMAYA. ESTADO DE MÉXICO -----	154
FIGURA 4.10. VARIABLE TEXTURA EN ZONAS MINERAS A CIELO ABIERTO. -----	155
FIGURA 4.11. ESCENA NDVI LANDSAT CON FECHA DE AGOSTO 2021 -----	157
FIGURA 4.12. ESCENA DE COMBINACIÓN PARA MINERÍA 12/4/2 USANDO IMÁGENES SENTINEL2A DICIEMBRE 2021. -----	158
FIGURA 4.13. ANÁLISIS DE AVANCE DE MINERÍA A CIELO ABIERTO 2022, MEDIANTE TÉCNICAS TELEDETECCIÓN Y COMBINACIÓN DE BANDAS SATELITALES SENTINEL 2A. -----	159
FIGURA 4.14. ANÁLISIS SOLAR PARA LA CORRECTA ORIENTACIÓN DEL DISEÑO DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES, CALIMAYA 2022. -----	165
FIGURA 4.15. ANÁLISIS SOLAR PARA LA CORRECTA ORIENTACIÓN DEL DISEÑO DE PARQUES URBANOS SUSTENTABLES, CALIMAYA 2022 -----	166

INTRODUCCIÓN

En México las áreas verdes urbanas comúnmente son vistas como un espacio de recreación y son consideradas un lujo. Sin embargo, pocas veces se valora el papel fundamental que las áreas verdes desempeñan dentro de las ciudades. Tal vez uno de sus principales propósitos, es la capacidad que tienen para amortiguar los efectos negativos que trae consigo la alteración del paisaje, producido por factores socio-ambientales (Revah, 2012).

Los estudios encaminados a proponer acciones que permitan monitorear, evaluar o mitigar problemáticas de orden territorial con enfoques de sustentabilidad y resiliencia en México, son insuficientes (Sobrino, Garrocho, Graizbord , Brambila , y Aguila, 2015). Por lo cual es muy frecuente encontrar situaciones, en las que el común denominador es la ocupación “desordenada” o desequilibrada del territorio, donde los componentes abióticos y bióticos, que en él convergen han sido seriamente afectados.

Dentro de los efectos negativos identificados en Calimaya se encuentran: (1) La sobreexplotación de recursos naturales renovables y no renovables con juicios alejados de la sustentabilidad general, (2) El aprovechamiento inadecuado del territorio dejando a un lado la aptitud y vocación natural, (3) La ocupación de áreas susceptibles a peligros y desastres naturales, antrópicos o químicos, por parte de la población (4) La insuficiente protección del patrimonio natural y cultural, derivada de la presencia de actividad de extracción minería de recursos pétreos a cielo abierto (Valencia, 2017).

Calimaya de acuerdo a los antecedentes consultados en Valencia (2017), ha sufrido las consecuencias de en su ambiente de la actividad minera. El cambio de uso de suelo y la extracción sin control de áridos pétreos, fue el elegido en la presente investigación para proponer medidas de sustentabilidad y resiliencia, para el desarrollo de una propuesta de diseño para parques urbanos sustentables (Figura 1).



Figura 1. Figura de la izquierda: Cambio de Uso de Suelo, y figura de la derecha: Basurero a cielo abierto. Municipio de Calimaya.

A través de los objetivos globales retomados de la agenda del desarrollo sostenible 2030 que tiene funciones de política amplia y universal adoptada en 2015, por todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas, se pretenden ejecutar acciones que protejan al planeta, y a su vez, garantizar que todas las personas disfruten de un planeta con estrategias de sustentabilidad.

Mientras tanto la política nacional de desarrollo urbano en México, prioriza acciones encaminadas a conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles tal como lo establece la misma agenda en el objetivo número 11, y a su vez, busca que el objetivo número 15.

Mediante el presente trabajo se busca impulsar a la investigación ambiental orientada a la restauración o rehabilitación de ambientes degradados por actividades mineras a cielo abierto de materiales pétreos, desde un punto de vista holístico, donde la geografía y las geotecnologías sean un punto de apoyo y monitoreo importante para los tomadores de decisiones. Ya que, las acciones orientadas al correcto tratamiento preventivo o bien la remediación posterior a ejecutar la explotación de un yacimiento minero en el país mexicano han sido escasas.

Uno de los ejemplos más emblemáticos del tratamiento de espacios, que una vez fueron usados por la industria minera se encuentra en la zona comercial de Santa Fe, ubicada en Ciudad de México. Dicha área en la actualidad presenta rascacielos corporativos, plazas comerciales y hoteles, es considerada como el 'skyline' de la Ciudad, escondiendo en sus

entrañas añejas minas y basureros, hasta elementos estructurales que denotan un manejo aparentemente acertado en la culminación de un proceso de extracción a cielo abierto, pero que a su vez muestra la falta de reglamentos o leyes para la correcta planificación urbana por la que atraviesa el país, (EFE, 2017). Sin embargo, este ejemplo viene acompañado con ciertas irregularidades en el monitoreo de actividades constructivas, de estabilidad de taludes e incluso del uso del suelo, que ha puesto en riesgo la infraestructura.

Las bases conceptuales y metodológicas expuestas en el presente documento, constituyen un marco de integración dirigido al mejoramiento del medio ambiente y del desarrollo urbano sustentable mexicano, donde el objetivo del presente trabajo buscará sentar las bases que permitan pasar de un espacio degradado por actividad minera a un espacio destinado como área verde o parque urbano sustentable.

“De manera análoga, el discurso y el análisis de la sustentabilidad, referido a los parques o al verde urbano, es campo de múltiples miradas desde diversas escalas y enfoques de integración” tomado de Vélez (2009), por lo cual hace complejo el análisis y simplificación de un conjunto de saberes teóricos.

En la dirección descrita, la presente tesis doctoral, se planteó elaborar una guía metodológica que permitiera identificar las potencialidades ambientales, sociales y económicas del Municipio Calimaya a través de la integración de los enfoques geográficos, urbanísticos y sustentabilidad como estrategias de resiliencia, con el fin de diseñar y construir parques urbanos sustentables dentro de áreas degradadas por procesos mineros.

Antecedentes

La minería en México es una de las principales causas de emergencia social y ambiental, y en esto existen coincidencias entre los diagnósticos oficiales evaluados por instituciones como: la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, o el Inventario Nacional de Sitios Contaminados con aquellos elaborados por la sociedad civil o por universidades públicas como es el caso de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Los bloques a atender en la industria minera se basan en el proceso de extracción y procesamiento de minerales, así como a la demanda en el uso de grandes cantidades de agua y energía, o bien el eje dirigido a la alteración ambiental del paisaje de los diferentes ecosistemas en donde se lleva a cabo dicha actividad.

Los métodos de extracción y disposición de residuos desencadenan niveles de contaminación y daños ecológicos al entorno.

Para ello la Comisión nacional del agua (CONAGUA) reconoce a la minería entre las actividades antropogénicas contaminantes del agua subterránea. Por otro lado, el Inventario Nacional de Sitios Contaminados (INSC) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, estableció que durante el 2019 la minería ocupó el primer lugar dentro de las causas que generaron sitios potencialmente contaminados (SPC), donde se identificó un responsable, propietario o poseedor (Gómez y Peláez, 2020). A lo anterior, se agrega que 62 proyectos mineros se ubican espacialmente dentro de Áreas Naturales Protegidas (ANP).

Mientras que, el Sistema Informático de Sitios Contaminados (SISCO) tabula 632 sitios en la categoría de altamente contaminados, 84 de ellos se relacionan con la actividad minera y 11 se ubican en áreas naturales protegidas ANP (Gómez y Peláez, 2020). Estas problemáticas regularmente alteran a ciertas poblaciones suburbanas o rurales, sin embargo, cuando el problema se empieza a expandir a las grandes urbes las problemáticas expuestas se ven potencializadas, pues las afectaciones resultantes tienden a ser más visibles.

De tal manera que los procesos de urbanización acelerada en el municipio de Calimaya ha dado como resultado poblaciones extensas, fragmentadas y difíciles de controlar, gestionar o mantener, esto sumado a las incidencias por la presencia de actividad minera hace evidente la necesidad de regular o mitigar estos espacios.

Mediante visitas consensuadas entre investigadores y miembros de la población civil se ha detectado que este modelo urbano donde conviven socavones mineros y áreas residenciales reflejan la carencia o baja calidad del espacio público, resultando en el declive del entorno ambiental.

Sin embargo, actualmente con la inclusión de los Objetivos del Desarrollo Sostenible por parte de la Organización de las Naciones Unidas, las prácticas de sostenibilidad urbana así como los espacios públicos verdes pretenden tomar un papel protagónico en la búsqueda de dotar de paisajes sanos a las futuras generaciones, donde México no es ajeno a esta situación, a continuación se presentan algunos casos de estudio que exponen a los parques urbanos; como una de las alternativas reales para la sostenibilidad urbana y la lucha por mitigar efectos negativos del cambio climático.

Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos como solución ante espacios degradados por minería a cielo abierto en Calimaya

El presente trabajo, analiza algunos ejemplos de sistemas de áreas verdes y parques públicos, entre los que se encuentran, estudios de Curitiba (Brasil), la Ciudad de México (México), Madrid (España), Nueva York (Estados Unidos de América) y ciudad de Santiago (Chile).

Estos espacios geográficos, coincidían, en su diagnóstico previo, en algunas problemáticas, como la insuficiencia de áreas verdes, la inseguridad y los riesgos de exclusión social. González-Guillén (2010) agrega la ausencia de valor monetario de los servicios que eventualmente se generan en dichos sistemas naturales tales como recreación y conservación.

Para la planificación de áreas verdes, debe partir de un diagnóstico e incluir la participación ciudadana; esta participación debe asegurar procesos incluyentes con la finalidad de cubrir la demanda de esparcimiento de grupos sociales vulnerables.

González-Guillén, (2010), propone abordar la planificación de espacios verdes con fundamento en estudios económicos, sociales y ecológicos que fomenten el involucramiento de la sociedad en esa tarea, lo que les pueda dar una mejor calidad de vida e incremente la plusvalía del espacio donde se desarrollará.

Lineamientos para el diseño e implementación de parques públicos comunales

De acuerdo a (SEDUVI, 2012) mediciones internacionales indican que la actual Ciudad de México tiene una carencia importante de espacio público, ubicándose por debajo de los estándares mínimos recomendados por la organización mundial de la salud que son de 16 m² por habitante (Forbes, 2021).

La problemática se agudiza si se toma en cuenta que el espacio público existente en la ciudad se encuentra en un estado generalizado de deterioro e invasión por parte de diferentes elementos perturbadores, lo que deriva en un entorno urbano hostil, decadente, contaminado e inseguro (Gutiérrez-Leal, 2015).

La estrategia que sugiere el presente trabajo consiste en la recuperación de espacios afectados por la minería a cielo abierto, mismos que en la mayoría de los casos están inutilizados y reconvertirlos en áreas de uso comunitario.

Además de la creación de espacios públicos para la localidad de Calimaya, la metodología permitirá generar impactos positivos en la movilidad, y su aplicación puede resultar en la mejora de la calidad de vida (SEDUVI, 2012) (Figura 2).



Figura 2. Conceptualización del parque urbano sustentable. Fuente: Parque la Mexicana (Mundo Inmobiliario, Grupo Imagen, 2019).

Problemática

En el presente del Municipio de Calimaya, Estado de México, se muestran constantes problemas socioambientales, y están ligados a diferentes factores de índole natural y de índole antrópica, por ejemplo; el abandono de socavones mineros originado por la extracción de material pétreo destinado a la construcción.

Actividad que, a su vez, integra procesos de extracción, transporte y procesamiento de materiales pétreos que carecen del cumplimiento de un marco legal, ambiental, económico y social, con miras a la prevención y mitigación de impactos al ambiente de Calimaya.

Hoy en día las autoridades municipales por normativa no exigen a los dueños de las minas la elaboración de programas y proyectos orientados a reducir el impacto de la actividad minera.

Aunque bien se pudo identificar que algunas de las empresas encargadas de la extracción sí consideran e integran una manifestación de impacto ambiental, apenas representa un 13 % del total de la actividad minera vista en Calimaya.

Producto de ello, es la significativa modificación del entorno paisajístico, la alteración de la tranquilidad social, y la prontitud de los procesos erosivos que inducen riesgos a la población, y al ambiente de Calimaya y sus alrededores (Valencia, 2017).

Elementalmente la problemática del presente trabajo se basa en la presencia de áreas de actividad minera, misma presencia que no tiene planes de remediación, rehabilitación o restauración al final del ciclo de extracción, situación que ha derivado en otros problemas ambientales, paisajísticos y antropogénicos.

Los problemas más notables en las áreas de extracción al final de ciclo de uso minero son: uso como tiraderos de basura a cielo abierto, minas abandonadas próximas a una distancia no mayor de cinco metros de asentamientos humanos, lixiviados productos de la descomposición de material orgánico e inorgánico presentes en los basureros a cielo abierto, los olores que se desprenden de dicha descomposición, la presencia de fauna nociva y la alteración paisajística del entorno, problemáticas que resultan ser un vector para la

propagación de enfermedades infecciosas,¹ así como un objeto de estudio para el mejoramiento de esta zona.

Preguntas de Investigación

- 1.- ¿Qué problemática ambiental presenta el municipio de Calimaya, derivado de la actividad minera?
- 2.- ¿Cuáles serían los mecanismos o áreas que permitan mejorar la situación actual en el sitio de estudio?
- 3.- ¿La experiencia de los parques sustentables en México han sido positiva?
- 4.- ¿El diseño y construcción de parques urbanos sustentables en la zona de estudio puede ser la solución a la problemática planteada?

Hipótesis

Al diagnosticar la situación ambiental del municipio de Calimaya se detectaron serios problemas ambientales derivados de la actividad minera.

En esta investigación se cree que, mediante el enfoque de los componentes de teoría de sistemas complejos, geografía del paisaje y las técnicas del análisis multicriterio del medio físico afectado, se podrá alcanzar una solución coherente con el espacio geográfico de este objeto de investigación; cuya solución pudiera estar basada en el diseño de parques ambientales sustentables.

Objetivo General

Elaborar una guía metodológica que permita identificar las potencialidades ambientales, sociales y económicas de Calimaya a través de la integración de los enfoques geográficos, urbanísticos y sustentabilidad como estrategias de resiliencia, con el fin de diseñar y construir parques urbanos sustentables dentro de áreas degradadas por procesos mineros.

¹ (CENAPRED, 2012) Riesgo: Es la predisposición o susceptibilidad, física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o sufrir efectos adversos en caso de que se manifieste un fenómeno peligroso de origen natural, socio natural o antropogénico.

Objetivos Particulares

1. Ubicar, cuantificar y clasificar socavones activos e inactivos a través de visitas de campo y concientización social, la identificación de zonas potenciales para la evaluación y aplicación de la metodológica propuesta, así como el análisis legal y normativo de la actividad minera en México
2. Analizar el marco teórico relacionado con el análisis de la potencialidades ambientales, sociales y económicas, con énfasis en espacios degradados abandonados, con el fin de aplicar los fundamentos metodológicos de la sustentabilidad y resiliencia, mismos que harán posible la elección de componentes para diseño de parques sustentables.
3. Proponer acciones remediadoras en zonas de actividad minera derivada del catálogo de socavones.
4. Desarrollar técnicas de análisis espacial y monitoreo satelital para la detección del avance de actividades mineras.
5. Elaborar una guía metodológica para el diseño de parques urbanos sustentables, elaborado a partir de los principios de la sustentabilidad y resiliencia, por medio de las técnicas de análisis multicriterio, IGR y IGW para la viable aplicación para zonas afectadas por actividad minera de áridos.

Justificación

El objeto de estudio de esta investigación serán los parques urbanos sustentables, y la importancia que tienen en la actualidad con respecto a estudios ambientales aplicados a los sistemas urbanos.

Estos últimos, son áreas de oportunidad en la lucha contra la degradación ambiental, promoviendo la resiliencia de zonas impactadas por acciones humanas como lo es el caso de las zonas mineras de Calimaya.

Como referencia, se sabe que algunos autores integran al desarrollo sostenible, ciudad sostenible y sustentabilidad urbana, como definiciones estrechamente relacionadas (Vélez, 2009).

Basta con entender que en la actualidad la sustentabilidad urbana comprende diferentes métodos, enfoques y teorías como; la teoría de diseño urbano de Jan Bazant (2013), cuyo énfasis se encuentra en entender el ambiente urbano y sub urbano, y a su vez , identificar la interacción social, económica y ambiental, que permite generar indicadores que varían según el contexto específico de aplicación, los alcances, las condiciones particulares de cada sitio, por ejemplo, para el caso de Calimaya, diseñar un parque urbano en base a las características particulares de los sitios de extracción.

Es así que, desde una perspectiva similar; el discurso y el análisis de la sustentabilidad, aplicado a los parques urbanos sustentables, tiene múltiples enfoques, entre los que se encuentran, el urbanismo, la arquitectura, la ecología o el de la geografía ecológica; por lo cual requiere un enfoque multidisciplinario.

Lo cual permite entender la dinámica e importancia de áreas verdes en los diferentes ámbitos del conocimiento, entre ellos la geografía que a su vez pretende mantener la biodiversidad, incremento de áreas naturales, mantenimiento de áreas de recreación y preservación de recursos naturales en zonas donde las actividades humanas han perjudicado de forma alarmante al desarrollo local sustentable.

Algunas de las causas de la degradación ambiental en Calimaya son el proceso de urbanización, la división del terreno para construir nuevas casas habitación, la extracción pétreo irregular, el uso de socavones mineros abandonados como basureros clandestinos entre otras actividades. Lo cual conlleva lentamente a una insostenibilidad ambiental, social y económica por la falta de sucesión ecológica que ha reducido notablemente las tierras destinadas para el cultivo.

En este caso, se destaca la importancia del presente estudio que se enfocará en entender la dinámica y la influencia de ciertos patrones que generan este tipo de conflictos, todo ello apoyado del conocimiento local, el conocimiento académico y el desarrollo Geotecnológico como herramientas primordiales.

El relieve, la vegetación, la edafología, el clima y la geología de esta región concentran características ideales para el establecimiento de una amplia diversidad de actividades antrópicas y desafortunadamente la minería es una de ellas.

Asimismo, es hábitat para un buen grupo de especies de flora y fauna, lo cual favorecería ampliamente la aplicación de una metodología de diseño de parques urbanos sustentables, que incremente la resiliencia de esta zona, y porque no; hasta se convierta en una fuente económica, y de empleo para los lugareños (habitantes).

Uno de los tantos beneficios que se puede tener a partir de los parques sustentables, es mejoramiento paisajístico de la zona afectada, la potencialidad ecoturística, la empleabilidad de las personas del sitio, y tal vez la más importante será la rehabilitación de las áreas de extracción que mayormente han sido abandonadas , generando alternativas que podría aportar una fuente segura de ingresos económicos y mejoramiento ambiental siempre y cuando sean manejados adecuadamente, tal y como se pretende al llegar al final de esta investigación.

Los aportes teóricos y metodológicos de la investigación, será la conceptualización de los parques urbanos sustentables, así como el diseño metodológico para el estudio de los mismos, a través de los enfoques de carácter geográfico- ambiental, ecológico y de diseño paisajístico, así como, de percepción de riesgos.

Se reconoce los diferentes enfoques metodológicos para atender la problemática descrita (Jimenez, Huante, & Ricon, 2007), teniendo como premisa, comenzar con la difícil tarea de generar un equilibrio entre el medio ambiente y, los distintos intereses económicos y sociales que convergen dentro de Calimaya.

Se pretende promover el uso de una guía metodología que coadyuve a integrar las bases conceptuales de la sustentabilidad, el diseño urbano, la resiliencia y, la rehabilitación ambiental, con el afán de atender la dinámica de las problemáticas que se presentan al tener cerca el proceso de extracción minera a cielo abierto.

Por lo que resulta de suma importancia, estudiar los fenómenos socio-ambientales derivados de la problemática de presencia de minería a cielo abierto en Calimaya, de una manera holística, integral, sustentable, sistemática y basado en el uso de las geotecnologías.

La información cuantitativa y cualitativa que proporciona este trabajo servirá para valorar la importancia que tienen los parques urbanos sustentables, conocer la percepción que se tiene acerca de los socavones abandonados, describir las diversidades de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas que les son útiles en la zona para llevar a cabo la rehabilitación.

Lo anterior se pretende lograr a través de parques urbanos sustentables, con la consecuente contribución a la conservación de diversidad florística; así como se conseguirán beneficios económicos y aportes a la resiliencia local. Todo esto, tendrá como finalidad promover la rehabilitación de los socavones mineros.

Esta investigación tiene por objetivo difundir la potencialidad que tienen los parques ambientales sustentables, que no son muy conocidos, por lo cual la divulgación e importancia de estos, permitirá un impacto académico y práctico en México. Experiencias como estas se conocen en ciertas zonas de Centro y Sudamérica y en países de Europa (Jimenez, Huante, y Ricon, 2007).

Sin embargo, en el marco de desarrollo de esta investigación, se cree, que, realizando mejoras metodológicas a los procedimientos de diagnóstico, diseño, aplicación y monitoreo, de parques sustentables ambientales, estos se pudieran convertir en un proceso más viable para los sitios más afectados en México por actividad minera.

De tal manera, será importante entender los saberes locales y a su vez combinar las nuevas tecnologías, técnicas y métodos para contribuir en el cuidado y conservación de la biodiversidad y el entorno paisajístico (Figura 3).



Figura 3. Beneficio de los parques urbanos. Tomada de Bonells (2021).

CAPÍTULO 1. MARCO TEORICO DE LA HISTORIA MINERA, SUS EFECTOS Y POSIBLES SOLUCIONES DESDE UN PUNTO DE VISTA GEOGRAFICO INTEGRATIVO

1.1. Problemáticas de la minería a cielo abierto

Este capítulo analiza el problema de la minería a cielo abierto y se basa en la investigación realizada por Christian Jürgensen Thomsen, que articula la importancia de la minería en la historia de la humanidad. Este indicador de la minería es referenciado como uno de los más importantes.

En este apartado se aborda, el análisis de las problemáticas en Calimaya, Estado de México propias del proceso de extracción minera a cielo abierto. Asimismo, y bajo los preceptos obtenidos de los estudios de Christian Jürgensen Thomsen, la presente investigación desarrolla brevemente un estudio sobre la importancia que la minería ha tenido en la historia de la humanidad, entendiendo que la minería ha sido uno de los motores impulsores del desarrollo humano, pero acompañado a esto, se ha comprobado un impacto ambiental negativo.

La evolución de la actividad minera Christian Jürgensen Thomsen, la divide en tres edades de avanzado análisis, que por orden de antigüedad establece, Edad de Piedra, Edad del Bronce y Edad del Hierro.

Asimismo, entiende que las explotaciones mineras han ido evolucionando a lo largo de los siglos, pasando de pequeñas actividades artesanales a grandes extracciones por multinacionales mineras que existen en la actualidad en México y en el mundo (EADIC, 2021).

Por lo tanto, sin la minería y el proceso evolutivo que esta trae consigo el desarrollo humano hacia el conocido “estado Benefactor”, sería muy diferente al que actualmente conocemos.

Si bien, aún hoy coexisten diferentes métodos de explotación minera, es de importancia analizar el conjunto de técnicas que se ocupan al momento de realizar extracciones a cielo abierto, pues este método ha demostrado ser el que mayores efectos negativos trae al ecosistema en donde se realiza esta práctica.

De esta manera, la presencia de minería a cielo abierto trae consigo problemas visibles como; socavones abandonados, graveras sin funcionar, contaminación en suelo, contaminación en el aire por partículas suspendidas, contaminación en el manto freático, alteración al paisaje o ecosistema, entre otros. Sin embargo, en México estas problemáticas mineras muchas veces se pasan por alto, debido a que resulta un sector estratégico a nivel nacional e internacional.

Basta con poner atención a nuestro alrededor para entender que gran parte de lo que nos rodea en la vida cotidiana procede de la minería, bien directamente o bien después de haber sufrido algún tipo de transformación metalúrgica (EADIC, 2021).

Sabiendo que las dos materias primas más consumidas en el mundo son el resultado de procesos mineros; el agua y los áridos para construcción en obra civil y obra pública.

A pesar de la relevancia que presenta el sector minero a nivel mundial, es una actividad no exenta de polémica debido a que, si no se regula y monitorea constantemente se vuelve una actividad destructiva para el entorno donde se desarrolla.

Sumado a ello algunos recursos minerales no pueden moverse de sitio, por lo que a veces su localización afecta a determinados espacios protegidos, bien sea medioambientalmente o culturalmente, lo que hace que sea una actividad, en ocasiones, socialmente discutida; y que, por el bien de los afectados, en las últimas décadas las empresas mineras están centrando sus esfuerzos en obtener resultados globalmente sostenibles (EADIC, 2019).

He aquí donde las teorías de localización basadas en la geografía económica sobre todo la teoría de polos de desarrollo propuesta inicialmente por el economista francés, Francois Perroux hacia el año de 1955 toma relevancia.

En ella el autor explica a través de la variable “localización”, cuando, en un subsistema regional se implanta una nueva actividad, entonces esta misma actividad traerá consigo una serie de efectos parciales positivos y negativos.

Sin embargo, a medida que tales efectos se concentran en el subsistema, se dirá que la actividad ejecutada constituye un polo (sitio) para la región, que será de crecimiento o desarrollo.

De acuerdo con Coraggio (1972), en la medida que, los efectos positivos estén condicionados por importantes procesos de filtración hacia el resto del sistema y los efectos negativos estén relativamente más localizados en el subsistema, entonces la actividad constituye una porción relativamente menor en la región.

En esencia, el crear un polo de desarrollo de acuerdo a la teoría, es lograr el crecimiento económico en una región determinada. Sin embargo, eso no resuelve todos los problemas de desarrollo, solo aporta una solución relativa y no completa.

Por lo tanto, la importancia de un polo de desarrollo radica en que la inversión que se realiza en un sitio considerado como eje central y este genera beneficios en las regiones periféricas, a su vez las nuevas inversiones favorecen el aumento de la producción, el nivel de ingresos, la generación de empleos, el incremento del uso de la tecnología y la mejora general del bienestar de la población.

1.2. La historia de la Geografía ambiental y el espacio geográfico

Uno de los aportes del presente trabajo de investigación, fue la integración de los enfoques geográficos como medio de análisis y estudio de espacios afectados por actividades mineras en Calimaya, con la finalidad de llevar a cabo una propuesta de diseño de parques urbanos sustentables.

Si bien es muy común que disciplinas como el urbanismo y la arquitectura sean capaces de diseñar y ejecutar este tipo de estudios muchas veces carecen del conocimiento geográfico del sitio provocando fallas como la selección inadecuada de especies arbóreas y arbustivas que se adapten a la necesidades del lugar, provocando así la pérdida de capital y biodiversidad, la lejanía del sitio propuesto con respecto a la población beneficiada, no contar con la regulación y normatividad adecuada, presentar proyectos con fines políticos, o como

lo que sucede en el área de estudio elegida en el presente trabajo de investigación, la nula continuidad o monitoreo de dichas actividades mineras por falta de tiempo o compromiso de las autoridades.

Aquí es donde el uso y la implementación de herramientas geotecnológicas y enfoques geográficos toman una relevancia importante, como se irá viendo a lo largo del desarrollo de la siguiente metodología.

El crecimiento de la ciencia geográfica, vino acompañado con el progreso de la humanidad, los saberes geográficos fueron relevantes para las sociedades e incluso, de la consolidación y expansión de los Estados y de los grandes imperios (Cuadra, 2014).

De hecho, fue Aristóteles el primero en usar el término geografía y Estrabón en publicar una obra con ese nombre (Daus, 1961). El conocimiento, para entonces no poseía un alcance definido, donde los intelectuales podían aplicar conocimientos de diversas disciplinas (ejemplo: filosofía, astronomía, geografía, historia, entre otros).

Todo esto, y de acuerdo a los apuntes de Cuadra (2014), precedido de la influencia de la iglesia católica papal que reforzaba la concepción teocéntrica y la creencia de que la tierra era un disco en el centro del universo. La influencia romana, que a pesar del poder político y económico, no tuvo una trascendencia comparada con la de los griegos en el campo de la geografía, debido al pragmatismo de esta cultura (Cuadra, 2014).

1.3. Evolución geográfica y sus diferentes enfoques

De acuerdo a (Cuadra, 2014), los enfoques geográficos tradicionales parten de la concepción que se tiene de quienes lo estudian, por ejemplo, para Ostuni, los geógrafos son "...criaturas de su tiempo que reaccionan al clima intelectual, social y político de la época en que viven..." (Ostuni, 1992).

No es hasta que a mediados del siglo XX los enfoques de la escena geográfica, tomaron una importancia sobre todo en los estudios socio ambientales, aunque significativo algunos con mayor presencia y perdurabilidad que otros, y fueron los siguientes:

1.3.1. La geografía general y sistemática enciclopedista

Su concepción se encuentra en la antigua geografía griega, también conocida como la geografía general encargada de estudiar en forma sistémica y espacial, la superficie

terrestre y que fue hasta fines del siglo XVIII que se constituyó, llegando al apogeo en los cien años siguientes con los valiosos aportes de Humboldt, Ritter, Ratzel y Richthofen y su posterior institucionalización como disciplina, manteniéndose en pie aún en nuestros días.

De las ramas más cultivadas desde esta visión, son la geografía física y la biogeografía (entre ambas constituyen la Fisiografía), aunque algunas subramas de la geografía humana suelen abordarse con esta modalidad, por ejemplo, la geografía económica, la geografía urbana y la geografía agraria algunas líneas de conocimiento que se abordan a continuación.

1.3.2. La geografía regional

Cuadra (2014) resalta la importancia de la cultura griega, desde (Heródoto) y (Estrabón), hasta Varenio. Hacia 1880 Paul Vidal de la Blache (líder de la escuela francesa) logro desarrollar los principios de la geografía regional durante gran parte del siglo XX, sumado a los aportes de la escuela alemana liderada por Alfred Hettner y, la escuela norteamericana con Richard Hartshorne.

1.3.3. La geografía anarquista

Se desarrolla en la segunda mitad del siglo XIX, con importantes aportes de Pedro Kropotkin y Eliseo Réclus, pero, no tuvo aceptación, en los académicos europeos, especialmente por sus ideas anticolonialistas, antinacionalistas y crítico-sociales. Sin embargo, sus aportes (dejando de lado la marcada adhesión al positivismo que exhiben sus obras) implantaron los rudimentos para que en las últimas décadas del siglo XX estos temas fueran retomados y cobraran una relevancia inusitada (Cuadra, 2014).

El desacuerdo de Kropotkin con ciertas ideas de Darwin y las actitudes descalificadoras de Marx y Engels hacia Réclus también contribuyeron en la invisibilización de este enfoque (Estébanez, 1992).

1.3.4. La geografía ecológica humana

Propuesta en 1923, por el presidente de la Asociación de Geógrafos Americanos, profesor Harlan Barrows (impulsor de la escuela de Chicago), que desde su visión

biologista retomó algunas ideas de Ratzel para plantear esta concepción unificadora entre la naturaleza y el hombre (Gómez Mendoza, et al. 1982).

La geografía ecológica humana, no alcanza sus objetivos, pues la geografía general y regional tenía mejor aceptación dentro de los enfoques geográficos, sin embargo, sentó las bases de la geografía ambiental (Siglo XX).

1.4. Elementos y posturas teórico metodológicas de la geografía ambiental

Como se narra en el inicio del presente capítulo los enfoques de la geografía han servido para desarrollar investigaciones en diferentes ámbitos de la ciencia, pero para poder lograrlo han sufrido alguna serie de modificaciones con el pasar del tiempo.

Para ejecutar el presente estudio es necesario tomar como base teórica el enfoque de geografía ambiental como uno de los enfoques geográficos más utilizados, en especial a partir del siglo XVIII, pero con mayor énfasis en el siglo XIX con las contribuciones de Humboldt, Ritter, Ratzel, Richthofen y Davis.

En el siglo XX las aportaciones de Vidal de La Blache, Brunhes y Sorre; permitieron la expansión de la geografía hacia Estados Unidos, Reino Unido, Francia, Alemania y numerosos países del mundo.

En países como Argentina, Brasil y México tuvo una mayor expansión en los años '90, debido a la reforma constitucional que posibilitó cambios normativos en cuanto a la apertura de mercados por el efecto de la globalización comercial.

Fue así que la explotación intensiva de los recursos naturales (merced a la privatización o concesión de yacimientos y empresas estatales) e incorporación de los temas ambientales en los currículos educativos consolidaron los estudios con este enfoque.

Entre los geógrafos que aportaron a esta perspectiva se encuentran Gerardo Bocco (México) y en Carlos Reboratti (Argentina). Los aportes del enfoque de la geografía ambiental pueden visualizarse en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Descripción del enfoque de la geografía ambiental.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
ENFOQUE	Geografía Ambiental
CONTEXTO GENERAL	Neopositivismo, evolucionismo, teoría general de sistemas.
CONCEPCIÓN DE ESPACIO	<p>Ambiente, (conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y en un momento determinado, que influyen en la vida del ser humano y en las generaciones venideras.</p> <hr/> <p>No se trata sólo del espacio en el que se desarrolla la vida, sino que también comprende seres vivos, agua, suelo, aire, objetos y las relaciones entre ellos, como elementos tan intangibles como la cultura.</p>
TEMAS ABORDA QUE	Problemáticas ambientales en general, procesos de restauración de ecosistemas, proyección y análisis de riesgo ambiental, monitoreo de cambio climático, sustentabilidad en zonas rurales y urbanas, en general todos los temas que involucren relaciones reales y potenciales entre los grupos humanos y sus entornos ambientales.
FORTALEZAS	Uso de teoría de sistemas, generalización, uso de modelos en sobreposición de capas, técnicas, herramientas y recursos de captura, registro y procesamiento de los datos, indicadores, trabajos de campo e incluso pruebas de laboratorio.
DEBILIDADES:	El logro de equilibrios entre las demandas sociales, las pautas culturales, los intereses económicos y políticos (racionalidad humana) y la preservación de los complejos naturales o eco-sistémicos. Falta de desarrollo teórico desde la ciencia geográfica.

Fuente: Modificado, considerando los fundamentos de Cuadra (2014).

1.4.1. Aportaciones de la geografía ambiental al campo de la ciencia

La geografía se aplica o desarrolla, en un campo disciplinario mixto, que aborda problemáticas tanto sociales como naturales con un referente espacial, ¿por qué entonces abrir una discusión en torno a una posible geografía ambiental? , son preguntas que (Bocco

& Urquijo, 2013), se han hecho, permitiendo así desarrollar un enfoque que se ubica entre los límites de la geografía física y la humana, cuyo énfasis particular pretende ubicar los estudios ambientales como un nuevo campo disciplinar de la geografía moderna.

Basado en lo anterior, la geografía ambiental pretende como meta, el análisis, la valoración y posible solución en temas relacionados con los territorios, en el campo de la sustentabilidad, ciencia del cambio de la tierra, ciencia del sistema de la tierra, sociología ambiental, entre otros

Es así, que nace el enfoque de la geografía ambiental, como respuesta a un entorno integrador, que contribuye a la organización del flujo de los diferentes componentes de la investigación, independientemente de los problemas de lenguaje y metodología que puede generar la pretensión holística (Bocco y Urquijo, 2013).

Entonces, resulta más que oportuno avivar una reflexión retrospectiva sobre la relación geografía y ambiente, lo que permitirá asentar planteamientos teóricos y operacionales con bases geográficas sólidas.

Bocco y Urquijo (2013), enfatizan en que la escuela geográfica francesa, se basa en la reflexión y entendimiento del espacio a estudiar, teniendo algunos preceptos como el que las sociedades ocupan espacios o territorios, que opera sobre ellos con sus valores y modos de vida.

Bocco y Urquijo (2013), indican que la geografía contemporánea se nutre de dos vertientes o identidades principales (Turner, 2002): la espacial-corológica y la humanista-ambiental.

El marco teórico perteneciente a las relaciones hombre- sitio, le concedía un campo de acción propio, que adquiriría a la vez una marcada orientación ambiental y relacional.

Y de esa forma, se han seguido dos tendencias para definir el objeto de estudio: la que sostenía que era el análisis y explicación de los hechos geográficos o hechos de la superficie terrestre, y la que consideraba que el fundamento radicaba en el espacio en sí mismo.

Es decir, la primera tendencia se encontraba basada en el positivismo de Vidal de la Blanche que entendía que en el entorno existían influencias recíprocas entre el hombre y el medio natural., mientras que la segunda se cuestionaba los planteamientos realizados por el positivismo, pues consideraba que el objeto geográfico eran los lugares, cuyos elementos eran consecuencia de la capacidad de la transformación humana (Bocco y Urquijo, 2013).

Sin embargo, y de acuerdo a Castro (2009), la perspectiva fiscalista fue la que mejor se adaptó a los cambios de análisis geográfico ambiental.

Debido a que, para esa geografía fiscalista, el objeto de su conocimiento era similar a un “dato”, algo que existe en sí, es palpable, y no en su relación indisoluble con el sujeto que lo percibe y transforma. (Bocco, Urquijo y Vieyra, 2011)

Gracias a estos enfoques, que intentaron por primera vez coludir análisis integrativo entre diferentes campos del conocimiento, es que, en la actualidad, ya se habla de enfoques integrados.

Bocco, Urquijo, y Vieyra, (2011), determinan que es gracias a la ecología, (disciplina científica que muestra interés en cuestiones ambientales), que se ha contribuido con propuestas conceptuales y metodológicas sólidas, que se han plasmado en enfoques denominados genéricamente como “socio-ecológicos”, y es gracias a estos enfoques que permitirán desarrollar medidas de mitigación y afectación a los ecosistemas en el presente estudio, derivados de la extracción minera descontrolada.

Se deduce entonces, que el análisis de la geografía ambiental, es una herramienta relevante en el estudio de los ecosistemas, que sufren las consecuencias de fuertes intervenciones antrópicas y del cambio climático.

Así como la geografía ambiental ha tomado una importancia relevante en el desarrollo de ciudades, el urbanismo, la historia y la sociología, representan disciplinas de gran apoyo a la presente investigación.

1.5. Historia del Urbanismo y su relación con la Geografía Ambiental en los estudios holísticos para la sustentabilidad

Desde la aparición de los núcleos poblacionales hace más de 4000 años, ya se presentaban elementos básicos de mobiliario urbano y de áreas verdes. A manera de recapitulación histórica, los primeros indicios de parques urbanos conocidos serían los jardines colgantes de Babilonia. Constituye la menos conocida de las siete maravillas del mundo antiguo (Vidal, 2016). Y aunque, casi todos los monumentos catalogados como maravillas de la Antigüedad han desaparecido, en la actualidad, estas se encuentran correctamente geolocalizadas y descritas.

Por el contrario, y considerando los comentarios de (Vidal, 2016), aún el día de hoy se desconoce el lugar donde se erigieron los famosos jardines llegando incluso a dudar de su verdadera existencia, dando a entender que los jardines colgantes, realmente se pudieron encontrar en la ciudad asiria de Nínive, ver Figura 1.1.



Figura 1.1. Los Jardines Colgantes de Babilonia. Fuente: Grabado del siglo XVI del artista holandés Martin Heemskerck.

Otro ejemplo, del como la geografía y el urbanismo antiguo comparten ciertas características de análisis social y ambiental en la construcción de ciudades se puede encontrar en las ruinas de Akrotiri en la isla de Santorini (4000 A.C.), donde aparecen en los exteriores de las

viviendas, bancos de piedra o indicios de lo que parece ser un sistema rústico de jardines integrado. Posteriormente, en la isla de Creta, en los restos arqueológicos de la civilización minoica, aparecen fuentes y bancos, así como zonas de reunión, áreas destinadas para el embellecimiento urbano, siendo esto parte de las zonas públicas, apuntes tomados de (Ariza ,2011), ver Figura 1.2.



Figura 1.2. El Arte Cretense, Fuente: La guía del arte, del año 2014.

Ariza, también indica que mediante las referencias del mundo antiguo en la isla de Rodas, en los restos griegos de la ciudad dórica de Kamiros 1000 a. C, se puede apreciar estructuras de espacios públicos, con zonas de reunión y foro, ubicadas estratégicamente. De igual manera esta estructura se repite en numerosas ciudades de la misma época sobre todo en la Grecia antigua hasta los romanos, aunque cabe aclarar que el nombre de parque o área verde aún para esta época no se había concebido. Es si no, hasta principios del siglo V cuando los parques de atracciones o parques temáticos tienen su origen en las ferias periódicas de la Edad Media y, posteriormente, en los jardines de recreo del siglo XVII, dotando así de integración e interacción social, elementos que posteriormente servirán para darle un significado más amplio al termino de parque urbano.

Pronto, estos lugares se convirtieron en un lugar de entretenimiento para el gran público. Por ejemplo, el parque de atracciones más antiguo del mundo se puede encontrar en Dinamarca

en la ciudad de Bakken, cerca de Copenhague, mismo que fue inaugurado en 1583 y su origen se atribuye al descubrimiento de unos manantiales a los que se le atribuían propiedades curativas (Ariza, 2011).

Un breve análisis histórico, se basa desde el proceso de parque ha pasado por numerosas etapas de la historia, hasta llegar a convertirse en lo que hoy conocemos como parque de atracciones. Ejemplo, el Blackgang Chine fundado en 1842 en la Isla de Wight (Inglaterra).

Posteriormente, en 1843, se inaugura Tivoli Gardens, en Dinamarca y en 1846, se inaugura el parque de atracciones más antiguo de Estados Unidos: Lake Compounce.

Por otra parte, en España, no fue hasta principios del siglo XX que se creó el primer parque de atracciones: el Tibidabo de Barcelona (octubre de 1901), actualmente uno de los parques más visitados de ese país. (Apuntes tomados de Ariza, 2011).

Ahora que se ha realizado un análisis histórico de los parques urbanos, parques recreativos y parques comunales, se puede entender por qué la sociedad necesita de ellos. No solo son espacios destinados al esparcimiento, también influyen en la salud mental y física; y a nivel comunitario a mediano plazo puede incidir en la reducción de la criminalidad.

Por su parte, los municipios obtienen beneficios económicos como la reducción en los costos de salud, aumento de productividad y aumento en el valor de las propiedades (plusvalía). Y finalmente lo más importante para el presente trabajo que es el poder mitigar los efectos negativos de la sobreexplotación minera mejorando el cuidado de medio ambiente y así, aumentar la preservación del patrimonio local, aunque cabe resaltar que, para el diseño de los mismos se deben seguir una serie de elementos complejos que a continuación se muestran.

1.6. Sistemas complejos: la búsqueda de soluciones a problemas de comunidades en transición

En el análisis de un sistema complejo, los límites de estudio no están de inicio definidos, sin embargo; si pueden ser definibles y refieren a estudiar solo, una “porción de la realidad” desde diferentes perspectivas mismas que incluyen elementos físicos, biológicos, sociales, económicos y políticos que en ese momento se encuentren interactuando.

La base del estudio de un sistema complejo, parte de la correcta selección de sus componentes y mecanismos que lo integraran, es decir, los límites del sistema, los elementos y las interrelaciones, tanto internas como externas (Valencia, 2017).

En muy pocas ocasiones esto se puede ver claro desde un inicio, y resulta forzoso realizar más de un intento con la finalidad de adecuarlo y hacerlo coherente con las necesidades del problema al cual se le quiere dar una solución acertada (García, 2006).

Por lo tanto, cuando se crean los "límites" del sistema, se comienza a investigar de manera más formal y sin duda, la manera más rápida surge del análisis geográfico con las fronteras geográficas (un país, una región, una selva, una urbe, un municipio etc.), que sin duda son cambiantes y se vuelven complejas conforme más grandes sean.

A través de las problemáticas también se pueden establecer límites entre las formas de producción, organización económica o culturales que coexisten en una región, aunque muchas veces estas variables no son pertinentes para el estudio por lo tanto pueden, dejarse fuera del problema central (García, 2006).

Para esta investigación, se partirá del límite sistemático municipal y su asociación con zonas de transición entre zonas urbanas, zonas rurales y zonas de extracción minera (áridos).

El análisis de la áreas urbanas y áreas rurales incluyen factores con distintos elementos que enriquecen a la investigación, factores como el paisaje, la economía, la sociedad y ambiente, de tal manera que estos componentes integradores del sistema tienen ciertas relaciones con los elementos bióticos, abióticos y antrópicos, basándose en procesos de asociación entre, el manejo agrícola, el manejo urbano, las alteraciones por la extracción minera de forma no sostenible, y una afectación al ecosistema Calimayense en general.

Clout (1976) indica que, desde principios de siglo XX, el paisaje y el ambiente de muchas áreas rurales del mundo desarrollado y subdesarrollado ha sufrido cambios de consideración.

Esto, gracias a los cambios en la estructura de la tenencia de la tierra, superado por las crecientes vastas áreas dedicadas a la construcción de unidades residenciales y a otras instalaciones que representan la amplitud urbana. Entre los que se encuentran los asentamientos humanos irregulares, la fuerte densidad de población, los centros tecnológicos,

de servicios o centros comerciales que demandan la sustitución recursos naturales por el aprovechamiento y crecimiento económico local.

Sin embargo, también se debe hacer énfasis al mencionar que todo ecosistema tiene la potencialidad de recuperarse por sí mismo de efectos antropogénicos negativos, siempre y cuando existan las condiciones necesarias para poder realizar dicho proceso, a esto se le conoce como resiliencia ambiental (Valencia, 2017).

1.7. Sistemas Complejos y resiliencia en ambientes degradados

Las investigaciones relacionadas con sustentabilidad y resiliencia territorial en el Estado de México responden a los diversos fenómenos y características sociales (Valencia, 2017).

Sumado a ello la incapacidad con la que los gestores y autoridades locales enfrentan problemáticas complejas como en el caso de sitios degradados.

Para responder a la dinámica de la problemática de los efectos por actividad minera a cielo abierto en Calimaya, se abordarán estudios previos a nivel internacional y nacional, mismos que sirven de base teórica y metodológica para el desarrollo de esta investigación.

En la actualidad algunos teóricos de la sustentabilidad, como Rob Hopkins hablan de la importancia que tienen los sistemas ambientales, y la capacidad que estos tienen para absorber y mitigar los impactos negativos que las actividades humanas generan sobre ellos (Gunderson, 2010). Determinando que la característica más importante en estos sistemas es la resiliencia.

De acuerdo a Calvente (2007), en 1973 Crawford Holling introduce por primera vez el concepto de resiliencia en la literatura ecológica: conceptualizándola como: *“una forma para comprender las dinámicas no lineales, así como los procesos a través de los cuales los ecosistemas se auto-mantienen y persisten frente a perturbaciones y los cambios...”* Acá agregar que los sistemas tienen la capacidad de auto-organizarse y adaptarse a las perturbaciones (Berkes, 2003).

Por el contrario, si se habla de alguna debilidad de los sistemas complejos es la “vulnerabilidad”. Puesto que cuando un sistema socio-ecológico pierde su capacidad de resiliencia puede ser más vulnerable a un cambio, provocando el llamado cambio de régimen,

es decir, que la perturbación es tan grande que altera la mayoría de las características naturales que se hace casi imposible rescatar al sistema (Valencia, 2017).

Existen diferentes factores y procesos que pueden ser usados como indicadores de este estado de alteración.

Entre ellos se señalan los procesos productivos de la región, sin embargo, para lograrlo es necesario conocer a profundidad las características ecológicas. Troell et al., (2005) y Hopkins, (2008) realizan profundos estudios para entender la resiliencia ecológica.

1.8. Del parque tradicional al parque sustentable la importancia del paisaje sano en comunidades en transición

Clark et al., 1997 indica que, la sustentabilidad es aquella habilidad para producir y/o mantener, durante algún tiempo futuro, bienes o servicios, sin que se vean afectadas las generaciones futuras.

En este sentido, se emplean términos en el ámbito ambiental y en particular la sustentabilidad, por ejemplo, la capacidad de autoregeneración y la autocosteabilidad económica. El primero de los términos, tiene alcance limitado dentro de los perímetros urbanos. El segundo caso, Clark et al., (1997) indica que, la autocosteabilidad económica tendría un alcance restringido en los espacios vinculados a áreas verdes.

Sin embargo, y de forma independiente a los inconvenientes relacionados con la aplicación de parques urbanos, generalmente son propuestas oportunas, con la capacidad de revertir las afectaciones ante los efectos negativos de las alteraciones antrópicas en espacios urbanos degradados, como es el caso de las actividades mineras en Calimaya, objeto de estudio del presente proyecto.

El aporte real de los parques urbanos se encuentra en las especificidades que presentan, cuyo reconocimiento supone acercarse al espacio verde como objeto de estudio en sí mismo (Vélez, 2009). Permitiendo así la sustentabilidad de las ciudades mediante el uso de áreas verdes.

Finalmente, la sustentabilidad a la escala de parque y de área verde, es discutido a profundidad por (Chiesura, 2004) , y subraya los beneficios sociales y psicológicos. Así como también se destacan los aportes de (García y Guerrero, 2006); en términos de la

definición de indicadores de gestión y uso para definir la sustentabilidad del parque. Hasta arribar a la evaluación de la sustentabilidad de senderos verdes urbanos en (Lindsey, 2003).

Cranz (2004) plantea el problema del parque sostenible, considerándolo como un modelo emergente respecto al cual describen las características generales o atributos que lo hacen diferente de otros tipos de parques urbanos. Vélez (2009), destaca: *...la autosuficiencia de recursos, la integración al sistema urbano mayor y los nuevos modelos de expresión estética, atributos que caracterizan dicho modelo en sus aspectos constructivos y operativos, físicos y sociales, y que están representados en el ahorro energético, de recursos materiales (fertilizantes, laboreo y agua) y de costos de mantenimiento, el reciclaje, el control de sedimentos, la reducción del ruido y de la contaminación, la configuración en función de la ecología del lugar, el diseño y manejo sucesional de la vegetación, el aporte al bienestar social y la salud pública, la accesibilidad, la conectividad y la integración social y urbanística a la ciudad...* (Comentarios tomados de Vélez, 2009).

En general, puede decirse que existe un amplio marco de criterios o principios, objetivos e indicadores de sustentabilidad de parques urbanos, entre ellos los componentes ecológicos, sociales, físico-espaciales, económicos y de gestión, enfatizando la importancia del contexto local y de la aceptación social para la sustentabilidad.

Sin embargo, entre las diferentes propuestas analíticas los indicadores quedan planteados de manera independiente, con lo que su aporte a la sustentabilidad solo se lee aisladamente. Según Vélez (2009), la desarticulación formal de criterios e indicadores limita la aplicación de los modelos o estructuras conceptuales.

En función de lo antes referido se puede tener una visión más amplia de la importancia que toma la geografía ambiental, así como disciplinas como el urbanismo, la ecología la arquitectura y sociología para la composición o propuesta de creación de parques urbanos sustentables, aunque cabe resaltar que ante la situación debe ajustarse al marco legal y normativo de cada estado o municipio. En la figura 1.3 se visualiza de forma esquemática la transición de las diferentes disciplinas que componen la geografía hasta arribar a los estudios particulares relacionados con la restauración de espacios degradados.

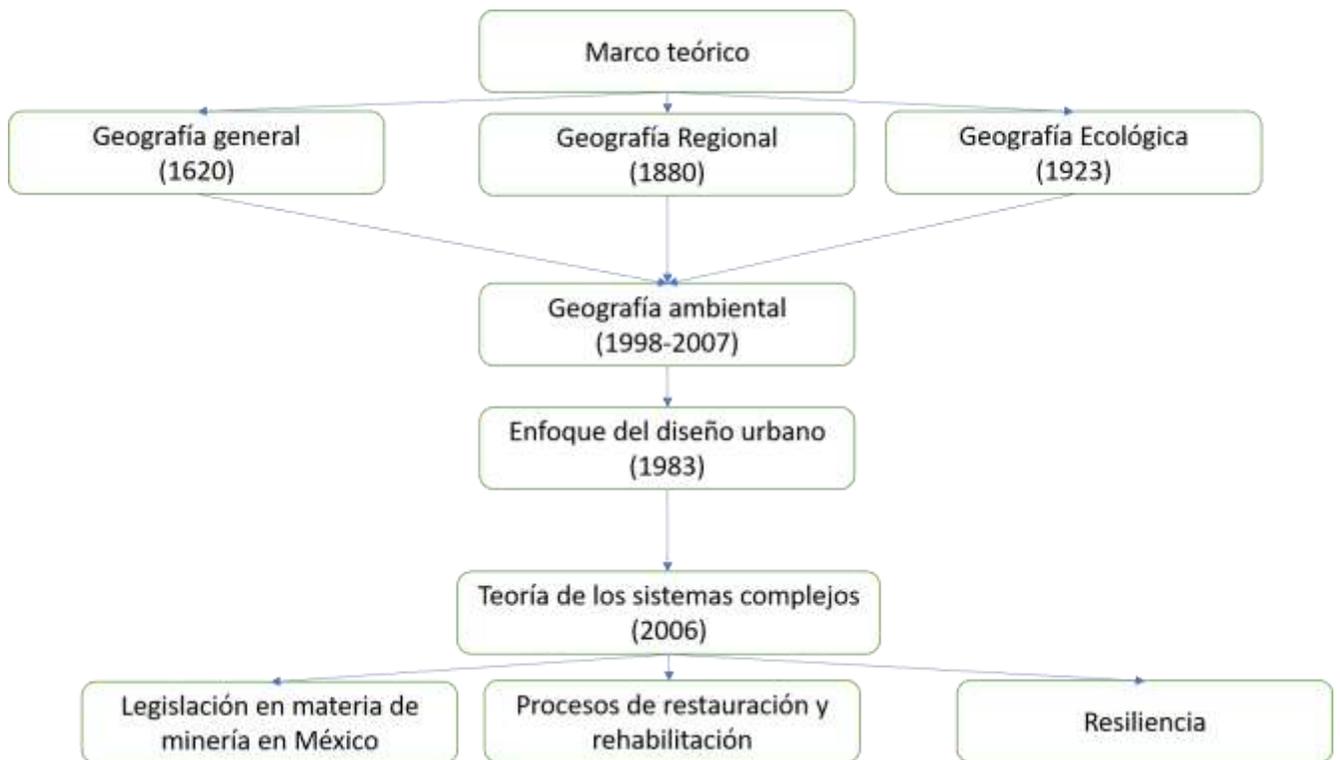


Figura 1.3. Principales componentes teóricos que intervienen en la investigación.

1.9. Marco Legal de la minería en México

En el Estado de México, el desarrollo constructivo a demandado de volúmenes importantes arena, grava, caliza, incluidos estos dentro de los minerales no metálicos. A la par, la minería de áridos, genera empleos locales; sin embargo, esta actividad es considerada como una de las actividades de mayor impacto ambiental a nivel mundial, ya que, en ella se presentan diferentes procesos de degradación y alteración del suelo.

Por lo cual, la falta de un instrumento legal regulatorio en materia minera en México, ha sido una de las principales causas generadoras de problemas ecológicos, sociales y económicos en las zonas mineras del país.

La necesidad de una Ley o reglamento que regule esta actividad a nivel Nacional y que además esté ligada a los objetivos del desarrollo sostenible de la agenda 2030 resultaría un gran paso, para mitigar los efectos negativos que la extracción de materiales pétreos al aire

libre trae consigo. En este acápite de la tesis, se presentan los antecedentes legales más relevantes, con implicación directa en el municipio de Calimaya. Para la elaboración del marco legal que se muestra a continuación, se tomó como base el análisis realizado por el autor de este trabajo en el año 2017 y publicado en Valencia (2017).

Jurídicamente a nivel estatal la minería ha tenido una visión mínima en cuanto a la atención que se requiere para normalizar y gestionar los sitios permitidos en la extracción se refiere.

Valencia (2017) indica que, hacía el año de 1992 la Secretaria de Desarrollo Económico en coordinación con la Secretaria de Ecología y la SEMARNAT se propuso acciones ligadas a un desarrollo Ecológico Sustentable en el Estado de México. Partiendo de los lineamientos normativos orientados a la ecología municipal, estatal y federal, se obtuvo también que el organismo de regular los permisos para la explotación de recursos mineros a cielo abierto en la entidad es el Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México.

Asimismo, se halló que, para el año de 1995, la Dirección General de Industria Minera, desarrollo una iniciativa de Ley Minera para la explotación de sustancias minerales no concesibles por el Gobierno Federal en el Estado de México, con la intención de ser aprobada e integrada a la Ley Minera Federal.

Dicho proyecto se sometió al análisis de la Dirección de Desarrollo Urbano del estado, con la intención de alcanzar una actualización en el reglamento de la Ley de Asentamientos Humanos para el Estado de México, quedando finalmente como propuesta de iniciativa de ley (Valencia, 2017).

En el México actual, cuenta con un “marco legal” regulatorio en los procesos de explotación de minerales no metálicos, a continuación, se describen los principales instrumento aplicables al Estado de México.

1.9.1. Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México.

Se propone en 1997, y es aprobada en el año de 2001, donde se enuncian los indicadores de *“preservación, recuperación o restauración del equilibrio ecológico, la regulación de las actividades relacionadas con la explotación de los minerales de los recursos del subsuelo, la prevención y control de la contaminación generada por las partículas sólidas suspendidas*

en la atmósfera, la concesión de permisos, licencias para la explotación y aprovechamiento de los recursos minerales” , apuntes tomados de (Valencia, 2017).

En la tabla 1.2, se muestran los principales artículos vinculados a la ley de protección al ambiente para el desarrollo Sustentable del Estado de México.

Tabla 1.2. Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México, artículos aplicados en materia minera.

Artículo	Fracción
6	XIV
10	VIII
12	V
15	II y II
16	II
17	II
18	VII
26	I, II, III
59	IV

1.9.2. Ley General de Equilibrio Ecológico y protección al ambiente.

La regulación ambiental en materia minera en América Latina es reciente, por lo que aún existen vacíos legales en este rubro. Uno de los instrumentos dentro de las legislaciones ambientales en Latinoamérica que puede aplicarse a la minería, es la evaluación de impacto ambiental. Ya que prácticamente no existen instrumentos específicos para la industria minera y en particular para la etapa post operativa de la actividad minera (Morales y Hantke, 2020).

Además de la poca atención que se les da a las etapas finales de la minería en las regulaciones ambientales latinoamericanas, es importante enfatizar que cada uno de los países mencionados (incluido México) no cuenta con un sistema para garantizar el cumplimiento de las obligaciones de cierre. Si bien la regulación ambiental está determinada por los gobiernos nacionales, los tratados y acuerdos internacionales pueden tener un impacto.

Las normas vigentes aplicables a la actividad minera son la NOM-120 SEMARNAT 2011, que establece especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, y la NOM 141 SEMARNAT 2003, que establece códigos y normas para la caracterización y tratamiento de relaves (desechos o residuos mineros).

Actualmente no existen lineamientos formales para el proceso de modificación de la topografía posterior a la explotación minera o para las etapas posteriores de explotación y mantenimiento.

No obstante, el Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental (REIA), regula las obras de explotación de los minerales y las sustancias de competencia federal².

Entre las atribuciones de la autoridad ambiental está, establecer medidas de prevención y mitigación para amortiguar, remediar y compensar impactos ambientales que surjan en la ejecución de un proyecto.

Por otra parte, es importante resaltar el carácter discrecional en la restauración, explicado en Valencia (2017), como *“La restauración de las minas como actividad de la etapa post operativa, no se solicita expresamente en las manifestaciones de impacto ambiental y aunque pueda ser considerada como parte de las medidas de mitigación esto es discrecional es decir queda a juicio del evaluador”*. De esto se deriva, la necesidad de incluir los planes de restauración en los estudios de manifestaciones de impacto ambiental.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente (LGEEPA establece que *“para prevenir y controlar la contaminación generada por el aprovechamiento de todos los productos o sustancias no reservadas a la federación deben tener las consideraciones estatales pertinentes y alinearse a lo que el Estado, dueño de los predios permita o no hacer en la zona; asimismo la formulación y conducción para la preservación y restauración del equilibrio ecológico y desarrollo sustentable del suelo”* (Secretaría de Ecología, 1997), y los demás recursos que de él se desprendan estarán a cargo de las Leyes y normas estatales (Tabla 1.3).

² (Valencia, 2017). Son de competencia federal los minerales concesibles es decir aquellos en los que la federación otorga a los particulares o la concesión que posibilita exploración y explotación de los minerales o sustancias que constituyan depósitos de los componentes de los terrenos (los que aparecen enlistados en el artículo 4 de la ley minera) entre ellos oro plata carbón mineral hierro cobre etc.

Tabla 1.3. Artículos Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México.

Artículo	Fracción
15	VII
28	III
50	XIV
64	X
70	XIV
108	I, II, II
109	II
120	IV

La minería se caracteriza por ser una actividad con un fuerte componente de trabajo manual dirigida a la exploración, beneficio o comercialización de minerales no metálicos. Los principales son conocidos como agregados pétreos³ y grava. Sin embargo el proceso de extracción muy particular en este tipo de minería se ve limitada por obtención de capital de trabajo, por el uso de herramientas que contaminan el ambiente, y por qué los procesos de restauración al concluir las actividades.

De tal manera que, para lograr avances notables en la restauración minera, sería necesario modificar los artículos 108 y 109 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

1.10. Ley Minera

Continuando con el desarrollo de los estándares legales de la minería en México, se presenta la ley minera, misma que es producto reglamentario del artículo 27 constitucional mexicano y que aplica en todo el territorio nacional.

³ Materiales granulares sólidos, inertes que se ocupan generalmente en la industria de la construcción, También son usados para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos, (Valencia,2017),

De ella los artículos que son importantes para el presente análisis son el 4 y 5, en donde se establecen los criterios de clasificación y excepción de concesiones mineras, mismas que se detallan a continuación.

Artículo 4 de la ley minera: *Menciona que son minerales o sustancias aquellos que en vetas, mantos, masas o yacimientos constituyen depósitos distintos de los componentes de los terrenos, los siguientes:*

- I. Minerales o sustancias de los que se extraigan antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, boro, bromo, cadmio, cesio, cobalto, cobre, cromo, escandio, estaño, estroncio, flúor, fósforo, galio, germanio, hafnio, hierro, indio, iridio, itrio, lantánidos, litio, magnesio etc.
- II. Minerales o grupos de minerales de uso industrial siguientes: actinolita, alumbre, alunita, amosita, andalucita, anhidrita, antofilita, azufre, barita, bauxita, biotita, bloedita, boemita, boratos, entre otros, resumidos en el Artículo 4 de la ley minera.
- VI. Los productos derivados de la descomposición de las rocas cuando su explotación necesiten trabajos subterráneos, como las arcillas en todas sus variedades, tales como el caolín y las montmorillonitas, al igual que las arenas de cuarzo, feldespatos y plagioclasas;
- VII. Las materias minerales u orgánicas siguientes, susceptibles de ser utilizadas como fertilizantes: apatita, colófano, fosfosiderita, francolita, variscita, wavelita y guano;
- VIII.- El carbón mineral en todas sus variedades y el gas asociado a los yacimientos de éste;
- IX.- Los demás que determine el Ejecutivo Federal, mediante decreto que será publicado en el Diario Oficial de la Federación, atendiendo a su uso industrial debido al desarrollo de nuevas tecnologías, a su cotización en los mercados internacionales o a la necesidad de promover la explotación racional y la preservación de los recursos no renovables en beneficio de la sociedad.

Además, el mismo artículo 4, indica que, *quienes estén realizando la exploración o explotación de los minerales o sustancias a que se refiere la fracción IX anterior, con base en las disposiciones del derecho común, tendrán derecho preferente para obtener la concesión minera correspondiente, siempre que la soliciten en los términos de esta Ley y su Reglamento.*

Uno de los puntos importantes que llamaron la atención al momento que estar revisando la ley es el siguiente artículo:

Artículo 5 de la ley minera. Se exceptúan de la aplicación de la presente Ley los productos siguientes:

1. El petróleo y los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos; salvo el gas asociado a los yacimientos de carbón mineral;
2. Los minerales radiactivos;
3. Las sustancias contenidas en suspensión o disolución por aguas subterráneas, siempre que no provengan de un depósito mineral distinto de los componentes de los terrenos;
4. *Las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen a este fin;*
5. Los productos derivados de la descomposición de las rocas, cuando su explotación se realice por medio de trabajos a cielo abierto, y
6. La sal que provenga de salinas formadas en cuencas endorreicas (Ley Mineral, 2022)

Si observamos detenidamente, el marco legal y normativo hasta aquí revisado, tiene deficiencias en cuanto a su aplicabilidad ya que, si no son metales preciosos o elementos de hidrocarburos, esta ley no se aplica.

De esta reflexión se deduce, la probabilidad de apertura a una brecha, pudiéndose calificar como vulnerabilidad institucional.

Dejando entre ver que el poder legislativo federal, se deslinda de los permisos y de los daños que la minería de extracción no metálica pueda causar al medio natural y social de todo el país.

1.10.1. Reglamento de la Ley Minera

Los apoyos y la normativa aplicada a la minería, muchas veces no se conocen del todo, esta ignorancia ha permitido que la industria minera se desarrolle sin tomar en cuenta el daño ambiental, económico y social al ecosistema donde se ejecuta.

Y aunque falta mucho por hacer con miras a regular correctamente esta actividad para evitar la extracción desmedida y no regulada, queda el apoyar e impulsar estas normativas a través de estudios que sustenten la inquietud de una actualización regulatoria aplicable a la Pequeña y Mediana Minería de pétreos como es el caso particular de las minas de Calimaya.

Capítulo III Del Fomento a la Pequeña y Mediana Minería y al Sector Social

ARTÍCULO 8º.- Los programas de fomento a la pequeña y mediana minería y al sector social deberán precisar:

- c. Las acciones que se desarrollarán y el tiempo que conllevará su ejecución por región;
- II. Los requisitos para la obtención de créditos otorgados o descontados por el Fideicomiso de Fomento Minero;
- III. Las medidas de descentralización y simplificación administrativas que adoptarán dicho Fideicomiso y el Servicio Geológico;
- IV. Las obras de infraestructura que deberán concertarse con las autoridades competentes;
- V. Los apoyos asistenciales que, en su caso, se concierten con la gran minería, y
- VI. Otros mecanismos para asegurar su debida instrumentación.

La Secretaría General a través de la secretaria de servicios parlamentarios formulará los programas de acción en congruencia con el Plan Nacional de Desarrollo, permitiendo actualizar constantemente los lineamientos del presente reglamento, y así tener un instrumento legal que monitoree constantemente a la pequeña y mediana minería.

Por ejemplo, el reglamento de la ley minera, establece lo siguiente.

En el ARTÍCULO 9º.- Se considera pequeño o mediano minero a quien, respectivamente, satisfaga cualquiera de las características siguientes:

- c. Aquel que obtenga ingresos brutos por ventas anuales de minerales o sustancias sujetos a la aplicación de la Ley, inferiores a cinco mil veces el salario mínimo general vigente en la Ciudad de México elevado al año para pequeño minero y veinte mil veces para el mediano minero, o

II. Extraiga mensualmente antes del proceso de beneficio hasta quince mil o sesenta mil toneladas de mineral.

Por lo tanto, al ser un proceso de poca extracción, no se le sanciona u obliga a tomar acciones remediadoras después de terminar su etapa funcional extractiva.

1.10.2. Norma Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2003, Trabajos en minas-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo

Esta Norma Oficial Mexicana, tiene por objetivo establecer los requisitos mínimos de condiciones de seguridad y salud en el trabajo con la función de prevenir riesgos a los trabajadores y personas aledañas, que se encuentren desarrollando actividades en áreas mineras.

La citada norma es de aplicación para México y debe ser de cumplimiento para las empresas dedicada a la actividad minera subterránea o a cielo abierto.

Asimismo, establece que, quedan exceptuados del cumplimiento de la presente aquellos centros de trabajo en la que se realicen las actividades relacionadas con la exploración y explotación, para obtener como productos principales (Secretaria de Ecología, 2012):

- a) petróleo;

- b) gas natural como principal producto;
- c) minerales radiactivos;
- d) sustancias contenidas en suspensión o disolución en aguas subterráneas o inyectadas al subsuelo.

A continuación, se desarrollan los puntos principales del reglamento, aplicado a la seguridad y trabajo en minería extractiva.

Apartado A (tomado de la NOM-023-STPS-2012)

Para lograr las funciones de los servicios preventivos de seguridad e higiene en el trabajo minero se sugiere lo siguiente:

- A. Elaborar el programa de seguridad e higiene en el trabajo que dé cumplimiento a lo establecido en la presente Norma y planear, organizar, dirigir, controlar y registrar su implantación.
- B. Establecer la frecuencia, procedimientos y registros de revisión sobre el avance de cumplimiento al programa de seguridad e higiene en el trabajo.
- C. Realizar al menos cada seis meses auditorías del cumplimiento del programa de seguridad e higiene en el trabajo, y reportar por escrito los resultados al patrón y a los trabajadores, o a sus representantes.
- D. Supervisar que se cuente con las condiciones de seguridad e higiene y que todos los trabajadores cumplan con los procedimientos que en esta materia se establezcan.
- E. Establecer medidas inmediatas de prevención, protección y control cuando se detecte un riesgo grave e inminente.
- F. Realizar la investigación de accidentes y enfermedades de trabajo, según lo establecido en el capítulo 11 de la presente Norma.
- G. Revisar y, en su caso, corregir y firmar la aprobación de:
 - 1. Planos y estudios;
 - 2. Análisis de riesgos potenciales;
 - 3. Plan de atención de emergencias;
 - 4. Procedimientos de seguridad e higiene;
 - 5. Condiciones de seguridad e higiene;

6. El informe de la revisión de las minas abandonadas antes de reanudar actividades;
7. La realización, terminación o cancelación de las actividades de soldadura y corte en las minas de carbón.

Apéndice B (tomado de la NOM-023-STPS-2012)

La NOM-023-STPS-2012 indica textualmente:

En las minas en que se desarrollen actividades nocturnas, se debe instalar un sistema de alumbrado de emergencia que funcione en forma automática cuando se presente una falla en el suministro de energía eléctrica, cubriendo, al menos, la ruta de evacuación y las áreas donde la falta de luz pueda generar riesgos a los trabajadores.

Las excavaciones se deben realizar en frentes de trabajo que presenten taludes estables, con una inclinación no mayor a la recomendada por el estudio de mecánica de suelos.

Los bancos de trabajo para la excavación no deben rebasar las siguientes alturas:

- a) 3 metros en los bancos de trabajo de excavación manual de material no consolidado o suelto, producto de una voladura;*
- b) 8 metros en otros bancos de trabajo de excavación manual;*
- c) En minas mecanizadas, la altura se debe determinar por medio de un estudio de ingeniería, tomando en cuenta la naturaleza del terreno y tipo de maquinaria utilizada, en que se establezcan las condiciones y procedimientos de seguridad específicos para el caso.*

La misma norma, recomienda que, cuando los trabajos se interrumpan, por un periodo mayor a una semana, entonces, se deben abatir los taludes hasta el ángulo de reposo del material. De acuerdo a los trabajos de campo realizados en las minas abandonadas en el municipio, esta normativa no ha sido cumplida.

A lo largo del análisis de este trabajo de investigación se observaron muchos puntos débiles tanto operacionales como organizacionales. Por ejemplo, por la falta un organigrama de responsabilidades socio-laborales se pierde en la continuidad en el monitoreo y la operación de la mina, lo que conlleva a la contaminación y degradación ambiental.

También, ocasiona que no se concreten proyectos para mejorar la mina y en muchos casos existan inconformidades entre la administración, los dueños de la mina y ejidatarios, dueños principales de los terrenos (Valencia, 2017). Llevando al cierre abrupto de la misma, dejando daños paisajísticos al sitio sin tener una propuesta de rehabilitación que sea obligatoria y que venga precedida de la legislación estatal y municipal incapaz de atender a este sector de la industria.

Por lo tanto, y en base a Valencia (2017) se desarrolla y actualiza un modelo organizacional que debería tener una mina para intentar mitigar los efectos nocivos de una mala operación (Tabla 1.4).

Tabla 1.4. Propuesta de sociedad cooperativa de responsabilidad para manejo de minas a cielo abierto.

Propuesta de sociedad cooperativa de responsabilidad suplementada para el manejo de minas en Calimaya, Estado de México 2022. Actualizado tomando como base la propuesta de Valencia, (2017)	
Marco Jurídico y reglamentario	Ley de Sociedades Cooperativas Ley General del Equilibrio ecológico y protección al ambiente Ley Minera de México, 2022. Reglamento de la ley minera, 2012.
Integrantes permitidos	Mínimo: 3 Máximo: Ilimitado

Capital Social	Sociedad de capital variable. Se estará integrando con las aportaciones de los socios y con los rendimientos de una asamblea de ejidatarios participantes.
Duración	Duración indefinida desde 1 hasta 50 años dependiendo de la zona y el volumen de extracción propuesta.
Desarrollo de régimen de responsabilidad	Las sociedades cooperativas podrán emitir certificados de aportación para capital de riesgo natural o antrópico por tiempo determinado.
Objeto Social-Económico	Pretende atender las necesidades individuales y colectivas, a través de la realización de actividades económicas de producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Las sociedades cooperativas se podrán dedicar libremente a cualquier actividad económica lícita.
Objeto Ambiental	Desarrollar principios que permitan reducir y mitigar los efectos negativos de la explotación no regulada y controlada de materiales pétreos, así como: I.- rehabilitación de zonas afectadas por la presencia de minería a cielo abierto. II.- Conservación de especies animales y vegetales endémicas que pudieran verse afectadas por esta actividad; III.- E impulsar el desarrollo
Propuesta de Autoridades Internas	La Asamblea General; El Consejo de Administración; El Consejo de Vigilancia

Fuente: Modificado de Valencia (2017).

1.11. Ley de Asentamientos Humanos del Estado de México

Por esta ley se otorga la autorización de uso de suelo o uso general, en él se señala las normas básicas para el desarrollo de la normativa de materiales de construcción. Por ejemplo, en Calimaya, antes de iniciar la extracción de piedra de construcción (arena, grava, tepojal, etc.), el titular de la licencia debe presentar un informe previo. En caso de un área inferior a tres hectáreas, la ley exige informes previos de impacto. Y para áreas superiores a tres hectáreas, se debe realizar la evaluación de impactos ambientales. En México y de acuerdo al análisis realizado por Valencia (2017), en México son solicitados con dos objetivos:

- a) Como requisito para el financiamiento de programas de mejoramiento ambiental por parte de organismos internacionales u ONG;
- b) procedimiento legal para la obtención de licencias de uso de suelo y extracción pétreo.

Los lineamientos que se solicitan para la elaboración de un informe previo y la manifestación de impacto ambiental son los siguientes (Tomado de Secretaria de Ecología , 1997):

1. Información general (responsable de la obra) nombre de la empresa, particular u organismo.
2. Del Proyecto
 - a) Plano de Localización.
 - b) Superficie del terreno que se encuentra explotada.
 - c) Superficie del terreno que se pretende explotar.
 - d) Estimación del volumen explotado y a explotar.
 - e) Uso potencial del suelo y uso actual.
 - f) Situación legal del predio.
 - g) Actividades que se desarrollan en las colindancias del predio.

Evaluar las características generales del medio natural:

- a) Condiciones generales del relieve y características litológicas de los predios propuestos para la explotación (incluyendo un plano topográfico y columna estratigráfica)
- b) Ubicar en un sitio el almacenamiento de la tierra fértil.
- c) Se indicará si existen cuerpos de agua superficiales, permanentes o intermitentes en el predio o en el área de influencia (al menos en un radio de 2 km)
- d) En caso de presentarse vegetación arbórea en el sitio, indicar el número de individuos y especies señalados en un plano.

3. Programa de restauración (rehabilitación del predio)

- a) Proponer medidas que serán utilizadas para la estabilización de taludes de acuerdo con el ángulo natural de reposo de los materiales que se encuentran el predio.
- b) Detallar las medidas propuestas para la rehabilitación de la capa del suelo que será afectada.
- c) Indicar las medidas que adoptarán para la restitución de las capas vegetales afectadas (incluyendo técnicas y especies)
- d) Incluir un cronograma tentativo de las acciones a realizar para la rehabilitación.
- e) Especificar si se pretende o se contempla algún uso en el predio al finalizar la rehabilitación.

Labores de extracción, se describe a continuación (Tomado de Secretaria de Ecología, 1997):

“No se permitirá continuar con la explotación de materiales pétreos en predios ubicados en áreas forestales con presencia de vegetación de difícil regeneración, barrancas o cañadas. Los predios ubicados en áreas naturales protegidas serán sujetas a una evaluación especial por parte de las autoridades correspondientes, invariablemente la explotación deberá ser a cielo abierto sin uso alguno de explosivos”

“el predio deberá ser delimitado físicamente preferentemente con árboles o arbustos los cuales se podrán plantar paulatinamente a lo largo del tiempo de la vida útil de la mina, las especies de plantas, arbustos o árboles deberán ser nativas de la zona o ecológicamente compatibles con la misma”.

- Se respetará una franja de amortiguamiento de 20 metros como mínimo dentro del predio y en todo el perímetro del mismo. Asimismo, esta franja deberá ser reforestada con especies arbóreas de la zona”
- “Conservar la capa del suelo fértil que tenga que ser removida con el fin de emplearla en las actividades de rehabilitación o restauración del terreno”
- Para la adecuada conservación de este suelo fértil, será necesario acumularlo en una parte del predio que no pretenda explotarse hasta que llegue el momento de emplear el suelo acumulado en el proceso de restauración/rehabilitación. Una vez acumulado, compactará ligeramente a fin de que no se erosione fácilmente.
- Conforme avance la explotación y la operación de la mina, el suelo fértil que se resguardó deberá emplearse para el recubrimiento de los taludes y del piso de la mina, de tal forma que los recubra una capa con un espesor aproximado de 30 cm.
- Paralelamente, se instrumentarán acciones de retención de suelo con la adecuada plantación de algún tipo de vegetación nativa de la zona especialmente árboles en los sitios cuya pendiente lo permita.
- Todos los taludes que queden después de la explotación deberán tener un ángulo menor o igual a 20° llevándose a cabo, invariablemente, actividades de forestación.
- La extracción de los materiales deberá ser uniforme sin dejar obstáculos ni montículos en el interior de la mina que interfieran con las acciones de nivelación y restauración de pendientes.

- El área ocupada por conductos (agua, gas, petróleo y sus derivados) y/o líneas de transmisión o de comunicación, así como sus respectivos derechos de vía no podrán incorporarse como zona de explotación.
- No deberá trabajarse más de un área de explotación a la vez.
- El material pétreo que no reúna las características de calidad para su comercialización podrá utilizarse en las actividades de restauración. Para ello deberá depositarse en sitios específicos dentro del predio, sin que afecte algún tipo de recurso natural no sujeto a la explotación.

“No se permitirá que la mina sea empleada como área de disposición final de cascajo, ni de residuos municipales, hospitalarios o industriales peligrosos o no peligrosos.”

A manera de discusión se tiene que la industria de la minería a cielo abierto tiene un carácter depredador por esa razón se propone que la rehabilitación de espacios, a manera de recomendación ante los organismos encargados de tomar decisiones, se deberá realizar a la par con la explotación a la razón de un avance del 50% de restauración con respecto a la superficie explotada cada 6 meses.

Asimismo, una vez finalizada la extracción del material, se deberá realizar la nivelación general del piso de mina en el área intervenida hasta ese momento. Los taludes finales al término de la explotación, deberán tener una pendiente máxima de 30 grados.

Criterios ambientales (Tomado de Díaz y Tesoro, 2009):

1. En el interior de la mina no debe existir ningún obstáculo físico que impida su restauración o rehabilitación.
2. El piso de la mina debe ser uniforme, plano y libre de cualquier tipo de material.
3. El piso de la mina y sus taludes deberán estar cubiertos en su totalidad por una capa de suelo fértil de 30 cm como mínimo.
4. Las paredes deberán tener taludes finales en ángulos menores o iguales a 60°.

5. Los taludes deberán tener una cubierta vegetal en toda lo superficie
6. Si la mina colinda con una vía de comunicación deberá existir una franja de amortiguamiento que separe el predio explotado del derecho de vía federal de por. o menos 20 metros, y deberán estar completamente reforestada.
7. Los cauces y lechos de los cuerpos de agua permanentes e intermitentes deberán conservar sus cauces originales, mantener los límites de sus cauces despejados, libres de toda clase de sedimentos dentro de la respectiva zona federal y estar rodeados de vegetación de las especies propias de la zona.
8. Una vez extraída y rehabilitada la mina, si el propietario u ocupante propone un uso alternativo del inmueble o la restauración de su uso original, la propuesta deberá ser compatible con el uso del suelo del entorno y deberá ser presentada con prontitud en por escrito al Ministerio de Protección Ambiental, a fin de que determine lo procedente dentro de su competencia

En referencia a los criterios ambientales, Valencia (2017), apuntaba que, *deben tener alta relevancia para los habitantes de los predios cercanos a las áreas de extracción y para las dependencias gubernamentales que están involucradas en la explotación de los materiales pétreos en cualquier zona del territorio Mexiquense*. Puesto que ellos, serán los encargados de darle seguimiento a las actividades una vez finalizada la explotación, permitiendo así la rehabilitación de los espacios degradados

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

2.1. Localización y características físico geográficas del municipio

El principio fundamental en las investigaciones de carácter geográfico, es analizar los aspectos más relevantes del objeto de estudio. En tal sentido, para la elaboración de este capítulo se realiza una compilación de trabajos publicados que esclarezcan los aspectos físico-geográficos más relevante, y que son considerados en el diseño de la propuesta de parque urbano sustentable. Donde las dos fuentes más citadas, en el presente capítulo, fueron: (1) Propuesta de Rehabilitación Ambiental con enfoques de Sustentabilidad y Resiliencia en Calimaya en Valencia (2017) y (2) la segunda fuente empleada en la compilación de este capítulo se relaciona con el artículo publicado como requisito del programa de doctorado, donde se publica un artículo científico en el Boletín Geólogo Minero de España, en Valencia et al. (2022) (Anexo 8).

La descripción físico-geográfica del caso de estudio (municipio Calimaya) se inicia describiendo el topónimo Calimaya, que tiene por origen al náhuatl y significa “lugar en donde se construyen casas” (Arriaga & Benhumea, 2020). Este municipio se localiza en la porción central del territorio del Estado de México y forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 19° 07' 02'' y 19° 13'

‘25’’ latitud norte, y 99° 32’ 10’’ y 99° 44’ 02’’ longitud oeste (Valencia, 2017). El territorio presenta altitudes que oscilan entre los 2500 y 4200 msnm (Figura 2.1) y tiene una superficie de 104.98 km² (0.45% del territorio del Estado de México).

Se encuentra dentro del sistema montañoso Nevado de Toluca, emplazado en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). La FVTM es un arco volcánico formado sobre el margen sudoccidental de la Placa de Norteamérica como resultado de la subducción de las Placas Rivera y Cocos a lo largo de la trinchera de Acapulco (Ferrari, 2000). Apuntes compilados en Valencia et al. (2022).

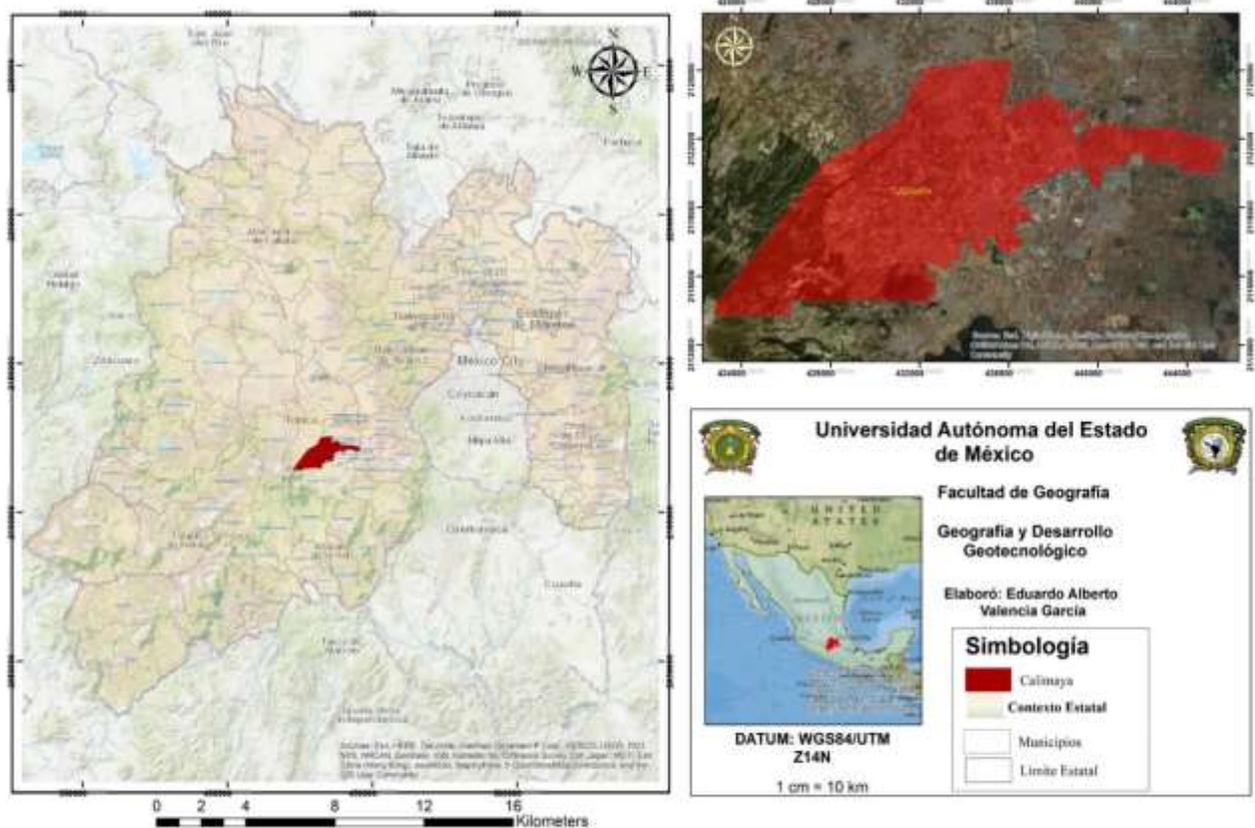


Figura 2.1. Localización geográfica de Calimaya, Estado de México.

En este contexto geotectónico regional, en el sector centro-este de la FVTM, se ubica el caso de estudio abordado en esta investigación. Vázquez & Heine (2002) y Aceves et al. (2006),

reconstruyen la evolución geológica del Nevado de Toluca en 5 etapas: (1) formación del primer edificio volcánico, aproximadamente hace un millón de años; (2) colapsos laterales al sur y sureste del edificio volcánico, evento enmarcado en unos 100 000 años; (3) aproximadamente entre 60 000 años y 36 000 años atrás; momento caracterizado por actividad volcánica intensa, acompañada por avalanchas piroclásticas y flujos de cenizas; (4) erupción pliniana, enmarcada entre 43 000 y 21 500 años atrás, donde se formaron depósitos de pómez vesicular; (5) posteriormente, hace 15 000 años ocurre una erupción volcánica caracterizada por depósitos de cenizas, y finalmente (hace 2000 años) ocurre otra erupción denominada “Pómez blanca”. Según Espinosa-Rodríguez et al. (2014), la edad del último evento volcánico, ha sido replanteada en diversos estudios, sin embargo, los datos más recientes aportados por Arce et al. (2013), indican a una edad de aproximadamente de 10 500 años atrás.

Las condiciones geomorfológicas del territorio municipal de Calimaya están estrechamente asociadas con la Faja Volcánica Transmexicana. Debido a este origen, el municipio presenta amplia heterogeneidad topográfica caracterizada por la presencia de montañas, depresiones y planicies.

Los elementos climáticos en el territorio tienen relación con las condiciones geográficas, topográficas y geomorfológicas del mismo. El clima predominante es C (W) que, de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, se describe como templado subhúmedo con lluvias en verano.

La temperatura media anual oscila entre 12 °C y 18 °C, la temperatura promedio del mes más frío es de 3°C y la mayor temperatura va desde los 27°C hasta los 35 °C. Mientras que los elementos hidrológicos más importantes son los arroyos Las Cruces, Los Temascales, Las Palmas, Ojo de Agua, Zacango y escurrimientos que incrementan su caudal durante la temporada de lluvias, como es el caso del Río Grande (Valencia, 2017).

Por su parte, las actividades económicas en el municipio se han diversificado, mostrando un incremento en los sectores secundarios y terciarios.

En cuanto a orden de importancia, los sectores económicos más relevantes son: las actividades comerciales (50.1%), servicios (20.7%), manufactura (14.8%) y extracción de materiales para la construcción (14.4%).

Siendo este último la principal preocupación del entorno estudiado y causante de los desajustes territoriales, provocando cambios importantes en los procesos de cambio de uso del suelo en el municipio, especialmente desde el año 2010 (Gobierno Municipal de Calimaya, 2019).

Como se puede deducir, las características geológicas del subsuelo del municipio, permiten la explotación de materias primas. A través de estos, es posible obtener grava, arena, tepojal (piedra pómez), los cuales son comercializados en los municipios que conforman la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (Valencia, 2017), y que son utilizados como materia prima para la ejecución de construcciones particulares.

Existe una apreciación general de que la actividad minera de extracción, procesamiento y transporte de materiales, desarrollada en el municipio de Calimaya, no cumple con los criterios establecidos en materia de prevención y mitigación de impactos ambientales (Dirección de Ecología, 2018). Situación aprovechada por las concesionarias mineras para no ejecutar acciones de rehabilitación o restauración ambiental en los socavones, que causan una afectación visual al entorno paisajístico del municipio analizado (Figura 2.2).



Figura 2.2. Actividad minera en Calimaya.

La estructura geológica del municipio de Calimaya, se caracteriza por la presencia de rocas andesitas⁴ mismas que fueron depositadas entre rocas sedimentarias pertenecientes al Período Cretácico (Valencia, 2017) (Figura 2.3).

El material geológico del territorio municipal se encuentra compuesto por rocas ígneas extrusivas volcanoclásticas en un 64.66%, rocas andesitas 4.87%, brechas sedimentarias 6.52%, suelo de material aluvial 18.01% y suelo de origen lacustre 0.04%, (Calimaya D. A., 2022).

Atendiendo a la información brindada por Espinoza et. al (2014), el 49% de la superficie territorial corresponde a llanuras, el 30.85% lo conforman las pendientes del Volcán Xinantécatl, mientras que el 22.65% lo constituye sistemas de lomerío de basaltos, y el 5.01% corresponde a ambientes lacustres. Derivado de estas características la evolución histórica del territorio favoreció la acumulación de como arena, grava y tepojal.

⁴Andesita pertenece al grupo de roca ígnea volcánica, integrada por plagioclasa sódica, piroxenos, biotita, hornablenda, sanidina y cuarzo. Su equivalente plutónico es la diorita. Los cristales de plagioclasa son muy abundantes y se observan a simple vista. Es la roca volcánica más común después del basalto



Figura 2.3. Muestra de roca Andesita.

De acuerdo a Pérez (2015), se pueden encontrar diferentes tipos de suelo formados insitu en su mayoría, con aproximadamente los siguientes porcentos de aparición en superficie: phaeozem 53.02%, andosol (25.1%), regosol (8.29%), cambisol (5.56%), arenosol (2.04%) y vertisol (0.09%). Breve descripción de cada tipo de suelo:

a.) Phaeozem. Descripción tomada de Pérez (2015).

Son suelos que se forman sobre material no consolidado, por lo tanto, se encuentran en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques.

La importancia de este tipo de suelos es que, al ser oscuros, presentan un alto contenido de nutrientes y materia orgánica, por lo que son utilizados en la agricultura de temporal.

Uno de los factores limitantes para este suelo son las sequías periódicas y los procesos erosivos. Sin embargo, bien pueden ser utilizados para la producción de gramíneas y hortalizas, o bien con el objetivo del establecimiento de zonas de agostadero, principalmente cuando están ocupados con pastos. Puntualmente su localización se encuentra en Santa María Nativitas, San Bartolito Tlatelolco, La Concepción Coatipac y en menor proporción se encuentra en Zaragoza de Guadalupe (Valencia, 2017).

b) Andosol. Descripción tomada de Pérez (2015).

Suelo de origen volcánico, constituido principalmente de ceniza, por lo tanto, contiene alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad.

Este suelo tiene generalmente bajos rendimientos agrícolas debido a que retiene considerablemente el fósforo y éste no puede ser absorbido por las plantas.

Por lo que su mayor aptitud es ser un buen suelo para el uso forestal, dado que en condiciones naturales pueden presentar vegetación de bosque o selva, ya que este suelo se localiza en las porciones limítrofes con el Volcán Xinantécatl (Valencia,2017).

c) Regosol. Descripción tomada de Pérez (2015).

Es común en las regiones áridas, semiáridas y montañosas. Este suelo se observa en áreas adyacentes a la Cabecera Municipal de Calimaya.

Proviene de la acumulación de sedimentos jóvenes y se desarrolla sobre material no consolidado, presenta escasa materia orgánica, sus principales características son el color claro. Sobre este suelo se pueden desarrollar pastizales de bajo volumen. Se le encuentra en la mayor parte de climas, con excepción de zonas de permafrost y en lugares muy altos (Valencia,2017).

d) Cambisol. Descripción tomada de Pérez (2015).

Es un suelo joven, poco desarrollado, es susceptible a los procesos erosivos. Se puede observar en porciones del Norte del Municipio, principalmente en San Andrés Ocotlán. Se caracteriza por presentar en el subsuelo una capa con terrones y contiene vestigios del tipo de roca subyacente, si se saben ocupar tienen una potencialidad para el cultivo de arroz.

e) Arenosol. Descripción tomada de Pérez (2015).

Dentro del municipio, se encuentra principalmente en San Marcos de la Cruz, generalmente con textura gruesa, superando el 65% de arena en los primeros horizontes, permeables y susceptible a procesos erosivos (Valencia, 2017).

f) Vertisol. Descripción tomada de Pérez (2015).

Se ubica en ambientes lacustres, en las riberas de los ríos o en sitios con inundaciones. Es un suelo característico de zonas con clima semiárido, subhúmedos y de tipo mediterráneo, con

marcada estacionalidad de sequía y lluvias. Se caracteriza por su alto contenido de arcillas que se expande en presencia de humedad.

Es muy marcada la diversificación de tipos de suelo en el Municipio de Calimaya, de tal manera que es posible incluso encontrar suelos de tipo aluvial y coluvial.

Lo suelo aluviales se caracterizan por formarse a partir de materiales trasladados de los terrenos altos hacia terrenos planos y valles interiores, cuyas características de estratificación hace que sean de textura variable y de reciente deposición.

Estos suelos son muy productivos, es factible el uso de riego, además permiten agricultura intensiva y mecanizada y generalmente se encuentran en áreas en donde los mantos freáticos están cerca de la superficie.

Mientras que los coluviales se forman por acumulación de materiales presentando diferentes tamaños derivado de la alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores o por la acción de la gravedad (Valencia, 2017).

Asimismo, se caracterizan por contener gravas, limos, arenas y arcillas y en el municipio de Calimaya se pueden localizar en zonas planas, fangosas y muy cercanas a ambientes lacustres, por lo cual aquí se explica la presencia de depósitos de materiales pétreos tales como arena, grava, tepojal y tepetate (Pérez, 2015)

2.2. Infraestructura económica y social

Mediante el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI) y al bando municipal del municipio de Calimaya (H. Ayuntamiento de Calimaya, 2022) es importante entender que el crecimiento poblacional está influenciado por factores económicos y socioculturales, entendiéndose que después de la década de 1990, el número de habitantes en el Municipio se ha incrementado exponencialmente, siendo más significativo el crecimiento durante el período comprendido entre 2010 y 2020 (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1. Población total, tasa de crecimiento y densidad de población municipal.

Año	Población total	Porcentaje de la Tasa de Crecimiento	Porcentaje de población rural %	Porcentaje de la población no nativa %
2000	35 196	29.23	20.3	7.7
2010	47 033	25.16	27.8	7.6
2020	68 489	31.32	26.3	14.9

Fuente: H. Ayuntamiento de Calimaya (2022).

La población total del Municipio de Calimaya es de 68 489 habitantes, de la misma forma la densidad de población sobre kilómetro cuadrado ha pasado de 451 habitantes a 657, en el mismo periodo de tiempo (H. Ayuntamiento de Calimaya, 2022).

Estos números muestran la creciente demanda de servicios, infraestructura y recursos agotables como el agua potable e incluso el suelo, y todo esto sobre el territorio Calimayense.

La población en el Municipio de Calimaya para el censo del 2020 fue de 68489 habitantes (51.3% mujeres y 48.7% hombres), para un 0.40% con respecto al Estado de México (INEGI, 2020)

Este número respecto a la demanda de servicios públicos, se considera no refleja el total de población que habita en el territorio municipal.

En la actualidad, el municipio de Calimaya está presentando fenómenos de movilidad poblacional, lo que ha ocasionado inconformidad por la presencia de actividades mineras, puesto que alegan no haber tenido conocimiento sobre estas actividades ni las afectaciones directas o indirectas que esta actividad ocasiona.

Otro fenómeno urbano que empezó a surgir a partir del año 2009, fue la construcción de conjuntos urbanos; en los cuales se concentra la mayor parte del fenómeno de población en movimiento, por lo que a partir de este año empezó a surgir la mayor demanda de materiales para la construcción.

El Municipio de Calimaya, al igual que muchos otros municipios del estado de México se encuentra dividido entre suelo urbano y suelo no urbano. En el primero, se identificaron los

usos habitacionales, comercial, de servicios, industrial y de equipamiento. Mientras que, en el uso de suelo no urbano (suburbano y rural), se incluyen; los usos agrícolas, forestal, zonas inundables y bancos de materiales.

Es importante destacar el régimen de tenencia de la tierra, mismo que se compone de propiedad privada (5 339.58 ha), ejidal (2 012.33 ha) y el comunal (888.61 ha). En el año 2010 se contaba con 10 585 viviendas. Estos últimos datos fueron consultados en (INEGI, 2010).

Mientras que en la actualidad y de acuerdo a datos del Censo Poblacional 2020, se registraron 17 300 viviendas lo que representa un incremento notable en cuanto a la necesidad de vivienda en el municipio, lo que sugiere una mayor demanda de servicios, así como materiales pétreos para su construcción.

De acuerdo a la información contenida en Valencia (2017), el abasto de agua municipal proviene de los manantiales Ojo de Agua de la Virgen, la Ciénega y las Ortigas. Además, de pozos profundos ubicados en San Marcos de la Cruz, Santa María Nativitas, San Lorenzo Cuauhtenco, San Andrés Ocotlán, La Concepción Coatipac y San Bartolito Tlaltelulco.

Existe una adecuada red de comunicaciones terrestres, elemento que favorece la creación de proyectos de índole recreativos (ver en H. Ayuntamiento de Calimaya, 2022) .

Con relación al equipamiento urbano, en la actualidad hay un total de 86 escuelas, de las cuales hay 22 de Preescolar (kínder), 33 de Primaria, 18 Secundaria, 7 Media Superior. Las otras 6 son escuelas de nivel superior todas ellas distribuidas a lo largo del municipio. (Valencia, 2017).

La atención médica se ofrece mediante seis unidades médicas de consulta externa adscritas al Instituto de Salud del Estado de México (ISEM) y por 2 unidades médicas dependiente del Sistema de Desarrollo Integral de la Familia del Estado de México (DIFEM). Asimismo, el Plan de desarrollo urbano municipal, señala un déficit en el indicador atención a la salud (H. Ayuntamiento de Calimaya, 2022).

2.3. Diagnóstico de los servicios públicos municipales

2.3.1. Sistema de uso de suelo

Para el municipio de acuerdo a datos del INEGI (2009) y del H. Ayuntamiento de Calimaya (2022), los principales usos del suelo son: habitacional, comercial, de servicios, industrial y de equipamiento (Tabla 2.2). Sin embargo, aquí incluimos también a la actividad minera.

Tabla 2.2. Uso de Suelo en el Municipio de Calimaya, Estado de México.

Tipo de uso de suelo	Superficie en Km²	Descripción y detalles del uso de suelo
Agrícola	75.78	Los cultivos más importantes son: maíz, avena, zanahoria, papa y flores. El destino final de la producción es de subsistencia familiar y para localización de mercados regionales y locales. El suelo agrícola está teniendo mucha presión de la minería y desarrollo urbano.
Forestal	21.23	Está ubicada en las porciones con mayor altitud del municipio. Forma parte del área natural protegida “área de protección de flora y fauna nevado de Toluca”, y gran parte se está perdiendo por la tala clandestina y cambio de uso de suelo para actividades agropecuarias.
Urbano	6.14	Son espacios ocupados por asentamientos humanos servicios y comercios este ha incrementado notablemente ya que solía ser destinado para uso agropecuario.
Minero	N/A (no se ofrece el dato en fuentes oficiales)	Extracción de recursos pétreos, arenas, grava, tepojal y tepetate, así como piedra braza. Elaboración de cemento, cal, yeso y otros productos a base de minerales no metálicos.
Total, de superficie municipal	103.15	El suelo en general de calimaya presenta gran presión por el aumento excesivo de población, mismo que requiere atención inmediata por la afectación directa que se presenten sus ecosistemas.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2009) y el Prontuario de Información Geográfica Municipal (H. Ayuntamiento de Calimaya, 2022).

Una serie de visitas de campo entre los años 2020 y 2022 en el territorio correspondiente a Calimaya, permitió constatar una aceleración en el cambio de uso del suelo. Los principales son: del uso agrícola al residencial, del agrícola a la minería a cielo abierto para la obtención de recursos pétreos (arena, grava, tepojal).

Estimaciones realizadas por Valencia (2017), indicaban un uso de la superficie para el Municipio de Calimaya, preferentemente urbano (habitacional, servicios y comercios), lo que exigiría la mejora de estrategias para el establecimiento de asentamientos humanos. La nula consideración de la normativa para la construcción, ha ocasionado fuertes impactos a la salud del ecosistema en general (Pérez, 2015).

El suelo destinado para la industria se ubica en el sureste del municipio (sureste de la cabecera municipal) y se concentra principalmente en la zona aledaña al barrio de Santiago La Huerta y, a ambos lados de la carretera Calimaya-Tenango del Valle.

El principal cambio de uso industrial en este segmento, se relaciona con el procesamiento de la piedra para la fabricación de materiales de construcción, cuya producción está orientada a satisfacer las necesidades de los mercados locales y regionales. Este uso cubrirá aproximadamente 24 hectáreas (Valencia, 2017).

Los pastizales cubren el 7,9% de la superficie de Calimaya (Calimaya H. A., 2022). Este tipo de vegetación es importante pues ayuda a mantener al ganado. Esta categoría muestra una tendencia a la baja debido al desarrollo de la actividad minera.

2.3.2. Potencialidad productiva a través del inventario de recursos en Calimaya.

La superficie que ocupa el territorio perteneciente al Municipio de Calimaya está siendo sujeta a diferentes apremios mismos que van desde ambientales, políticas, económicas, demográficas, y socioculturales que condicionan, cambian o alteran los procesos sociopolíticos para la determinación de la ocupación factible del suelo (Valencia, 2017).

Esto se debe principalmente a la situación físico-geográfica del Municipio de Calimaya, puesto que resulta ser un área muy importante económicamente hablando, además de que presenta una amplia diversidad de recursos naturales, por lo que, se han acelerado los procesos de cambio de uso del suelo a corto plazo, derivado de los factores internos y

externos, tanto ambientales como de los fenómenos socio-urbanos, como la inmigración y explotación no regulada de recursos pétreos.

Valencia (2017) menciona que, a partir del año 2010, los procesos de cambio de uso del suelo ocurren con mayor frecuencia e intensidad en el área de estudio. Basándose en lo expuesto anteriormente, el proceso de cambio de uso de suelo resulta evidente a simple vista, por ejemplo, los terrenos destinados para la agricultura y pastizal, en la actualidad, están siendo vendidos u ocupados para el desarrollo de conjuntos habitacionales para cubrir la demanda de asentamientos humanos, o bien son rentados para la extracción de recursos pétreos del subsuelo.

Lo anterior, incrementa la demanda de los servicios básicos de los sistemas urbanos y suburbanos, como el agua potable, el suministro de energía eléctrica, la conexión de drenaje, manejo de residuos sólidos urbanos, y la apertura de infraestructura vial.

Sin embargo, esta necesidad de servicios, viene acompañada de un factor de crecimiento, por lo tanto, ha logrado sobrepasar el umbral de requerimiento de material para la construcción, desembocando en deterioro del paisaje.

El uso actual del suelo en Calimaya es el siguiente: agricultura de temporal, agricultura de riego, asentamientos humanos, extracción de recursos pétreos, áreas naturales protegidas (Área de Protección de Flora y Fauna, Nevado de Toluca y el Parque Ecológico, Zoológico, Recreativo Tollocan - Calimaya), pastizales, zonas inundables, suelos desprovistos de vegetación y servicios públicos, de acuerdo a información de Valencia (2017), por lo que se pretende en el presente trabajo integrar valores negativos y cambiarlos a positivos a través de una serie de pasos con el afán de cambiar la vista actual de los socavones mineros presentes en Calimaya, para proponer parques urbanos sustentables (Figura 2.4).



Figura 2.4. Parques urbanos y áreas recreativas.

2.4. Crecimiento demográfico 2005-2020

Los datos ofrecidos por COESPO, reflejan el crecimiento demográfico de Calimaya (Tabla 2.3 y 2.4, y Figura 2.5), derivando en una mayor demanda de servicios, como agua, drenaje, luz, áreas verdes y demás.

Tabla 2.3. Escenarios de Población: Crecimiento Tendencial, Municipio de Calimaya, Estado de México.

Año	Estado	Tasa de crecimiento medio anual	Municipio	Tasa de crecimiento medio anual
2005	14 007 495	1.19	38 770	1.72
2010	14 845 388	1.17	41 082	1.17
2015	15 553 816	0.94	43 051	0.94
2020	16 167 484	0.78	44 750	0.78

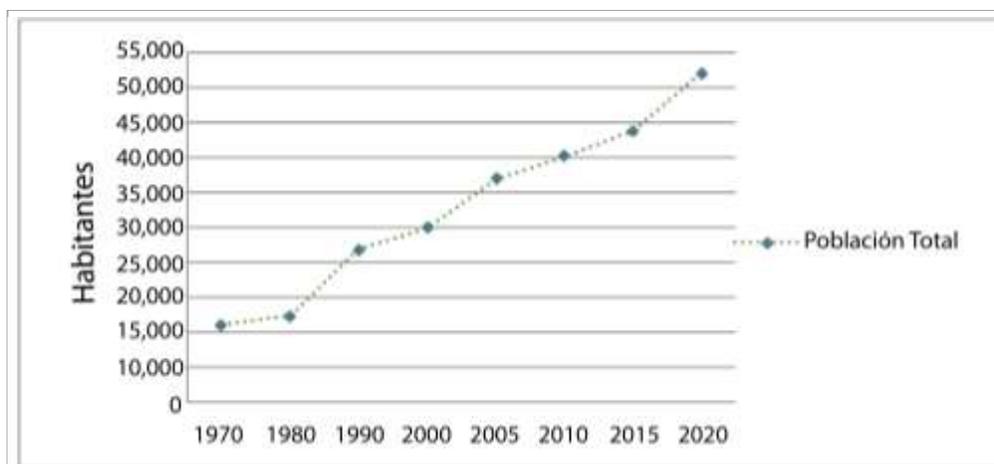


Figura 2.5. Comportamiento poblacional en el Municipio de Calimaya, Estado de México.

Tabla 2.4. Comportamiento poblacional en el Municipio de Calimaya, Estado de México.

Población	1990	1995	2000	2005	2010	2020
Hombres	12,257	15,735	17,287	18,892	23,061	33,354
Mujeres	12,649	16,167	17,909	19,878	23,972	35,135
Total	24,906	31,902	35,196	38,770	47,033	68,489

2.5. Identificación y clasificación de problemáticas en Calimaya

Las actividades económicas en el municipio se han diversificado, mostrando un incremento en los sectores secundarios y terciarios. En cuanto a orden de importancia los sectores económicos, más importantes, son las actividades comerciales (50.1%), servicios (20.7%), manufactura 14.8% y extracción de materiales para la construcción (14.4%). Siendo este último, la principal preocupación del entorno estudiado y causante de los desajustes territoriales, provocando cambios importantes en los procesos de cambio de uso del suelo en el municipio, especialmente desde el año 2010 (Apuntes tomado de Valencia et al. 2022).

Como se puede deducir, debido a las características geológicas del municipio, el subsuelo presenta acumulaciones importantes de materias primas que, mediante procesos de extracción y beneficios muy sencillos, pueden ser comercializados.

Del procesamiento industrial de estos recursos se obtiene grava, arena, tepojal y tierra de base, los cuales son distribuidos a lo largo de los municipios que integran la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, mismos que son utilizados para la ejecución de construcciones particulares (Valencia, 2017).

Existe una apreciación general, que la actividad minera de extracción, procesamiento y transporte de materiales, desarrollada en el Municipio de Calimaya, no cumple con los criterios establecidos en materia de prevención y mitigación de impactos ambientales (Dirección de Ecología, 2018) (Tabla 2.5). Situación está, aprovechada por las concesionarias mineras para no ejecutar acciones de rehabilitación o restauración ambiental en los socavones, mismos que causan una afectación visual al entorno paisajístico del municipio (Figura 2.6).

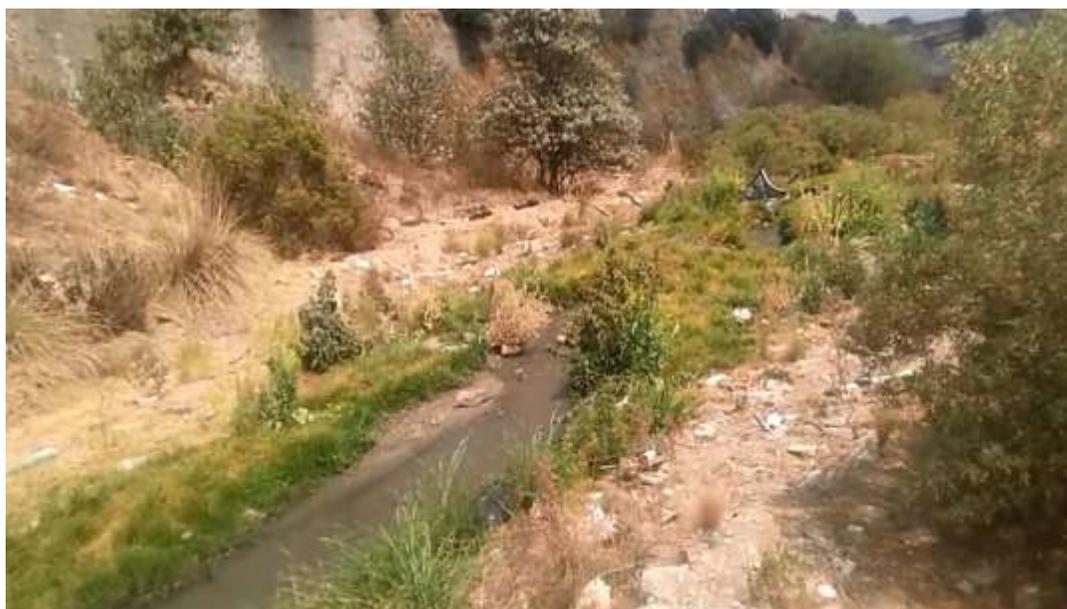


Figura 2.6. Socavón y alteración paisajística en Calimaya, Estado de México (2021).

Tabla 2.5. Problemáticas territoriales, causas y medidas preventivas óptimas en Calimaya, Estado de México.

Desajuste	Causa	Instrumento de intervención que puede ayudar a minimizar el impacto.
Cambio en la morfología del terreno	La presencia de bancos de materiales y caminos de acceso no regulados. Minería a cielo abierto.	Plan de desarrollo Urbano, licencia de uso de suelo, licencia de apertura y construcción.
Presencia “no” regulada de socavones mineros	La inspección ambiental no se ejecuta de la manera correcta, al no existir una inspección, no hay un monitoreo de la apertura, operatividad o gestión de los socavones. Asimismo, muy poco o nulo el seguimiento en las licencias de uso de suelo dentro de las áreas mineras.	Plan de desarrollo Urbano, licencia de uso de suelo, Ley Minera Reglamento de la Ley Minera Reglamento de la LGEEPA en materia de Impacto Ambiental
Utilización de espacios mineros abandonados como vertederos de basura.	El seguimiento inapropiado de las autoridades de Medio Ambiente, así como de los municipios que albergan las antiguas canteras ocasionan el uso ilegal o irregular por parte de particulares o vecinos a la zona, para disponer de los socavones como áreas de disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos.	Reglamento de la LGEEPA en Materia de Autorregulación y Auditorías Ambientales
Perdida de tierras para el cultivo afectación al suelo fértil	Las operaciones mineras diariamente modifican el paisaje circundante mediante la remoción de materiales previamente no perturbados por lo cual la capa conocida como suelo es la principal afectada.	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable Ley y reglamento de Desarrollo Rural Sustentable
Contaminación de aguas superficiales y subterráneas, emisión atmosférica de partículas suspendidas, así como la emisión de ruido	Material particulado transportado por el viento como resultado de excavaciones, voladuras, transporte de materiales, erosión eólica (más frecuente en tajos	Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de Contaminación de la Atmósfera

	abiertos), polvo fugitivo proveniente de los depósitos de relaves, depósitos, pilas de desechos, caminos.	
--	---	--

Fuente: Elaboración propia, publicado en Valencia *et al.* (2022).

2.6. Características geográfico ambientales para la detección de actividades restaurativas en áreas degradadas debido a minería a cielo abierto.

Las características geográficas y ambientales presentes en Calimaya permiten proponer una serie de acciones encaminadas a la mitigación de afectaciones paisajísticas derivadas de la presencia de minería a cielo abierto, para ello es necesario establecer los principios de la restauración ecológica señalada por Gann *et. al.* (2019), mismo que conceptualiza a la restauración ecológica como la práctica de recuperar la estructura, función, durabilidad y biodiversidad de los ecosistemas.

También conceptualiza a la ecología de la restauración, como una ciencia que tiene por objetivo identificar los mejores tratamientos vistos desde un marco teórico holístico centrado en acelerar la recuperación de los ecosistemas y que de la mano de estos conceptos vienen acompañados de acciones restaurativas para etapas específicas de alteración ambiental y social en espacios propensos a restaurar tal y como sucede en las áreas ocupadas por los socavones mineros abandonados (Figura 2.7).

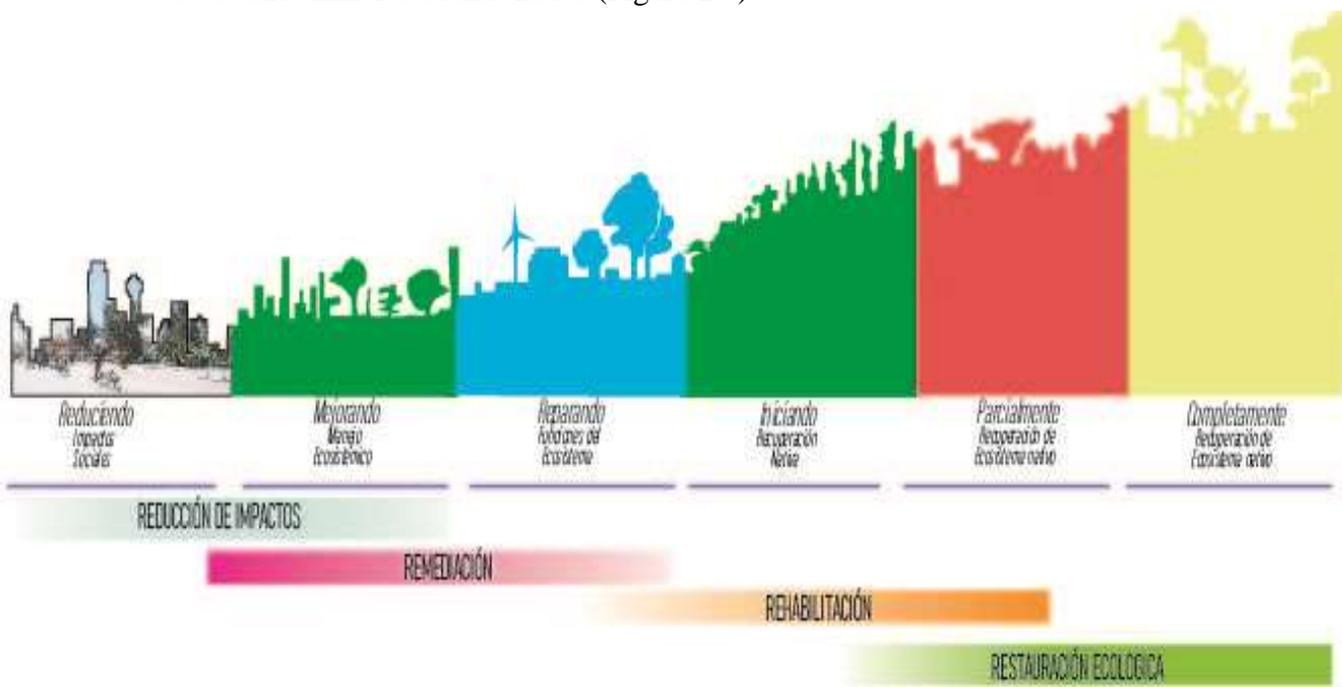


Figura 2.7. Acciones restaurativas en etapas específicas de alteración ambiental, propuestas por Gann et. al, (2019).

Existen cuatro niveles de acción en espacios degradados los cuales son 1) reducción de impactos, 2) remediación, 3) rehabilitación, y 4) restauración ecológica (Figura 2.7). Estos cuatro niveles de forma metodológica se pueden desarrollar en cuatro etapas, que se describen a continuación, esto de acuerdo a los aportes y sugerencias de Gann et. al, (2019).

La primera etapa consiste en reducir los impactos sociales y el mejoramiento del manejo del ecosistema afectado. Es decir, esta es una etapa básica, ya que las acciones pretenden detener la actividad que genera el problema, evitando el avance de la perturbación.

La segunda etapa considera la remediación a través de la reparación de las funciones del ecosistema actual, en ella se busca además de detener la actividad perturbadora, integrar elementos que ayuden al ecosistema afectado a superar las alteraciones propensas por la actividad que daña al entorno.

En esta etapa es necesario analizar variables como la cercanía de las perturbaciones con factores de interés como las zonas urbanas, las áreas de cultivo, o la vegetación nativa con la finalidad de proponer acciones o actividades que ayuden a mejorar visualmente el espacio.

La tercera etapa consiste en rehabilitar los ecosistemas a través de la recuperación nativa, además de haber logrado los dos puntos anteriores, se debe considerar la variable “tiempo” que tomará dicho proceso, sumándole a ello el costo y la participación ciudadana.

Finalmente, en la última etapa, la etapa de restauración ecológica ya sea parcial o completa del sitio tiene por objetivo recuperar los ecosistemas nativos en su totalidad, situación que resulta compleja debido a que, además del tiempo, es necesaria la financiación económica para lograr la funcionalidad y restauración del ecosistema de origen, (los comentarios anteriores fueron contextualizados tomando en consideración el trabajo de Gann et. al, 2019).

Posteriormente, se analiza el avance y la afectación directa e indirecta del espacio a intervenir, donde se cualifican y cuantifican los procesos que llevaron a la alteración, se hace partícipes a los afectados y población en general, se asignan brigadas de observación y seguimiento al proceso restaurativo, lo cual resulta complicado de financiar. Lo que se espera, es obtener un mapa de ubicación con las áreas que se encuentren en la etapa final de extracción o bien en abandono, con la finalidad de tener un control de las zonas a reducir, remediar o rehabilitar a través de la propuesta aquí planteada que son parques urbanos sustentables.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Este documento es una herramienta orientada a investigadores y público en general interesado en rehabilitar ecosistemas degradados por actividad minera, mediante el uso de parques urbanos sustentables, entre ellos: propietarios, profesionales, direcciones de medio ambiente y ecología municipal, al sector público y privado, estudiantes y responsables políticos.

Para lograr el objetivo general de este proyecto de investigación, el cual consiste en elaborar una guía metodológica que permita identificar las potencialidades ambientales, sociales y económicas de Calimaya a través de la integración de los enfoques geográficos, urbanísticos y sustentabilidad como estrategias de resiliencia, con el fin de diseñar y construir parques urbanos sustentables dentro de áreas degradadas por procesos mineros; se propuso dividir el procedimiento general en cinco etapas, esto con el propósito de avanzar con orden y coherencia, en la época temporal y espacial en la que se redacta la presente investigación.

Se planifican cinco etapas metodológicas (Figura 3.1), mismas que permitieron la validación de cada uno de los objetivos específicos, de tal forma que los métodos y técnicas basados en teorías del estudio aplicado en el presente proyecto fueron: Método Geográfico (Gutiérrez, 2013), Método Analítico Jerárquico (AHP) (1977, Saaty), Panel de Expertos (DNP, 2014), análisis Multicriterio-Multiobjetivo, y por último la realización de una discusión teórica y empírica en la que se reflejarán los resultados de la investigación y se pondrán a comparación con la literatura existente. Atiendo a los requisitos del programa de doctorado, y como parte de la divulgación de los resultados de esta tesis, algunos pasos y argumentaciones implicadas principalmente en las etapas metodológicas uno y dos, fueron publicados en el Boletín Geólogo-Minero de España, en Valencia et al. (2022) (Anexo 8).

El procedimiento metodológico permitirá utilizar recursos geográficos de precisión como cartografía digital e impresa, imágenes de satélite, GPS, SIG, *hardware* y *software* entre otros instrumentos para el análisis espacial.



Figura 3.1. Etapas metodológicas para elaborar una guía metodológica con el fin de diseñar y construir parques urbanos sustentables dentro de áreas degradadas por procesos mineros.

3.1. Primera etapa metodológica: descripción de los elementos físicos y sociales del área de estudio mediante el método geográfico

El primer paso dentro de la presente guía metodológica consiste en conocer los elementos físicos y sociales del área a estudiar, para ello se desarrolló la compilación teórica de la geografía, la minería, diseño urbano y parques urbanos, en esta etapa se busca sustentar la información empleada como línea base del trabajo mediante la consulta de diferentes fuentes de información, resultado que se vio plasmado en el segundo capítulo de esta memoria escrita.

El método empleado, fue el de análisis retrospectivo, para ello se usaron fuentes de información digital y escrita, tesis sobre temáticas en materia minera, urbanismo, geografía ambiental y sustentabilidad, a través de estas investigaciones se tuvo un punto de referencia para la identificación de las características, fenómenos físicos y sociales que tienen amplia relevancia en el municipio objeto de estudio, para así poder elaborar el método que permita rehabilitar espacios degradados por actividad minera

Asimismo, se tomó como referencia el método geográfico que se convirtió en una herramienta de utilidad para la comprensión del espacio y la forma en cómo se organiza para su correcto aprovechamiento. Gutierrez, (2013), propone una manera en la que los principios geográficos pueden ser utilizados, y a través de ellos resolver interrogantes como: ¿Qué hay? ¿Cuánto hay? y ¿Dónde está?, derivado de ello, se puede clasificar, cuantificar y localizar sea cual sea el objeto de estudio (Figura 3.2).

Por lo tanto, se manejó el análisis de elementos teóricos y metodológicos basados en (Gutierrez, 2013), y se complementó con el uso de información geográfica y cartográfica (Figura 3.2), así como de herramientas geotecnológicas con el objetivo de lograr la caracterización geográfica del municipio de Calimaya (Tabla 3.1).

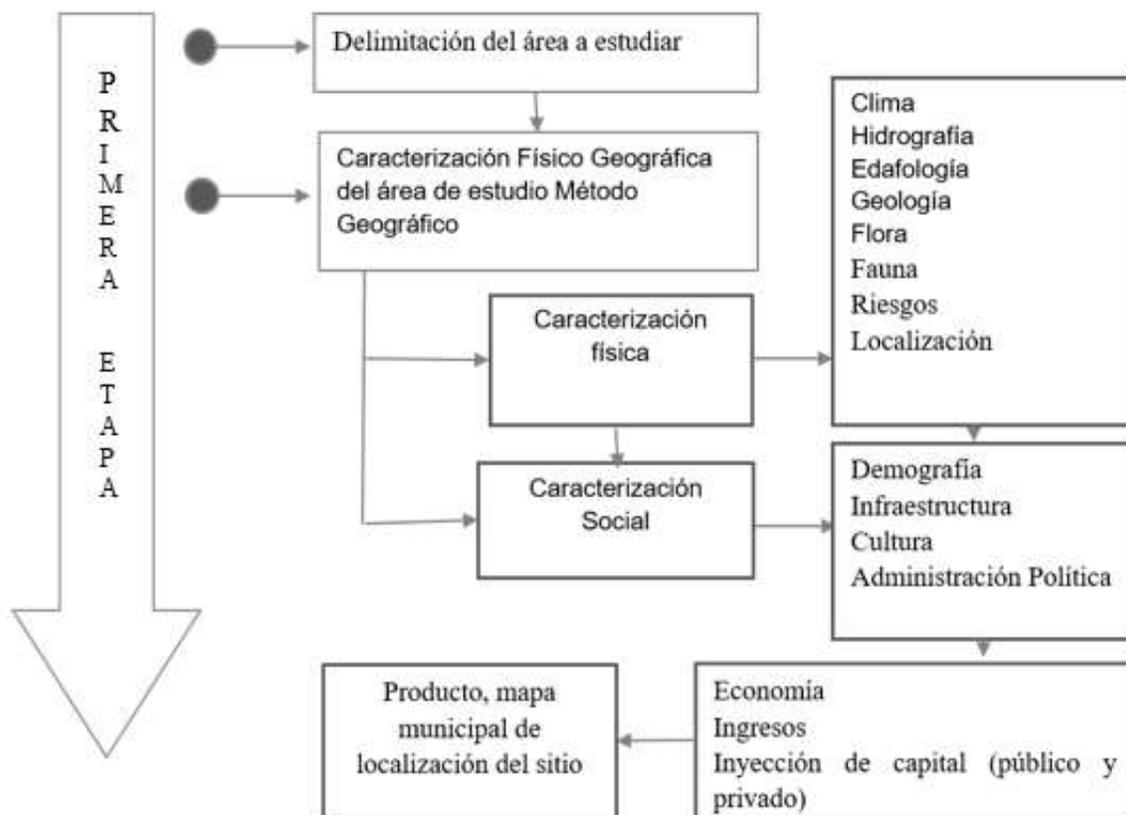


Figura 3.2. Primera etapa metodológica Análisis de los elementos físicos, ambientales, económicos y sociales del área de estudio mediante el método geográfico.

Tabla 3.1. Variables de Integración para la etapa No.1.

Etapa metodológica	Método
Primera etapa metodológica (corresponde al primer objetivo específico)	Geográfico -Clasificación -Cuantificación -Localización
Selección de variables	Categorías
Elementos físicos	<ul style="list-style-type: none"> • Localización y delimitación del área de estudio • Clima y temperatura • Hidrología • Edafología • Flora • Fauna • Geología y pendientes
Elementos sociales	<ul style="list-style-type: none"> • Demografía • Economía • Infraestructura • Cultura

Esta etapa se describe en su totalidad en el capítulo 2 del presente proyecto donde se establecen las inquietudes que presenta el municipio con respecto a las necesidades de actuación para las áreas de minería a cielo abierto y su probable rehabilitación o restauración ambiental.

3.2. Segunda etapa metodológica: Clasificación de las problemáticas y ubicación de socavones en Calimaya, estado de México

Las condiciones climáticas, geológicas y geomorfológicas del Valle de Toluca y, en particular, de Calimaya, han permitido la acumulación de arenas, gravas y tepetate. Las arenas y gravas, son materiales muy conocidos, con usos y características físicas y químicas en general conocidas (Hernández-Gutiérrez et al., 2015). Por otro lado, el tepetate, es típico de las formaciones volcánicas mexicanas, presenta densidades entre 1.7 y 1.9 g/cm³ y porosidades entre el 13 y 24% (Hernández-Gutiérrez et al., 2015).

En Gama-Castro et al. (2007), se realiza una amplia discusión sobre el origen y propiedades del tepetate, donde lo definen como un horizonte de suelo endurecido cuyo material parental está constituido por materiales piroclásticos. La minería trae beneficios económicos a corto plazo para la población, sin embargo, la insuficiente planificación para la recuperación ambiental de los espacios afectados conlleva a una serie de problemas sociales y ambientales en el espacio de estudio.

Los efectos irreversibles ocasionados en los diferentes escenarios geográficos latinoamericanos, indican la falta de preocupación que se tiene hacia el ecosistema y por el entorno en que viven los pobladores de las zonas mineras. La minería a cielo abierto para la extracción de materiales para la construcción es la principal actividad minera desarrollada en el municipio de Calimaya desde el año 1995. Los problemas acumulados más frecuentes son: taludes pronunciados, deterioro o pérdida de capa de suelo fértil, utilización de espacios mineros como vertederos de basura, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, emisión atmosférica de partículas suspendidas y emisión de ruido, la detección temprana de estos fenómenos a través de técnicas de teledetección pueden servir para que las autoridades municipales de Calimaya generen propuestas de mitigación tales como la revegetación, la extracción de elementos antrópicos inestables como escombreras, la protección y manejo de la vegetación remanente por el proceso de sucesión ecológica (Montes de Oca y Ulloa, 2013). Algunos de los apuntes mostrados en el presente acápite fueron compilados en Valencia et al. (2022).

Si bien, se ha identificado la problemática es necesario ejecutar la clasificación de las problemáticas y catálogo de socavones en la zona de estudio, y esto fue posible con técnicas de teledetección que permitió junto con visitas de campo, una evaluación de sitio para detectar sitios de potencialidad ambiental dentro de espacios degradados es decir, ubicar los socavones abandonados y que a su vez ya tuvieran un nivel de sucesión ecológica avanzado para en ellos poder llevar a cabo el desarrollo de una guía metodológica que integre los principios de sustentabilidad y resiliencia en el espacio de estudio.

Como se observó en capítulo 2 del presente trabajo, el área de estudio comprende una extensión territorial integrada por una diversidad física, económica y social, lo que representa características y dinámicas diferentes en el modo de vida de las personas del sitio estudiado.

Todas estas diferencias, basándose en García (2006), fueron integradas mediante un análisis de complejidad la cual es presentada como una estrategia para dar respuesta a problemáticas donde el entorno físico y el entorno social están comulgando.

Uno de los principales objetivos del método de integración es relacionar los conocimientos empíricos de la sociedad, con los racionales académicos (Tabla 3.2).

En esta etapa se espera obtener un catálogo de minas inactivas presentes en la zona de estudio mediante técnicas de trabajo de campo y teledetección haciendo uso de herramientas geotecnológicas, permitiendo así ubicar y caracterizar los sitios con áreas inactivas de actividad minera en Calimaya (Figura 3.3).

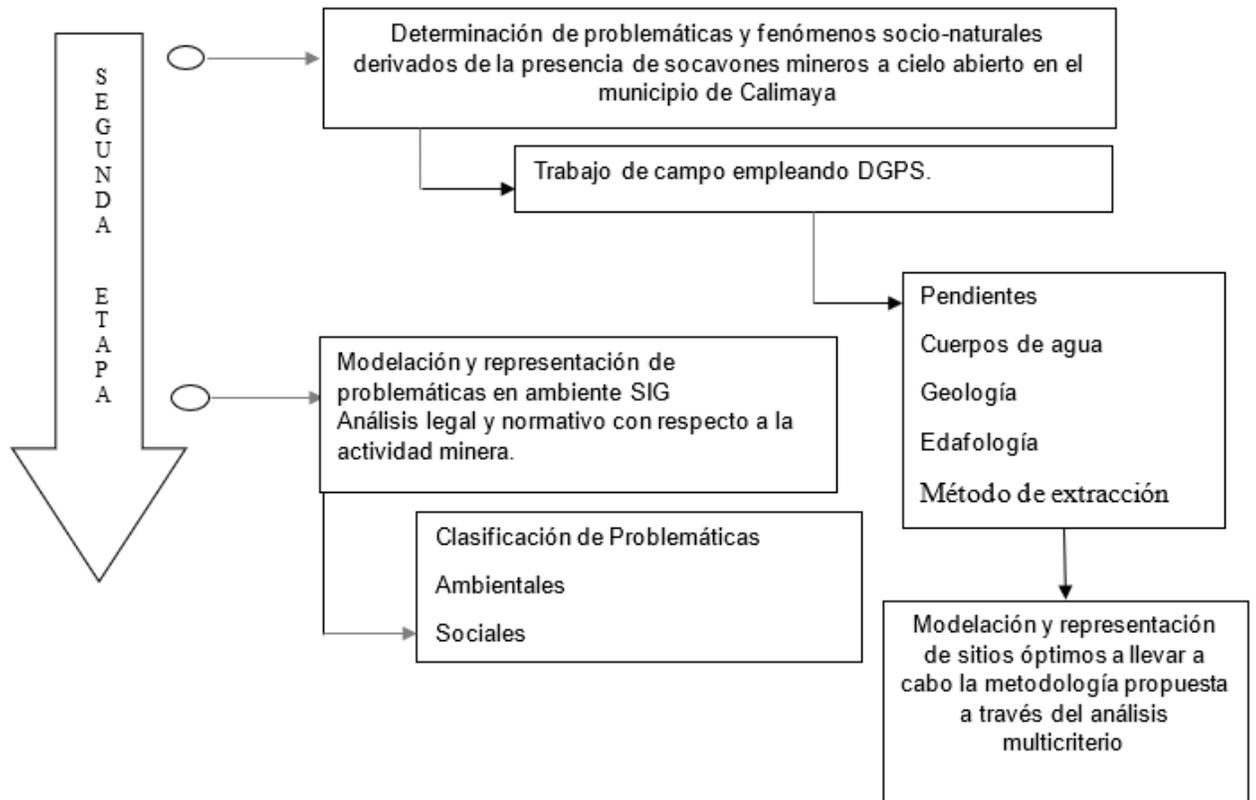


Figura 3.3. Segunda etapa metodológica. Clasificación de Socavones Activos e Inactivos propuestos para la implementación de la metodología de parques urbanos sustentables.

Tabla 3.2. Segunda etapa metodológica y variables de estudio.

Etapa metodológica	Método
Objetivo específico 2 Segunda etapa metodológica	Identificación EMPIRICA <ul style="list-style-type: none"> • Observación directa en campo • Investigación en campo • Inventario SIG
Variables	Categorías

Sistemas complejos	<ul style="list-style-type: none"> • Entorno físico • Identidad cultural • Desarrollo social • Educación • Economía local
Nivel de Resiliencia	<ul style="list-style-type: none"> • Sitios con activos ambientales • Zonas sin activos ambientales

Crecientemente, la actividad minera es objeto de un profundo y complejo problema, mismo que genera afectaciones ambientales e inconformidades en las comunidades.

Al presentarse en diferentes modalidades, implican manejo especial en el proceso de extracción del mineral por medios mecánicos a gran escala y explosivos, sistemas masivos de separación de las rocas mineralizadas, procesos de trituración y molienda del mineral, entre otros por lo que plantean riesgos considerables, tanto en sus modalidades subterráneas como a cielo abierto y destajo (Torre, 2019).

Ahora bien, en la minería a cielo abierto, hay que destacar problemas inherentes de alteración del paisaje y de perfiles hidrológicos, generación de volúmenes de escombros, pérdida de la cobertura vegetal, pérdida de biodiversidad, entre otros impactos. A esto agregamos, riesgos a la salud que representan los lixiviados generados por la presencia de basureros que eventualmente pueden contaminar suelos, aguas subterráneas, y cuencas hidrográficas.

Algo importante a destacar es, que a las empresas particulares encargadas de la actividad minera no se le exige una rigurosa planificación del cierre de minas, así como supervisión y gestión de legados ambientales con un amplio horizonte temporal que permita la posterior rehabilitación del predio afectado; todo lo contrario, la carencia de seguimiento que existe en instituciones regulatorias para asegurarlo, ocasionan la desaparición de empresas operadoras o propietarias, o simple abandono de las instalaciones mineras al final de su vida útil Para comprender el proceso de alteraciones en Calimaya, a continuación se presenta una tabla que muestra las problemáticas, causas e instrumentos regulatorios que servirán para proponer medidas de mitigación o rehabilitación de espacios mineros en la zona de estudio (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Clasificación de problemáticas e instrumentos de intervención para minimizar el impacto negativo por la presencia de actividad minera en el municipio de Calimaya, Estado de México.

Problemáticas	Causa	Instrumento de intervención que puede ayudar a minimizar el impacto.
Cambio en la morfología del terreno	La presencia de bancos de materiales y caminos de acceso no regulados. Minería a cielo abierto.	Plan de desarrollo Urbano, licencia de uso de suelo, licencia de apertura y construcción.
Presencia “no” regulada de socavones mineros	La inspección ambiental no se ejecuta de la manera correcta, al no existir una inspección no hay un monitoreo de la apertura, operatividad o gestión de los socavones. Asimismo, muy poco o nulo el seguimiento en las licencias de uso de suelo dentro de las áreas mineras.	Plan de desarrollo Urbano, licencia de uso de suelo, Ley Minera Reglamento de la Ley Minera Reglamento de la LGEEPA en materia de Impacto Ambiental
Utilización de espacios mineros abandonados como vertederos de basura.	La falta de seguimiento por parte de las autoridades de Medio Ambiente, así como de los municipios que albergan las antiguas canteras ocasionan el uso ilegal o irregular por parte de particulares o vecinos a la zona, para disponer de los socavones como áreas de disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos.	Reglamento de la LGEEPA en Materia de Autorregulación y Auditorías Ambientales
Pérdida de tierras para el cultivo afectación al suelo fértil	Las operaciones mineras diariamente modifican el paisaje circundante mediante la remoción de materiales previamente no perturbados por lo cual la capa conocida como suelo es la principal afectada.	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable Ley y reglamento de Desarrollo Rural Sustentable
Contaminación de aguas superficiales y subterráneas, emisión	Material particulado transportado por el viento como resultado de excavaciones, voladuras,	Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de Contaminación de la Atmósfera

atmosférica de partículas suspendidas, así como la emisión de ruido	transporte de materiales, erosión eólica (más frecuente en tajos abiertos), polvo fugitivo proveniente de los depósitos de relaves, depósitos, pilas de desechos, caminos.	
--	--	--

3.3. Tercera etapa metodológica: delimitación de áreas de aptitud potencial para la instauración de parques urbanos sustentables

En esta etapa se realizó el levantamiento, recolección, y tratamiento de datos en el sitio elegido, así como un análisis del entorno ambiental, entorno urbano y de riesgos con la finalidad de encontrar las áreas con mayor aptitud para la implementación de parques urbanos sustentables.

Se toman en cuenta técnicas de diseño tales como: la configuración y dimensionamiento, las valoraciones estéticas y el entorno ambiental y geográfico en general.

Una vez cumplida la fase anterior, fue necesario asignar valores de aptitud para el diseño sustentable de parques urbanos, y como ellos serán el eje rector que intentará mitigar, rehabilitar, y proponer una alternativa de resiliencia ante espacios mineros degradados.

Por otra parte, se realizó un modelo determinístico que influyó en la selección óptima de zonas de extracción minera sustentable a través de análisis multicriterio el cual tiene que ser integrador y colaborativo, y en concordancia con la finalidad del presente trabajo de investigación (Figura 3.4).

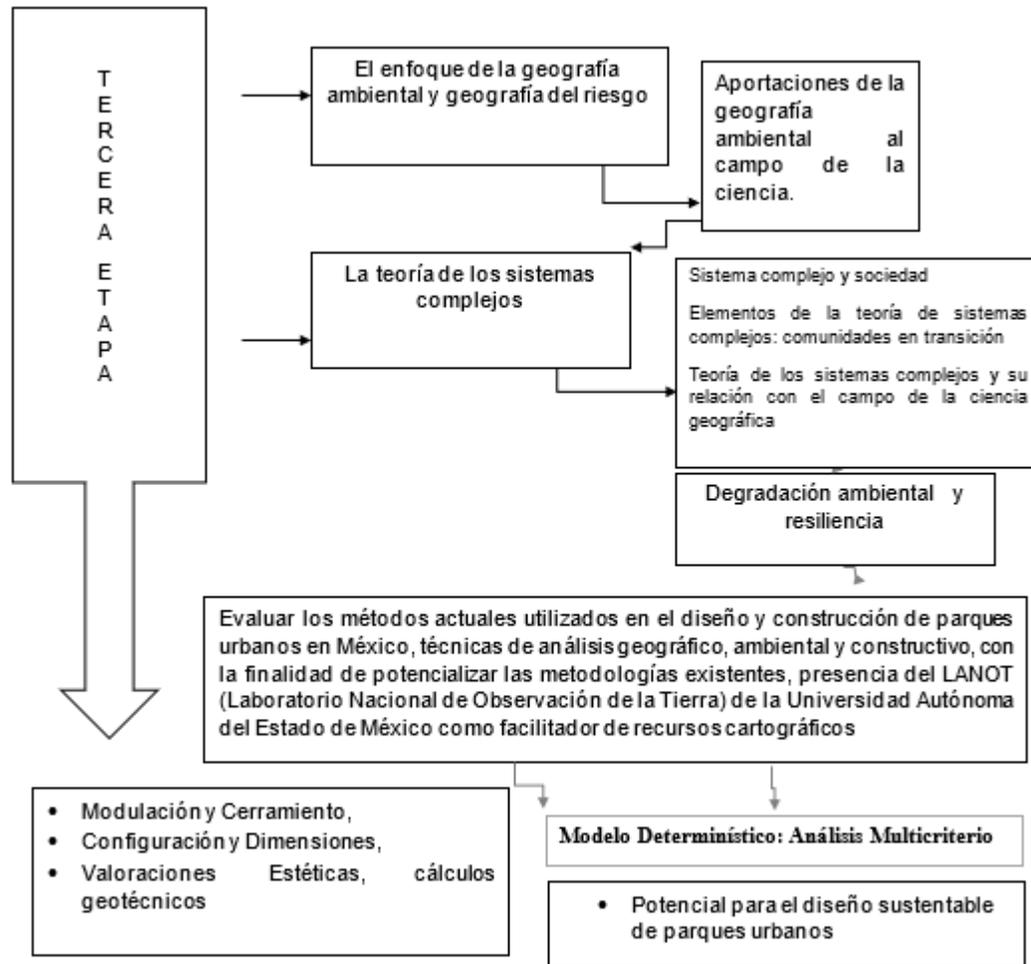


Figura 3.4. Tercera etapa metodológica.

Tabla 3.3. Tercera etapa metodológica y variables de estudio.

Etapa metodológica	Método
Objetivo específico 3 Tercera etapa metodológica	Análisis Multicriterio
Variables	Categorías
Valores de aptitud	<ul style="list-style-type: none"> • Modulación y Cerramiento. • Configuración y Dimensiones.

	<ul style="list-style-type: none"> • Valoraciones Estéticas.
--	---

Elementos de análisis	<ul style="list-style-type: none"> • Sitios de potencial para el diseño sustentable de parques urbanos, • selección óptima de zonas de extracción minera sustentable
-----------------------	--

3.3.1. Modelos de decisión: combinación lineal ponderada MDA

Para la determinación geográfica de las áreas potenciales para la rehabilitación áreas afectadas por efectos de la minería dentro del municipio de Calimaya, se realizó el análisis de decisión multicriterio basado en Sistemas de Información Geográfica, conocido como GIS-MCDA por sus siglas en inglés MDA *multicriteria decisión analysis*.

Es una técnica que permite estructurar, diseñar, evaluar y priorizar alternativas en problemas de decisión atendiendo a diversos criterios (Malczewski, 2004); Greene añade que, los criterios a su vez, pueden trabajar en concordancia con la asignación de valores ordinales o continuos comparables (Greene, 2011).

No obstante, una limitación importante radica en que la opción determinada como la mejor, no siempre es aquella que representa el mayor bienestar (Greene, 2011). En el ámbito espacial, se consideran dos tipos de criterios, que, para la elección de sitios óptimos, trabajan conjuntamente. Estos criterios se definen como explícitos e implícitos (factores o restricciones).

En el primer tipo, los factores hacen referencia cuando la condición está presente en el problema de decisión. En términos de búsqueda para sitios óptimos estos pueden variar desde el tamaño, la forma, la consolidación morfológica del área, entre otros.

En cambio, un criterio implícito es aquel que necesita ser calculado en función a datos espaciales. Por ejemplo, áreas necesarias para la accesibilidad que se calcula en función a variables como: distancias y proximidad a otros; los elementos geográficos, la pendiente, entre otros (Malczewski, 2004).

A partir de GIS-MCDA, se han desarrollado una serie de métodos, que, entre otros factores, dependen del contexto en el que se aplica, el tiempo, y las diferentes fuentes de los datos, diferenciándose uno del otro principalmente en la forma de procesamiento de la información (vector y ráster),⁵

Por tal motivo, la elección del modelo a utilizarse, debe contemplar factores como: número de tomadores de decisión, incertidumbre, capacidad de recursos tecnológicos a utilizar, experiencia del operador, unidades y escala de medición. Además, como parte fundamental para la elección del camino a seguir, se debe identificar el número de objetivos que se pretende abordar en el estudio (Greene, 2011). Por otra parte, cuando intervienen diversos atributos, se cuenta con el modelo multi-atributo o MADC por sus siglas en inglés (multiple-attribute decision making).

Éste último, permite aplicar métodos compensatorios entre atributos (Malczewski., 2004). Gragar, que a través de la metodología GIS-MCDA existen métodos que abordan al análisis de los criterios y la ponderación que reciben cada uno de ellos. Es el caso del proceso analítico jerárquico (AHP) utilizado por Carlos Zafra Mejía (Mejía *et al.* 2012)

O bien, métodos de toma de decisiones que ha sido abordados por Chang, (N.-B Chang, 2008) como el promedio ponderado ordenado (OWA), el modelo de Regresión geográficamente ponderada (GWR) o el modelo de combinación lineal ponderada (WLC) utilizado por (Al-Hanbali, 2011) Este último, el modelo de combinación lineal ponderada (WLC) se consideró como la mejor opción para abordar la problemática de minería a cielo abierto presente este estudio.

Aunque los resultados pudieran catalogarse como subjetivos, debido a que depende de los conocimientos previos del experto; WLC, por su gran flexibilidad, proporciona buenos resultados en la selección de sitios óptimos a escalas regionales o locales, como la aplicada en este estudio (Al-Hanbali, 2011). El procesamiento de los datos disponibles se realizó en el paquete informático TerrSet .

⁵ Vector: El modelo vectorial es una estructura de datos utilizada para almacenar datos geográficos. Los datos vectoriales constan de líneas o arcos, definidos por sus puntos de inicio y fin, y puntos donde se cruzan varios arcos, los nodos.

Ráster: En su forma más simple, un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

De acuerdo al alcance de este estudio, se consideró criterios de idoneidad básicos a escala regional y posteriormente local, que se fundamentaron en la disponibilidad de información del sitio (Tablas 3.4, 3.5 y 3.6).

Estos criterios se dividen en:

Ambientales: incluye las características geológicas, distancia a cuerpos hídricos, precipitaciones y distancia a zonas edificadas.

Técnicos: Permeabilidad del suelo, estabilidad del terreno, espesor del material de cobertura, pendientes y distancia a carreteras o caminos.

Sociales: Contempla el uso del suelo.

Tabla 3.4. Factores para la implementación de parques urbanos sustentables.

FACTOR	APTITUD	DATOS EN RÁSTER
Geología En la minería de materiales pétreos en Calimaya , resulta de interés las rocas de tipo ígneo extrusivo, pues estas tienen amplia distribución espacial y generan los materiales necesarios para la industria de la construcción.	Mayor = 1 (rocas ígneas)	255
	Mediana= 2 (sedimentaria)	128
	Nula= 0 (sin presencia)	0
Hidrografía Entre más alejado de los cuerpos superficiales se encuentren la actividad tecnológica vinculada con la minería, será mejor porque no ocasionarán contaminación, o materiales de arrastre.	Mayor =1 (perene e intermitente)	255
	Menor=2 (canales y acueductos)	128
	Nula:0	0
Usos de suelo Para las actividades mineras se necesitan suelos desprovistos de vegetación y que no existan construcciones sobre ellos.	Pastizal=1	255
	Agricultura=2	170
	Vegetación= 3	85
	Bosque, Urbano= 0	0
Asentamientos A mayor distancia de los centros poblacionales, escuelas, y hospitales, menos afectaciones paisajísticas y sociales tendrán este tipo de actividades.	Mayor distancia = 1	255
	Menor distancia=0	0
Vías de Comunicación De forma similar sucede con las vías de comunicación, mismas que representan una entrada y salida de flujo vehicular o peatonal constante, por lo tanto, entre más lejos se encuentren las vías de comunicación primarias (carreteras, caminos) mayor será la aptitud de las áreas destinadas a la extracción sostenible.	Mayor distancia = 1	255
	Menor distancia=0	0

Precipitación Conforme la precipitación sea menor, mayor será la aptitud. Puesto que la severidad de los procesos erosivos disminuye.	Menor precipitación (750-900) mm *año=1	255
	Mayor precipitación (+de 900 mm) = 0	0
Pendiente La experiencia en la actividad minera en Calimaya, indica que más allá 15 % de pendiente genera más gasto de extracción.	Pendiente 0-5.1%= 1 apto	255
	Pendiente 5.1% - 10.1 = 2 medianamente apto	170
	Pendiente 10.1 – 15.1 = 3 poco apto	85
	Pendiente superior=4 15.1 o No apto	0

Tabla 3.5. Restricciones para la implementación de parques urbanos sustentables.

Restricción	Aptitud	Dato Ráster
Edafología En este caso particular, a pesar de que son suelos con muy buenas características agrícolas, los expertos concordaron que los tipos de suelo que son más aptos para la extracción sostenible serán los mostrados en la columna aptitud.	Suelos phaeozem, arenosol y cambisol= si se puede proponer sitios de emplazamiento para rehabilitación con parques urbanos sustentables	1
	Otros suelos, no se puede (no es recomendable)	0
SITIOS DE EXTRACCIÓN EXISTENTES Es una capa vectorial, tratada y validada en campo por investigación propia, en el año del 2017		Sirvió para comparar los sitios evaluados y cuanto se acercan a la realidad de Calimaya, Edo. México.

Tabla 3.6. Criterios de Evaluación para la implementación de parques urbanos sustentables.

FACTOR	VALOR OBJETIVO/ CARACTERISTICA	NOMBRE DE LA CAPA	TIPO	FUENTE	GEOPROCESO
GEOLOGIA	ROCA IGNEA EXTRUSIVA	GEOLOGIA E14-2	VECTOR	INEGI 2015 ESC: 1 50,000	1.- Reproyectar de itr92 a wgs84-z14n en el software arcgis, puesto que hace más rápido el proceso
					2.- Recortar capa al tamaño del municipio
					3.- Clasificar el tipo de roca y darle valor "1" al más apto (rocas ígneas extrusivas), y "0" al resto de las rocas del shp puesto que para la presente investigación no son aptas.
					4.- Se rasteriza la capa en terrset
EDAFOLOGIA	ARENOSOL/ PHAEZEM	EDAFOLOGIA E14-2	VECTOR	INEGI 2015 ESC: 1:50,000	1.- Reproyectar de itr92 a wgs84-z14n en el software arcgis, puesto que hace más rápido el proceso
					2.- Recortar capa al tamaño del municipio
					3.- Clasificar el tipo de suelo y darle valor el procedimiento es el mismo para reprojectar y clasificar los datos edafológicos, pero en este caso los valores de "1" serán los vertisoles, arenosoles y phaezem, como los de mayor aptitud para la extracción y el resto tomara los valores de "0"
					4.- se rasteriza la capa en terrset

HIDROGRAFIA	RIOS DE ORDEN PERENNE	HIDROGRAFIA	VECTOR	INEGI 2015 ESC: 1:50,000	1.- Reproyectar de itr92 a wgs84-z14n en el software arcgis, puesto que hace más rápido el proceso
					2.- Recortar capa al tamaño del municipio
					3.- Poner valores "1" a los cuerpos de agua de orden intermitente y de orden perene poniendo, "0" a los acueductos y canales.
					4.- se rasteriza la capa en terrset
VIAS DE COMUNICACIÓN	CAMINOS Y TERRACERIAS	VIAS DE COMUNICACIÓN	VECTOR	INEGI 2015 ESC: 1:50,000	1.- Reproyectar de itr92 a wgs84-z14n en el software arcgis, puesto que hace más rápido el proceso
					2.- Recortar capa al tamaño del municipio
					3.- Clasificar el tipo de roca y darle valor "1" al más apto (rocas ígneas extrusivas), y "0" al resto de las rocas del shp puesto que para la presente investigación no son aptas.
					4.- Se rasteriza la capa en terrset
ASENTAMIENTOS Y CENTROS EDUCATIVOS	SITIOS NO CONSTRUIDOS	LOCALIDADES, EDIFICACIONES Y ESCUELAS	VECTOR	INEGI 2015 ESC: 1:50,000	1.- Reproyectar de itr92 a wgs84-z14n en el software arcgis, puesto que hace más rápido el proceso
					2.- Recortar capa al tamaño del municipio
					3.- Clasificar teniendo en cuenta la restricción básica de esta capa, será que no se puede integrar zonas de extracción sobre áreas que tengan elementos construidos. "1" donde no existan zonas de asentamientos, "0" donde si existan zonas de asentamientos
					4.- Se rasteriza la capa en terrset

USOS DE SUELO	SUELOS DESPROVISTOS DE VEGETACIÓN O PASTIZAL INDUCIDO	USOS DE SUELO SERIE VI	Vector	INEGI 2015 ESC: 1:250,000	1.- Reproyectar de itr92 a wgs84-z14n en el software arcgis, puesto que hace más rápido el proceso
					2.- Recortar capa al tamaño del municipio
					3.- Para este elemento se plantea que de acuerdo a (Greene, 2011), no se puede extraer en zonas donde exista vegetación densa como bosque de encino o pino, uso urbano o vegetación secundaria, por el contrario, si es posible extraer donde exista suelo desprovisto de vegetación o zonas agrícolas debido a que el impacto al paisaje será menor que si quita una capa vegetal densa. en este caso las zonas de bosque de pino, encino y la vegetación secundaria tomarán el valor de "0" y el valor de 1 donde sí se puede extraer serán las áreas de agricultura, y pastizal inducido.
					4.- Se rasteriza la capa en terrset
PRECIPITACIÓN	ZONAS DONDE LA PRECIPITACIÓN SEA MENOR A 850 MM*AÑO	DATOS DE PRECIPITACIÓN IDRISI UAEMEX	RASTER	IDRISI UAEMEX ESC: 1:1000000	1.- Reproyectar de itr92 a wgs84-z14n en el software arcgis, puesto que hace más rápido el proceso
					2.- Recortar capa al tamaño del municipio
					3.- Esta variable fue tomada del repositorio de la UAEMex (Universidad Autonoma del Estado de México, 2020). que muestra las precipitaciones mensuales a nivel nacional y que han sido tratadas en el software IDRISI ahora llamado TerrSet. Se necesitan para el presente estudio la precipitación media anual,

					<p>y los sitios óptimos para llevar a cabo la extracción, son las zonas que tengan precipitaciones medias entre 750 y 900 mm por año.</p>
					<p>4.- Se extraen los datos de IDRISI UAEMex (UAEMéx, 2020).</p>
					<p>5.- Una vez rasterizadas las 12 capas de precipitación, es necesario promediar, se hace sumando las capas y dividiéndola entre 12.</p>

3.3.2. Áreas de aptitud potencial para la implementación de parques urbanos sustentables en el municipio de Calimaya

Con el objetivo de implementar áreas verdes públicas en múltiples espacios, y que además resulten, propuestas con características encaminadas a la sustentabilidad de la sociedad a la cual va dirigida. De acuerdo con lo anterior, es necesarios considerar algunos aspectos, que se describen a continuación, y que resultaron del estudio y análisis de diferentes trabajos (Suchite, 2010; Bazant, 2013 y Cabello, 2016).

Se debe conocer las personas a las cuales se les está diseñado el parque, de modo que se satisfagan sus necesidades. El mejor diseño del parque fallará si no proporciona lo que la gente necesita. Por ejemplo, asientos, paisajismo, senderos para caminar, seguridad y oportunidades para divertirse deben existir varias opciones de transporte, oportunidades de ejercicio como andar en bicicleta, patinar y caminar.

Deberá incluir el mejoramiento visual del sitio, el parque urbano sustentable debe ofrecer características que el municipio requiera. Por ejemplo, jardinería, áreas de esparcimiento general, y como en el caso de Calimaya, esto debe estar integrado en el plan de desarrollo urbano donde se establecería la necesidad de ampliar las áreas verdes por el bienestar de la población.

3.3.2.1 Proceso metodológico para la determinación de áreas potenciales para implementar parques urbanos sustentables.

La disponibilidad de los datos es primordial al momento de evaluar un espacio, los sistemas de información geográfica (SIG) permite al diseñador gestionar y elaborar modelos que muestren las zonas que se desean evaluar.

Como primer paso, para caso de estudio se tuvo que integrar un archivo en formato shapefile con información del límite administrativo del municipio de Calimaya, posterior a ello rasterizar dicho archivo en el Software SIG TerrSet, donde se acota la información del municipio a trabajar; asimismo, para lograr que la información sea homogénea se aplicó la siguiente formula: $X_{max} - X_{min} / \text{resolución a trabajar}$ donde el resultado fue 30m (Figura 3.5 y 3.6).

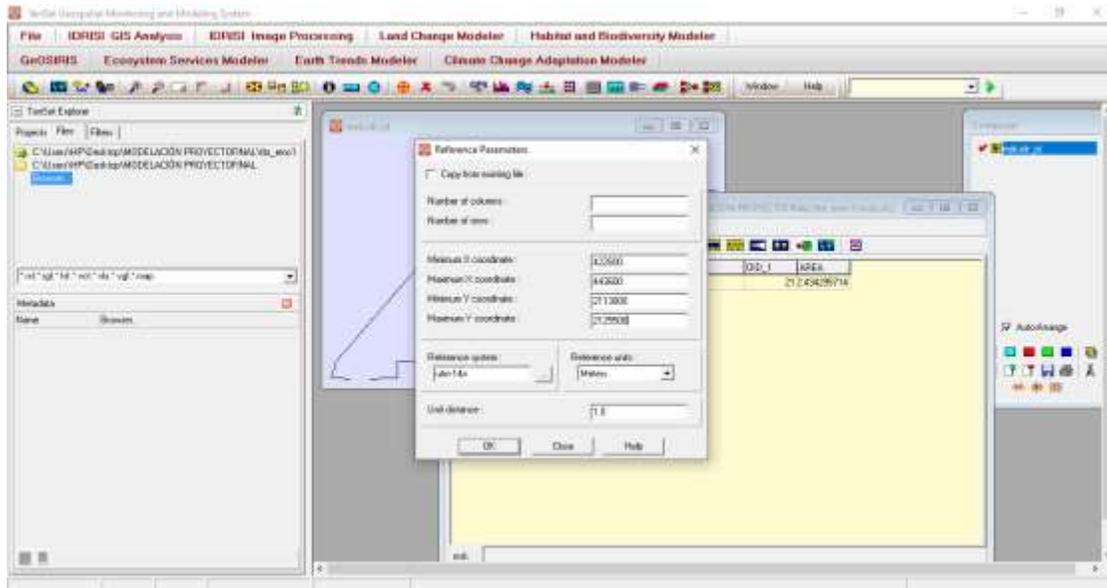


Figura 3.5. Rasterizado de capa shapefile del municipio de Calimaya.

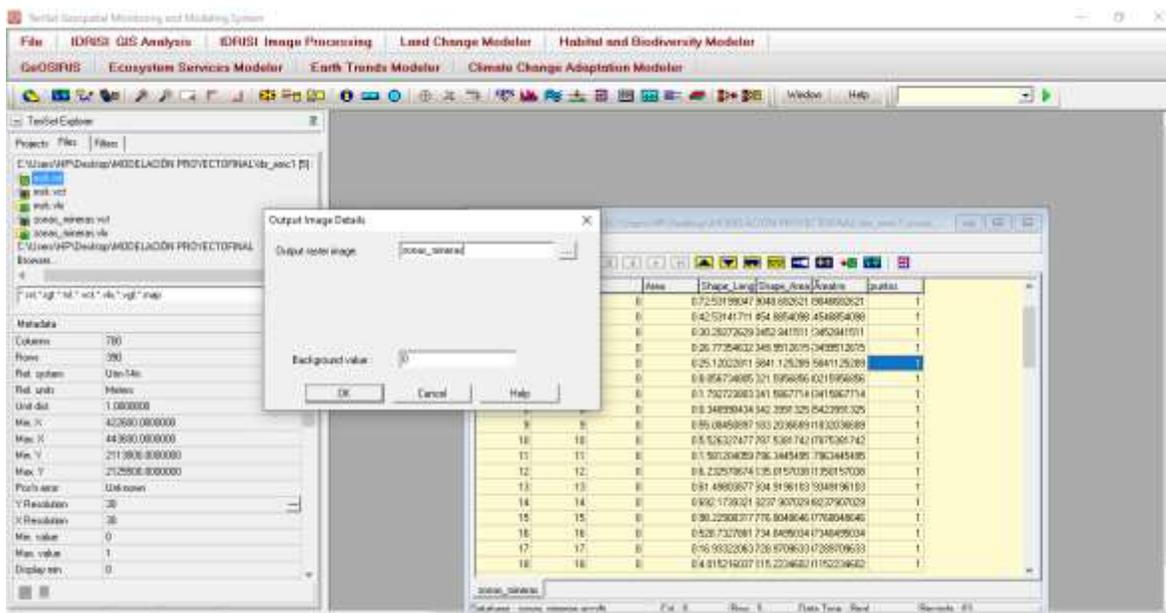


Figura 3.6. Estandarización de información para dato de pixel a 30 m.

Realizado lo anterior, se carga la información de geología, hidrografía, usos de suelo, asentamientos, precipitación, y pendientes, con el objetivo de rasterizar dicha información. El proceso de rasterizar pretende sintetizar la información en valores que van de 0 a 259, este proceso se repetirá con todas las capas de información usando el software TerrSet,

accediendo al menú file, import, software specific formats, ESRI formats, shapeidr (Figura 3.7 y 3.8).

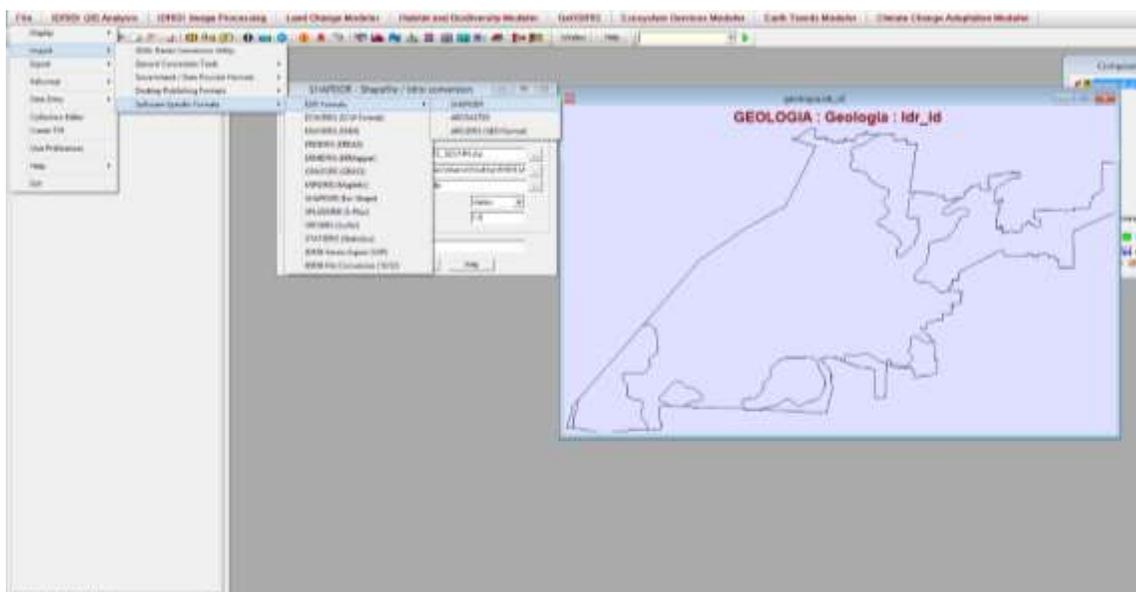


Figura 3.7. Carga de capas en software TerrSet.

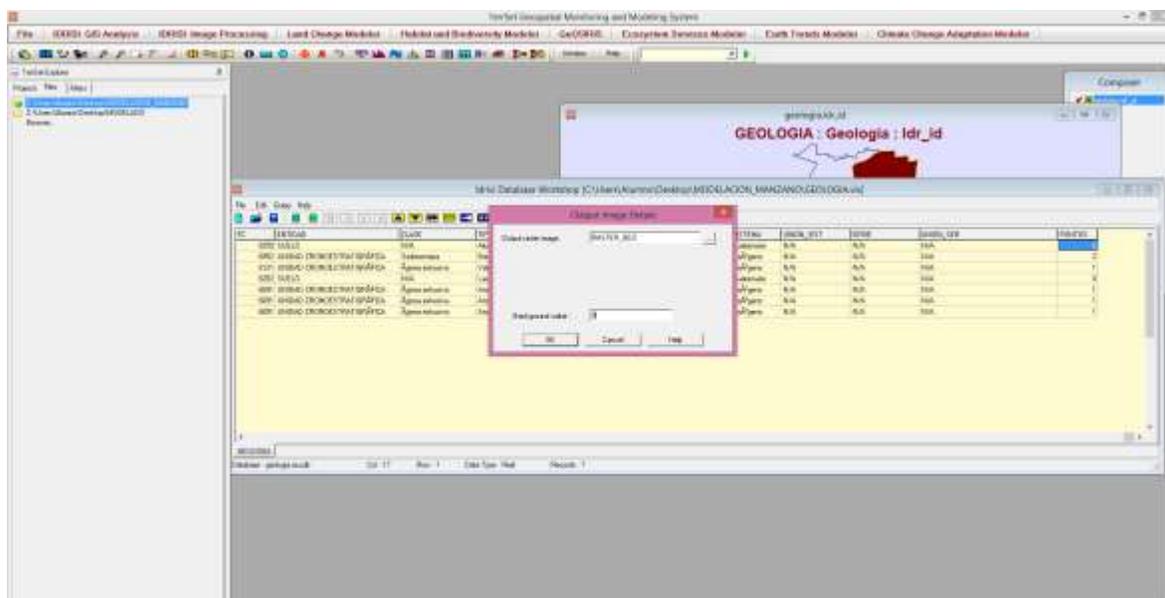


Figura 3.8. Selección los datos a rasterizar.

Una vez tratados los datos, el resultado esperado será un ráster con valores 0 donde no se puede llevar a cabo la extracción, 1 donde sí se puede llevar a cabo dicha actividad y 2 donde medianamente se puede llevar a cabo esa actividad (Figura 3.9).

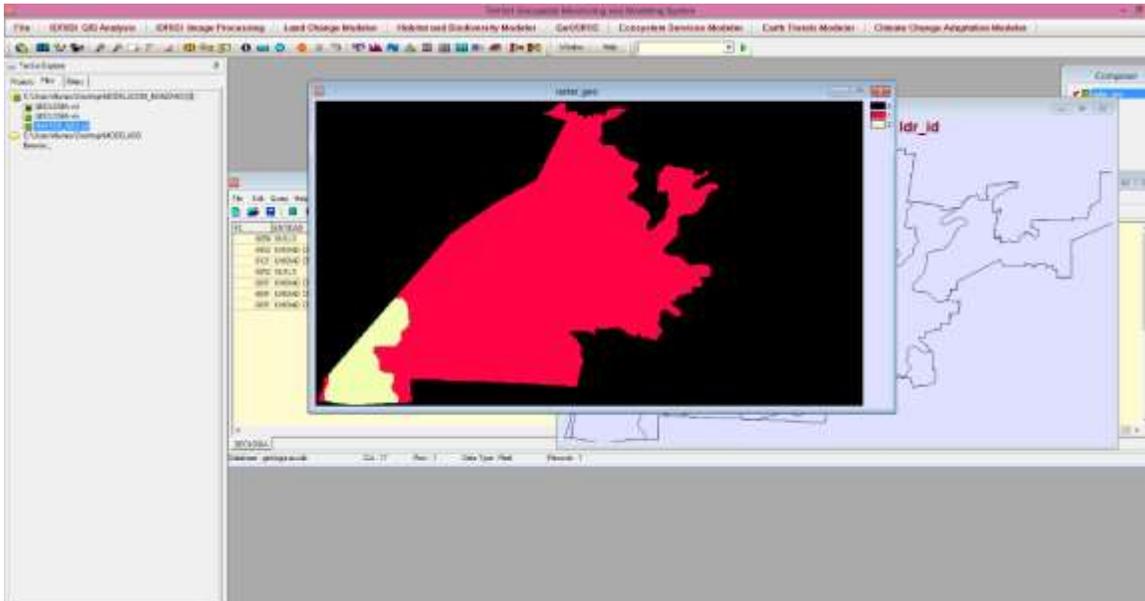


Figura 3.9. Estandarización de datos ráster.

Se procede a reclasificar los valores obtenidos, con el objetivo de identificar las zonas de mayor aptitud para el posicionamiento de un parque urbano sustentable, si se toma en cuenta la geología del sitio, y para ello se necesitará un editor de texto (Figura 3.10).

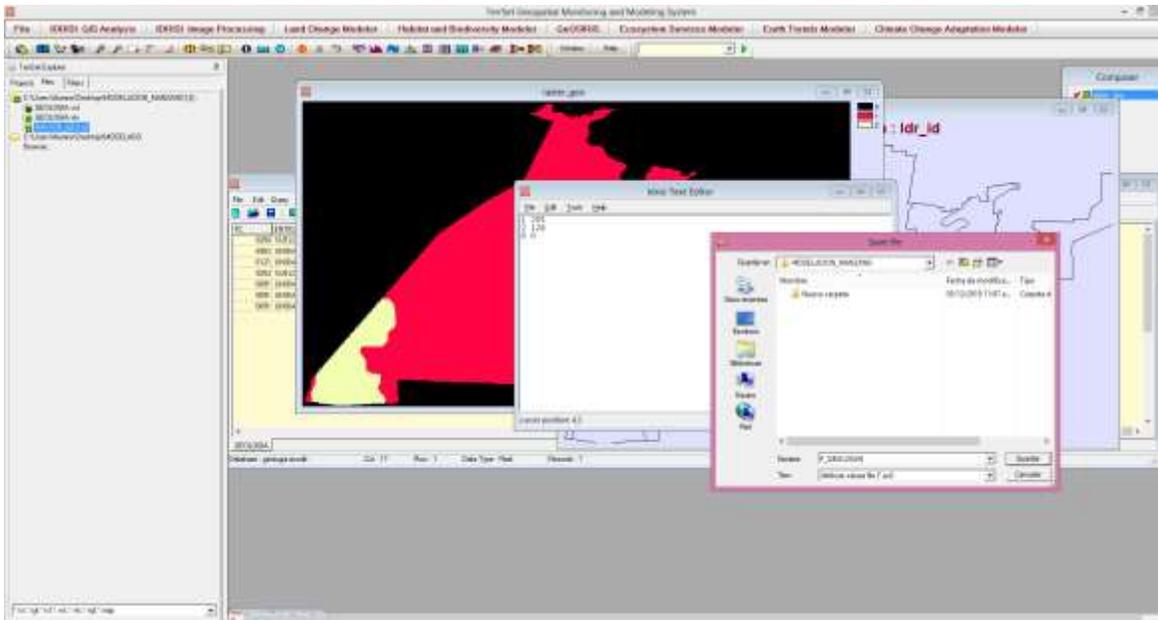


Figura 3.10. Reclasificación de datos.

Ahora se hace uso del módulo Assign, que en esencia sirve para reclasificar valores, posteriormente se coloca la imagen de entrada ráster elaborada previamente, en este caso de

estudio se llamó RASTER_GEO, terminando el proceso de Assign pasó a llamarse FACTOR_GEOLOGIA etc. (Figura 3.11).

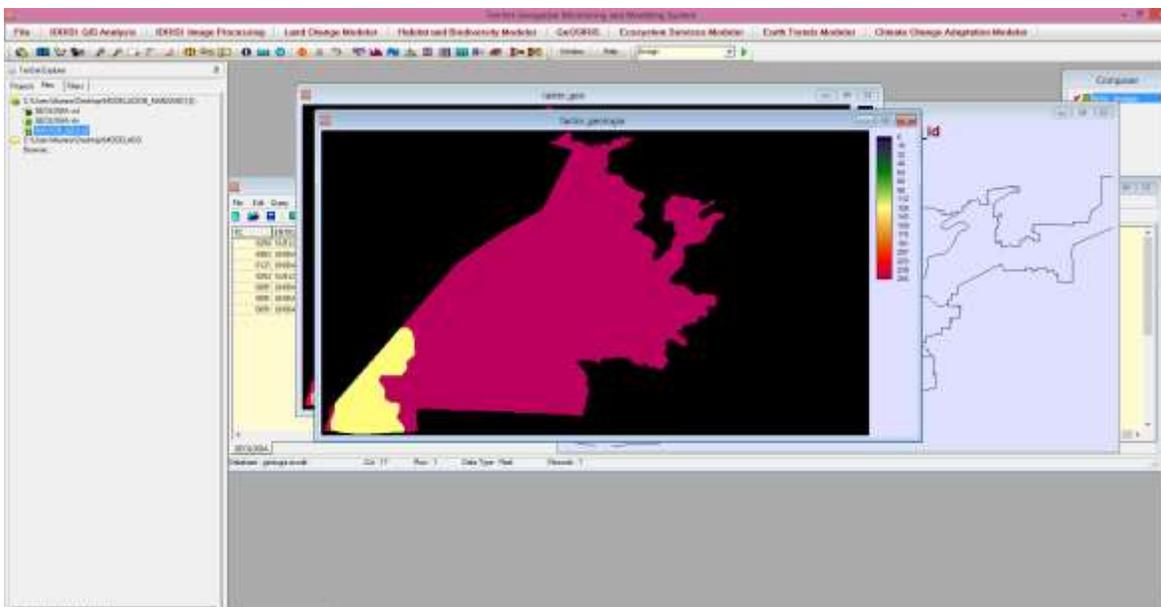


Figura 3.11. Modulo Assign para reclasificación a factor.

El proceso anteriormente desarrollado se realizará para todas las variables.

3.3.3. Aplicación del método jerárquico

Una vez terminada, la estandarización de variables se realiza la ponderación de las mismas, para ello, el proceso estuvo a cargo de 11 expertos en las temática de áreas verdes, divididos en 3 grupos formando parte 5 de la facultad de geografía, 3 de la facultad de ingeniería y 3 de la facultad de Arquitectura todos ellos miembros de la Universidad Autónoma del Estado de México, que de acuerdo a su visión y área de trabajo, permitieron darles jerarquía a las variables, quedando de la siguiente manera en orden de importancia (Tabla 3.7) .

Tabla 3.7. Jerarquía d variables a través de panel de expertos.

VARIABLE	PESO
GEOLOGIA	1
USO DE SUELO	2
HIDROGRAFIA	3

ASENTAMIENTOS, SITIOS CONSTRUIDOS	4
VIAS DE COMUNICACIÓN	5
PRECIPITACIONES	6
PENDIENTE	7
TIPO DE SUELO	8

Donde el número 1 es la variable más importante para tomar la decisión de ubicar sitios óptimos para la implementación de parques urbanos sustentables en zonas de extracción de materiales pétreos, y el 8 es un valor que en su defecto toma menor importancia para el efecto del presente trabajo; y aun así, se sigue considerando importante, pero en menor proporción (Tabla 3.8.).

Se estandarizarán las variables a través del siguiente método jerárquico de **Malczewski**:

$$P_j = (1/r_j) / E (1/r_j)$$

Tabla 3.8. Método jerárquico.

VARIABLE	PESO	RANKING INVERSO	PONDERACION
GEOLOGIA	1	1	0.39
USO DE SUELO	2	0.5	0.19
HIDROGRAFIA	3	0.333333333	0.13
ASENTAMIENTOS, SITIOS CONSTRUIDOS	4	0.25	0.10
VIAS DE COMUNICACIÓN	5	0.2	0.08
PRECIPITACIONES	6	0.166666667	0.06
PENDIENTE	7	0.142857143	0.05
SUMATORIA		2.592857143	1.000

Con estos datos, se regresa a programa TerrSet, se abre el modelador MDA, se cargan todos los archivos de nombre Factores que incluyen: geología, hidrografía, uso de suelo,

asentamientos humanos, vías de comunicación, precipitaciones y pendiente, asignándole a cada uno el peso numérico de la estandarización realizada (Figura 3.12).

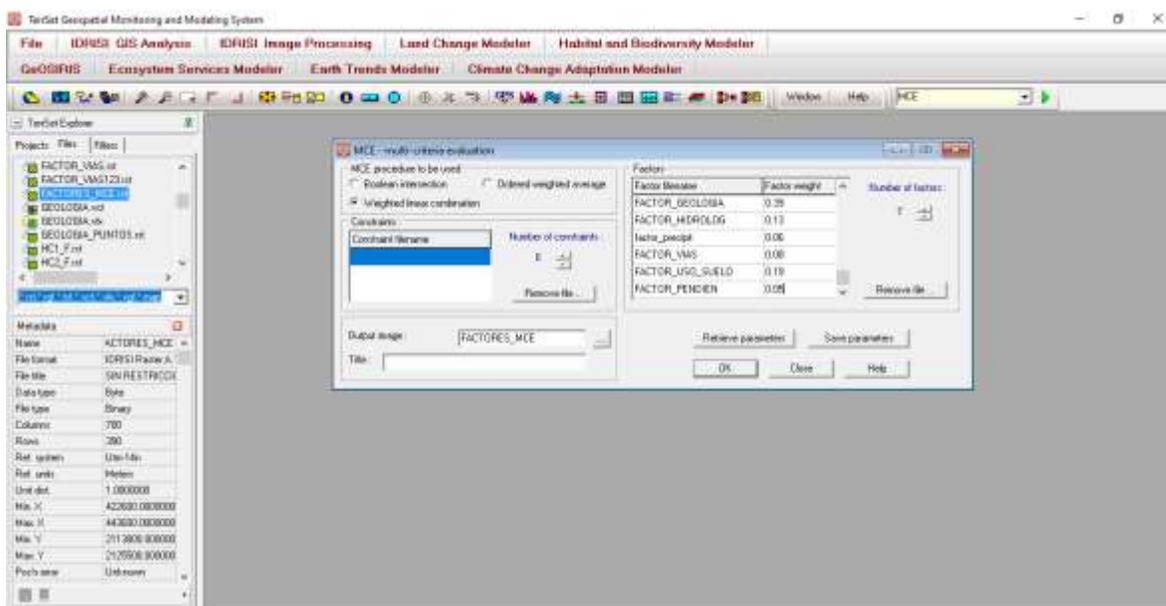


Figura 3.12. Combinación lineal ponderada para la aptitud potencial de parques urbanos sustentables en Calimaya, estado de México.

El objetivo de este proceso fue elaborar un mapa de ubicación de áreas potenciales para la implementación de parques urbanos sustentables en Calimaya, estado de México. Todo ello fue posible gracias los trabajos en campo, llevando un DGPS de alta presión y empleando una imagen satelital obtenida de Google Earth, en esta imagen se marcaron coordenadas UTM y posteriormente se procedió a la verificación con un total de 12 visitas de campo divididas en 2 años y 6 meses.

3.4. Cuarta etapa metodológica: monitoreo del avance de la actividad minera

Con el propósito de delimitar los polígonos mineros activos o abandonados del municipio de Calimaya, así como detectar el avance de la actividad minera a cielo abierto; se desarrolló el procedimiento plasmado en la figura 3.13.

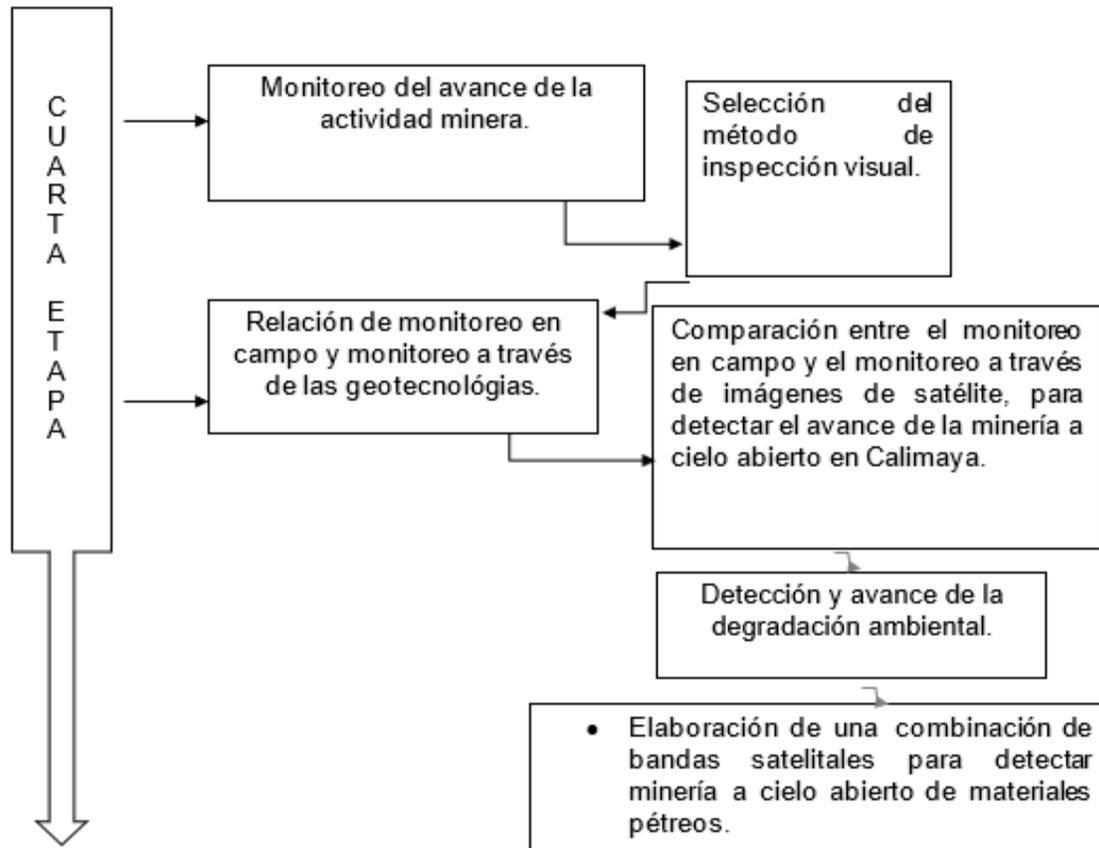


Figura 3.13. Cuarta etapa metodológica.

A su vez, se establecen tres subetapas (Figura 3.14) que enlazan de manera coherente los requerimientos geotecnológicos aplicados en este caso de estudio.

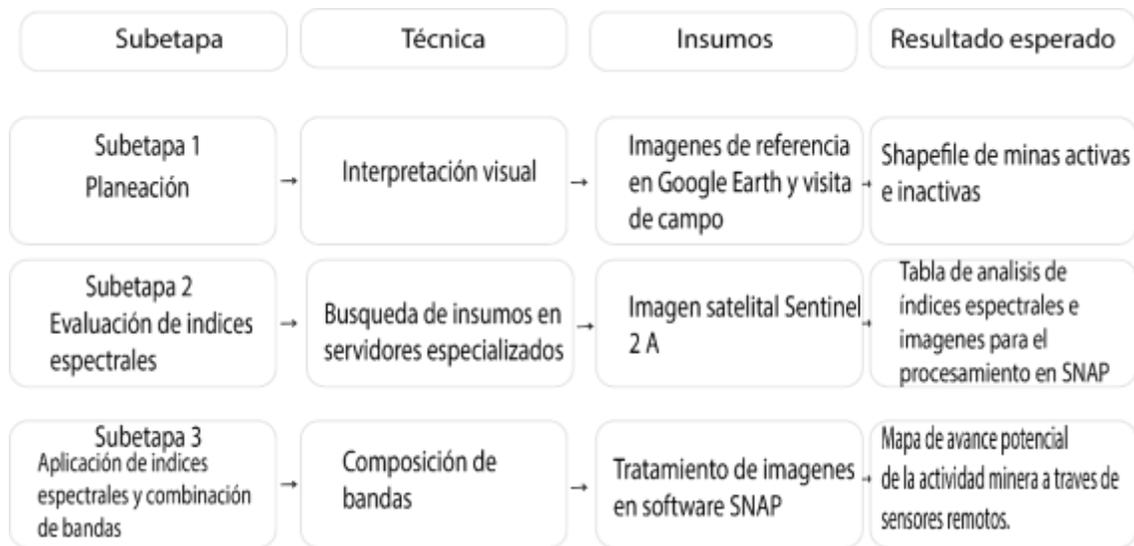


Figura 3.14. Descripción de las fases diseñadas para la identificación de polígonos mineros activos o abandonados en el municipio de Calimaya.

3.4.1. Planeación

Un aspecto importante para este trabajo, fue la adecuada selección del área de estudio, misma que debía contar con evidente presencia de actividad minera. Para lograrlo se realizó el reconocimiento previo de la zona a través de información satelital de alta resolución, y visitas de campo, lo que evidenció la presencia de dichas actividades mineras en Calimaya, Estado de México.

Se establece la zona de estudio dentro del perímetro del municipio de Calimaya, donde se realizan actividades de explotación minera a cielo abierto (principalmente materiales para la construcción) desde el año 2000, derivado de la expansión y la demanda por actividades de construcción. La proliferación de esta actividad en el municipio pudo ser constatada en Becerril (2015).

Al mismo tiempo, se identificaron los requerimientos de información temática, tanto de tipo vectorial como de imágenes satelitales. También se consultó el trabajo de Becerril (2015), que aporta información sobre los procesos de cambio de uso de suelo que se han suscitado en el periodo que comprende los años 2000-

2013.

Como parte del procedimiento, se realizó la interpretación visual mediante ortofoto-mapas obtenidas del Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, y de la imagen de satélite, considerando los elementos de fotointerpretación: forma, tamaño, tono y textura (García *et al.*, 2015).

3.4.2 Evaluación de índices espectrales

Posteriormente se procede a la selección de los insumos necesarios para interpretar las zonas mineras a cielo abierto en Calimaya. Para ello se emplearon imágenes del satélite SENTINEL 2A de resolución 30 mts obtenidas el 01/Enero/2021.

Asimismo, se contó con una imagen del satélite Landsat en su misión 8, de resolución 60 mts correspondiente al 12/Enero/2021.

Se emplean los métodos de comparación de composición de bandas para geología y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Tablas 3.9 y 3.10), estos fueron retomados de Chuvieco (2010). El empleo de dos bandas de satélite de sensores distintos, permite medir la eficacia de una imagen de satélite con respecto a la otra, y así comparar resultados al momento de evaluar y monitorear áreas de minería a cielo abierto.

Tabla 3.9. Combinación de imágenes satelitales.

Aplicación	Landsat 8	Sentinel 2
Color natural	b4-b3-b2	b4-b3-b2
Infrarrojo y rojo	b5-b4-b3	8a-b4-b3
Tierra y agua	b5-b6-b4	8a-b11-b4
Vegetación	b6-b5-b4	b11-8a-b4
Infrarrojo	b7-b5-b4	b12-8a-b4
Área urbana	b7-b6-b4	b12-b11-b4
Geología	b7-b4-b2	b12-b4-b2
Agricultura	b6-b5-b2	b11-8a-b2

Fuente: elaboración propia, con base a Sebem (2005).

Tabla 3.10. Índices multispectrales de sensores LANDSAT y SENTINEL.

Aplicación	ÍNDICES			Código
	Landsat 5 A 7	Landsat 8	Sentinel 2	
Vegetación proporcionada	b4/b3	b5/b4	b8a/b4	RATIO
Vegetación diferencial	b4-b3	b5-b4	b8a-b4	DVI
Vegetación diferencial normalizada	$(b4-b3)/(b4+b3)$	$(b5-b4)/(b5+b4)$	$(b8a-b4)/(b8a+b4)$	NDVI
Vegetación mejorada	$(b4-b3)/(b4+6*b3-7.5*b2+1)$	$(b5-b4)/(b5+6*b4-7.5*b3+1)$	$(b8a-b4)/(b8a+6*b4-7.5*b3+1)$	EVI
Vegetación transformada	$(b4-b3)/(b4+b3)+0.5$	$\sqrt{(b5-b4)/(b5+b4)+0.5}$	$\sqrt{(b8a-b4)/(b8a+b4)+0.5}$	TVI
Vegetación atmosféricamente resistente	$(b4-(b3-1)*(b3-b1))/(b4+(b3-1)*(b3-b1))$	$(b5-(b4-1)*(b4-b2))/(b5+(b4-1)*(b4-b2))$	$(b8a-(b4-1)*(b4-b2))/(b8a+(b4-1)*(b4-b2))$	ARVI
Vegetación ajustada al suelo	$((b4-b3)/(b4+b3+1))*(1+1)$	$((b5-b4)/(b5+b4+1))*(1+1)$	$((b8a-b4)/(b8a+b4+1))*(1+1)$	SAVI
Área foliar	$10*[(0.69-savi)/0.59]/0.91$			LAI
Suelo desnudo	$((b5+b3)-(b4+b1))/((b5+b3)+(b4+b1))$	$((b6+b4)-(b5+b2))/((b6+b4)+(b5+b2))$	$((b11+b4)-(b8a+b2))/((b11+b4)+(b8a+b2))$	BSI
Diferencia normalizada agua	$(b2-b4)/(b2+b4)$	$(b3-b5)/(b3+b5)$	$(b3-b8a)/(b3+b8a)$	NDWI
normalizado de diferencia de nieve	$(b2-b5)/(b2+b5)$	$(b3-b6)/(b3+b6)$	$(b3-b11)/(b3+b11)$	NDSI
Normalizado de Áreas Quemadas	$(b4-b7)/(b4+b7)$	$(b5-b7)/(b5+b7)$	$(b8a-b12)/(b8a+b12)$	NBRI

Fuente: tomado de Castellanos (2016).

En el caso de la actividad minera por extracción de áridos a cielo abierto, el primer parámetro visual que se contempla es la retirada de la cubierta vegetal.

Técnicamente en la ingeniería de minas, esta etapa consiste en retirar la capa fértil de suelo para llegar a los materiales de interés. Un método que permite detectar la falta de cubierta vegetal es el llamado Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) representa un indicador que permite establecer el cálculo de la salud de la vegetación. Mediante esta técnica se puede detectar a través de una composición de bandas de satélite, los sitios donde se encuentra la vegetación sana, vegetación enferma o simplemente donde no hay vegetación.

Atendiendo a lo anterior, el segundo paso metodológico consistió en estimar el índice NDVI para el municipio de Calimaya, con el objetivo de detectar zonas que presentan índices bajos en calidad de la vegetación o simplemente donde la vegetación no se encuentre presente.

En sí, la comprensión de los índices espectrales y las técnicas de fusión de imágenes se consideran elementos, producto de combinaciones y operaciones aritméticas mismas que generan algoritmos, que aplican valores de reflectancia entre diferentes sensores, que tienen por objetivo el análisis de cambio para un rango de cobertura de dos o más longitudes de onda. Según apunta Castellano (2016), en el caso de fusión de imágenes, adicionalmente incorporan imágenes de mayor resolución o de otros sensores, para acentuar alguna propiedad en particular.

En la tabla 3. 11 se muestran los índices generales para fusión de imágenes y técnicas espectrales, que a partir de una profunda revisión bibliográfica, recopila Castellanos (2016). Estos índices han sido trabajados por diferentes autores con la finalidad de determinar o generar índices de reflectancia, usados en casos particulares, como sucede en Calimaya.

De los índices relacionados, en la tabla 3.11 y tomados de Castellanos (2016), de forma específica para este trabajo se empleó el “Normalized difference

vegetation index”, en este caso para detectar el cambio visual en relación al suelo desprovisto de vegetación,

Tabla 3.11. Índices generales para fusión de imágenes y técnicas espectrales.

Nombre	Abreviación	Ecuación	Fuente
Clay_minerals	cm	swir1/swir2	(Drury, 1987)
Ferrous_minerals	fm	swir1/nir	(Drury, 1987)
Iron_Oxide (Ferric Minerals)	io	red/blue	(Drury, 1987)
Transformed normalized difference vegetation index	tndvi	$\sqrt{((nir-red)/(nir+red) + 0,5)}$	(Rouse <i>et al.</i> , 1973) and (Sebem, 2005)
Normalized difference vegetation index	ndvi	$nir-red/nir+red$	(Kriegler <i>et al.</i> , 1969) y (Rouse <i>et al.</i> , 1973)
Difference vegetation index	dvi	nir-red	(Tucker, 1979)
Simple ratio	sr ir/r	nir/red	(Tucker, 1979)
SQRT Simple ratio	sqrt sr ir/r	$\sqrt{nir/red}$	(Sebem, 2005)
Principal_ components	cp	función erdas image	(López and Altamirano, 2008)
Fusión brovey	brovey	Band_out=band /[(blue+green+red) *pan]. función erdas image	(Gharbia <i>et al.</i> , 2014)
Fusión wavelet	wavelet	función erdas imagen	(Nuñez <i>et al.</i> , 1999)

Fuente: Propuesta de Sebem (2005) y actualizado posteriormente por Castellanos (2016)

3.3. Aplicación de índices NDVI

Mediante la técnica de combinación de bandas espectrales se pudo evaluar el avance de las zonas mineras a cielo abierto en Calimaya. Se toma como referencia la propuesta de Chuvieco (2010), donde sugiere que para combinaciones cuyo objetivo sea analizar cualquier fenómeno presente sobre la cobertura terrestre es

necesario integrar una banda del espectro visible, infrarrojo cercano y finalmente una del infrarrojo medio (Tabla 3.12).

Tabla 3.12. Longitudes de onda de un sensor remoto.

Banda	Longitud de onda	Zona del espectro
1	0.45-0.52 μm	Luz visible, azul
2	0.52-0.60 μm	Luz visible, verde
3	0.63-0.69 μm	Luz visible, rojo
4	0.76-0.90 μm	Infrarrojo cercano
5	1.55-1.75 μm	Infrarrojo medio
6	10.4-12.5 μm	Infrarrojo térmico
7	2.08-2.35 μm	Infrarrojo medio

Fuente: Elaboración propia usando datos de la página Ecoscript (2021).

Por lo tanto, aplicando los criterios de Chuvieco, al presente trabajo, se tendría que; para una combinación de color natural con imágenes obtenidas del sensor Landsat 8 se necesitarán longitudes de onda entre 0.45 μm y 0.69 μm , y para lograr la combinación de bandas para este sensor sería: banda 5 para el rojo, banda 4 para el azul, y banda 3 para el verde. En la figura 3.15 se muestra el comportamiento de las bandas multiespectrales del sensor Landsat 8, obtenidas en el USGS, también compiladas por Castellanos (2016).

Mientras que para las imágenes obtenidas del sensor Sentinel 2A el color natural sería el resultado de usar la banda 8 para el rojo, banda 4 para el azul, y banda 3 para el verde (Figuras 3. 15 y 3.16), dichas relaciones entre longitudes de onda, permiten emplearse como referencia en los diferentes sensores para la identificación y caracterización de propiedades pictoricomorfológicas descritas,

y su posterior interpretación visual de zonas mineras a cielo abierto.

Figura 3.15. Comportamiento de bandas multispectrales LANDSAT 8.

	Bandas	Longitud de onda central	Resolución Espacial (m)
Landsat 8 para monitoreo terrestre, oceánico y atmosférico	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Figura 3.16. Comportamiento de bandas multispectrales SENTINEL 2A.

Sentinel-2 bands	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Resolución Espacial (m)
	Longitud de onda central	Ancho de banda (nm)	Longitud de onda central	Ancho de banda (nm)	
Band 1 - Coastal aerosol	412.7	27	412.2	27	10
Band 2 - Blue	490.4	26	492.1	26	10
Band 3 - Green	555.6	26	558.0	26	10
Band 4 - Red	640.6	27	640.9	27	10
Band 5 - Vegetation red-edge	705.1	15	705.6	14	20
Band 6 - Vegetation red-edge	740.0	15	739.1	13	20
Band 7 - Vegetation red-edge	782.6	20	779.7	20	20
Band 8 - NIR	842.8	196	843.9	196	10
Band 8A - Narrow NIR	864.7	25	864.0	22	20
Band 9 - Water vapour	940.1	20	940.2	21	40
Band 10 - SWIR - Cirrus	1243.5	21	1243.9	20	40
Band 11 - SWIR	1642.7	21	1642.4	24	20
Band 12 - SWIR	2202.4	176	2182.7	168	20

3.4.3 Consideraciones para la obtención de recursos de imágenes satelitales

La metodología para realizar la interpretación visual (Figura 3.17), considero como insumos principales una imagen Landsat 8, con resolución espacial a 15 m (imagen con proceso de combinación de resoluciones espaciales entre multispectral de 30m y pancromática de 15m) misma que se obtuvo del portal de internet del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Así como el uso de una imagen SENTINEL 2 A con fecha 2021/01/01 extraída del portal web de la Agencia Espacial Europea (ESA), también se emplea un archivo shapefile que contiene información poligonal de zonas mineras activas e inactivas en Calimaya, con una proyección Universal Transversal de Mercator zona 14 norte elaborado por Valencia (2017). En ambas imágenes se aplicó la técnica de interpretación visual.

Selección y adquisición de imágenes satelitales



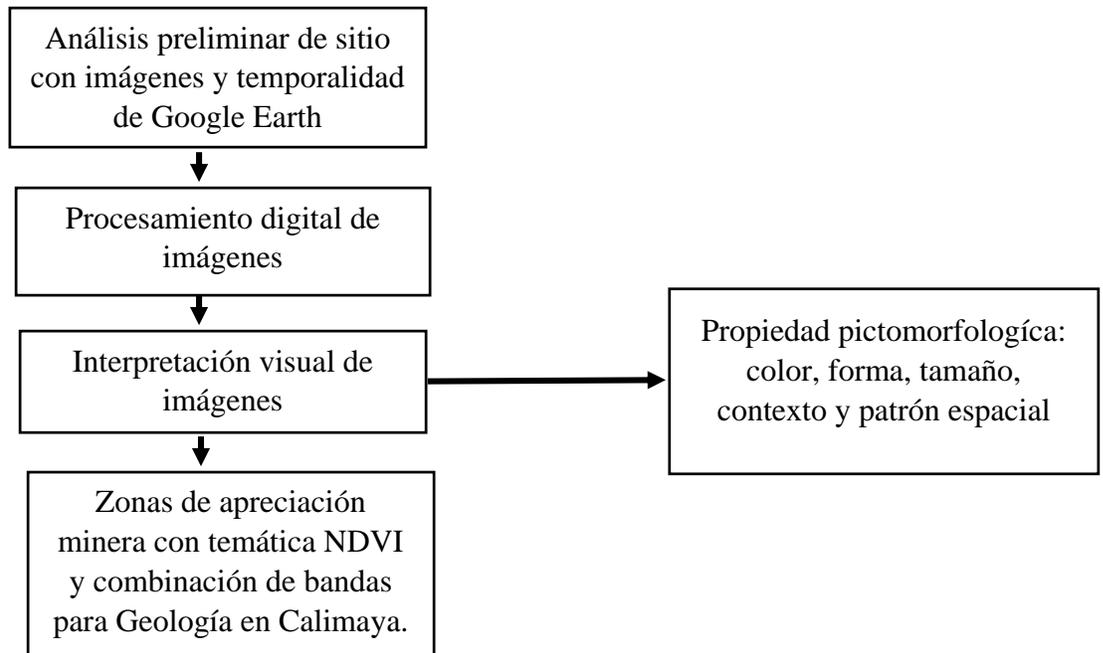


Figura 3.17. Esquema metodológico para la interpretación visual de imágenes de sensores remotos modificado a partir de Castellanos (2016).

Previamente se realizó un análisis de sitio, haciendo uso de imágenes con diferentes temporalidades (2006, 2012, 2020) teniendo por finalidad la identificación de áreas impactadas por la minería a través de Google Earth Pro.

Este último, constituye un sistema de información geográfica consistente en un globo terráqueo virtual, mismo que establece un medio visual de múltiple cartografía, basado en imágenes tomadas de diferentes sensores y satélites. La herramienta permitió detectar cambios a través del tiempo, es decir, ubicar un predio minero y tomarlo como referente de extracción a cielo abierto, tomar imágenes de diferentes fechas (2006, 2012 y 2020) y comparar el resultado con las áreas que mostraba el shapefile de áreas mineras activas e inactivas facilitado por (Valencia, 2017) con la finalidad de validar los datos resultantes con los obtenidos en visitas de campo (Figura 3.18).



Figura 3.18. Análisis preliminar de avance en la minería a cielo abierto de Calimaya para los años 2006, 2012 y 2020 a través de Google Earth Pro, (2022).

3.4.3 Descripción de propiedades pictoricomorfológicas

Una vez accediendo al portal web <https://earthexplorer.usgs.gov/> para landsat 8 y al portal <https://www.sentinel-hub.com/> para Sentinel 2A, aparece un menú cuya información desplegada muestra el tipo de imagen que requiere el estudio, así como la temporalidad a usar, por ejemplo, en este caso fue necesario el uso de imágenes SENTINEL 2A así como la de Landsat 8 (Figura 3.19).



Figura 3.19. Portal de descarga para imágenes SENTINEL 2A0. Fuente: imagen obtenida de <https://www.sentinel-hub.com/>. Fecha de consulta 05/01/2021.

Para la validación de los elementos conceptuales de identificación y definición de las propiedades pictoricomorfológicas presentes en Melo y Camacho (2005) y Minjusticia *et al.* (2016), también llamados descriptores morfológicos (Lira, 2010), criterios de interpretación visual (Chuvieco, 2010) o foto elementos (Gao, 2009) (existe una aplicación en Castellano 2016). Tomando los criterios mencionados y/o experiencias de casos de estudios, se realizó el procesamiento de las imágenes Landsat 8 y Sentinel 2A considerando el análisis de forma, tamaño, tono/color, textura, posición geográfica y patrón espacial para la detección de zonas mineras a cielo abierto presentes en el municipio de Calimaya, estado de México.

Derivado de lo anterior, primero se realizó la carga de los archivos de imágenes satelitales provenientes en formato nativo .ZIP y .TIFF a la interfaz del software SNAP (Figura 3.20).

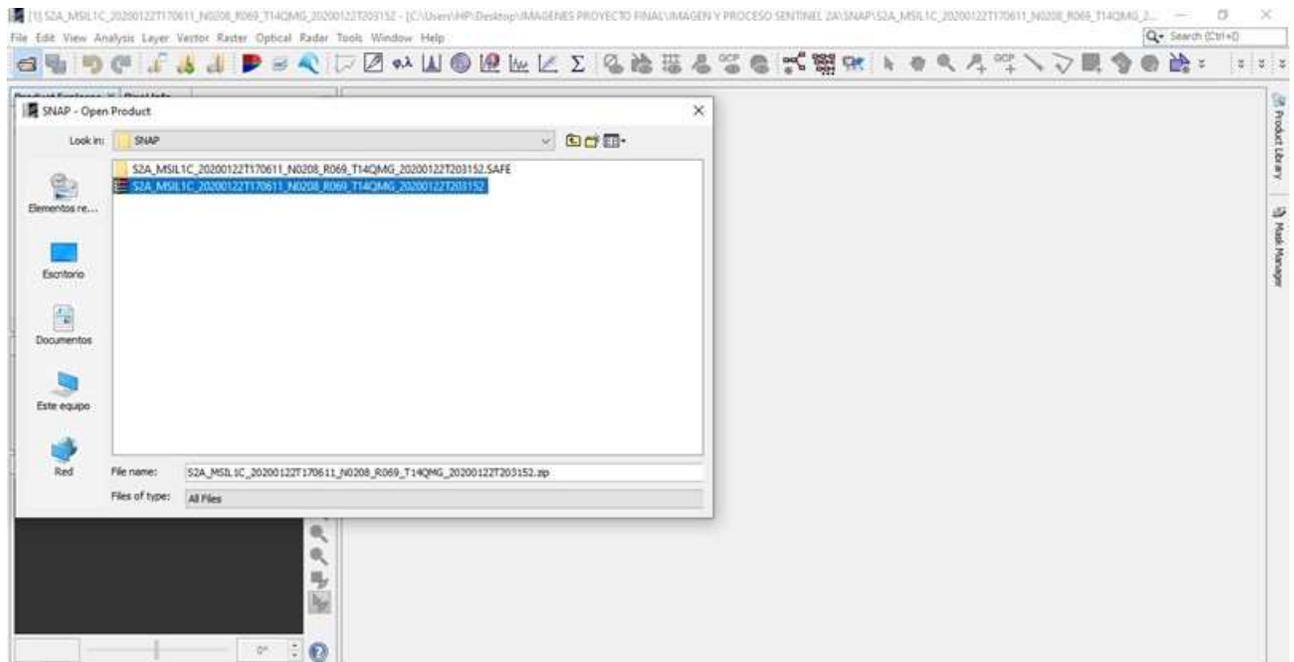


Figura 3.20. Carga de archivos en la interfaz del software SNAP.

De acuerdo a Chuvieco (2010), es importante apreciar una imagen de manera que los detalles mayormente comunes sean vistos por el ojo humano antes de decidir realizar alguna corrección que pueda ayudar o afectar la interpretación final.

Por lo tanto, como se observa en la figura 3.21, existe nubosidad misma que, puede afectar a la interpretación final. Sin embargo, también es observable zonas no afectadas por la nubosidad, en este caso se puede continuar inmediatamente al siguiente paso (ejemplo, cuadro rojo en la Figura 3.21).

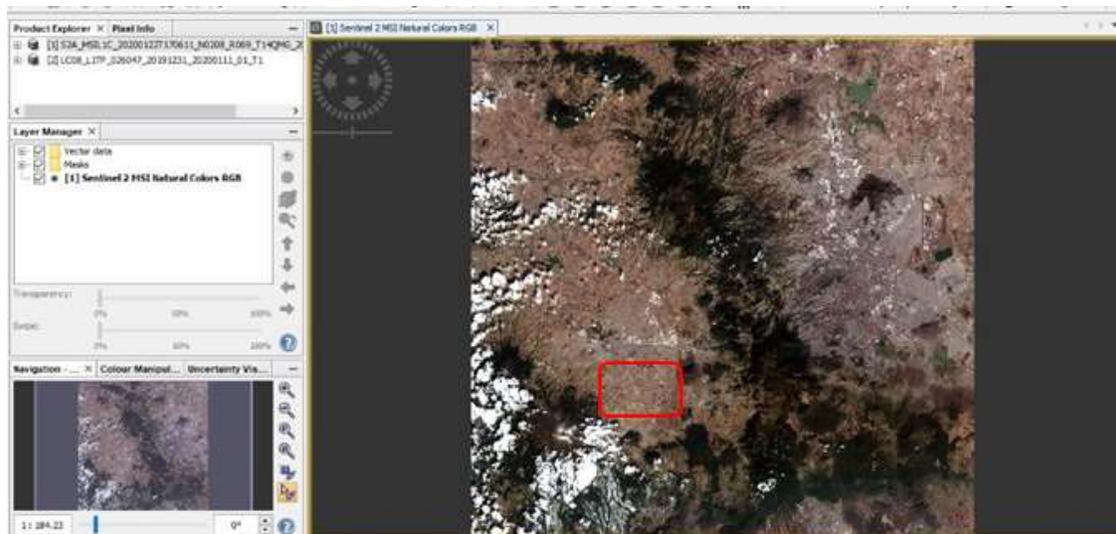


Figura 3.21. Revisión del sitio a través de imagen satelital.

Posteriormente, con el objetivo de homogeneizar la resolución espacial, de las diferentes bandas, se aplica el remuestreo “resampling” (Figura 3.22). El siguiente paso, consiste en crear el NDVI, se exporta en formato GeoTiff para finalmente con el uso del programa QGIS, realizar la reclasificación (Figuras 3.21, 3.22, 3.23).

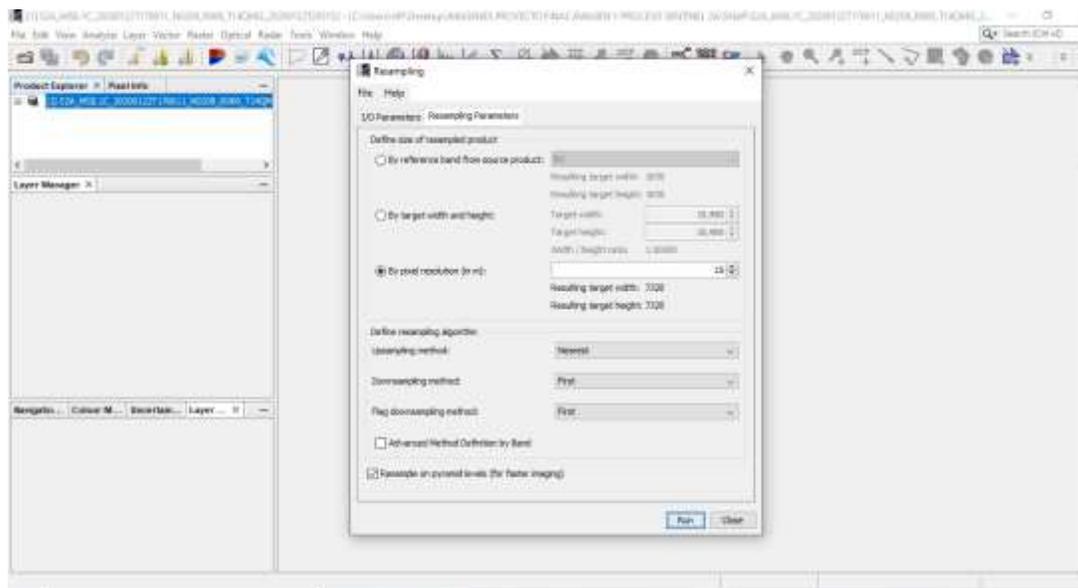


Figura 3.22. Proceso de remuestreo en imágenes Sentinel 2A.

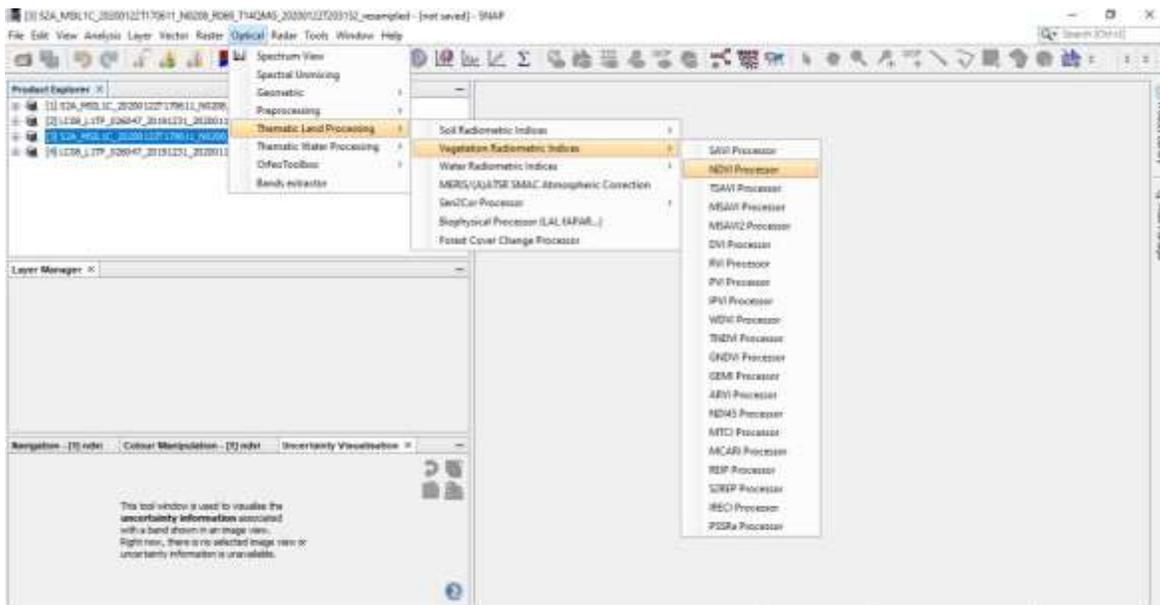


Figura 3.23. Proceso de obtención del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para Calimaya, Estado de México

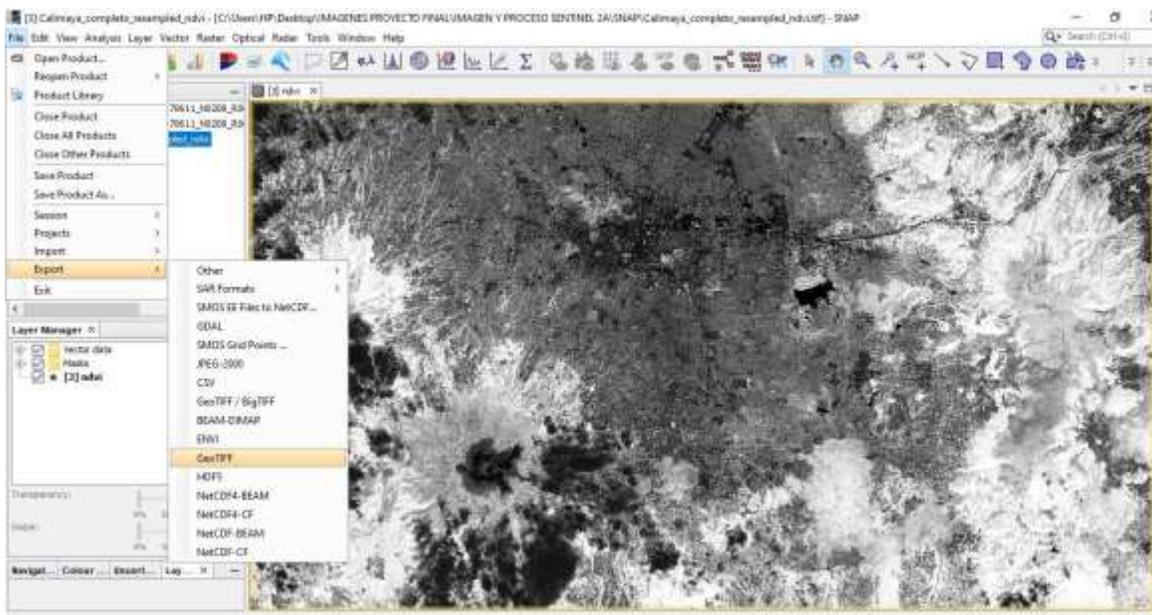


Figura 3.24. Exportación de los datos en formato GeoTiff.



Figura 3.25. Reclasificación de datos NDVI en software QGIS.

3.5. Quinta etapa metodológica: diseño de parques urbanos sustentables en zonas mineras degradadas

La ubicación geográfica de Calimaya, el crecimiento demográfico, la construcción de conjuntos urbanos y la presencia de actividades mineras han provocado que la estructura urbana del territorio se degrade a nivel social, económico y ambiental. Por consiguiente, surgen problemáticas de las cuales se hace evidente atender a la brevedad.

Como ya se ha mostrado a través del desarrollo de los capítulos anteriores, las principales problemáticas ambientales surgen de la presencia no regulada de actividad minera, sin embargo, en este trabajo de investigación se busca dar una solución integral a dicha problemática.

Si bien pudieran existir algunas otras alternativas, la propuesta de parques urbanos sustentables atiende a una carencia generalizada de estas áreas a nivel nacional y muy en particular en Calimaya.

Pero, ¿Qué hace diferente a un parque urbano sustentable de un área verde común o un parque tradicional?

En este caso, es la integración de métodos y análisis holístico, asimismo el diseño de los parques urbanos sustentables es de fácil adaptabilidad y presentan autosuficiencia de recursos. Además, se integran a un sistema urbano superior y basan sus principios en los nuevos modelos de expresión estética, integran atributos que se caracterizan por amalgamar en sus modelos aspectos constructivos y operativos, geográficos y tecnológicos, físicos y sociales (Vélez, 2009).

Asimismo, y en función de la experiencia transmitida por Vélez (2009), los parques urbanos sustentables, a diferencia de los parques tradicionales representan ahorro energético, ahorro en recursos materiales (fertilizantes, laboreo y agua) y en costos de mantenimiento. También representan un considerable aporte al bienestar social y la salud pública, la accesibilidad, la conectividad y la integración social y urbanística a la ciudad.

Para ello se propone la elaboración de una metodología orientada a la rehabilitación de las minas abandonadas mediante parques urbanos sustentables (Figura 3.26).

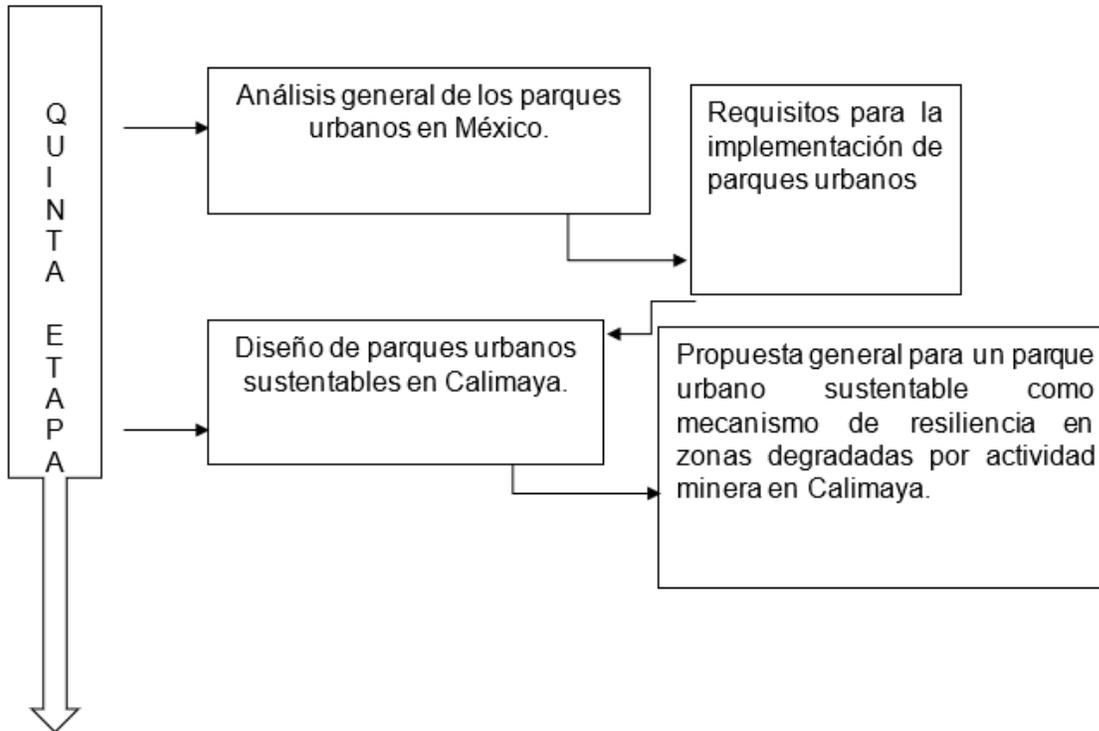


Figura 3.26. Desarrollo metodológico para la implementación de parques urbanos sustentables, Elaboración propia (2021).

De acuerdo a Bazant (2013), el desarrollo urbano como un fenómeno económico social y ambiental debe atender las necesidades básicas de la población, este proceso tiene metas, objetivos enfocados a dar soluciones a problemáticas de la urbe y las áreas no urbanas.

La propuesta como tal, se enfocó en la atención de la población que necesita de espacios recreativos, garantizando cubrir las necesidades de recreación y de rehabilitación paisajística del municipio de Calimaya, atendiendo a los diferentes grupos sociales.

El espacio con que se cuenta para las pruebas piloto es poco, el espacio disponible de acuerdo a las visitas de campo y los acercamientos con personas de las zonas afectadas estaría optando en su totalidad para actividades de tipo recreativo.

Con la presente investigación se consideró una cantidad de 34,000 habitantes como demanda a atención. Los planteamientos iniciales y propuestos son basados en las normas investigadas, debido a que no existe una regulación definida y específica en materia minera.

Como primer punto, el sistema urbano debe contar con una unidad recreativa por cada 120.000 habitantes. Esta área deberá tener un mínimo de 5,000 m², y su radio de influencia debe ser un mínimo de 1 km y un máximo de 4 km (Bazant, 2013).

El acceso al parque debe estar a un tiempo no mayor a 40 minutos y en esta unidad se deberá acceder a pie, en bicicleta, en vehículo, en motocicleta, en bus o en otro medio de transporte (Instituto de accesibilidad , 2021).

La demanda de áreas verdes por parte de la población de Calimaya, es alta de hecho el plan de desarrollo establece esta necesidad como uno de sus ejes a cubrir inmediatamente debido al fuerte crecimiento urbano y poblacional.

Para ello, primero se deben estabilizar los taludes, previa determinación del coeficiente de seguridad de los taludes correspondientes a dos minas, estas minas fueron seleccionadas primero, porque ya se encuentran en etapa de abandono, y por qué son áreas donde los propietarios estuvieron de acuerdo en tomarla como referencia.

3.5.1 Método del equilibrio límite (LEM) para la estabilidad de talud minero en Calimaya Estado de México

Por medio de visitas de campo y de datos geotécnicos tomados de Sánchez (2020), se determinó el coeficiente de seguridad de las dos minas objeto de estudio, aplicando el método de Taylor (Método de equilibrio límite).

Mismo que consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, sobre todo el comportamiento de un talud y la superficie de deslizamiento de cualquier forma ya sea línea recta, arco circular o espiral logarítmica (Catanzariti , 2021).

Lo que se busca en tal equilibrio es calcular las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), valorada según el criterio de rotura de Coulomb; de tal comparación se deriva la primera indicación sobre la estabilidad con el coeficiente de seguridad $F = \tau_f / \tau$, (Catanzariti , 2021).

La información geométrica (altura e inclinación) se obtuvo a través de visitas de campo usando cinta métrica de 50 mts y un clinómetro asimismo los datos geotécnicos (cohesión, peso específico y rozamiento interno) se obtuvieron por analogías ingeniero geológicas, de

acuerdo a estudios de mecánica de suelos realizados en el municipio, y fueron completados con otras fuentes que abordan el tema (Tabla 3.13).

En ambos casos; para el empleo de los datos se confirmó que existiera correspondencia con el tipo de suelo identificado, y que además los valores estuvieran dentro del mínimo y el máximo de estudios previos de mecánica de suelo en el municipio, basándose también en la cercanía teniendo en cuenta que la distancia entre la mina 1 y el centro de Calimaya es igual a 1.6 km aproximadamente. Mientras que la mina 2 se encuentra a una distancia con respecto al centro Calimaya 2.0 km.

Tabla 3.13. Información geométrica y geotécnica empleada en los cálculos de estabilidad de taludes. Con asterisco se indican la fuente de los datos.

	Talud 1					Talud 2				
	Altura (m)	Inclinación (°)	Cohesión t/m ²	Peso Específico aparente t/m ³	Rozamiento interno (°)	Altura (m)	Inclinación (°)	Cohesión t/m ³	Peso Específico aparente t/m ³	Rozamiento interno (°)
Mina 1 Arena	7.90	32	0.001**	1.648***	29.19°**	12	43	0.001*	1.648***	29.19°**
Mina 2 areno arcilloso	8.20	27	6.0*	1.77***	44°**	14.8	60	0.001*	1.77***	44°**

Fuente: elaboración propia con datos de Sánchez (2020).

Derivado del análisis de la estructura del sitio propuesto se considera medidas correctivas al talud de dos de las minas propuestas.

3.5.2 Propuesta de plan de rehabilitación en zonas afectadas por minería

Calimaya se ha convertido en un municipio con un alto índice de urbanización, con alta demanda de zonas para fines habitacionales, por lo que los usos del suelo se han visto modificados drásticamente, si bien este trabajo de investigación ha decidido trabajar con parques urbanos sustentables no son las únicas alternativas para intentar rehabilitar zonas de minería a cielo abierto. Algunos de los apuntes mostrados en este subacápite, como parte de la divulgación de los resultados de esta tesis fueron publicados en el Boletín Geólogo-Minero de España, en Valencia et al. (2022) (Anexo 8).

Derivado de ello, se han podido identificar otras líneas de acción que servirán como preámbulo para la toma de decisiones en las propuestas de rehabilitación, en este caso se consideraron las sugerencias de Torres-Batista et al. (2019). Se proponen tres alternativas: (a) parque sustentable, (b) uso agrícola y (c) uso deportivo (Valencia, 2017).

Las principales características de cada alternativa se describen a continuación. Estas fueron resumidas a partir de las sugerencias de Torres-Batista et al. (2019) y Cabello (2016).

(a) Parque urbano sustentable. Donde los principales ejes son:

Establecer objetivos en base a las demandas de los habitantes de la población cercana a la mina. – Proponer el uso y funciones del parque, para suministrar espacios con intenciones de recreación pasiva y activa en las áreas disponibles.

Integrar elementos socio-culturales como actividades a desarrollar en este espacio, para estimular el encuentro y comunicación directa entre los vecinos del sitio.

Función estética: este espacio abierto será parte de la configuración del paisaje urbano y determinará el grado de amenidad del municipio.

Disfrutar del ambiente urbano radicará en el gusto y deseo de permanecer en dicho espacio. Se propone proyectar un sitio agradable para proporcionar puntos de observación de las diferentes perspectivas urbanas, así como embellecimiento paisajista.

Función ambiental y paisajística: es la parte fundamental del estudio, y consistirá en proponer el mejor uso desde el punto de vista de la ingeniería ambiental, la geografía y el

urbanismo, como líneas de base para la mitigación de los impactos negativos de la minería que ha propiciado desajustes territoriales en la zona de Calimaya, México.

(b) Uso agrícola. Las principales actuaciones son:

Salvaguardar la capa fértil del suelo sobre el que se desarrolla la explotación, con el fin de colocarla posteriormente en las terrazas agrícolas que se construirán y, de esta forma, conservar los nutrientes propios del suelo.

Asimismo, suavizar las pendientes de los cortes hasta alcanzar un mínimo de 20° con la finalidad de evitar movimientos o derrumbes de materiales que se encuentren en la parte alta, y, a su vez generen la acumulación de materiales en el pie de suelo procedentes de otras partes del sitio.

El objetivo que se tiene con estas acciones es disminuir la pendiente de los cortes y aminorar los efectos erosivos, además de utilizarse como base para la reconstrucción de las terrazas e instaurar zanjas de infiltración para la retención tecnificada del agua pluvial, misma que formara parte del riego tecnificado usado para mantener los en temporadas de estiaje.

Mejorar los componentes de suelo para la siembra agrícola, hortícola y frutícola. Una vez, terminadas las dos actividades preliminares, se procederá a servir sustentos al suelo que recién se está recuperando, esto con abonos locales, hechos a partir de la excreta de animales como los cerdos, caballos o vacas, con el objetivo de asegurar la conservación de las especies que pretenden cultivar.

c) Características generales para el uso deportivo como propuesta integral.

Se deberá acumular materiales de agregados, escombros o cascajo procedentes de otras explotaciones u obras cercanas.

El relleno adicional será con el propósito de homogeneizar, nivelar y mejorar las vías de acceso al sitio y, a la base donde se estará construyendo la alternativa de cancha polideportiva.

Proponer rampas de acceso dentro de los límites de los taludes con el fin de que puedan ser usados como áreas de acceso al polideportivo.

En general se realizará el trazo nivelación en la parte interna del área destinada al polideportivo, de modo que represente un paisaje homogéneo.

Construir un drenaje sanitario y canales de desagüe para evitar inundaciones.

Sin embargo, también habrá que tener en cuenta algunos impedimentos.

3.5.3 Impedimentos de carácter general para la consecución de los objetivos

(a) De propiedad: Las actividades relacionadas con los usos posteriores al cierre de la mina se encuentran estrictamente ligados a los intereses del propietario final de la misma. Por ejemplo, en el caso de una mina que se encontrase inundada con agua de buena calidad, que sea un beneficio para la población cercana, el municipio tiene la obligación de generar todas las facilidades para conservar la mina con el estatus de “activa” para posteriormente hacer uso de ese recurso. Por lo tanto, es importante contar con el apoyo del propietario del sitio (Tomado de la Dirección de Ecología, 2018).

(b) De cierre: Existen sitios administrativamente cerrados y/o abandonados. En ambos casos, la responsabilidad legal de las labores puede ser estatal, municipal, empresarial o mixta para las acciones de remediación del sitio.

(c) Ambientales: En zonas mineras abandonadas, donde comúnmente se extrajo material pétreo, es indispensable determinar un uso posterior a las operaciones mineras, proponiendo un programa de rehabilitación de minas con el objetivo de lograr la sostenibilidad y supervivencia de los ecosistemas (tomado de Macancela, 2014)

Atendiendo a que, los espacios degradados se encuentran eminentemente cercanos al área urbana y cuentan con líneas de conexión; de ahí la importancia de que, sí se rehabilitaran, se facilitaría el desarrollo de actividades recreativas y deportivas, especialmente para la población joven del sitio, desarrollando una empatía con el entorno haciendo participe de la funcionalidad de estas áreas verdes a toda la comunidad.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Inventario de socavones o minas del perímetro de estudio

Los diferentes enfoques usados para elaborar la presente guía están orientados a la búsqueda de desarrollar un paisaje atractivo y saludable, con la intención de sustituir al que no lo está, pretendiendo fortalecer la resiliencia y la funcionalidad ambiental del sitio impactado, para ello se puso en práctica un mosaico de técnicas (geotecnológicas, urbanas, ecológicas y arquitectónicas) para fortalecer la capacidad de recuperación de los paisajes.

De acuerdo al proceso metodológico descrito en el Capítulo 3, la primera etapa metodológica: descripción de los elementos físicos y sociales del área de estudio mediante el método geográfico; aportó el estado actual del sitio (Capítulo 2) para la ejecución de las subsecuentes etapas.

El proceso de obtención del inventario de socavones, tanto activos como inactivos, indicó el predominio de canteras o minas a cielo abierto. Los materiales obtenidos en canteras son los áridos, y las rocas ornamentales, generalmente utilizadas para la industria de la construcción. Se comprobó que respondían a un esquema de explotación mediante bancos y bermas.

La secuencia de explotación que se propone en el área de estudio es la siguiente: 1) retirada de la cubierta vegetal; 2) arranque del recubrimiento; 3) explotación de la capa y 4) restauración y/o rehabilitación, de esta primera etapa se obtuvo un mapa que muestra puntualmente el inventario de socavones (resultados de este subacápite fueron divulgados por el autor como parte de los requisitos del programa de doctorado en Valencia et al., 2022).

En total se inventariaron 76 socavones entre activos e inactivos en el año 2021 (Figura 4.4). En la Tabla 4.1 se representan únicamente los datos de los sitios que actualmente están abandonados o en su etapa final de explotación mientras que, en el caso de los que se encuentran activos o en una etapa de inspección, se optó por mantenerlos como datos adicionales de la investigación.

Hay que resaltar que el archivo en formato shapefile del año 2017 contiene información de 63 socavones registrados mientras que, para el año 2020, ya se contaba con 13 socavones activos más, es decir, en el periodo que comprende de 2017 a 2020 (3 años), se incrementó la actividad de extracción minera cerca de un 8% con respecto al 2017.

Asimismo, para el año 2017 de los 6 socavones muestra 4, estaban abandonados y 2 en etapa final, para el año 2020 ya se encontraban los 6 totalmente abandonados, y a ellos se le anexaron otros 6 en etapa final, teniendo como resultado un total de 6 abandonados y 6 en etapa de extracción final.

Tabla 4.1. Socavones abandonados y en etapa final de extracción de materiales.

Nombre de la mina	Coordenada Norte	Coordenada Este	Estado Actual	Material extraído	Año de inicio de actividad	Fuente
Sin nombre	19°12'12"	99°35'27.72"	Abandonada	Arena	2009	Valencia, (2017)
Sin nombre	19°10'33"	99°35'10"	Abandonada	Arena y grava	2012	Valencia, (2017)
Sin nombre	19°12'3"	99°36'9"	Abandonada	Tepojal	2009	Valencia, (2017)
Sin nombre	19°10'25"	99°36'46"	Abandonada	Arena y grava	2006	Valencia, (2017)
Sin nombre	19°9'53"	99°38'42"	Abandonada	Tepojal	2007	Valencia, (2017)
Sin nombre	19°8'44"	99°35'54"	Abandonada	Arena y grava	2013	Valencia, (2017)
Sin nombre	19°8'48"	99°36'24"	Etapa Final	Arena y grava	2015	Visita de campo 2021
Sin nombre	19°9'40"	99°36'36"	Etapa Final	Arena y grava	2015	Visita de campo 2021

Sin nombre	19°9'25"	99°38'19"	Etapa Final	Arena	2015	Visita de campo 2021
Sin nombre	19°9'35"	99°36'02"	Etapa Final	Tepojal	2017	Visita de campo 2021
Sin nombre	19°9'35"	99°36'16"	Etapa Final	Tepojal y piedra braza.	2016	Visita de campo 2021
Sin nombre	19°10'58"	99°37'17"	Etapa Final	Arena y grava	2015	Visita de campo 2021

La información se pudo validar en campo mediante técnicas de observación directa, levantamiento de datos (GPS) y entrevistas con personas encargadas de estas áreas (Figura 4.1).

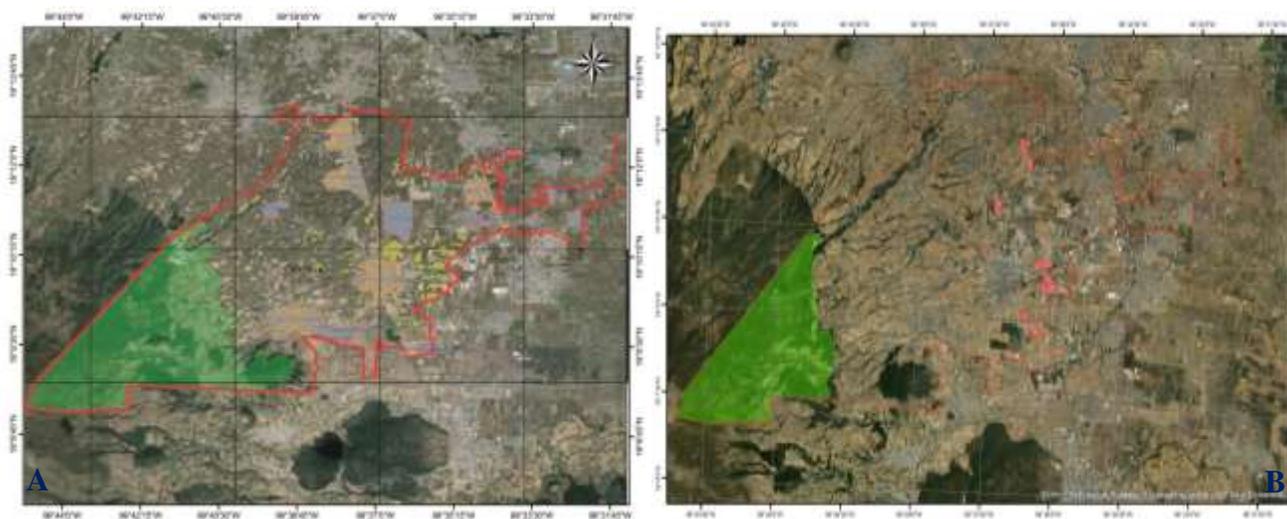


Figura 4.1. Contexto de la minería en Calimaya 2017-2020, donde se muestra en la figura A (izquierda), parte de los socavones mineros para el año 2017, en la figura B (derecha) se encuentran marcados en rojo los 12 socavones entre abandonados y en etapa final del año 2021 producto de esta investigación.

En la Figura 4.2 se muestra la secuencia de cambios morfológicos en el terreno de una mina abandonada en el año 2020, como ejemplo de las posibles consecuencias, de un mal manejo en la fase posterior a la explotación minera.



Figura 4.2. Secuencia de cambios morfológicos en el terreno de una mina abandonada a través del tiempo de izquierda a derecha año 2006,2012 y 2020.

Hacia el año 1960 comienza una crisis en el campo, originada por diferentes circunstancias. Como la migración, el derecho a la propiedad ejidal y la creación de corredores industriales ubicados en Toluca, capital del Estado de México, por lo que las poblaciones cercanas, entre ellas la de Calimaya, abandonan las tierras en busca de una mejora económica.

Pero con el surgimiento de la renta de tierras a particulares a finales de la década del año 1994, se inicia la explotación minera no regulada para la extracción de materiales pétreos, con la finalidad de crear conjuntos habitacionales que redundasen en una prosperidad económica para el municipio, aunque algunos de estos sitios resultaron en zonas abandonadas. De los 76 socavones inventariados, 6 se encuentran en una etapa totalmente de abandono (Tablas 4.1, 4.2 y 4.3).

La tabla 4.2 muestra un resumen de 10 socavones activos de un total de 76 para el municipio de Calimaya. Parte de la información fue recabada del Directorio de Minas registradas del Estado de México 2010-2012 (Secretaría de medio ambiente, 2012), la información hasta el 2021 fue completada con trabajo de campo y empleo de GPS.

Tabla 4.2. Ejemplo de 10 socavones activos de un total de 76.

Mineral extraído	Nombre de la mina	Actividad	Ubicación	Coordenada Este	Coordenada Norte
Arena, Grava	Ocho y medio	Extracción, clasificación y venta	Camino a San Marcos S/N, Calimaya	434600	2119350
Arena, Grava	Pedrera la Joya	Extracción, clasificación y venta	0.5 km al N29° de la cabecera municipal	435254	2119571
Arena, Grava	La ladera	Extracción, clasificación y venta	La Ladera, Pueblo San Marcos De La Cruz	430741	2121881
Arena, Grava	La palma	Clasificación y venta	Paraje las Palmas, San Andrés Ocotlán	437358	2119942
Arena, Grava	Procesadora Santa María	Clasificación y venta	Ojo de agua, Calimaya	428842	2120445
Arena, Grava	San Miguel, la estación	Clasificación y venta	Calle castillo, Calimaya.	430379	2121652
Arena, Grava, Tepojal	Las Canoas	Clasificación y venta	Cerro de las canoas, Calimaya	428357	2120281
Arena, Grava	Procesadora, San Gabriel	Clasificación y venta	Paraje La Vía, Municipio de Calimaya	436485	2119018
Arena, Grava	Agregados Calimaya	Clasificación y venta	San Andrés Ocotlán	438340	2120348
Arena, Grava	Mina Barranquillas	Clasificación y venta	Paraje (las palmas) Barranquilla	436886	2118185

Tabla 4.3. Vista de un fragmento de la base de datos en SIG que tabula a los 76 socavones mineros que hasta el año 2021 estaban activos en el municipio de Calimaya.

c12_minas_de_restauración_Bu1							
Perimetro	FID_1	POINT_X	POINT_Y	Latitud_N	Longitud_E	Tipo_Res	no_minas
1355,858042	6	436188,874422	2117187,63275	19° 8' 48.679" N	99° 36' 24.507" W	Reducción de impactos	65
1052,05457	8	435839,623723	2117671,82122	19° 9' 4.392" N	99° 36' 36.520" W	Reducción de impactos	66
697,661438	15	432838,132163	2118343,63923	19° 9' 25.899" N	99° 38' 19.356" W	Rehabilitación	67
1664,811833	22	436844,685905	2118616,09446	19° 9' 35.226" N	99° 36' 2.225" W	Remediación	68
914,835526	23	436426,643402	2118608,15695	19° 9' 34.920" N	99° 36' 16.536" W	Reducción de impactos	69
1259,146799	25	436601,268752	2118915,07423	19° 9' 44.925" N	99° 36' 10.594" W	Reducción de impactos	70
733,640959	27	432780,104512	2119148,65768	19° 9' 52.082" N	99° 38' 21.443" W	Rehabilitación	71
1579,06362	32	436380,043569	2119368,57097	19° 9' 59.654" N	99° 36' 18.221" W	Reducción de impactos	72
829,763468	41	434229,999825	2119733,48587	19° 10' 11.279" N	99° 37' 31.876" W	Reducción de impactos	73
1137,892505	67	434660,097755	2121191,36286	19° 10' 58.758" N	99° 37' 17.329" W	Reducción de impactos	74
1028,260137	69	435801,777122	2122541,74598	19° 11' 42.822" N	99° 36' 38.400" W	Reducción de impactos	75
1819,6644	72	435536,664091	2123041,80948	19° 11' 59.060" N	99° 36' 47.538" W	Rehabilitación	76

La Figura 4.3, representa la realidad en los últimos 10 años para el municipio. El gráfico indica, que existen para el año 2020, 6 socavones en condición de abandono, esta información indica la prioridad de trabajo a corto plazo.

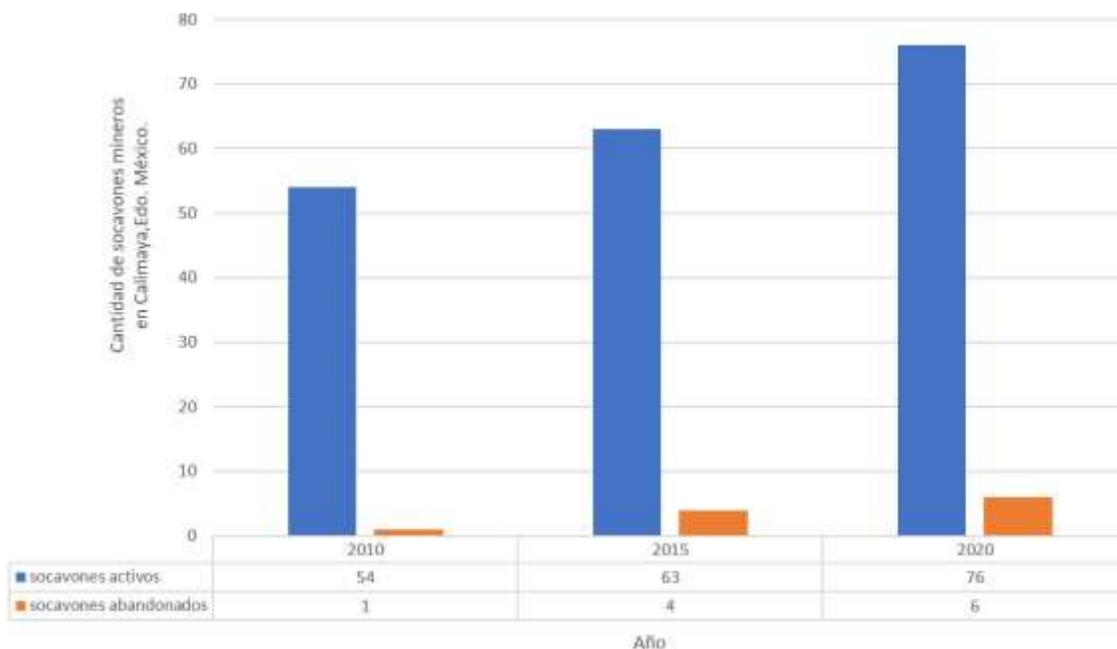


Figura 4.3. Análisis del avance de la actividad minera para el municipio de Calimaya, periodo 2010-2020.

Una vez determinado el avance de la actividad minera se presenta el inventario de socavones, de él se desprende la descripción de 12 de las 76 minas contabilizadas desde el año 2017 a 2022, (Figura 4.4 y Tabla 4.4). Donde se usaron únicamente 12 minas, puesto que las mismas se encuentran en la etapa final de extracción o ya han sido abandonadas.

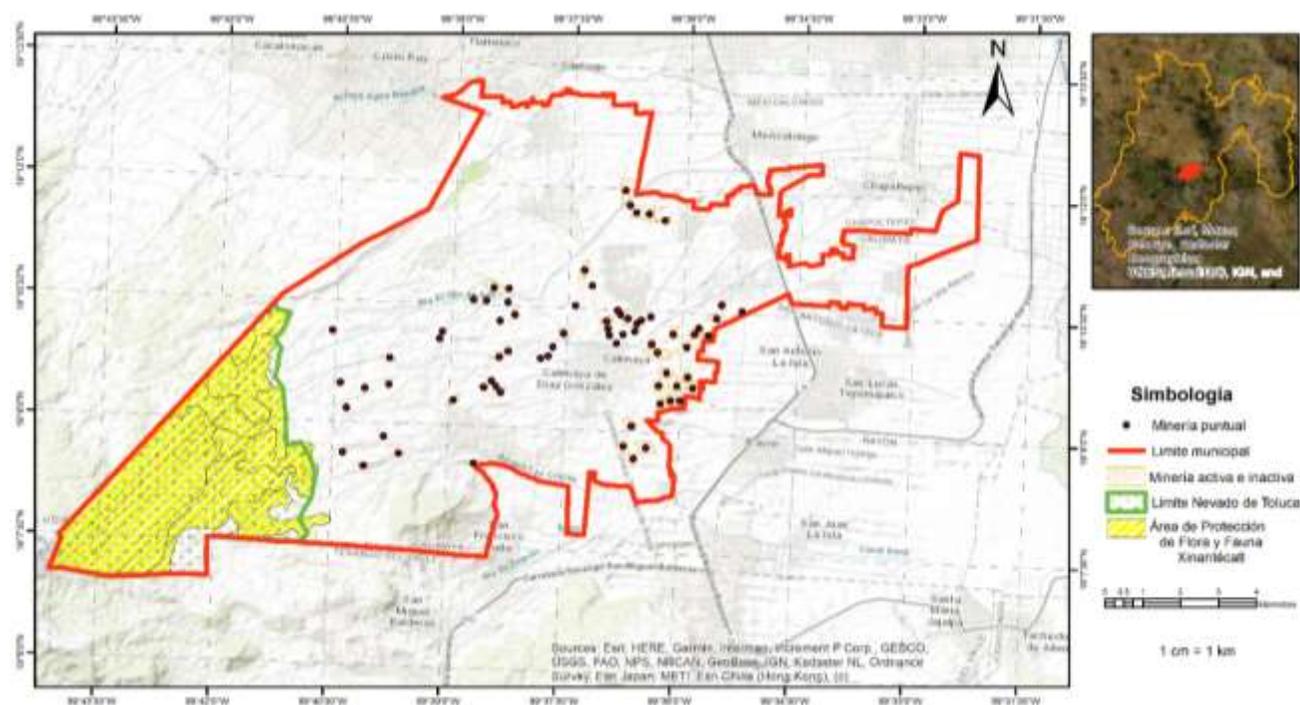


Figura 4.4. Minas contabilizadas en el municipio de Calimaya, estado de México periodo 2019-2022.

Asimismo, se muestran variables como la localización de estos sitios, donde probablemente alguno, cumpla con las condiciones para la implementación de parques urbanos sustentables.

Las minas donde se propone la reducción de impactos por rangos de unidades de paisaje, son mostradas principalmente en la zona centro del municipio. Como resultado del análisis mediante técnicas de fotointerpretación y vistas de campo se pudieron establecer 12 minas entre abandonadas (6) y en etapa final del proceso de extracción (6) dando un total de 12 minas, donde 8 se sugiere para la reducción de impactos, 1 para la actividad de remediación y 3 para la rehabilitación ambiental a través de parques urbanos sustentables (Tabla 4.4 y Figura 4.5).

Tabla 4.4. Áreas de propuesta para acciones restaurativas en sitios de minería a cielo abierto, Calimaya estado de México.

Mina	Localización	Unidades de paisaje				Acción restaurativa
		Urbana	Bosque nativo	Agricultura de temporal	Agricultura de riego e invernadero	
1	E:436188.874422 N:2117187.63275	70	20	10	0	Reducción de impactos
2	E:436188.874422 N:2117187.63275	60	10	20	0	Reducción de impactos
3	E:436188.874422 N:2117187.63275	50	20	30	0	Reducción de impactos
4	E:436188.874422 N:2117187.63275	40	30	15	15	Reducción de impactos
5	E:436188.874422 N:2117187.63275	30	30	25	15	Reducción de impactos
6	E:436188.874422 N:2117187.63275	30	25	25	20	Reducción de impactos
7	E:436188.874422 N:2117187.63275	25	25	25	25	Reducción de impactos
8	E:436188.874422 N:2117187.63275	20	20	40	20	Reducción de impactos
9	E:436188.874422 N:2117187.63275	10	60	20	10	Remediación
10	E:436188.874422 N:2117187.63275	5	60	25	10	Rehabilitación
11	E:436188.874422 N:2117187.63275	15	50	15	10	Rehabilitación
12	E:436188.9067 N:2118196.63	20	60	10	10	Rehabilitación

Asimismo, se consideró, en el presente trabajo, un área de influencia de afectación no mayor a 0.5 km, teniendo en cuenta que todo lo que se encuentre dentro de estos primeros 500 metros serán las zonas que mayores alteraciones directas e indirectas tendrán, esto debido a que son áreas muy cercanas al problema

ambiental identificado, derivado de la extracción minera.

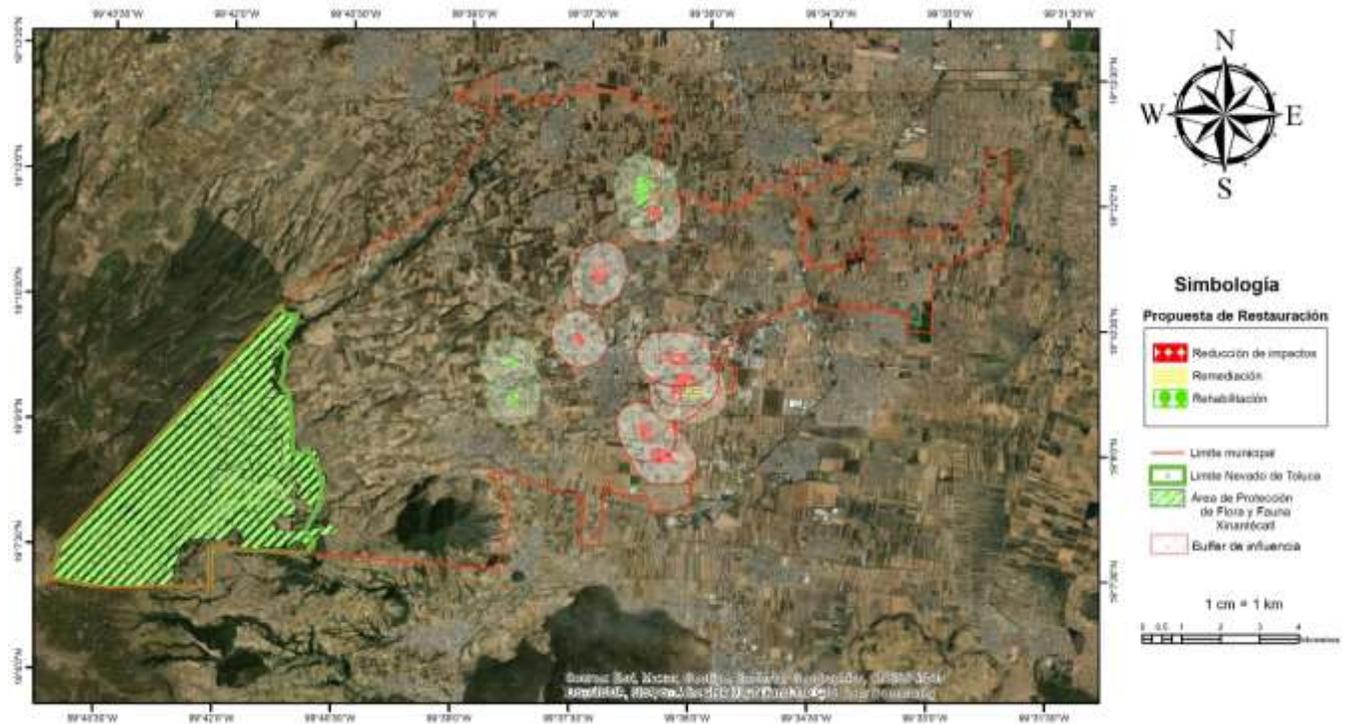


Figura 4.5. Áreas de influencia cercanas a las áreas mineras.

Recordando que existen cuatro pasos de acción en espacios degradados los cuales son 1) reducción de impactos, 2) remediación, 3) rehabilitación, y 4) restauración ecológica. Y que para cada acción restaurativa se sugiere se lleve a cabo en diferentes hábitats, el primer paso consiste en reducir los impactos sociales y el mejoramiento del manejo del ecosistema afectado. Es decir, esta es la etapa básica por así decirlo, ya que las acciones pretenden detener la actividad que genera el problema, evitando el avance de la perturbación.

El segundo paso considera la remediación a través de la reparación de las funciones del ecosistema actual, en ella se busca además de detener la actividad perturbadora, integrar elementos que ayuden al ecosistema afectado a superar las alteraciones propensas por la actividad que daña al entorno. En esta fase, es necesario analizar variables como la cercanía de las perturbaciones con factores de interés como las zonas urbanas, las áreas de cultivo, o la vegetación nativa con

la finalidad de proponer acciones o actividades que ayuden a mejorar visualmente el espacio.

El tercer paso consiste en rehabilitar los ecosistemas a través de la recuperación de especies nativas (de acuerdo a Etecé, 2022), se dice que una especie animal, vegetal o de otro tipo se considera nativa cuando es originaria de un sitio geográfico determinado, o sea, que es oriunda de esa región sin intervención humana de ningún tipo), además de haber logrado los dos puntos anteriores se debe considerar la variable del “tiempo” que tomará dicho proceso, sumándole a ello el costo y la participación ciudadana.

Como ya se ha mencionado el cuarto paso es el más complejo, dirigido a la restauración ecológica ya sea parcial o completa del sitio, resulta compleja incluso para áreas pequeñas debido a que además del tiempo, es necesaria la financiación económica para lograr la funcionalidad y restauración del ecosistema, financiación que resulto compleja en el presente trabajo.

Dando como resultado lo siguiente:

Resumiendo, entonces en este capítulo se ha realizado un inventario de socavones general dando como resultado un total de 76 entre activos e inactivos, de los cuales 12 ya se encuentran en etapas de cierre o abandono, asimismo la actividad de extracción no regulada ira incrementando, esto, si no se ejecutan acciones de mitigación, remediación o rehabilitación.

De ello se desprende una clasificación de probables acciones remediadoras ya ubicadas y mostradas en la (Figura 4.6).

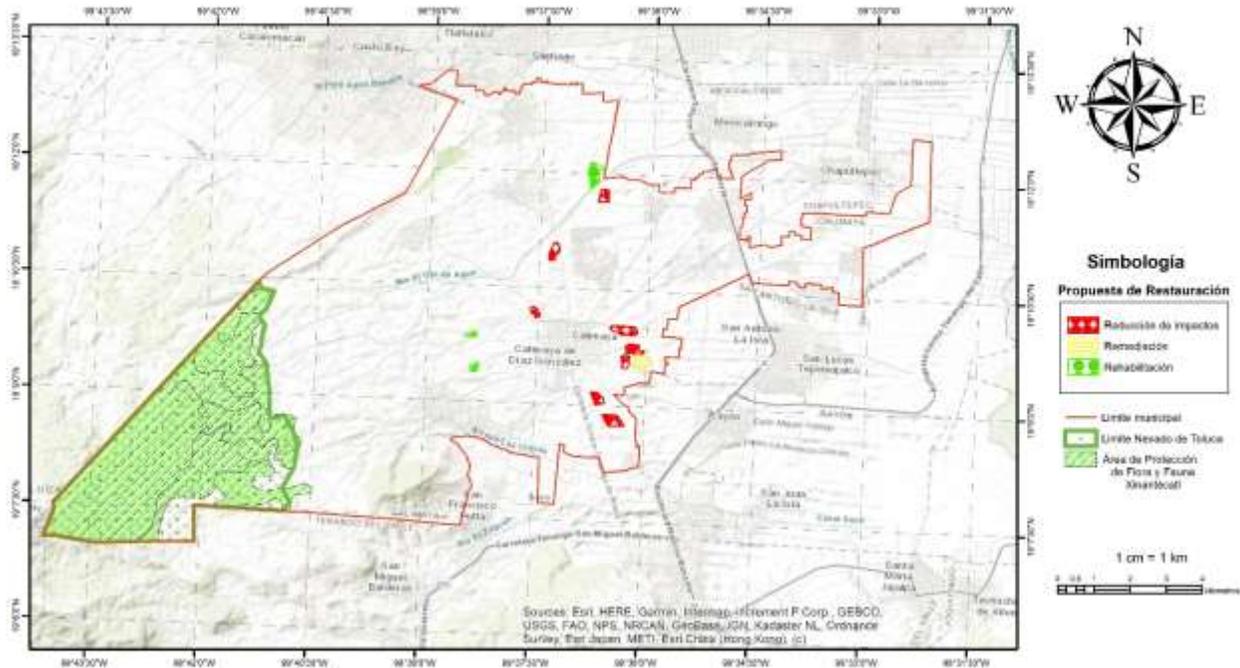


Figura 4.6. Distribución de acciones remediadoras en zonas de minería a cielo abierto derivado del inventario de socavones.

Como propuesta para la implementación de acciones remediadoras en áreas de extracción minera, se dio a la tarea de reunir el día 27 de junio de 2021 a los dueños directos de las minas afectadas, aunado a ello se realizaron 8 visitas a campo, con el fin de mostrar estos resultados preliminares a los encargados, sin embargo, se tuvo una baja, si no es que nula participación por parte de los dueños en la zona afectada por extracción de los recursos pétreos.

El día 04 de julio de 2021, se pudo entablar un dialogo con 2 de los 6 encargados de los socavones abandonados, y de los otros 6 en etapa final, simplemente no se logró el contacto. Se realizó un sondeo también con una buena participación de los actores afectados; es decir la población en general, esto se debe a que dentro de los socavones no hay un dueño directo, sino que un encargado del área de extracción. Lo anterior deriva, en la dificultad para realizar los contactos necesarios.

La negativa de acercamiento por parte de los concesionarios de las minas,

probablemente parta del vacío legal a nivel federal presente en la ley Minera, mismo que en su artículo 5 inciso 4 establece que “Las rocas o derivados de la desintegración de las mismas, que se puedan utilizar para la fabricación de materiales para la construcción o bien se reserven para este fin”, se exceptúen de la presente ley, por lo tanto, no se obliga a nivel federal al concesionario a restaurar la zona de impacto una vez que acabe el proceso de extracción, derogando las acciones correctivas al Estado donde se encuentre la actividad de extracción, o por el contrario asignándole esa responsabilidad al municipio, mismo que la gran mayoría de las veces carece de personal para darle seguimiento a esta actividad, como es el caso de Calimaya, estado de México (Figura 4.7.)



Figura 4.7. Vista de una mina a cielo abierto y el encargado del área, 2021. Si bien existen diferentes justificaciones con respecto al estudio de la zona, justificaciones que van desde la rápida urbanización que está ejerciendo presión sobre los suministros de agua dulce, las aguas residuales, el entorno de vida, la salud pública y los ecosistemas, hasta la pérdida de tierras cultivables provocada por la desertificación que generan las actividades humanas como la minería, urbanización y la tala clandestina, situaciones que aquejan al municipio de Calimaya.

Sin embargo, para el presente ejercicio se han evaluado los espacios destinados a la extracción de recursos para la construcción, con materiales como arena, grava y piedra pómez. El tiempo de estudio parte desde el año 2016, y se ha dado como resultado hasta el año 2021 un total de 76 socavones mineros entre activos e

inactivos.

Si bien la actividad minera en el área de estudio tiene más de 30 años, en los últimos 15 años se ha intensificado por la aceleración creciente de complejos habitacionales lo cual demanda un número mayor de recursos para la construcción de los cuales un total de 12 están en etapa de cierre o en abandono, lo más importante es que, se ha logrado proponer acciones encaminadas a la restauración en los 12, y aunque se han contabilizado en campo los socavones mineros, ahora se procederá a determinar que socavones se encuentran cerca de áreas potenciales para la futura instauración de parques urbanos sustentables.

4.2. Áreas potenciales para la instauración de parques urbanos sustentables

El objetivo de este proceso fue elaborar un mapa de ubicación de áreas potenciales para la implementación de parques urbanos sustentables en Calimaya estado de México (Figura 4.8).

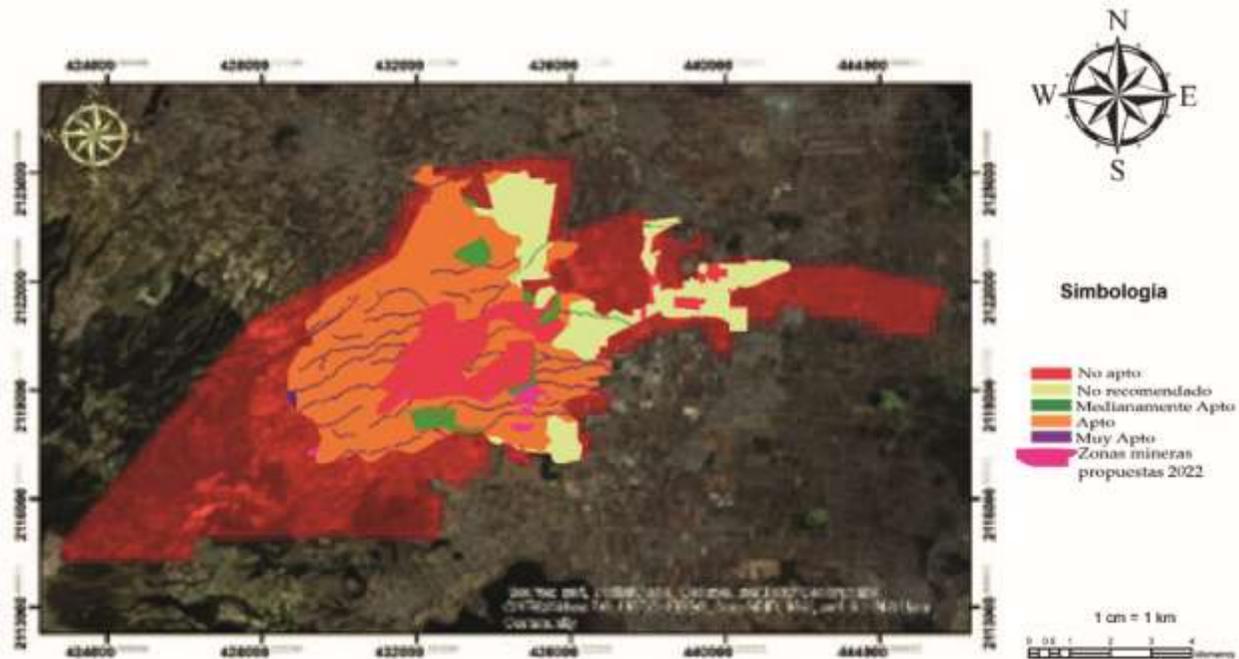


Figura 4.8. Ubicación de áreas potenciales para la implementación de parques urbanos sustentables.

En este mapa se muestran en variación de color las diferentes áreas aptas para la futura implementación de parques urbanos sustentables, habiéndose clasificado en 5 categorías.

El color rojo que representa los sitios no aptos en él se presentan la concentración poblacional, es decir prácticamente ya no se puede implementar un parque urbano sustentable, debido a que ya todo ese territorio está siendo ocupado por unidades habitacionales.

En el color amarillo se muestran los sitios no recomendados, y son aquellos que presentan variables como las vías de acceso y zonas donde aún se está extrayendo material pétreo, por lo tanto, no se recomienda al menos por el momento.

El verde representa áreas medianamente aptas, puesto que exhibe la mayoría de los elementos que se necesitan para la implementación de parques urbanos, sin embargo, la lejanía con respecto a los asentamientos humanos hace que no se considere aun un sitio potencial.

Finalmente, las zonas aptas y muy aptas son las áreas en donde se cumple con todos los requisitos propuestos.

4.3. Zonas mineras a cielo abierto en Calimaya, Estado de México. Empleando sensores remotos

Los resultados del análisis de comparación de bandas multiespectrales e índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI, para el monitoreo de cambios en el paisaje por presencia de actividad minera a cielo abierto, indican que las variables más importantes, en orden creciente, son: color, textura, forma y conexión espacial.

Interpretación del color en índices aplicados a zonas de actividad minera en Calimaya.

El cambio de color es la característica que resulta más evidente a la vista, al momento de aplicar tratamiento a imágenes de satélite con NDVI en áreas mineras expuestas a cielo abierto en Calimaya.

Lo anterior, debido a que este parámetro revela que el ojo humano es más sensible a las variaciones cromáticas, que, a la intensidad luminosa, es decir, el ojo es más sensible al cambio entre colores que componen a una combinación específica (Figura 4.9).



Figura 4.9. Representación de la variable color en zonas de minería a cielo abierto, Calimaya. Estado de México.

La información obtenida del tratamiento de imágenes de los sensores Landsat y Sentinel, muestra la variable de color para la minería a cielo abierto, esta misma característica hace posible detectar zonas de agricultura de riego establecidas en Calimaya.

Como se observa en la Figura 4.3.1, sobre todo en la imagen tratada (Figura 4.3.1 B), las áreas de concurrencias dentro del círculo revelan cambios perceptibles a simple vista derivado del cambio en los colores con respecto al resto del entorno, resaltando el color café oscuro para las zonas de extracción.

Mientras tanto en la imagen a escala de grises (Figura 4.3.1. A), los cambios en el terreno por actividad minera no pueden ser percibidos a simple vista, derivado de que aún no se ha realizado ningún tratamiento de bandas multiespectrales para detonar el color en estos sitios.

Variabilidad de textura en zonas de actividad minera en Calimaya

Como se ha mencionado esta característica representa la heterogeneidad de una determinada cobertura y al contraste espacial entre los elementos que la

componen.

Cuando no hay composición de color o tratamiento de bandas en la imagen del sensor, resulta importante entender la escala de grises (Figura 4.10), que permitirá definir si existe una alta heterogeneidad en los niveles de tonalidad.

Para el caso de estudio, una vez iniciado el proceso de extracción minera la primera capa que desaparece, es la que contiene la cobertura vegetal, por lo tanto, la variable textura para los valores de reflectancia en las imágenes Landsat como Sentinel usadas en el presente trabajo resultarán en tonos claros a lo cual se les conoce como texturas ligeras, mientras que las áreas destinadas a la agricultura, pastizales o bosque, serán de textura rugosa.

Sin embargo, no bastará con analizar la variable textura o color, puesto que, si no se realiza un trabajo de validación en campo, puede llegar a confundirse con zonas urbanas y fallar en la interpretación del investigador.



Figura 4.10. Variable textura en zonas mineras a Cielo Abierto.

Variabilidad de Forma

En teledetección la forma es determinante para la identificación de ciertas coberturas, por ejemplo, a través de la forma se puede identificar la traza urbana o bien, las áreas de cultivo derivadas del contorno, mismo que permite ser

asimilado desde la visión del evaluador.

La forma permite reconocer los objetos y la función específica que tienen; esta característica generalmente se estudia asociada con la variable del tamaño realizando un análisis en conjunto.

Conexión espacial en Calimaya

Castellanos (2016), la define como una característica importante para la identificación de una cobertura. Y tiene como finalidad la localización de una cobertura en relación a elementos vecinos.

Creación de escenas NDVI

Durante el desarrollo metodológico del presente trabajo se ha enfatizado en el uso de la técnica de clasificación de suelo NDVI creada a partir de la imagen Landsat 8, teniendo como objetivo el localizar y centrarse en áreas donde se encuentre vegetación poco saludable o bien sin cobertura vegetal (Figura 4.11).

Teniendo como antecedente dos recorridos previos en campo, mismos que pudieron aprobar el supuesto de que en las áreas clasificadas como vegetación poco saludable se encontraban el 90 % de áreas de extracción minera, mientras que en las zonas clasificadas como; sin cobertura vegetal estaban siendo ocupadas por zonas urbanas, suburbanas y áreas de cultivo.

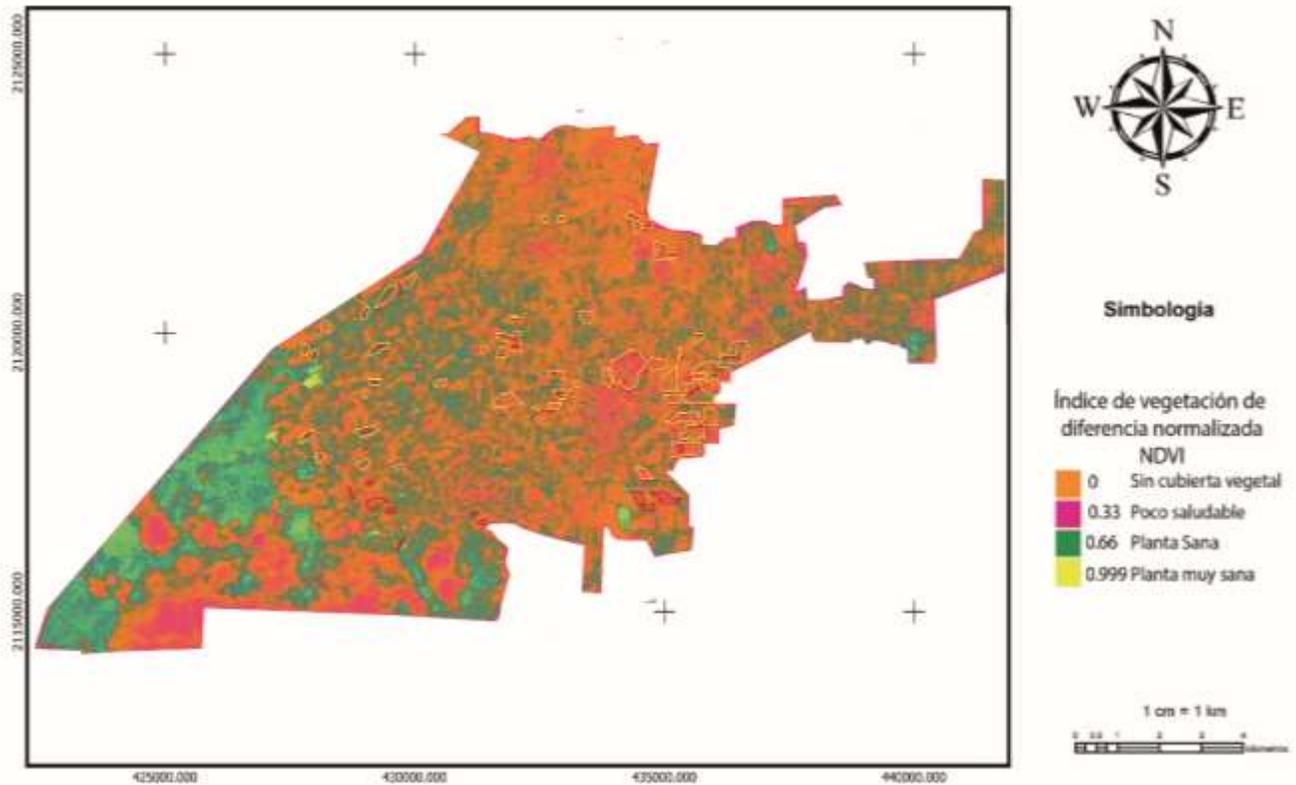


Figura 4.11. Escena NDVI LANDSAT con fecha de agosto 2021.

El tratamiento de imágenes de satélite obtenidas de sensores remotos, es una técnica que permite obtener información a distancia de los objetos sobre la superficie terrestre sin la necesidad que exista un contacto material y directo con ellos.

Como análisis se muestra la discriminación entre el suelo y la vegetación, reduciendo el efecto del relieve en la caracterización espectral de las diferentes cubiertas.

Posterior al muestreo y tratamiento de la imagen Landsat 8 en función del índice de vegetación de diferencia normalizada, correspondería cargar el archivo shapefile para el año 2017 facilitado por Valencia (2017), el objetivo ahora es analizar si existió un avance en las áreas mineras en el periodo comprendido desde 2017 a 2021.

Resultado de la utilización de combinación de bandas 12/4/2 para la imagen Sentinel 2A se obtuvo que, las áreas mineras sí presentaban un incremento en volumen y en superficie, y eso era posible identificarlo por el cambio de color, la textura, variabilidad de forma y su conexión espacial.

De forma más específica, en la imagen de satélite Sentinel 2A (Figura 4.12), los socavones mineros se tornaban en color azul cian a diferencia de las áreas de cultivo y las zonas urbanas, presenta una textura ligera caracterizada por los tonos claros diferentes a las áreas de bosque.

Por otra parte, la forma de los socavones no está muy bien definida, a diferencia de las áreas de cultivo y las zonas urbanas, y presentan conexión espacial. Concluyéndose que, sí existe un área minera ya explotada será común encontrar en sus colindancias algún indicio de explotación para darle continuidad.

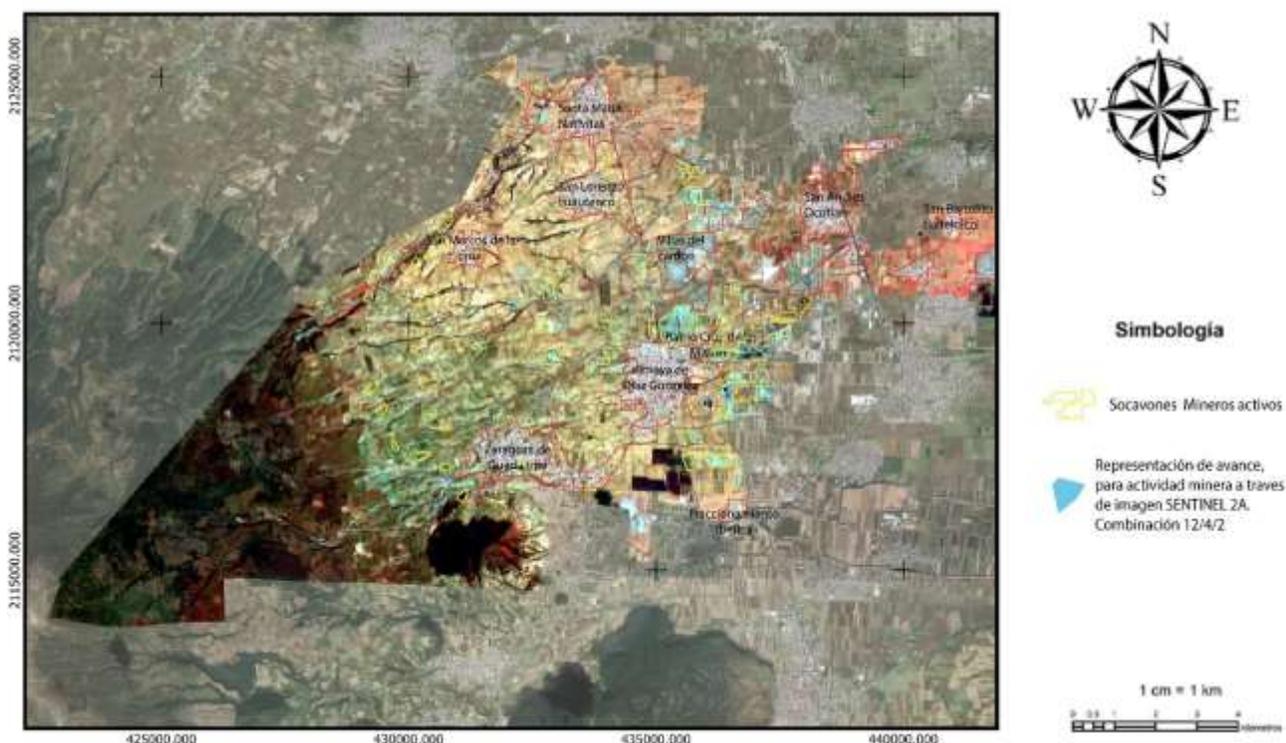


Figura 4.12. Escena de Combinación para Minería 12/4/2 usando imágenes SENTINEL2A diciembre 2021.

Las ventajas que presentan estas herramientas geotecnológicas a los investigadores y las autoridades encargadas del monitoreo y seguimiento de actividades de extracción minera que impactan negativamente al paisaje, es que, pueden minimizar los tiempos y costos de operación, asimismo se pueden generar diferentes formas de seguimiento a distancia sin necesidad de estar constantemente en campo.

Por ejemplo, en el caso de la detección de avance en la extracción minera, se elaboró una combinación de bandas satelitales (12/4/2), a una imagen SENTINEL 2A, dando muy buenos resultados en el monitoreo de minería a cielo abierto de materiales pétreos (Figura 4.13) ya que los recursos aquí mostrados fueron gratuitos permitiendo generar estudios más complejos sin la necesidad de ir al sitio constantemente.

La interpretación de los parámetros pictomorfológicos, son fáciles de comprender y de estandarizar. Por lo que el uso correcto de estas herramientas puede apoyar a los tomadores de decisiones a voltear a ver estas técnicas como indispensables en las fases rehabilitación ambiental con miras a la conservación del paisaje y minimizar el impacto ambiental.

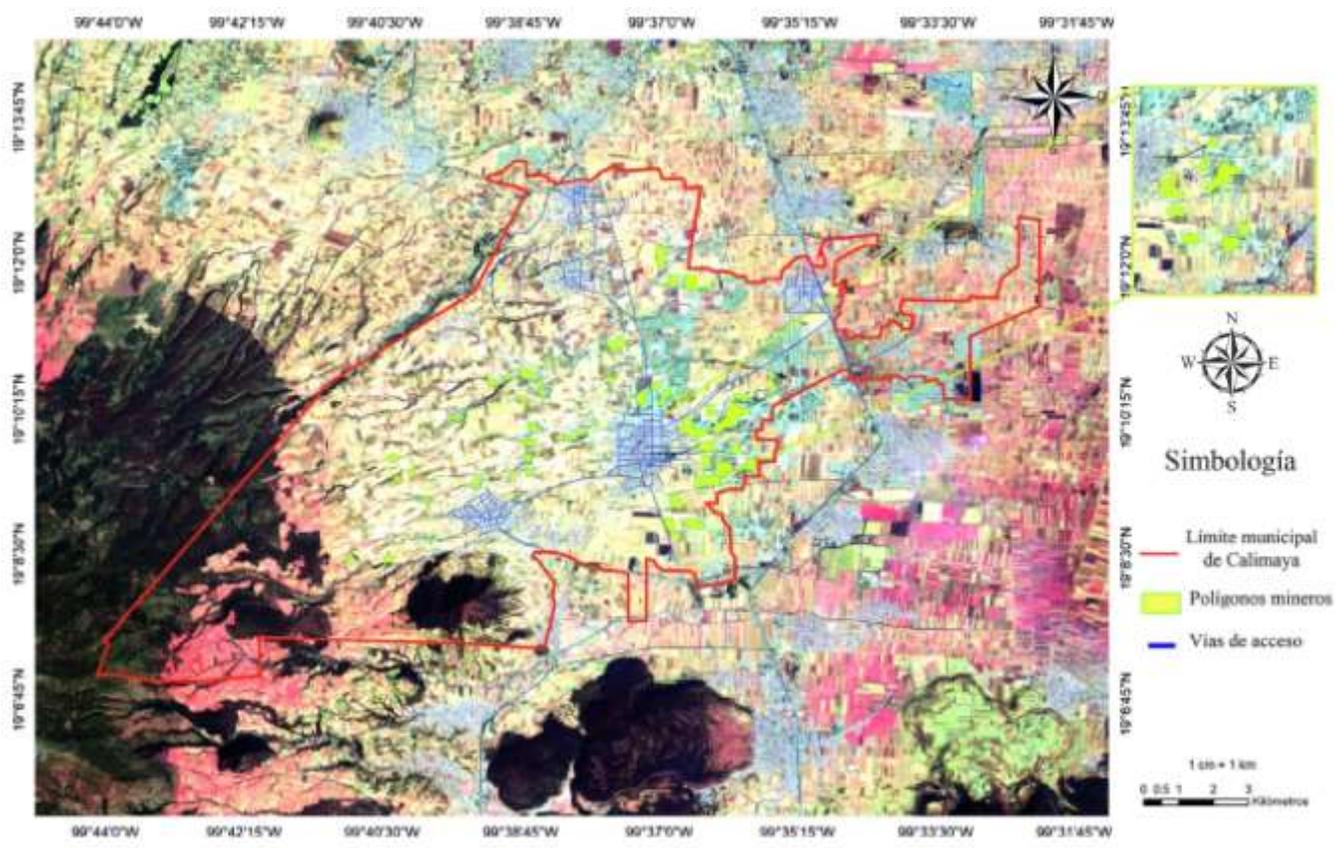


Figura 4.13. Análisis de avance de minería a cielo abierto 2022, mediante técnicas de teledetección y combinación de bandas satelitales Sentinel 2A.

4.4. Propuesta de parque urbano sustentable para el municipio de Calimaya.

Los fundamentos legales, las visitas de campo, las características físico-ambientales de Calimaya sumado a los principios de diseño urbano (Bazant, 2013), así como proyectos de diseño para parques urbanos como el : “modelo interdisciplinario para la planeación y diseño de parques urbanos sustentables en México; un acercamiento humanístico a la concepción del espacio público en la ciudad” (Cabello, 2016) así como “ Diseño de un parque para el municipio de Villa Nueva departamento de Guatemala” (Suchite, 2010) han permitido establecer una serie de principios metodológicos con el objetivo de crear una propuesta de parque urbano sustentable como mecanismo de resiliencia en el área de estudio, así mismo algunos trabajos previos .

4.4.1. Los usuarios por actividad recreativa

De acuerdo a Sánchez (2014), las actividades recreativas son todas las actividades realizadas por el sujeto en el tiempo libre elegidas libremente que le proporcionen placer y desarrollo de la personalidad.

Sin embargo, también es sabido que la actividad recreativa difiere de acuerdo a la capacidad física de actuar y del tipo de preferencias recreativas del ser humano basándose en un grupo social o la edad en la cual se quiere empezar a practicar actividades al aire libre.

La Secretaria de Medio Ambiente a través del programa de estudio sobre Ciudades verdes y sustentables, indica la importancia de valorar a las áreas verdes, desde una óptica estratégica para mejorar la calidad de vida en las ciudades y sus habitantes.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), recalca que se requieren de al menos 16.0m² de áreas verdes por habitante para garantizar su bienestar. Sin embargo, en la actualidad, las ciudades mexicanas presentan en promedio 5.0 m² de área verde, lo que está muy por debajo de lo recomendado por la OMS.

A su vez se estima que el 38 % del total de la población mexicana hace uso de lugares al aire libre tales como áreas verdes, parques, y andadores (Secretaria de Medio Ambiente, 2020). La población total estimada que hará uso de las áreas recreativas, se obtiene de los siguientes datos:

Del total de la población para el año 2020 en Calimaya (68,489 habitantes) se pretende cubrir al menos la necesidad de áreas verdes recreativas para el 50% del total poblacional, es decir 34,244 usuarios.

Tomando en cuenta a las recomendaciones de la Organización mundial de la salud, a Bazant, (2013), y a la Secretaria de Medio Ambiente, (2020) en materia de diseño ambiental urbano, se establece que cada 5,000 m² es un espacio funcional que cubre la necesidad recreativa de 2,000 personas, por lo tanto, para atender la demanda de la población equivalente a 34,244 se necesitarían de 85, 000 m² de áreas recreativas o áreas verdes, situación que se no cumple el municipio de Calimaya, ni algún otro municipio del Estado de México.

Durante el desarrollo de la presente investigación se pudieron obtener una serie de elementos ambientales, sociales y económicos, mismos que han ido adecuándose a las necesidades particulares del municipio de Calimaya en materia de diseño de parques urbanos sustentables, aunado a los trabajos previos como el de Suchite (2010) , Bazant (2013), y Cabello (2016) se tomó a consideración los siguientes elementos a evaluar para la ejecución de parques urbanos sustentables en Calimaya, estado de México.

El primer elemento es el porcentaje de usuarios por cada tipo de actividad recreativa requerida, basándose en el grupo de edad y el porcentaje de la población a atender y participar (Suchite, 2010), donde esta variable permite al diseñador entender el comportamiento en la ocupación de los espacios y áreas a crear ajustándose a las necesidades de la población de Calimaya, en el Estado de México (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Porcentaje de áreas mínimas estimadas para usos en parques urbanos sustentables.

Grupo de edad	Usuarios proyectados por cantidad	Porcentaje a utilizar	Juegos recreativos	Deportes
Menores de 1 año	923 = (2.7%)	n/a	n/a	n/a
De 1 a 5 Años	3933 = (11.5%)	20 %	1,104	
De 5 a 9	3874 =	25 %	1,360	

Años	(11.33%)			
De 10 a 14 años	3858 = (11.28%)	20 %	1,083	433
De 15 a 19 años	4870 = (14.24%)			5,469
De 20 a 29 años	5782 = (15.76%)			268
De 30 a 44 años	6156 = (18.88%)			2,719
De 45 a 59 años	3256 = (9.52%)			1,371
De 60 En adelante	1632 = (4.77%)			115
	34,244	100	3,547	10,375

Fuente: Porcentaje de áreas mínimas estimadas para usos en parques urbanos, sugerido por Suchite, (2010) y en conformidad con la norma 001 (SEDATU, 2020).

Basado en la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEDATU-2020, Espacios públicos en los asentamientos humanos existentes, el área ideal para un parque urbano se encontraría rondando los 5,000 metros cuadrados o su equivalente de 50 x 100 mts.

Así mismo el modelo de parque urbano sustentable, normativamente entra dentro de los denominados espacios públicos con función de equipamiento público.

Estos espacios públicos son componentes determinantes de los centros urbanos y poblaciones rurales, cuya adecuada dotación determina la calidad de vida de las y los habitantes al proporcionarles servicios de bienestar social y apoyo a las actividades económicas, sociales, culturales, recreativas e incluyentes (apuntes compilados en la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEDATU-2020), a través de la rehabilitación de áreas. Se consideran como los espacios donde se llevan a cabo las actividades complementarias a la habitación y el trabajo y a su vez se subdividen en:

- i). Áreas verdes urbanas (Parques, jardines y huertos).
- ii). Plazas (incluye explanadas y canchas deportivas).
- iii). Miradores.

iv). Espacios abiertos en el Equipamiento Público.

Tomando la normativa como base de diseño, el parque debe tener un radio de influencia o radio de servicio se encontrarían en los rangos de 2.5 kilómetros a 8 kilómetros, por los accesos inmediatos y por el tiempo de traslado al parque en mención.

En las Tablas 4.6 y 4.7 se muestran los horarios promedio de uso por grupos de edad y los porcentajes de áreas destinadas a usuarios, para este caso se consideran apropiadas las propuestas de Suchite (2010) y Cabello (2016).

Tabla 4.6. Horarios de ocupación por grupo de edad.

Grupos de edad	Etapas	Horas ocupadas
1-5 años	Maternal	12 a 15
De 5 a 20 años	Escolar	10 a 14
De 20 a 45 Años	Laboral	6 a 8
De 45 a 65 Años	Descanso	14 a 16

Fuente: Propuesto por Suchite (2010) y Cabello (2016).

Tabla 4.7. Áreas de distribución por espacio para una cantidad de usuarios mínima.

Espacio	Característica	Cantidad de usuarios
Área de recreo infantil	Frecuencia de uso	10 % de población diaria
	Radio influencia	150.00 metros
	Área mínima	4.00 m ² por niño
Áreas de recreo Deportiva	Frecuencia de uso	25% de la población se deberá ver beneficiada
Áreas verdes	Radio influencia	De 400 a 700 m

Fuente: Propuesto por Suchite (2010) y Cabello (2016).

4.4.2. Los aspectos morfológicos para el diseño de parques urbanos sustentables

La morfología del sitio es la base del diseño a la hora de realizar la propuesta de parques urbanos sustentables. Como se pudo detectar en la investigación, la población asentada en el municipio de Calimaya, a lo largo de los últimos 20 años ha ido cambiando requiriendo cada vez, más servicios sobre todo por la inmigración que ha venido a alterar el entorno paisajístico de la comunidad recibiendo poblaciones de otros sectores, lo que genera una mayor diversidad cultural. Este último elemento, permite al diseñador proponer no solo especies nativas o endémicas, sino que también intentar mejorar las áreas verdes con especies introducidas, en caso de requerirse (Suchite,2010).

De acuerdo a las teorías de diseño arquitectónico mostradas por Arqhys (2021), mediante las cuales se han elaborado estructuras, edificaciones, ciudades o elementos urbanísticos que han marcado la historia. establece la siguiente clasificación de diseño:

El diseño pragmático: *“Este diseño brinda las soluciones idóneas para solucionar un problema utilizando como materiales los que son propios de la región, o sea, los materiales que se encuentran a su alcance, por ende, es el más usado en la actualidad”* (Arqhys, 2021).

El diseño icónico: *“este se basa en diseño de formas ensayadas y aceptadas, no es un diseño de tipo creativo ni original, son copias o imitaciones de edificios existentes”* (Arqhys, 2021).

El diseño análogo: *“se enfoca en la creatividad y tiene su origen en campos de la arquitectura y urbanismo basándose en la integración funcional y la naturaleza donde se estará integrando”* (Arqhys, 2021).

Diseño canónico: Este tipo de diseño se inclina a lo intelectual, y a los diferentes principios que caracteriza una obra entre lo cual se puede mencionar la regularidad, el orden y la esquematización (Arqhys, 2021).

Para la presente guía metodológica de diseño de parques urbanos sustentables en el municipio de Calimaya, estado de México se usará el método de diseño canónico. Para ello es

importante partir del análisis geográfico y posición del sol para orientar correctamente el proyecto (Figura 4.14 y Figura 4.15) (de la Tabla 4.8 a la 4.14).

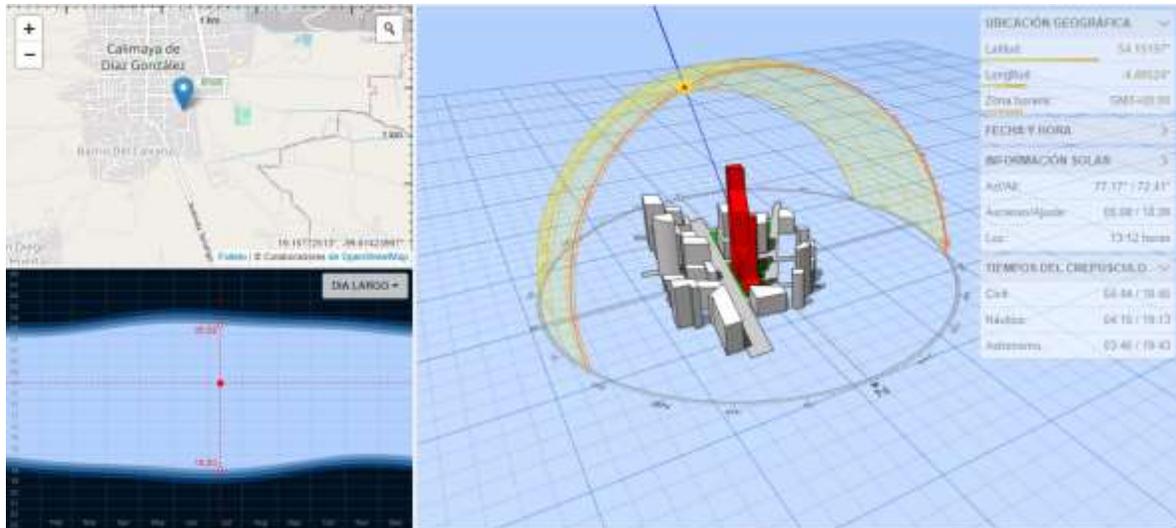


Figura 4.14. Análisis solar para la correcta orientación del diseño de parques urbanos sustentables para el Municipio de Calimaya, Estado de México.

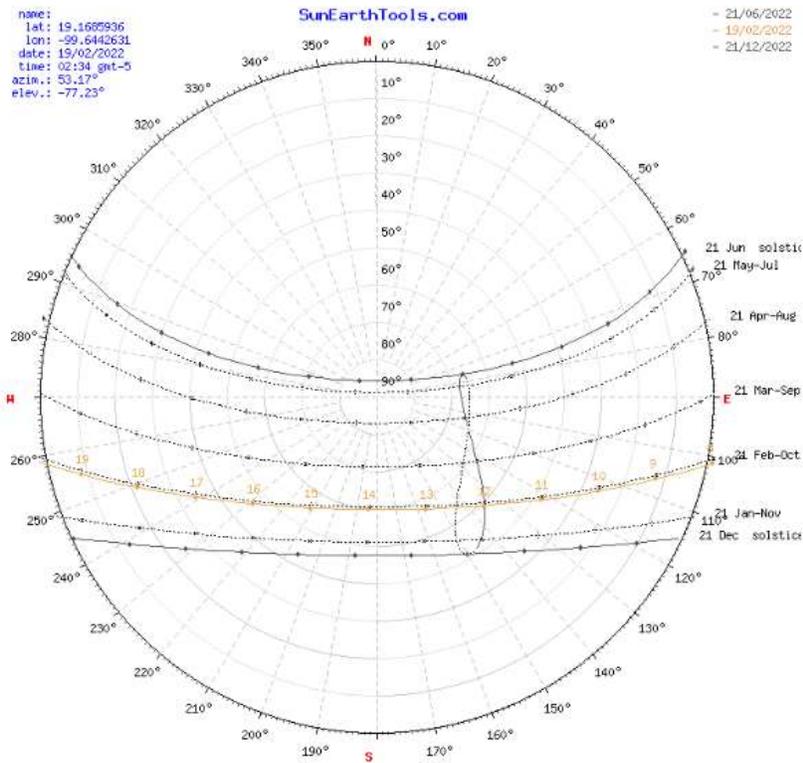


Figura 4.15. Análisis solar para la correcta orientación del diseño de parques urbanos sustentables, para el Municipio de Calimaya, Estado de México, basándose en sun earthtools.

De acuerdo a Bazant, (2013) y Cabello, (2016), en el área urbana sobre todo en parques urbanos, se requiere el mejoramiento físico de los espacios abiertos al público, estos elementos se muestran a partir de las tablas (4.8 a 4.14).

Tabla 4.8. Propuesta de requerimientos mínimos de mobiliario urbano y caminos peatonales. Se emplea como referencia los requisitos sugeridos en el Capítulo IX de la SEDESOL (2017).

Sección Urbana	Requisito mínimo
Andadores Peatonales	<p>De acuerdo al programa parcial de desarrollo urbano de la ciudad de México los andadores peatonales deberán tener un mínimo de 4.00 m. y las ciclo pistas de 1.50 m, con la posibilidad de acceso vehicular de emergencia.</p> <p>En los andadores se recomienda la utilización de materiales de piedra o concreto</p>

	<p>tratando de integrar elementos repetitivos a lo largo de la cinta urbana, como: toldos, arbotantes, mismos que deberán tener un diseño unificado.</p>
Mobiliario Urbano	<p>En el diseño de parques urbanos sustentables, el mobiliario urbano, se tomará siempre como criterio prioritario el de seguridad peatonal y facilidades para personas de capacidades diferentes, especialmente en lo referente a instalaciones eléctricas peligrosas, barreras agresivas, localización inadecuada de elementos como bancas y juegos infantiles, etc.</p> <p>Basándose en la normativa mexicana a través de la SEDESOL, El Mobiliario Urbano comprende todos aquellos elementos complementarios que se dividen por su dimensión y función en varios tipos ya sean: fijos, permanentes, móviles o temporales. Algunos requieren de un soporte para la integración con otros elementos y otros requieren fijarse solos.</p>
Área de estacionamiento	<p>Asimismo, se debe considerar la planificación de los estacionamientos con vegetación apropiada y espacios donde se encuentren espacios verdes para evitar exposiciones directas al sol.</p>

Tabla 4.9. Propuesta de diseño sanitario y áreas de ingreso para parques urbanos sustentables. Se emplea como referencias el Capítulo IX de la SEDESOL (2017) y sugerencias de Cabello (2016).

	Mobiliario	Ambiental	Tecnológica
Áreas de Ingreso	<p>Dejar un solo ingreso para un mejor control de agentes y usuarios.</p> <p>Se deberá diferenciar el ingreso peatonal del vehicular.</p>	<p>La secretaria de medio ambiente sugiere colocar vegetación en un perímetro apropiado del parque para reducir el impacto visual.</p>	N/A
Servicios sanitarios	<p>Para las baterías de baños se recomienda separar a los hombres de las mujeres.</p> <p>Considerar un espacio apropiado para personas con algún tipo de discapacidad.</p> <p>La ubicación de las diferentes baterías de baños debe estar localizado en puntos donde sea accesible para los usuarios.</p> <p>Si el proyecto no lo contemplase se necesita bloquear visuales a los ingresos de los baños sin dejar de olvidar su acceso y ubicación inmediatos.</p> <p>Se debe considerar un 20% de iluminación del área a servir.</p> <p>Los baños deben contar con iluminación y ventilación natural por ser áreas húmedas.</p> <p>Las ventanas deben estar superior a una altura promedio de un ser humano por factores de privacidad. Las aberturas deben considerarse de un 25 un 40% de los muros.</p>	<p>Se debe colocar una capa vegetal en el perímetro de los servicios sanitarios.</p> <p>Los sistemas de filtración no deben estar a una profundidad donde sea susceptible a contaminación los mantos freáticos.</p> <p>La orientación de los servicios sanitarios debe permitir la ventilación cruzada y la parte frontal de preferencia en contra de sentido de los vientos primarios.</p> <p>Si se utilizarán tabiques interiores estos no deben ser superiores a los 2.30 metros.</p>	<p>Los sistemas de aguas servidas deben estar conectados a fosas sépticas y posteriormente a pozos de absorción.</p> <p>Dejar áreas de registro para limpieza y mantenimiento de sistema.</p> <p>Las fosas sépticas pueden ser de polietileno o de concreto. Para la demanda de las baterías de baño se puede utilizar cualquier opción.</p> <p>Para cada batería de baños debe tener una capacidad mínima de 6.00 metros cúbicos.</p>

Tabla 4.10. Propuesta de áreas de estacionamiento y parqueo basado en la NMX-R-050-SCFI-2006.

Mobiliario y trazado	Estructura de emplazamiento
<p>De acuerdo a la NMX-R-050-SCFI-2006, accesibilidad de las personas con discapacidad a espacios construidos de servicio al público-Especificaciones de seguridad.</p> <p>La cantidad máxima permitida de cajones de estacionamiento para vehículos en una edificación, estará en función del uso y superficie de la misma.</p> <p>Para los estacionamientos de superficie, deberá considerarse una superficie de 40 m² para cada cajón, de los cuales 10 m² deberán destinarse a área verde.</p> <p>Un espacio para un vehículo o una isla es de 2.5 x 5.00 metros puede ser a 60 o a 90 grados.</p>	<p>Los materiales usados para la elaboración de los cajones de estacionamiento estarán en función de los materiales con los que se cuente, pudiendo ser desde madera tratada, base de tierra o concreto asfáltico.</p> <p>El sitio deberá ser plano, con un desnivel de un máximo de 5 % de pendiente.</p> <p>Para lograr un contraste de colores se obtendrá con un fondo en color claro y los detalles (letras, iconos) en colores oscuros o viceversa. El contraste también se puede dar con cambios de materiales, texturas, iluminación y forma.</p> <p>En caso de uniones en piso, juntas entre materiales y entrecalles, la veta debe ser máximo de 0,013 m de ancho y 0,01 m de profundidad.</p>

El ancho mínimo de los carriles de circulación será de 5 m.	
---	--

Tabla 4.11. Propuesta de áreas deportivas para parques urbanos sustentables, en base a los lineamientos Específicos para la Operación del Programa de Rescate de Espacios Públicos 2013, México (SEDATU, 2013).

Área	Requerimientos para su construcción
Canchas multifuncionales.	Cuando se programe la construcción de nuevas canchas con concreto, éste deberá

<p>Emplazamientos destinados a la práctica organizada de algún deporte y dependiendo de la disciplina específica se definen sus características. Su orientación óptima es norte-sur/ este-oeste; sobre el eje longitudinal, con una variación máxima de 23 grados.</p>	<p>ser armado con malla electro-soldada o según diseño estructural; con un espesor mínimo de 10 centímetros y una resistencia mínima del concreto de 200 kg/cm².</p> <p>O bien en el caso de los parques urbanos sustentables, usar un rectángulo cuyas medidas mínimas sean igual a 40*20 mts.</p> <p>Contar con una pendiente del 1% para el desagüe pluvial, situando la cumbrera sobre el eje longitudinal.</p> <p>Acompañar el diseño de la cancha con un área equipada con gradas o bien áreas que permitan la contemplación de la práctica deportiva se recomienda implementar pasto.</p>
<p>Cancha de básquetbol</p>	<p>La superficie de juego y su respectiva contra-cancha deberán ser de concreto armado con acabado pulido.</p> <p>El trazo del área de juego será pintado con líneas de 5 cms. de ancho, con pintura epóxica y un color de alto contraste. </p> <p>El área deberá estar iluminada con reflectores de inducción (bajo consumo) repartidos uniformemente que en total sumen al menos 1000 watts montados en postes con una altura mínima de 9mts.</p>
<p>Cancha de fútbol siete</p>	<p>La superficie de juego deberá ser de pasto sintético o bien de tierra.</p>

	<p>El área deberá estar iluminada con reflectores de inducción (bajo consumo). Deberá ser colocado un cerco perimetral reforzado, de material resistente a los impactos del balón, de 2.00 mts. de altura mínima y con postes a cada 2.00 mts. Instalar drenes para el desalojo de agua pluvial.</p>
--	--

Tabla 4.12. Propuesta de áreas de juegos infantiles para parques urbanos sustentables, en base a los lineamientos Específicos para la Operación del Programa de Rescate de Espacios Públicos 2013, México (SEDATU, 2013).

Área	Requerimientos para su construcción
<p>Canchas multifuncionales. Emplazamientos destinados a la práctica organizada de algún deporte y dependiendo de la disciplina específica se definen sus características. Su orientación óptima es norte-sur/ este-oeste; sobre el eje</p>	<p>Cuando se programe la construcción de nuevas canchas con concreto, éste deberá ser armado con malla electro-soldada o según diseño estructural; con un espesor mínimo de 10 centímetros y una resistencia mínima del concreto de 200 kg/cm².</p>

<p>longitudinal, con una variación máxima de 23 grados.</p>	<p>O bien en el caso de los parques urbanos sustentables, usar un rectángulo cuyas medidas mínimas sean igual a 40*20 mts.</p> <p>Contar con una pendiente del 1% para el desagüe pluvial, situando la cumbrera sobre el eje longitudinal.</p> <p>Acompañar el diseño de la cancha con un área equipada con gradas o bien áreas que permitan la contemplación de la práctica deportiva se recomienda implementar pasto.</p>
<p>Cancha de básquetbol</p>	<p>La superficie de juego y su respectiva contra-cancha deberán ser de concreto armado con acabado pulido.</p> <p>El trazo del área de juego será pintado con líneas de 5 cms. de ancho, con pintura epóxica y un color de alto contraste. </p> <p>El área deberá estar iluminada con reflectores de inducción (bajo consumo) repartidos uniformemente que en total sumen al menos 1000 watts montados en postes con una altura mínima de 9mts.</p>
<p>Cancha de fútbol siete</p>	<p>La superficie de juego deberá ser de pasto sintético o bien de tierra.</p> <p>El área deberá estar iluminada con reflectores de inducción (bajo consumo).</p> <p>Deberá ser colocado un cerco perimetral reforzado, de material resistente a los impactos del balón, de 2.00 mts. de altura</p>

	mínima y con postes a cada 2.00 mts. Instalar drenes para el desalojo de agua pluvial.
--	---

Tabla 4.13. Propuesta de áreas ajardinadas para parques urbanos sustentables, en base a los lineamientos Específicos para la Operación del Programa de Rescate de Espacios Públicos 2013, México (SEDATU, 2013).

Área	Requerimientos para su construcción
<p>Jardineras:</p> <p>Son espacios delimitados generalmente por especies vegetales, y pueden cumplir diversas funciones: ecológicas, ornamentales, recreativas, o de recarga de mantos freáticos.</p> <p>El recubrimiento de la superficie puede ser de pasto, arena, arcilla o algún tipo de material granular.</p>	<p>Destinar como área verde cuando menos 20% del área total del Espacio Público a rescatar.</p> <p>En todo momento se deberá dar prioridad al diseño de áreas verdes adecuadas a las condiciones climatológicas del lugar.</p> <p>Contar con suficiente iluminación y evitar zonas o bolsones de obscuridad. </p> <p>El sembrado de las especies vegetales deberá asegurar un funcionamiento seguro del área y promover la protección de la especie sembrada.</p>
<p>Jardines</p> <p>Es una zona de terreno donde se cultivan especies vegetales.</p>	<p>Se recomienda el uso de especies nativas para el embellecimiento de los parques urbanos sustentables.</p> <p>Para garantizar la vida de estas especies se recomienda utilizar agua de reúso o producto de la captación de agua pluvial para riego.</p> <p>Se deberá diseñar un proyecto paisajístico específico de acuerdo a las aptitudes de cada espacio.</p>

Área	Requerimientos para su construcción
<p data-bbox="428 380 607 411">Áreas verdes</p> <p data-bbox="250 436 784 632">La vegetación a utilizar debe cumplir la función de regulador ambiental y a su vez que sirva como atractivo visual para el mejoramiento paisajístico.</p> <p data-bbox="250 709 784 905">En estos puntos se debe considerar el uso de árboles cuyas características sean la de brindar sombra y mantener un ambiente agradable.</p>	<p data-bbox="824 380 1385 464">Su construcción deberá ser apoyándose de los materiales locales.</p> <p data-bbox="824 491 1385 743">Se deberá considerar a la vegetación tipo cactácea o silvestre como alternativa en aquellos espacios donde la temperatura y la escasez de agua dificulten un adecuado mantenimiento. </p> <p data-bbox="824 770 1385 905">Asimismo, identificar las áreas verdes según las especies vegetales y su tipo de mantenimiento:</p> <p data-bbox="824 932 1385 1073">Verticales (enredaderas, macetas, jardineras verticales, muros verdes, helechos. Mantenimiento medio)</p> <p data-bbox="824 1100 1385 1234">Herbales (predominio de arbustos, plantas de baja altura y de hoja. Bajo mantenimiento)</p> <p data-bbox="824 1262 1385 1396">Cactáceas (no requiere tierra vegetal y utiliza sólo especies de este tipo. Muy bajo mantenimiento)</p> <p data-bbox="824 1423 1385 1558">Césped (uso intensivo de pasto natural. Necesita mucha agua y sol para su mantenimiento)</p> <p data-bbox="824 1585 1385 1719">Florales (uso predominante de flores que brindan cambios de imagen estacional. Mantenimiento medio)</p> <p data-bbox="824 1747 1385 1831">Silvestres (exclusivamente hierbas y plantas del lugar. Muy bajo mantenimiento)</p>

	<p>Frutales (requieren siembra, tiempo para su consolidación y son propensos a plagas. Alto mantenimiento)</p>
--	--

Tabla 4.14. Propuesta de áreas culturales para parques urbanos sustentables., Programa de Rescate de Espacios Públicos 2013, México (SEDATU, 2013).

Área	Requerimientos para su construcción
------	-------------------------------------

<p style="text-align: center;">Foro al aire libre</p> <p>La normativa mexicana establece que un foro al aire libre es un espacios abiertos y provistos de isóptica, ergonomía y acústica; especializados en la promoción cultural de las artes escénicas como la danza, el teatro o el cine; o bien, enfocados a crear vínculos entre el espacio público y los usuarios mediante la realización de diversos eventos de carácter comunitario.</p>	<p>Se recomienda que para la construcción de estos espacios se haga uso de concreto armado.</p> <p>Donde se ubicará un escenario elevado a una altura no mínima a 0.40 mts sobre el nivel de piso terminado.</p> <p>Construir gradas resistentes a la intemperie, pudiendo usar PET o plástico para minimizar gastos.</p> <p>El área destinada para el foro deberá tener una pendiente mínima del 20%.</p> <p>Y finalmente el área de ocupación deberá ser de al menos el 15 % del total poblacional proyectado.</p>
---	--

4.4.3. Características funcionales a considerar en la implementación de parques urbanos sustentables

Es de importancia mencionar y considerar los factores que tendrán incidencia directa o indirecta en la planificación del proyecto de parques urbanos sustentables.

Primeramente, los sitios propuestos tienen disponibilidad para la realización de la propuesta del diseño del parque urbano sustentable (PUS), ya que no hay otro de similar en el municipio. Se justifica, además, porque en el municipio actualmente existen en funcionamiento 7 áreas destinadas a la recreación con un aproximado de 77,9 km², si se aplicaría la normativa internacional (OMS, 2020), entonces se tendría que el área destinada para recreación por persona en Calimaya sería igual a 0,001 km² o 1 m², impidiendo cumplir con la normatividad.

El municipio, y en específico el sitio previsto para la construcción del PUS, presenta servicio de energía eléctrica. El plan de desarrollo municipal (2022 -2024), en relación al servicio de agua que incluye el gasto de operación, mantenimiento y ampliación de la red disponible para la satisfacción del servicio, el pago de la energía eléctrica, reparaciones, desazolves y demás infraestructura necesaria para garantizar el agua potable, indica que se encuentra a cargo del H. Ayuntamiento de Calimaya. Y, aunque el municipio prácticamente tiene una red de agua potable basta, se propone que, dentro de los PUS, se cuente con sistemas de almacenamiento y tratamiento de aguas pluviales, con el objetivo de tener disponibilidad de agua constante, además de contar con un sistema sustentable de uso para riego, cuando no se cuente con el servicio de agua potable municipal.

Por otra parte, el apartado de drenaje municipal presenta un alcantarillado sanitario con un funcionamiento aceptable, su capacidad se ha visto rebasada en algunos casos derivado del rápido crecimiento poblacional, propiciando así la descarga sanitaria a través de canales a cielo abierto que son encausados a la cuenca Lerma – Santiago (H. Ayuntamiento de Calimaya, 2020). Esto ha llevado a entender que a pesar de que existan métodos de recolección de drenaje, al menos en los PUS propuestos, es importante optar por áreas de tratamiento para aguas grises, es decir contar con zonas para drenaje basados en técnicas de

sustentabilidad urbana, tales como el uso de fosas sépticas (“*es un sistema depurador para el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas. En ella se realiza la separación y transformación fisicoquímica de la contaminación contenida en esas aguas gracias a ella se logran eliminar los sólidos presentes en estas aguas a través de la decantación y sedimentación*” (Zarza, 2022).

Para mejorar la vista paisajística y con el objetivo de tratar de estabilizar los taludes se propone el manejo de una serie de especies arbóreas, arbustivas y ornamentales

En busca del equilibrio térmico local, mejorar la vista paisajística y estabilizar los taludes del socavón minero, se propone la reforestación según se indica en la tabla 4.15. En los Anexos del 1 al 7, se presenta la propuesta de diseño e implementación del PUS, para dos socavones abandonados del municipio de Calimaya, los cuales fueron geolocalizados atendiendo al procedimiento anteriormente descrito. La propuesta plasmada en los anexos responde a las características socioeconómicas y ambientales de los predios correspondientes.

Tabla 4.15. Propuesta de Vegetación para parques urbanos sustentables en Calimaya, Estado de México. Las especies y sus características fueron tomadas de Pérez (2015).

Nombre Científico	Nombre Común	Tipo de Crecimiento	Uso Apropriado	Características Especiales
<i>Muhlenbergia Quadridentada</i>	Zacate Aparejo	Rápido	Retención del suelo	Fácil adaptación.
<i>Festuca toluensis</i>	Pasto Alpino	Rápido	Alimentación para el ganado vacuno durante el pastoreo estival	Retención de suelo
<i>F. Hephaestophila</i>	zacatonal de alta montaña	Lento	Recuperar y restablecer las condiciones ecológicas del suelo	Se utiliza en preservación de suelos
Lupinus	lupino	Medio	sirven de alimento a los ganados	Mejoramiento visual, por su adaptabilidad.
Potentilla spp	Potentilla	Lento	Cubresuelo y alimento	Protege de erosión, atractivo visual.

Eupatorium pazuarensis	Aromito blanco	Medio	Retención de suelo	Atracción visual.
Stevia monardaefolia	Stevia tomentosa	Rápido	Retención de suelo	Muy resistente a los cambios de temperatura
Salix babylonica	Sauce Llorón	Muy lento	Retención de suelo y agua.	Ornamental para jardines calles y avenidas.
Manihot esculenta,	Yuca	Lento	Retención de suelo y agua, alimentos para aves.	Se utiliza en parques y Plazas.
Sambucus	Sauco	Lento	Retención de suelo y agua, alimentos para aves.	Se adapta con facilidad a los suelos y resiste factor incendio.
Arbutus glandulosa	Madroño	Lento	Retención de suelo y agua, alimentos para aves.	Adaptable a diferentes tipos de suelos y climas, genera sombra.
Buddleia parviflora	tepozán	Lento	Retención de suelo y agua, alimentos para aves.	Mejora los nutrientes del suelo.
Malus domestica	Manzano	Medio	Retención de suelo y agua, alimentos para aves.	Se utilizará para fijar el suelo, atractivo visual y alimento para aves y transeúntes.
Crataegus mexicana	Tejocote	Medio	Retención de suelo y agua, alimentos para aves.	Se utilizará para fijar el suelo, atractivo visual y alimento para aves y transeúntes.
Pyrus	Peral	Medio	Retención de suelo y agua, alimentos para aves.	Se utilizará para fijar el suelo, atractivo visual y alimento para aves y transeúntes.
Prunus salicifolia	Capulin	Medio	Retención de suelo y agua, alimentos para aves.	Se utilizará para fijar el suelo, atractivo visual y alimento para aves y transeúntes.

4.4.4. Diagnóstico general de impacto ambiental

El medio ambiente sufre transformaciones, deterioro, en general problemas que son parte del proceso de desarrollo, las afectaciones inciden en la calidad de vida del ser humano, incidiendo sobre la salud (Bazant, 2015).

El impacto ambiental se define como la “*Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza*” teniendo como resultado una alteración en el medio natural con afectaciones de componentes en el medio (Secretaria de medio ambiente, 2021)

Empleando la base teórica, mencionada, en la Tabla 4.16 se realiza una primera aproximación al Diagnóstico Ambiental para el PUS que se propone en Calimaya.

Tabla 4.16. Diagnóstico general de impacto ambiental de parques urbanos sustentables.

Elementos donde se genera el impacto	Etapas del proyecto			
	Apertura	Construcción	Operación	Abandono
Cubierta vegetal ° Pérdida de la cubierta vegetal ° Pérdida de biodiversidad ° Alteración al paisaje	si	si	no	si
Aire ° Presencia de partículas suspendidas. ° Desprendimiento de malos olores. ° Contaminación auditiva derivada de los vehículos mecánicos	si	si	si	no

<p>Agua</p> <p>° Contaminación de las aguas superficiales.</p> <p>° Contaminación de los mantos acuíferos por transporte de aceites derivados de los vehículos de extracción.</p>	no	si	si	si
<p>Flora y fauna</p> <p>° Pérdida de la biodiversidad.</p> <p>° Alteración en el ciclo natural de crecimiento de especies arbóreas y faunísticas.</p>	si	si	si	no
<p>Población</p> <p>° Pérdida de recursos, o pérdida de áreas</p>	si	si	si	no

destinadas a la agricultura. ° Fenómeno de migración por alteración al paisaje endémico.				
Suelo ° Perdida de los nutrientes del suelo. ° Problemas de drenaje. ° Salinización o acidificación de los suelos.	si	si	si	si

CONCLUSIONES

El proceso de ubicar, cuantificar y clasificar socavones activos e inactivos a través de visitas de campo y concientización social, así como la identificación de zonas potenciales para la evaluación y aplicación de la metodológica propuesta, partió de un análisis legal y normativo de la actividad minera en México. Se demuestra que el principal obstáculo que se presenta al momento de proponer acciones de rehabilitación ambiental, es el vacío legal en materia minera que existe en la actualidad, debido a que la ley nacional “no” obliga a la empresa dueña de la concesión minera a realizar acciones de remediación, rehabilitación, restauración o mitigación una vez terminada la etapa de extracción.

Asimismo, acciones encaminadas a minimizar los impactos negativos a los ambientes afectados por extracción a cielo abierto de materiales pétreos, no son de importancia nacional a diferencia de la explotación de materiales preciosos como el oro o plata, por lo cual es aún mayor la incertidumbre del quehacer en el ámbito privado y académico, con respecto a las propuestas de rehabilitación de socavones mineros abandonados.

Sin embargo, eso no impidió que se desarrollara la presente investigación, debido a que a través de sondeos y visitas de campo se pudo entablar conversación con algunos de los encargados de las minas abandonadas en Calimaya, donde expresaron sus problemáticas, y cuando se les planteo la posibilidad de trabajar conjuntamente para llevar a cabo esta metodología dentro de alguno de sus predios, dos de ellos accedieron a dar las facilidades para continuar con la investigación.

El considerar el marco teórico relacionado con el análisis de la potencialidades ambientales, sociales y económicas del área de estudio con énfasis en espacios degradados abandonados y aplicar los fundamentos metodológicos de la sustentabilidad y resiliencia, permitieron entender mejor la problemática, dicha problemática entiende que este fenómeno socio ambiental de la actividad minera a cielo abierto, no es producto de unos cuantos años, es el producto de cerca de 3 décadas de explotación no regulada.

Además, los parámetros físico-geográficos permiten explicar de una mejor manera la razón del porque en este municipio se presentó e incrementó este fenómeno de la explotación, puesto que las condiciones climáticas, geológicas y geomorfológicas del Valle de Toluca y, en particular, de Calimaya, han permitido la acumulación de arenas, gravas y tepetate, productos empleados para la construcción.

Y, aunque se sabe que la minería trae beneficios económicos a corto plazo para la población, la insuficiente planificación para la recuperación ambiental de los espacios afectados conlleva a una serie de problemas sociales y ambientales que a veces son difíciles de ser monitoreados por las autoridades competentes de tal manera que estas irregularidades muchas veces se pasan por alto, puesto que dichas autoridades no cuentan con herramientas que permitan agilizar el monitoreo constante del avance de este fenómeno de extracción minera.

El proponer acciones remediadoras en zonas de actividad minera derivada del análisis general del sitio de estudio, resultó muy importante para la investigación, debido a que en este objetivo se planteaba el alcance hasta donde podríamos llegar en la propuesta de parque urbano sustentable, entendiendo que para cada acción restaurativa se van a tener diferentes alcances, alcances que implican un nivel más profundo de análisis, por ejemplo, en Calimaya el paso máximo al que se puede aspirar es al paso tres, que es la rehabilitación. Que consiste en rehabilitar los ecosistemas a través de la recuperación nativa, la participación ciudadana y política, así como el costo integral y técnicas innovadoras que permitan lograr el objetivo.

La integración de técnicas innovadoras en análisis espacial y monitoreo satelital para la detección del avance de actividades mineras, ha sido uno de los productos más importantes de la presente investigación, ya que el hecho de mostrar a las autoridades que a través de las geotecnologías aplicadas es posible tener un control detallado y actualizado constante de los sitios de extracción a cielo abierto.

Asimismo el desarrollar una composición de bandas satelitales orientada a la inspección visual del monitoreo de avance de la actividad de explotación minera de recursos pétreos (Arenas y gravas), muestra el alcance de la tecnología geográfica, si bien la combinación ya se había trabajado en otros análisis geológicos, resultó muy beneficiosa el aplicar esta combinación de bandas en el sitio de estudio, ya que, en el periodo comprendido entre 2017 y 2022, no existía una actualización de información de los predios mineros entre activos e inactivos.

Al aplicar la combinación de bandas satelitales (12/4/2) en una imagen Sentinel 2A 2021, se obtuvo una certeza del 95 % de avance de la minería en Calimaya, pasando de 63 minas activas e inactivas para el año 2017 a 76 minas para el año 2022 permitiendo generar un inventario general.

Todo esto fue corroborado en campo a través de 8 visitas a sitio, donde se detectó que el 5 % restante mostrado en la imagen de satélite pertenecía a áreas de depósito o áreas de almacenamiento de material de arena, grava o en su defecto áreas de tratamiento de estos materiales para la creación de block macizo y tabique de construcción.

Asimismo, las geotecnologías y las metodologías basadas en el uso de estas herramientas juegan un papel muy importante a la hora de la toma de decisiones del investigador y las autoridades encargadas del seguimiento del fenómeno.

Por ejemplo, en el proceso de búsqueda de áreas aptas para la instauración de parques urbanos sustentables en el municipio de Calimaya, resultó de suma importancia el tratamiento de datos geoespaciales, el manejo de capas de información y el uso de ráster todo ello producto de procesos ejecutados en sistemas de información geográfica (SIG).

Finalmente, y habiendo desarrollado el análisis de sitio, el marco legal, las propuestas de alcance restaurativo, el uso técnico y metodológico de los enfoques geográfico, urbano y resiliente, se pudo desarrollar una guía metodológica para el diseño de parques urbanos sustentables, con vista a la aplicación viable para zonas afectadas por actividad minera de áridos pétreos. La guía metodológica está estructurada por cinco etapas generales descritas en el capítulo 3 del presente trabajo: (1) Descripción de los elementos físicos y sociales del área de estudio mediante el método geográfico, (2) Clasificación de las problemáticas y ubicación de socavones, (3) Delimitación de áreas de aptitud potencial para la instauración de parques urbanos sustentables, (4) Monitoreo del avance de la actividad minera, (5) diseño de parques urbanos sustentables en zonas mineras degradadas.

Las etapas mencionadas fueron aplicadas a la zona degradada por actividad minera en el municipio de Calimaya, donde se logra el diseño de un parque basándose en las reglas operativas de México, si bien esta guía metodológica se aplica al municipio antes mencionado, también es un diseño apto para cualquier espacio geográfico que presente situaciones similares en materia minera.

Bibliografía

- Aceves, F., López, J., and Martin del Pozzo, A. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y Sistemas de información geográfica en el área del Nevado de Toluca. *Revista Mexica de Ciencias geológicas*, 23(2), 113-124
- Abarca, M. G. (2020). *Aplicación de la captación de agua de lluvia en grandes superficies urbanas*. México: Soluciones Hidropluviales.
- Ambiente, S. d. (2020). *Ciudades verdes y sustentables*. Ciudad de México: Gobierno de México.
- Al-Hanbali, A. A. (2011). Using GIS-Based Weighted Linear Combination Analysis and Remote Sensing Techniques to Select Optimum Solid Waste Disposal Sites within Mafraq City. *Journal of Geographic Information System*, 267-278.
- Ariza P., e. a. (2011). *Parques temáticos en Colombia: construyendo empresas perdurables que acepten el desafío de subirse a la montaña de la turbulencia global*. Colombia: Universidad del Rosario.
- Arce, J., Gardner, J., and Macías, J. (2013). Pre-eruptive conditions of dacitic magma erupted during the 21.7 ka Plinian event at Nevado de Toluca volcano, Central Mexico. *Journal of vulcanology and geothermal research*, 249, 49-65.
- Arriaga, A., and Benhumea, B. (2020). Panorámica histórica del municipio de Calimaya. Calimaya, Estado de México, 05-270 pp.
- Arqhys. (22 de 11 de 2021). *Metodos de diseño*. Obtenido de Metodos de diseño arquitectonico y urbanistico: <https://www.arqhys.com/arquitectura/metodos-disenos.html>
- Berkes, F. J. (2003). Navegando sistemas socio-ecológicos: Construyendo resiliencia para la complejidad y el cambio. *Ecology and Society*, 1-6.
- Bazant, S. Jan (2013). *Manual de Diseño Urbano*, Trillas, Septima Edición, México. 418 págs.
- Bazant, S. Jan (2015). *Evaluacion De Impacto Ambiental Urbano*, Trillas, Primera Edición, México. 172 págs.

- Berkes, F. J. (2003). Navegando sistemas socio-ecológicos: Construyendo resiliencia para la complejidad y el cambio. *Ecology and Society*, 1-6.
- Becerril, L. (2015), Vulnerabilidad física en zonas habitacionales a procesos de remoción en masa asociados a la actividad minera de materiales pétreos, en el municipio de Calimaya, estado de México. Instituto de Geografía, UNAM, México D.F.
- Bocco, G., S. Urquijo, P., & Vieyra, A. (2011). *Geografía y ambiente en América Latina*. México: México: ciga-unam/Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Bocco, G, Urquijo, P. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *El Colegio de Sonora, Región y sociedad / año xxv / no. 56*. 2013
- Bonells, J. (2021), Beneficios de los parques urbanos, Jardines sin fronteras, consultado en 20 de octubre, 2021. <https://jardinessinfronteras.com/category/beneficios-de-los-parques-urbanos/>
- Blacut W, (1992). Environmental legislation economic growth and risk in minerals development the Bolivian case. En Risk Assessment/Management issues in the environmental planning of mines. (Zyl DV Koval M y Ta Editores) Society for mining metallurgy and exploration USA 206 pp.
- Calvente, A. (2007) El concepto moderno de sustentabilidad, Socio ecología y desarrollo sustentable UAIS-SDS-100-002.
- C. A., Z. M. (2012). Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica. Un caso regional colombiano. . *Revista de Ingeniería e Investigación*, 64-70.
- Cabello, P. (2016), Modelo interdisciplinario para la planeación y diseño de parques urbanos sustentables en México; un acercamiento humanístico a la concepción del espacio público en la ciudad, Tecnológico de Monterrey. Campus Ciudad de México.
- Casini M., Joakim H. , Molinero J.M. (2009) Trophic cascades promote threshold-like shifts in pelagic marine ecosystem. Universidad de Washington, Seattle, WA.

Castro, H. y. (2009). Naturaleza y cultura: ¿dualismo o hibridación? Una exploración por los estudios sobre riesgo y paisaje desde la geografía. *Investigaciones Geográficas*, 135-153.

Castellanos, H. (2016). Diseño metodológico para clasificar zonas mineras a cielo abierto a través del procesamiento digital de imágenes de sensores remotos, aplicado en el nor-oriente del departamento de Antioquia. Informe inédito. Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 224 págs.

Clout, H. (1976) Geografía rural, Barcelona, España: Oikos-Tau, 307 p.

Clark, J. R.; Matheny, N. P.; Cross, G. & Wake, V. A model of urban forest sustainability. *Journal of Arboriculture*, 1997, vol. 23, N° 1, p. 17-30.

Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 129-138.

Chuvieco, E. (2010). Teledetección ambiental, nueva edición actualizada Ariel Ciencia. Madrid, 594 pp.

Clark, J. R., M. N. (1997). A model of urban forest sustainability. *Journal of Arboriculture*,, 17-30.

Comisión Reguladora de Energía (CRE), (2020), Crecimiento de los sistemas fotovoltaicos en México , obtenido de <https://solarama.mx/blog/crecimiento-de-los-sistemas-fotovoltaicos-en-mexico-en-los-ultimosanos/#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20considerado%20uno%20de,en%20los%20pr%C3%B3ximos%20tres%20a%C3%B1os>. Consultado el día 16 de agosto de 2021

Coraggio, J. (1972). Hacia una revisión de la teoría de los polos de desarrollo. *Revista EURE - Revista de Estudios Urbano Regionales*, 2(4). Recuperado de <http://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/820>

Cuadra, D. E. (2014). Los enfoques de la geografía en su evolución como ciencia. *Revista Geográfica Digital. IGUNNE.*, 1-22.

Cranz, G. & Boland, M. Defining the sustainable park: a fifth model for urban parks. *Landscape journal*, 2004, vol. 23, p. 102-119.

- Daus, F. (1961). *¿Qué es la Geografía?*. Buenos Aires, Argentina.: Ed. Columba.
- Dirección de Ecología. (2018). *Información sobre la situación ecológica Calimaya, Ayuntamiento*. Toluca, México: IPOMEX.
- Díaz, M., & Tesoro, A. (2009). *Salud y seguridad en trabajos de Minería*. Buenos Aires, Argentina.: Editora, Aulas y andamios.
- Dirección de Ecología. (2018). *Información sobre la situación ecológica Calimaya, Ayuntamiento*. Toluca, México: IPOMEX.
- Dirección de Ecología (2018). Información sobre la situación ecológica en Calimaya 2018. IPOMEX H. Ayuntamiento de Toluca, México pp. 18-25.
- Drury, S. (1987). Image Interpretation in Geology. London. International Journal of Remote Sensing, 8(9), 1399-1400.
- Ecocript,(2021),Fundamentos de Teledetección y sensores remotos. https://ecocript.org/diccionariosig_teledeteccion/ Consultado el día 07 de marzo de 2022.
- Edwards, M. & Richardson, A. (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. Nature. 430. 881-4. 10.1038/nature02808.
- EADIC (2019). La explotación minera: presente, pasado y futuro en el desarrollo humano. Consultado en: <https://eadic.com/blog/entrada/la-explotacion-minera-presente-pasado-y-futuro-en-el-desarrollo-humano-2/#:~:text=Los%20recursos%20minerales%20no%20pueden,%C3%BAltimas%20d%C3%A9cadas%20las%20empresas%20mineras>
- EADIC- Engineering, T. &. (01 de 06 de 2021). *EADIC- Engineering, Training & Development Solutions*. Obtenido de La minería como actividad industrial. Importancia de la evolución histórica: <https://www.eadic.com/la-mineria-como-actividad-industrial-importancia-de-la-evolucion-historica/>
- Etecé, Editorial. (12 de 04 de 2022). *Concepto*. Obtenido de ¿Qué es una especie nativa?: <https://concepto.de/especie-nativa/>
- Espinosa, L. M., Balderas, M. A., and Cabadas, H. V. (2014). Caracterización Geomorfológica del Área Natural Protegida Nevado de Toluca: Complejo de Volcanes Nevado de Toluca y San Antonio. Revista Ciencia UAT, Segunda Edición Especial Reservas Naturales Vol. 9 no. 1, Universidad Autónoma de Tamaulipas, 06-14 pp. Recuperado en 22

de Diciembre de 2021 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582014000100006&lng=es&tlng=es.

EADIC- Engineering, T. &. (01 de 06 de 2021). *EADIC- Engineering, Training & Development Solutions*. Obtenido de La minería como actividad industrial. Importancia de la evolución histórica: <https://www.eadic.com/la-mineria-como-actividad-industrial-importancia-de-la-evolucion-historica/>

EFE, N. (08 de Abril de 2017). Santa Fe, de basurero a barrio de lujo que exhibe males y virtudes de México. *Agencia EFE, edición América*, pág. 2.

Estébanez Álvarez J. (1992). La dimensión espacial en el estudio de la ciudad. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 12, 63. <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC9292110063A>.

Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Instituto de Geología, UNAM, Apdo. Postal 70- 296, Cd. Universitaria, 04510 México D.F. V 53, n. 1, (2000), 84-92.

Filippo Catanzariti . (22 de 11 de 2021). *GeoStru* . Obtenido de Estabilidad de taludes: <https://www.geostru.eu/blog/2016/06/13/estabilidad-de-taludes/?lang=es>

Forbes. (3 de Junio de 2021). *Forbes México*. Obtenido de Forbes Staff: <https://www.forbes.com.mx/cdmx-carece-de-espacios-verdes-suficientes-greenpeace/>

Fuente, M. E., and Barkin, D. (2013). Mining as a development factor in the Sierra Juárez in Oaxaca: An ethical evaluation. *Revista Problemas del Desarrollo*, 44 (172), 123-144.

Gama-Castro, J., Solleiro Rebolledo, E., Flores Román, D., Sedov, S., Cabadas Báez, H., and Díaz Ortega, J. (2007). Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental: el caso del Glacis de Buenavista, Morelos. México. *Sociedad Geológica Mexicana*, 59, (1), 133-145.

Gao, J. (2009). *Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery*. McGraw-Hill Education; 1er edición. Nueva Zelanda, 689 pp.

Gann, G, McDonald T., Walder. B, Aronson, J. Cara R. Nelson, Justin Jonson, James G. Hallett (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. The journal of the society for ecological restoration. S1-S46

García, R. (2006). *Sistemas Complejos (conceptos, método y fundamentación epistemológica de investigación interdisciplinaria)*. Editorial Gedisa, S.A., Barcelona, 200 pp.

García S. Guerrero M. (2006). Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes. Parque urbano Monte Calvario, Tandil, Argentina *Revista de Geografía Norte Grande*, núm. 35, julio, 2006, pp. 45-57

G., L. (2003). Sustainability and urban greenways. *Journal of the American Planning Association*, 165-180.

General, S. (Última actualización, 2022). *Ley minera*. Ciudad de México: Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión.

Gharbia, R., El Baz, A. H., Hassanien, A. E., and Tolba, M. F. (2014). Remote Sensing Image Fusion Approach Based on Brovey and Wavelets Transforms. In: P. Kömer, A. Abraham, and V. Snášel (eds.), *Proceedings of the Fifth International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications IBICA 2014. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 303 pp.

Global Monitoring for Environment and Security, Sentinel hub (2020). Consultado el 03/03/2020 en: <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/>

Gobierno Municipal de Calimaya (2019). Plan de desarrollo municipal. Calimaya, Edo. México: 2019- 2021. Informe inédito. Gobierno de Calimaya, Estado de México pp. 06-305.

Gómez Godoy , C., & Peláez Padilla, J. (2020). Minería en México: Despojo, contaminación, conflictos y movilización. *Dialogos Ambientales*, 1-7.

Gómez Mendoza, Josefina et al (1982). *El pensamiento geográfico*. Ed. Alianza Universidad. Madrid, España.

González-Guillén, R. F.-X. (2010). Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 17-24.

- G., L. (2003). Sustainability and urban greenways. *Journal of the American Planning Association*, 165-180.
- Greene, R. D. (2011). GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. *Geography Compass*,, 412-432.
- Gunderson, L. (2010). Ecological and human community resilience in response to natural disasters. . *Ecology and Society. the Resilience Alliance*, 1-11.
- Gutiérrez, J. G. (2013). La investigación geográfica. Fundamentos, métodos e instrumentos. Dunken, Buenos Aires 152 pp.
- Gutiérrez-Leal, I. (2015). Espacios públicos de calidad para todos. Tomado de <https://www.milenio.com/opinion/ivan-gutierrez-leal/laguna-yo-te-quiero/espacios-publicos-de-calidad-para-todos>
- Lindsey, G. (2003). Sustainability and urban greenways, *Journal of the American Planning Association* 165-180 p.
- H. Ayuntamiento de Calimaya,. (2022). *Plan de Desarrollo Municipal* . Calimaya: 2022-2024.
- Halvorsen, K. T. (2000). "The green poster". A method to evaluate the sustainability of the urban green structure. *Environmental Impact Assessment Review*, 359-371.
- Hernández-Jatib, N., and Guilarte-Cutiño, I. (2018). Diagnóstico del desempeño de la cantera de áridos La Inagua, Cuba, utilizando una matriz de evaluación. *Ciencia UAT*, 13(1), 6-18.
- Hernández Gutiérrez, L. E., Santamarta Cerezal, J. C., and González-Gallego, J. (2015). Ingeniería geológica en terrenos volcánicos. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Madrid, España, 405 pp.
- Hopkins R. (2008). *The Transition Handbook: From Oil Dependency to Local Resilience*, Uit Cambridge Ltd.
- IGCEM (2014). Datos generales del municipio de Calimaya 2010-2014. Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, México, pp. 15-30.

INEGI, I. N. (2010). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. México, SEGOB.

INEGI, I. N. (2015). *Principales resultados demográficos encuesta intercensal 2015* . México: INEGI, SEGOB.

INEGI. (2020). *Censo General de Población y Vivienda*. México: Repositorio estadístico de libre acceso.

Instituto de accesibilidad . (23 de 07 de 2021). *Instituto de accesibilidad* . Obtenido de Diseño Universal: <https://institutodeaccesibilidad.com/disenio-universal-en-parques-accesibles-latam/>

Jimenez, C., Huante, P., & Ricon, E. (2007). *Restauración de minas superficiales en México*. México: Instituto de Ecología de UNAM.

José Isabel Juan Pérez. (2015). *Responsabilidad e Impacto Ambiental en un Territorio del Altiplano Mexicano. Análisis ambiental, sociodemográfico y económico*. Toluca, México: Eumet. Net La Enciclopedia Virtual.

Kriegler, F. J., Malila, W. A., Nalepka, R. F., and Richardson, W. (1969). Preprocessing transformations and their effect on multispectral recognition. Proceedings of the 6th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, MI: University of Michigan, 97-131 pp

Kruse, A., Lefkoff, B., Boardman, J., Heidebrecht, B., Shapiro, A., Barloon, P. J., and Goetz, H. (1993). The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data, Center for the Study of Earth from Space (CSES), Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES), University of Colorado, Boulder. Remote Sens. Environ., 44, 145-163.

Hernández, S. (2002) Aprovechamiento de aguas pluviales, México, Universidad de Guadalajara, 185 pp.

Lira, J. (2010). Tratamiento digital de imágenes multiespectrales. Universidad Nacional Autónoma de México, (2) 597 pp.

López, E. D., and Altamirano, L. (2008). "A method based on tree-structured Marko random field and a texture energy function for classification of remote sensing images," 5th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control, 540-544

Norma Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2012, Minas subterráneas y minas a cielo abierto Condiciones de seguridad y salud en el trabajo, Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Malczewski., J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. . *Progress in Planning*, 16.

Macancela, N. A. (2014). Propuesta metodológica de recuperación de espacios mineros para el desarrollo de comunidades. Santa Elena, Ecuador: Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT), 25 pp.

Melo, L., and Camacho, M. (2005). Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 156 pp.

Montes de Oca, A., and Ulloa, M. (2013). Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera los Guaos, Santiago de Cuba. *Revista Luna Azul*, 37, 74-88.

OMS, (2020) Organización mundial de la salud, Ciudades verdes y sustentables, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, disponible en:

<https://www.gob.mx/conanp/articulos/ciudades-verdes-ysustentables#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20Organizaci%C3%B3n,lo%20recomendado%20por%20la%20OMS>. Consultado el 25 de noviembre de 2021.

Reyes E. (2022). Mundo HVACR, Mejora del aire interior con ventilación natural <https://www.mundohvacr.com.mx/2015/04/mejora-del-aire-interior-con-ventilacion-natural/> Consultado el 16 de Octubre 2022.

Mundo Inmobiliario, Grupo Imagen. (27 de 11 de 2019). *Parque La Mexicana, pulmón de la CDMX*. Obtenido de mundoinmobiliario.tv: <http://mundoinmobiliario.tv/parque-la-mexicana-pulmon-la-cdmx/>

N.-B Chang, G. P. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 139-153.

Núñez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Pala, V., and Arbiol, R. (1999). Multiresolution-Based Image fusion whit Additive Wavelet Descomposition. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(3), 1204-1211.

Ostuni, J. (1992). *Introducción a la Geografía*. San Juan Argentina: Colección Geográfica. Ed. CEYNE.

Pattison, W. (1964). The Four Traditions of Geography. *Journal of Geography* 63, 211-216.

Quiroz, H. O. (2016). *Diseño metodológico para clasificar zonas mineras a cielo abierto a través del procesamiento digital de imágenes de sensores remotos, aplicado en el nor-oriente del departamento de Antioquia*. Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia.

Revah, L. O. (2012). Metodología para la planificación de las áreas verdes urbanas: el caso

Vélez, L. A. (2009). Del parque urbano al parque sostenible. Bases conceptuales y analíticas para la evaluación de la sustentabilidad de parques urbano. *Geografía Norte Grande*, 31-49.

de Mexicali, Baja California. *Estudios fronterizos, SciELO*, 333.

Rouse, J., Haas, R., Schell, J., and Deering, D. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great. Third ERTS-1, Goddard Space Flight Center, 1, 309-317.

Saaty, T .L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.

Sánchez, F. (2020). Zonificación de la respuesta sísmica local, mediante análisis espacial. Caso de estudio: Zona Metropolitana del Valle de Toluca. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma del Estado de México.

Sebem, E. (2005). Aportaciones de la teledetección en el desarrollo de un sistema metodológico para la evaluación de los efectos de cambio climático sobre la producción de las explotaciones agrarias. Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agronómica, Madrid, 384 pp.

SEDATU (2013). Programa de Rescate de Espacios Públicos Lineamientos Específicos para la Operación del Programa de Rescate de Espacios Públicos 2013. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/5749/Lineamientos_PREP_2013_24-may-13_.pdf

Sanchún, A., Botero, R., & Morera Beita, A. (2016). *Restauración funcional del paisaje rural: Manual de técnicas*. San José, Costa Rica.: UICN, XIV + 436p.

Secretaria de Ecología . (1997). *Criterios ambientales para la regularización de minas en explotación de materiales pétreos no consolidados* . Toluca, México: Poder ejecutivo del Estado.

Secretaria de Economía (2014). Ley Minera. Diario Oficial de la Federación, México, 34 pp.

Servicio Geológico Mexicano (2020). Panorama Minero del Estado de México 2020 . Dirección de Operación Geológica Estado de México: Subsecretaría de Minería. 4 pp. + 47 pp.

Secretaria de medio ambiente. (2012). *Listado de minas autorizadas*. Toluca: Dirección general de ordenamiento e impacto ambiental.

Secretaria de medio ambiente. (28 de Enero de 2021). *Gobierno de México*. Obtenido de Impacto ambiental: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>

Secretaria del trabajo y previsión social (Norma Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2003, Trabajos en minas-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo.

SEDESOL, (2017) Capitulo IX Mobiliario urbano, Secretaría de desarrollo social.

S., J. B. (2013). *Manual de diseño urbano*. México: Trillas.

SEDUVI. (2012). *Lineamientos para el diseño y e implementación de parques de bolsillo*. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad.

SEDATU, (2020). *NOM-001-Espacios públicos en los asentamientos humanos*. México: Secretaria de Gobernación.

Suchite, M. (2010), Diseño de un parque urbano para el municipio de villa nueva, departamento de Guatemala, Tesis de Licenciatura, Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Sobrino , J., Garrocho, C., Graizbord , B., Brambila , C., & Aguila, A. (2015). *Ciudades sostenibles en México: una propuesta conceptual y operativa*. Mexico: Centro de Estudios Demograficos, Urbanos y Ambientales, El Colegio de México.

Torres, Y., Rodríguez, R. G., and Reynaldo, C. L. (2019). Propuesta de un procedimiento para la rehabilitación minera en explotaciones a cielo abierto. *Minería y Geología*, 35(1), 1-20.

Troell M., Hernández, R, Koedam, N , Luna A, and Guebas F, (2005) Remote Sensing and Ethnobotanical Assessment of the Mangrove Forest Changes in the Navachiste-San Ignacio-Macapule Lagoon Complex, Sinaloa, Mexico, *Ecology and Society* , Jun 2005, Vol. 10, No. 1 (Jun 2005).

Turner, B. (2002). Contested Identities: Human-environment Geography and Disciplinary Implications in a Restructuring academy. *Annals of the Association of American Geographers* 92 (1): 52-74.

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. *Journal of Remote Sensing Environment*, 8(2), 127-150.

Solar A. (2020), Aspectos técnicos de instalación de sistemas fotovoltaicos <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/cuales-son-los-componentes-de-una-instalacion-aislada> Consultado en 14 de Septiembre, 2021.

Structuralia, (2022). Sistemas de tratamiento de residuos sólidos urbanos más utilizados <https://blog.structuralia.com/tratamiento-de-residuos> Consultado en 120 25 de Septiembre 2022.

UAEMéx, U. A. (20 de 08 de 2020). *Centro de Recursos Idrisi - México*. Obtenido de CRIUAEMéx | Centro de Recursos Idrisi-México: <http://idrissi.uaemex.mx/>

Urquijo, P. S. (2010). *Geografía y Ambiente en América Latina*. Morelia, Michoacán: Investigaciones Geográficas, Boletín 73.

Valencia, E. A. (2017). Propuesta de Rehabilitación Ambiental con enfoques de Sustentabilidad y Resiliencia en Calimaya, Estado de México. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México, 260 pp.

Valencia, E.A, Ordaz, A, Baró, J.E. y Carrasco, B.V., (2022) Desajustes territoriales asociados a la actividad minera en Calimaya, Estado de México. VOL. 133 (2), 163-182. Tomado de <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/133.2/007>

Vidal, J. (10 de Diciembre de 2016). *Revista Desperta Ferro*. Obtenido de Revista Arqueología e Historia: <https://www.despertaferro-ediciones.com/revistas/numero/arqueologia-e-historia-n-o10-babilonia-los-jardines-colgantes/>

Vázquez, S. L., and Heine, K. (2002). Late Quaternary glaciation of México. En J. Ehlers, P. L. Gibbard (Eds.) *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology. Volume 2, Part III: South America, Asia, Africa, Australia, Antartica*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 233-242 pp.

Vélez, L. (2009). Del parque urbano al parque sostenible: Bases conceptuales y analíticas para la evaluación de la sustentabilidad de parques urbanos. *Revista de geografía Norte Grande*, (43), 31-49. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022009000200002>

Zafra Mejía, Carlos Alfonso and Mendoza Castañeda, Franklin Andrés and Montoya Varela, Paula Alejandra (2012) Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica. un caso regional colombiano. *Ingeniería e Investigación*; Vol. 32, núm. 1 (2012); 64-70 *Ingeniería e Investigación*; Vol. 32, núm. 1 (2012); 64-70 2248-8723 0120-5609

Zarza, L. (2022) ¿Qué es una fosa séptica?, IAgua, <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-fosa-septica> Consultado en 25 de mayo, 2022.

ANEXOS

En la memoria escrita de la presente tesis se expone la metodología para el diseño de parques urbanos sustentables en áreas abandonadas de extracción minera en Calimaya, Estado de México.

El diseño y distribución de los elementos técnicos ejecutables puede quedar a consideración del investigador o proyectista. Sin embargo, a continuación, se anexan los parámetros de diseño propuesto para las minas 1 y 2 previamente seleccionadas, con el objetivo de tener un modelo de adaptabilidad e implementación de los requerimientos mínimos en el área de estudio y, que a su vez pueda ser replicable en otros escenarios similares al del municipio de Calimaya, basándose en Suchite (2010), Bazant (2013) y Cabello (2016).

Anexo 1. Orientación.

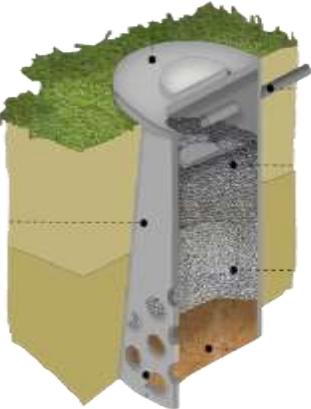
	Propuesta de Suchite (2010)	Propuesta Cabello (2016)	Propuesta de Valencia (2022) para el caso del PUS de Calimaya
Orientación	<p>Las secciones longitudinales se orientarán de este a oeste.</p> <p>La orientación de las construcciones se hará sobre el eje este a oeste en las áreas de ventanas para el tipo de clima utilizar aberturas grandes o de 40 al 60% del área de los muros.</p> <p>En los ambientes donde se requiere privacidad se recomienda utilizar aberturas del 25 al 35% del área del muro.</p>	<p>Se deberá orientar el espacio del parque hacia las mejores vistas o entrada de luz natural.</p> <p>Se recomienda usar aberturas amplias para la llegada de una mejor iluminación y así disminuir el consumo energético.</p>	<p>El correcto trazo y orientación permite a los diseñadores ahorrarse elementos que generan costo como lo es la energía eléctrica, por ejemplo, en el caso de parques urbanos sustentables se requiere el mínimo gasto en energía eléctrica, con una correcta orientación el gasto eléctrico será mínimo, por lo cual orientar de este a oeste será la opción más viable en el municipio de Calimaya.</p>

Control Solar	<p>De acuerdo a Bazant, (2013) cada 10 grados de inclinación del plano horizontal representan del 10 al 15% de pérdida de calor por radiación solar.</p> <p>La superficie mínima de iluminación será del 30% del área de servidumbre.</p> <p>Las cubiertas con un ángulo grande de inclinación cuentan con las siguientes ventajas.</p> <p>El agua de lluvia se evacua más rápido mientras que el sol calienta menos la estructura y cubierta de techo.</p> <p>Se permite la recirculación y aprovechamiento del agua pluvial.</p> <p>Las inclinaciones del techo deben hacerse con base en el clima, en zonas lluviosas se requiere de mayor inclinación.</p> <p>Las plantas deben sembrarse con sentido de este a oeste.</p> <p>Pintar los ambientes con colores claros, con ello se reduce la radiación solar.</p> <p>Se recomienda colocar cielo falso para seccionar la transmisión de calor al interior.</p>	<p>En el diseño de parques urbanos se recomienda una superficie de iluminación mínima del 40% .</p> <p>En elementos ya construidos se opta por el uso de celosías.</p> <p>Por ejemplo, el uso de lamas horizontales: estas se recomiendan para orientación sur, puesto evitan la entrada de luz directa.</p> <p>Lamas verticales: en este caso, son perfectas para ventanas con orientación este u oeste.</p>	<p>Al igual que en la orientación es importante determinar el control solar, gracias a este no se genera un impacto positivo o negativo en la salud de los usuarios, sobre todo porque el espacio deberá permitir la correcta iluminación y ambiente propicio para el desarrollo motor y psicosocial del usuario final.</p>
----------------------	--	---	---

Anexo 2. Proceso de Ventilación. Se sugiere considerar la propuesta de Reyes E. (2022).

	Descripción
Ventilación	<p>De acuerdo al H . Ayuntamiento de Calimaya, (2020), los vientos que inciden en el Valle de Toluca son los alisios, los cuales son intensos en primavera y verano. Esto flujos tienen dirección predominante del Oriente y Nororiente, pero en otoño e invierno se debilitan y entonces pueden provenir del Suroriente o del Sur. Al aproximarse el invierno comienza a dominar la fuerza de los vientos del Poniente y los polares, que suelen llegar por el Norte y el Poniente.</p> <p>Teniendo esto en cuenta se tiene que los edificios dispondrán de medios para que sus recintos se puedan ventilar adecuadamente.</p> <p>La ventilación cruzada partirá con dirección de este a oeste, para aprovechar la ventilación natural del municipio de Calimaya, así mismo el aire debe circular desde los locales secos a los húmedos.</p> <p>En zonas como sanitarios, instalar aberturas estratégicamente ubicadas, con el propósito de facilitar el ingreso y la salida del viento a través de los espacios.</p> <p>Entendiendo que las técnicas de ventilación natural como medio de enfriamiento buscan, ya sea amplificar las tasas de ventilación, o modificar las condiciones del aire que ingresa a un inmueble</p>

Anexo 3. Desarrollo de sistema de aprovechamiento de agua pluvial, basado en Hernández, (2002)

Descripción de Sistema de almacenamiento para agua de lluvia	Descripción	Gráfico
	<p>El proceso de las aguas pluviales consiste en filtrar el agua de lluvia captada en una superficie determinada para almacenarla en un depósito y, posteriormente, distribuirla mediante ductos hacia su destino que, en caso de las labores agrícolas, resulta de gran beneficio ambiental y económico.</p> <p>Su instalación consta de una serie de elementos esenciales: una superficie de recogida, un depósito de acumulación (con bomba de presión y rebosadero) y las canalizaciones que conectan la zona de recogida con el depósito y éste con los puntos de consumo.</p> <p>Se deben cuidar varios factores que pueden alterar la calidad del agua, como lo son la suciedad, la luz (rayos UV) y el exceso de calor.</p> <p>Para solucionarlo se realiza la instalación de filtros adecuados, depósitos contruidos con materiales opacos y, siempre que sea posible, optar por enterrar el depósito, ya que se evita el contacto directo con la luz del sol y el calor.</p> <p>La superficie de recolección de las aguas pluviales va desde cubiertas, terrazas, hasta patios, aunque estos últimos no se pues son susceptibles de contener demasiada biomasa que sería arrastrada por el agua de lluvia y colapsaría el filtro o el decantador.</p>	 

En el apartado sustentable se deberá tomar en cuenta que determinados materiales están contraindicados ya que desprenden partículas tóxicas o fibras contaminantes, como el amianto (fibrocemento, Uralita) o los techos con tela asfáltica ya que tiñen el agua recolectada.

Finalmente, el agua se almacenará en uno o varios depósitos conectados en serie, que habitualmente disponen de un filtro de entrada y/o decantador por gravedad.



Anexo 4. Desarrollo de propuesta para Vegetación en PUS, Calimaya.

Descripción	Gráfico
<p>Como elemento ambiental, los espacios verdes llenos de vegetación contribuyen a regular el clima urbano, absorben los contaminantes, amortiguan el ruido, permiten la captación de agua de lluvia para la recarga de los mantos acuíferos; pero, sobre todo, generan equilibrios ambientales en suelo, agua y aire, fundamentales para los entornos urbanos (Meza, 2010)</p> <p>La característica principal de la vegetación es de disipar, amortiguar y reducir el ruido, también disminuye la velocidad del viento y genera aire puro a los espacios o los ambientes (Bazant, 2013).</p> <p>La vegetación sirve como lindero de demarca de espacios, define circulaciones peatonales, enmarca o resalta puntos específicos (Suchite, 2010).</p> <p>De acuerdo con lo anterior, y coherencia con las especies enlistadas en la tabla 4.15, se propone mejorar el sustrato del suelo a través del uso de abono y el compost que son necesarios</p>	

para mejorar la estructura del suelo, asimismo evitar los fertilizantes químicos

El método común para mejorar el sustrato de suelo es cavar un hoyo para producir y mezclar materia orgánica, desechos o eses de animales para crear un abono y utilizarlos en el suelo, justo antes de plantar los cultivos.

El método común para mejorar el sustrato de suelo es cavar un hoyo para producir y mezclar materia orgánica, desechos o eses de animales para crear un abono y utilizarlos en el suelo, justo antes de plantar los cultivos.

Para los PUS, e importante no plantar árboles cerca de alumbrado eléctrico, banquetas o guarniciones.

Si se opta por árboles o arbustos, la distancia mínima de separación será igual o mayor a 5 metros entre árbol.

En cuanto al uso de pastos, se recomienda sembrar a base de semillas de germinación, buscando la especie que mejor se adapte al sitio

Anexo 5. Iluminación artificial sustentable mediante energías alternas, basado en Solar (2020).

Iluminación artificial	Descripción	Gráfico
<p>México es considerado como uno de los territorios que posee óptimas condiciones para la radiación solar, gracias a la ubicación que tiene, por lo que permite que el país vaya en camino a convertirse en el séptimo mayor mercado de energía fotovoltaica en los próximos tres años (Comisión Reguladora de Energía, 2020).</p>	<p>Teniendo esto en cuenta, se propone que los PUS en Calimaya, cuenten con un sistema de alimentación de energía híbrida, es decir que tengan conexión con la red de alumbrado público, pero también contar con unidades de almacenamiento fotovoltaico.</p> <p>Para instalar el sistema fotovoltaico se requerirá lo siguiente: _</p> <ul style="list-style-type: none"> • Placas solares que convierten la radiación solar en corriente continua. Cuanto más alta sea la radiación, más energía producirán las placas solares a una misma potencia. • El regulador de carga: Que actúa cortando y regulando el paso de la energía entre los paneles y la batería, en función del estado de carga de la misma. Para que funcione correctamente hay que dimensionar bien su potencia y elegir el tipo adecuado para obtener el mejor rendimiento de nuestras placas, pueden ser PWM o MPPT. • Inversores solares: Son los encargados 	

de convertir la corriente continua que se puede extraer de ellas a corriente alterna apta para el consumo normal

- Las baterías solares se encargan de almacenar la energía que se capta y no se utiliza durante las horas de sol.
- Además del cableado y la estructura para poder sostener este tipo de energía sustentable.

Es necesario contar con luminarias que se adapten a este tipo de energía limpia, por ejemplo, el “**Sky, de Luceplan**” farol fotovoltaico para exteriores ideado por Alfredo Häberli que emplea células fotovoltaicas de última generación colocadas en la parte superior de la lámpara, la parte más expuesta a las radiaciones solares, que se cargan durante el día y suministran luz automáticamente al caer el sol.



Anexo 6. Sistema de tratamiento sustentable de residuos sólidos al interior del PUS.

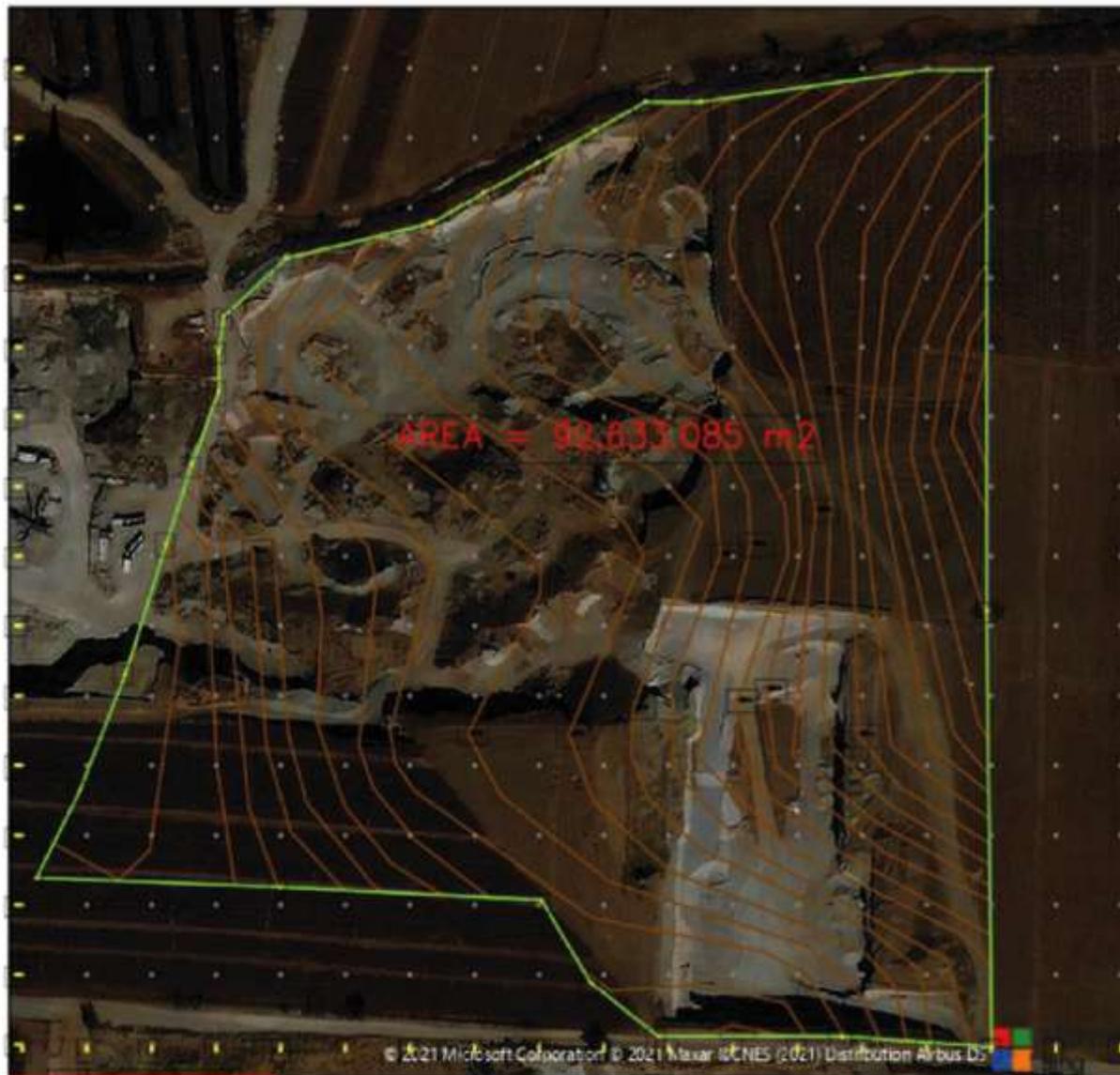
Tratamiento de residuos solidos	Descripción	Gráfico
<p>El tratamiento de residuos es la acción cuyo propósito es alterar las condiciones químicas, biológicas o físicas de un desecho.</p> <p>Estas acciones tienen por objetivo conseguir neutralizar sustancias peligrosas; reducir la cantidad de residuos; recuperar componentes de valor; prolongar la vida útil de los artículos; entre otros. (Structuralia, 2022)</p> <p>Y estos a su vez se pueden clasificar por</p> <p>* Composición se pueden distinguir entre envases, vidrio, papel, etcétera.</p> <p>Capacidad de descomposición pueden ser orgánicos o inorgánicos.</p> <p>Según el origen de los residuos se clasifican en industriales, construcción, domiciliario.</p>	<p>En las zonas de PUS de Calimaya se proponer tener contenedores con separación de materiales.</p> <p>Proponer también los siguientes aspectos.</p> <p>La recuperación y reciclado de residuos urbanos (PET, Cartón y vidrio)</p> <p>Usar técnicas de compostaje y digestión anaerobia, entendiendo que él será un material orgánico que posteriormente puede ser utilizado como abono para la agricultura o bien para aportar nutrientes al suelo de los PUS.</p>	  

Anexo7. Proyección de diseño para parque urbano sustentable.

A través de la siguiente propuesta se pretende diseñar parques urbanos sustentables con el fin de reducir los efectos negativos al ambiente del municipio de Calimaya, por la presencia de actividades mineras a cielo abierto.

Entendiendo, que Calimaya, es uno de los municipios con una gran cantidad de bienes y servicios y, con grandes potenciales laborales y comerciales de acuerdo a INEGI, (2020), estos datos también expresan que el 64 % del espacio destinado al uso residencial está a punto de ser ocupado, por lo que se hace necesario considerar alternativas que proyecten necesidades de demanda de áreas verdes a corto plazo.

Ha continuación se presenta la propuesta de diseño de parque urbano sustentable fundamentada con el conocimiento precedente del Municipio de Calimaya. La misma tiene como objetivo, que la población obtenga los beneficios que trae consigo la ejecución de un parque urbano sustentable dentro de los polígonos de la mina 1 y mina 2 ya que estos sitios actualmente son áreas mineras abandonadas.



LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

PLANO 1

UBICACIÓN:

Abraso Obregon esq con Miguel Hídalgo, Calimaya
Estado de México

EXP.: -----

PROPIETARIO: N/A

SIMBOLOGIA SIGNIFICADO

8.90m	_____	ESTADIA
+ 2 10 30	_____	COORDENADA Y
+ 40 100	_____	COORDENADA X
.	_____	VERTICE
1	_____	REJILLA UTM

ESCALA GRAFICA 1:200



Elaboró
Eduardo Alberto
Valencia García

ESCALA:	FECHA:
1:200	SEPTIEMBRE 2021

Plano topográfico y ubicación de la mina 1, correspondiente a una posible implementación de parque urbanos sustentables, en el municipio de Calimaya.



LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

PLANO 1

UBICACIÓN:

Abrzo Obregon eq con Miguel Hidalgo, Calimaya
Estado de México

EXP: _____

PROPIETARIO: N/A

SIMBOLOGIA SIGNIFICADO

8.90m	_____	BRECHA
+2.11m	_____	COORDENADA Y
+42.10	_____	COORDENADA X
+	_____	VERTICE
+	_____	RETICULA UTM

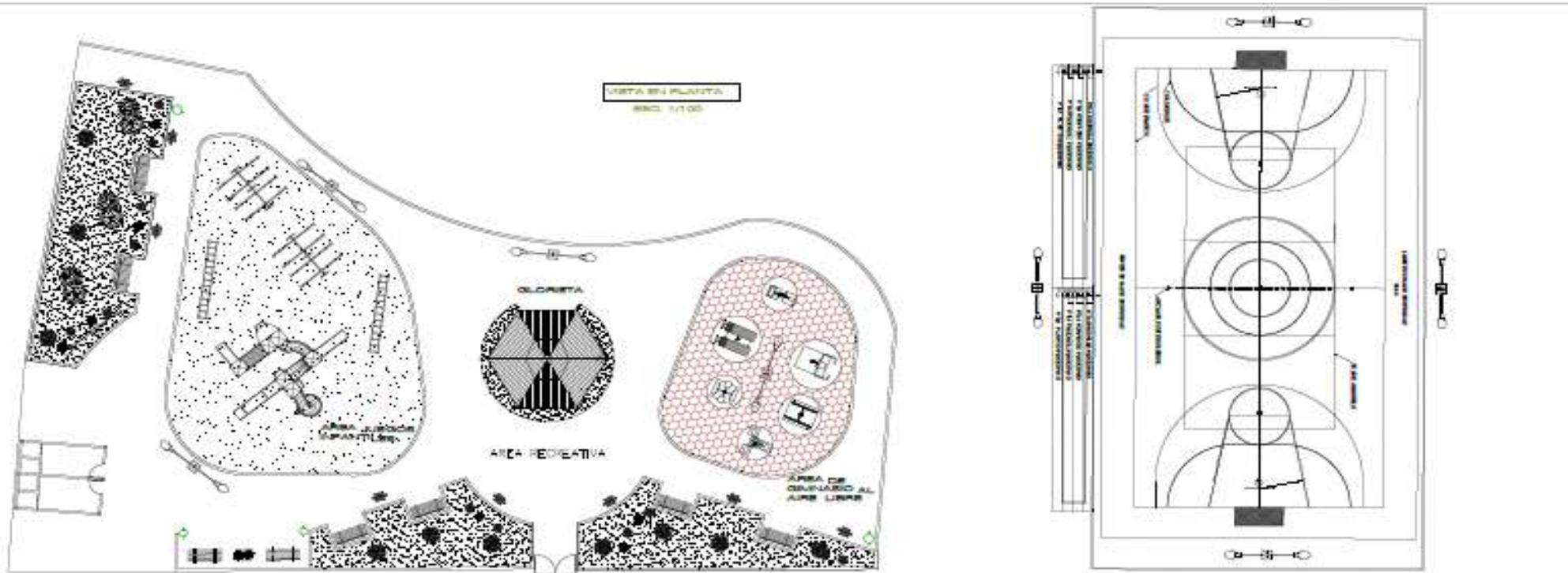
ESCALA GRAFICA 1:200



Elaboró
Eduardo Alberto
Valencia García

ESCALA: 1:200 FECHA: SEPTIEMBRE 2021

Plano topográfico y ubicación de la mina 2, correspondiente a una posible implementación de parque urbanos sustentables, en el municipio de Calimaya.



 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico	
Nombre del Proyecto: PROYECTO DE DISEÑO DE UN PARQUE URBANO EN CALIMAYA	Lugar: CALIMAYA
Autor: ING. JUAN CARLOS GARCÍA	Fecha: 2018
Escala: 1:100	Hoja: A-1

Plano de conjunto que cuenta con vistas en planta y alzado del diseño de parque urbano propuesto para ser instaurado dentro de los socavones abandonados de la mina 1 o mina 2 en el municipio de Calimaya.



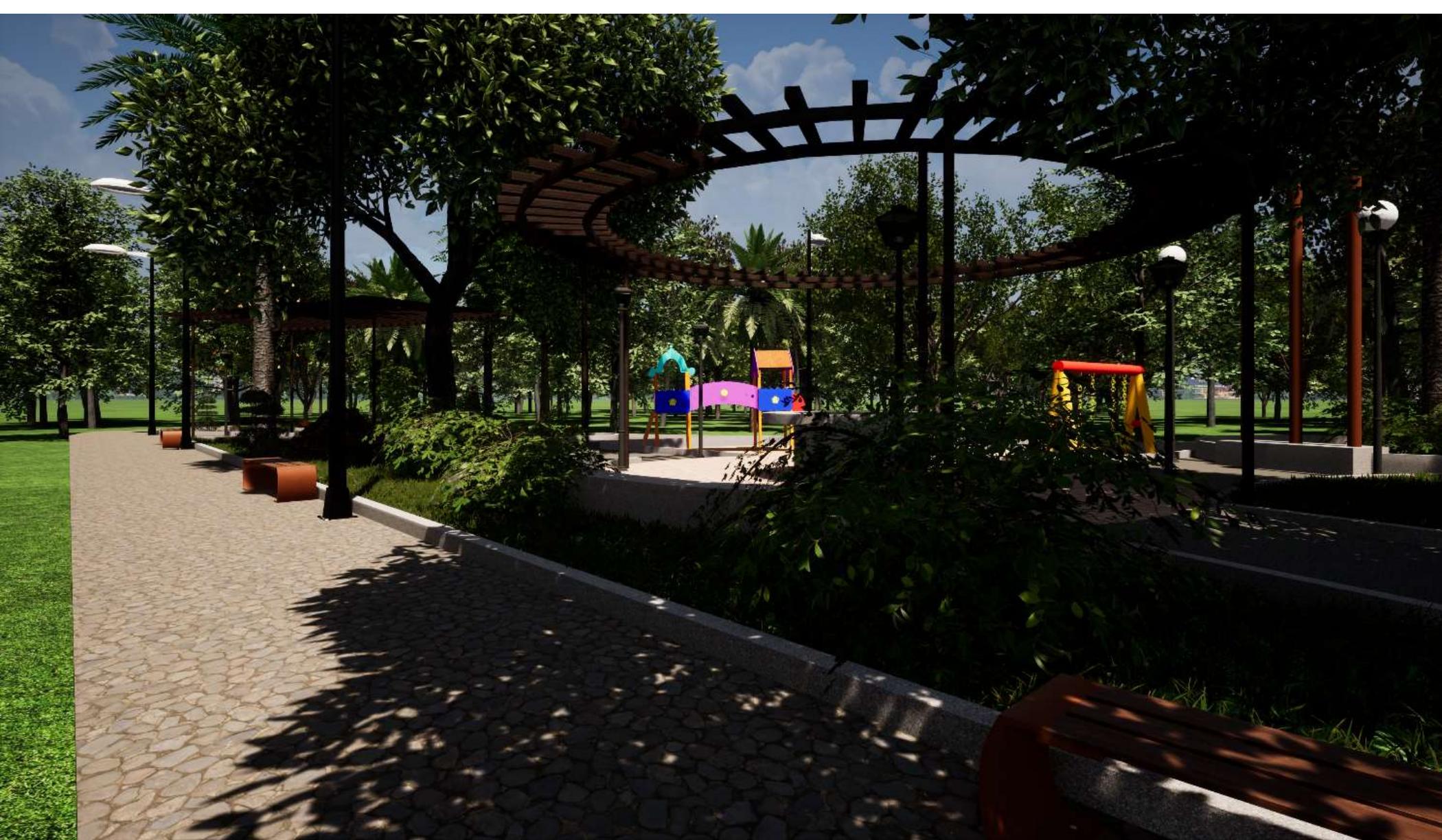
Render o imagen digital en perspectiva, creado a partir de la modelación 3D de la propuesta de parque urbano sustentable en el municipio de Calimaya, realizado usando los softwares Revit y enviado a renderizar en Twinmotion, con el objetivo de generar realismo.



Render o imagen digital en vista aérea de la sección para juegos infantiles dentro del modelo de parques urbanos sustentables de Calimaya.



Render en vista aérea de la sección de áreas verdes dentro del modelo de parques urbanos sustentables de Calimaya.



Render en vista frontal de la zona destinada para la relajación para personas de la 3era edad.



Render en vista frontal del área de andadores peatonales y pistas de ciclismo.



Anexo 8

BOLETÍN GEOLOGICO Y MINERO
2022, VOL. 135 (2), 163-182
ISSN: 0286-0176
http://dx.doi.org/10.21776/bolgeo.v135.2022

Boletín
Geológico y
Minero

RESEARCH ARTICLE

Territorial imbalances associated with mining activity in Calimaya, State of Mexico

Desajustes territoriales asociados a la actividad minera en Calimaya, Estado de México

Eduardo Alberto Valencia García¹, Alexis Ortiz Hernández², José Emilio Baró Suárez³, Brena Violeta Carrasco Gallegos⁴

¹ Facultad de Geografía, Pases Universidad, Cd. Universitaria, CP 62110, Toluca de Lerdo, Méx. Universidad Autónoma del Estado de México, avalencia476@alumno.uaemex.mx, arh@alumno.uaemex.mx, jbaros@uaemex.mx

Corresponding author: arh@alumno.uaemex.mx (Alexis Ortiz Hernández)

Key points

The current situation of impacts due to mining activity in the municipality of Calimaya is analyzed for the analysis of territorial imbalances related to mining activity. Field reconnaissance and remote sensing techniques were used.

Results: Inventory of extractive activities, track of open pit mining, proposals for rehabilitation in abandoned mining activities.

Keywords: Calimaya; Territorial imbalances; Mining; Environmental issues; Remote sensing.

ABSTRACT

Mining is an industrial activity which greatest impact on the ecosystem usually occurs at the end of the exploitation stage. If the mining project has not included a final stage of restoration of the work, it is important to give the affected space proper follow-up. This work focuses on diagnosing the territorial imbalances associated with the mining activity in Calimaya, an area exposed to open pit mining for approximately 30 years. The methodology considers social, legal, cultural, physical and economic aspects, in order to understand the dynamics of the factors present in the study area. General mining cartographic data for the Calimaya area in the State of Mexico, reference images and the application of remote sensing techniques were used for the diagnosis. In the geographic space studied, the main environmental problems were revealed, derived from the uncontrolled open pit mining activity of some products. Likewise, actions to mitigate the negative effects derived from this activity are proposed in the research.

Article History
Received: 09/05/2021
Accepted: 04/05/2022

Puntos clave

Se analiza la situación actual de los impactos por actividad minera en el municipio de Calimaya. Para el análisis de los desajustes territoriales asociados a la actividad minera se usó reconocimiento de campo y teledetección.

Resultados: Inventario de actividades extractivas, seguimiento de minas a cielo abierto, propuestas de rehabilitación en actividades

Palabras clave: Calimaya; Desajuste territorial; Minería; Problemáticas ambientales; Teledetección.

RESUMEN

La minería es una actividad industrial cuyo mayor impacto en el ecosistema se suele producir al finalizar la etapa de explotación, si en el proyecto minero no se ha incluido una última etapa de restauración de las labores, por lo tanto, es importante darle al espacio afectado un adecuado seguimiento. Este trabajo se enfoca en diagnosticar los desajustes territoriales asociados a la actividad minera en Calimaya (Estado de México), una zona expuesta a labores mineras a cielo abierto desde hace aproximadamente 30 años. La metodología, considera aspectos sociales, legales, culturales, físicos y económicos, con el fin de entender la dinámica de los condicionantes presentes en la zona de estudio. Para el diagnóstico realizado se emplearon datos cartográficos de minería general para la zona de Calimaya en el Estado de México, imágenes satelitales de referencia y la aplicación de técnicas de teledetección. En el espacio geográfico estudiado se revelaron las principales problemáticas ambientales, derivadas de la actividad minera de extracción a cielo abierto de productos pétreos. Así mismo, se proponen acciones que permitan mitigar los efectos negativos que de esta actividad se derivaron.

Historial del artículo
Recibido: 09/05/2021
Aceptado: 04/05/2022