



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

**“PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO
DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA
DELEGACIÓN MILPA ALTA”.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA AMBIENTAL-RESIDUOS

P R E S E N T A

IQ. ADRIANA ROÉ SOSA

TUTORA:

DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

**“PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO
DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA
DELEGACIÓN MILPA ALTA”.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA AMBIENTAL-RESIDUOS

P R E S E N T A

IQ. ADRIANA ROÉ SOSA

TUTORA:

DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

2010



JURADO ASIGNADO:

Presidente: **Dra. Orta Ledesma María Teresa**

Secretario: **M. C. Gutiérrez Palacios Constantino**

Vocal: **Dra. Rojas Valencia María Neftalí**

1er Suplente: **M. I. Solórzano Ochoa Gustavo**

2° Suplente: **M. Adm. Ind. Ramírez Burgos Landy Irene**

Lugares donde se realizó la tesis:

Instituto de Ingeniería, UNAM

Delegación Milpa Alta.

TUTORA DE TESIS

Dra. María Neftalí Rojas Valencia

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres Teresita de Jesús Sosa Ortiz y Eduardo Roé Farías, por creer en mi, por sus consejos, por sus palabras de aliento, por estar al pendiente de mi, por su apoyo incondicional y por todo el tiempo que me han dedicado estando yo en la Ciudad de México. ¡¡¡Los he sentido muy cerca de mí, muchas gracias por todo!!!. Siempre están en mi corazón. A mi abuelita Martha Sosa gracias por estar al pendiente de mí, quien ya sabe que la quiero mucho. A mi hermano Ricardo, su esposa Sandra y mis tres sobrinos, que sus lágrimas, palabras y apoyo han sido una muestra muy grande de amor y aliento.

A mis tíos Noé Roé Reyes e Isabel Vargas, y a todos mis primos y sobrinos que forman la familia Roé Vargas, mis más sinceros agradecimientos por acobijarme, adoptarme como la hermana y tía chiquita, además de brindarme su apoyo incondicional en esta ciudad. Sus consejos, pláticas y el calor de hogar han sido un aliento muy grande en esta experiencia de mi vida.

Gracias a mis padrinos Enrique Gil Escalera (en paz descanse) y Celia Llausás de Gil quienes celebraron junto con nosotros el comienzo de esta etapa y siempre estuvieron al pendiente de mí, celebrando mis triunfos y apoyándome en mis fracasos.

A mi novio Leonel Ernesto Amábilis Sosa, no tengo palabras para agradecer todo el apoyo que me ha brindado, sus consejos, su sabiduría y el gran hombre que es, han hecho que esta travesía sea mucho más fácil, gracias a la vida por cruzar nuestros caminos. A sus padres por haber educado a su hijo como un hombre de bien, con muchos valores y principios, y por adoptarme como una hija más, muchas gracias.

Mi más sincero agradecimiento a Crisóforo Torres Romero, Samanta Sánchez Villamil y Juan Araiza, por todo el apoyo brindado para la elaboración de este trabajo, por el tiempo dedicado y por los conocimientos que me han compartido. Su ayuda fue fundamental para la culminación del mismo.

Un agradecimiento muy especial a mis tutores Dra. Neftalí Rojas Valencia y el Maestro Constantino Gutiérrez Palacios, quienes me han compartido sus conocimientos en este trabajo, a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y a CONACyT por brindar las facilidades para que personas, como yo y mis compañeros de la maestría, podamos cursar estos estudios.

A las amistades que he hecho aquí y que hemos compartido demasiadas horas de trabajo, como Victor, Diana, Ariadna y Yajaira, muchas gracias por las palabras de aliento que me brindaron.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a la familia Roé Sosa, que siempre se ha caracterizado por tener valores, principios y conseguir las cosas con trabajo, esfuerzo y dedicación. A ti hermano Eduardo que ya no estas presente te lo dedico porque te lo prometí cuando partiste, seguí tus pasos y aquí estoy luchando por ser alguien en la vida y por ser un ejemplo a seguir como tu siempre lo fuiste y lo seguirás siendo. A ti hermano Ricardo que siempre has sido grande y brillante, que formas una bonita familia y que tienes una esposa ejemplar (Sandra a quien también dedico este trabajo porque la considero parte de la familia Roé Sosa). A ustedes Paola, Ricardo y Eduardo, mis sobrinos, que espero este esfuerzo sirva de inspiración para que ustedes sean personas de bien. Y por último a mis grandes padres, Eduardo Roé Farías y Teresita de Jesus Sosa Ortiz, que gracias a ellos y a su apoyo incondicional yo estoy aquí.

¡¡¡Por creer en mi, les dedico este trabajo!!!

Adriana Roé Sosa.

P.D. Estoy muy orgullosa de pertenecer a esta familia.

ABSTRACT

In the present work, two waste exploitation centers (WEC) located Milpa Alta delegation are proposed. The first, consists in a compost plant (CP) and manual selection of urban solid waste semi-mechanized. The second center, consist too in a compost plant but the selection of urban solid waste, is manual completely.

The study's main objectives are: the develop a basic engineering design and detail of the two proposals of CP and locate, through a Geographical Information System, Method of Moments and Multicriteria Analysis, the environmentally feasible site for the construction of WEC. Another goal is related to the implemetation of a cost analysis to asses the economic feasibility of the projects.

Some technologies, equipment and treatments used in all world, were investigated. Also reviewed the legislation that exist in the country, related to the environmental area, besides, the saving of supplies archieved through the recycling of waste, was estimated.

The study concludes both sites have environmental benefits and create jobs. Besides that they are economically feasible. However, the second has more advantages because it generates more jobs, and produce higher profits. Also that means less energy consumption, electricity and fuels. Also that means less consumption of energy, electricity and fuels.

RESUMEN

El DF generaba, en el 2008, 12 500 toneladas al día de residuos sólidos urbanos (RSU), de las cuales sólo se recicló el 2.97% (DGSU, 2009). Del total de residuos el 0.62% (77 ton/día) corresponde a Milpa Alta, delegación que recicla el 0.005% (0.625 ton/día) de todos los residuos del DF; el resto de los residuos de Milpa Alta (76.375 ton/día) se trasladan al relleno sanitario de Bordo Poniente, con lo que se incrementa el tráfico vehicular y la contaminación atmosférica. El 0.005% de los residuos que se reciclan en Milpa Alta, se tratan en diferentes plantas de composta que funcionan con poca infraestructura y en terrenos prestados, lo que impide que la calidad de la composta sea la que se requiere para los cultivos y el mejoramiento de suelos.

En este trabajo se propone un Centro de Aprovechamiento de Residuos (CAR), en la delegación de Milpa Alta, para producir composta de alta calidad, recuperar los residuos reciclables y disminuir la cantidad de los que requieran disposición final. Se presenta un diseño de ingeniería básica y de detalle del CAR, se ubica el mejor terreno desde el punto de vista ambiental, con base en la normatividad disponible, y se sustenta la factibilidad económica del proyecto.

La metodología se divide en tres etapas: revisión documental, investigación de campo y diseño del CAR. En la primera se hace un estudio de las tecnologías y equipos relacionados con el tratamiento y reciclaje de RSU, donde se observa que los rellenos sanitarios, las plantas de composta y las de selección, el reciclaje y la incineración se utilizan en países desarrollados mientras que, en los subdesarrollados, prevalecen los tiraderos a cielo abierto, la composta casera y en menor porcentaje el reciclaje, las plantas de composta y los rellenos sanitarios.

Las leyes ambientales de nuestro país regulan la ubicación, construcción, operación y clausura tanto de los rellenos sanitarios como de los sitios de confinamiento especial; pero en el caso específico del Estado de México y el DF, estos no cuentan con legislación sólida que regule la ubicación y operación de las plantas de composta. Entre las ventajas que tiene construir el CAR en Milpa Alta se encuentran los ahorros que con el reciclaje de los residuos de la delegación pueden obtenerse: hasta 865 842.45 litros de agua, 105 183.8 kw/h de energía eléctrica, 22 732.68 kg de petróleo, 1 991.85 m² de bosque, 116 árboles y más de 12.5 toneladas de materias primas.

Los estudios diagnóstico que se llevaron a cabo en las estaciones de transferencia de Tlalpan y Milpa Alta, determinaron que los espacios en donde se encuentran ubicadas carecen de las superficies requeridas para la instalación del CAR; además por medio de análisis de composición de muestras se determinó que en Milpa Alta el 39.33% de los residuos son orgánicos, el 33.71 reciclables y el 26.96 restante pertenecen a otros grupos (sanitarios, peligrosos, de la construcción, etc.). En cuanto a la humedad y peso volumétrico los resultados arrojaron, en el primer caso el 30% y, en el segundo, un promedio de 209 kg/m³. Todos estos datos se obtuvieron del Estudio de actualización y composición de los residuos sólidos urbanos en el DF (Orta et al, 2009).

En el año 2030 se recibirán, en la estación de transferencia de Milpa Alta y de acuerdo a estudios proyectivos que se llevaron a cabo en la etapa del diseño del CAR, 169 058 kg/día de RSU, de los cuales 66 490 kg serán orgánicos y 102 568 inorgánicos; el estudio arrojó que las mejores tecnologías para el CAR son las plantas de composta y las de selección. Con base en ello se plantean dos propuestas; la primera conformada por una planta de composta de pilas con aireación mecánica y una planta de selección manual y, la segunda, con la misma planta de composta y una planta de selección semi-mecanizada. Las dos resultan viables económicamente aunque la primera presenta mayores ventajas porque crea más fuentes de trabajo, consume menos energía y combustible y, en 20 años, genera más utilidad económica.

Para la ubicación del CAR se utilizaron varios métodos: Sistemas de Información Geográficos (SIG), Método de Momentos y Análisis Multicriterio (AMC); los primeros permitieron localizar ocho sitios ambientalmente factibles; el segundo, un área coincidente con los sitios localizados por los SIG y, el tercero, en el que se hicieron visitas de campo a los sitios seleccionados por el SIG y AMC, ubicar un sitio que cumple con la mayoría de los criterios de ubicación establecidos en la metodología. En este trabajo se concluye además que el CAR permite, a través del aprovechamiento de los RSU, proteger al ambiente, y generar empleos y utilidades económicas para los inversionistas.

INDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 ALCANCES.....	5
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	7
2.1 ANTECEDENTES.....	7
2.2 TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL	8
2.2.1 Europa.....	8
2.2.2 Asia.....	8
2.2.3 África.....	11
2.2.4 América.....	12
2.3 TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN MÉXICO.....	14
2.4 TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN EL DISTRITO FEDERAL.....	15
2.5 ANÁLISIS DEL CASO ESTUDIO.....	23
2.5.1 Tlalpan.....	23
2.5.2 Milpa Alta.....	24
CAPÍTULO 3. MARCO LEGAL Y TEÓRICO.....	32
3.1 MARCO LEGAL.....	32
3.2 MARCO TEÓRICO	36
3.2.1 Plantas de composta.....	36
3.2.2 Plantas de selección de RSU.....	46
3.2.3 Residuos reciclables.....	68
3.2.4 Ventajas del reciclaje.....	70
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA Y DESARROLLO.....	75
4.1) ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	76
4.1.1) Tecnologías y equipos.....	76
4.1.2) Análisis de la normatividad.....	76
4.1.3) Ventajas del Centro de Aprovechamiento de Residuos (CAR).....	76
4.2) ETAPA 2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	76
4.2.1) Estudios diagnósticos de las estaciones de transferencia de las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta.....	77
4.2.2) Planeación del muestreo para la realización de análisis.....	77
4.3) ETAPA 3. DISEÑO DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS (CAR).....	80
4.3.1) Proyección de residuos.....	80
4.3.2) Selección de tratamientos	82
4.3.3) Selección de los equipos.....	86
4.3.4) Diseño del CAR.....	100
4.3.5) Ubicación del CAR.....	102
4.4) ANÁLISIS DE COSTOS.....	116

CAPITULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	123
5.1) ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	123
5.1.1) Tecnologías y equipos.....	123
5.1.2) Análisis de la normatividad.....	126
5.1.3) Ventajas del Centro de Aprovechamiento de Residuos (CAR).....	127
5.2) ETAPA 2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO.	129
5.2.1) Estudios de diagnóstico de la infraestructura, equipo y personal que labora en las estaciones de transferencia de las delegaciones Tlalpan y Milpa Alta	129
5.2.2) Planeación del muestreo para la realización del análisis.....	132
5.3) DISEÑO DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS (CAR)	137
5.3.1) Proyección de residuos.....	137
5.3.2) Selección de tratamientos.....	138
5.3.3) Selección y dimensionamiento de los equipos.....	141
5.3.4) Diseño del CAR.....	144
5.3.5) Ubicación del CAR.....	152
5.4) ANÁLISIS DE COSTOS.....	160
5.4.1 Análisis de costos del CAR con una planta de selección semi-mecanizada.....	160
5.4.2 Análisis de costos del CAR con una planta de selección manual.....	161

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO A. Tabla de peso volumétrico de los RSU

ANEXO B Clasificación de las colonias de Tlalpan por estrato socio-económico.

ANEXO C. Lista ampliada de subproductos a analizar en el estudio de composición

ANEXO D. Proyección de RSU.

ANEXO E. Equipos seleccionados y diseño de la planta

ANEXO F. Mapas del Método de momentos

ANEXO G. Mapas de SIG

ANEXO H. Análisis de costos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Balance de la gestión integral de los RSU generados (ton/día) en el Distrito Federal (DGSU, 2008).	2
Figura 2.1 Sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en Región de Las Tres Gargantas.	10
Figura 2.2 Manejo de residuos sólidos en el DF.	17
Figura 2.3 Localización de las estaciones de transferencia en el DF	21
Figura 2.4 Planta de composta San Francisco	26
Figura 2.5 Planta de composta San Juan Tepenahuatl	27
Figura 2.6 Planta de composta Tecomiltl	27
Figura 2.7 Planta de composta San Lorenzo	28
Figura 2.8 Planta composta San Pedro Atocpan	28
Figura 3.1. Planta de composta por montículos en Dhaka, Bangladesh.	37
Figura 3.2 Pilas estáticas aireadas de la empresa TRADEBE.	39
Figura 3.3 Cargador frontal simple modelo CW-560.	41
Figura 3.4 Cargador frontal con retroexcavadora hidrochil.	41
Figura 3.5 Minicargador frontal Bobcat 751.	42
Figura 3.6 Camión de volteo de 14 m ³ , marca internacional.	43
Figura 3.7 Mezcladora de composta (Bioactive Windrow Compost Turner – 1800).	44
Figura 3.8 Cosedora de sacos manual.	45
Figura 3.9 Ensacadora HBV 3U, con alimentación, ensacado y sellado mecánico, además de banda transportadora para la alimentación del producto y el transporte de los sacos.	46
Figura 3.10 Planta de Tratamiento de RSU de Alicante, España.	47
Figura 3.11 Báscula de fosa Torrey.	49
Figura 3.12 Báscula de rampa Acemex.	50
Figura 3.13 Báscula portátil Reyca.	50
Figura 3.14 Abre-bolsas 2200-55 de Grupo SPR.	51
Figura 3.15 Molino de martillos de impacto de la empresa FAM.	52
Figura 3.16 Parte inferior del molino de martillos.	52
Figura 3.17 Trituradora de mandíbula marca AUBEMA	53
Figura 3.18 Cuba de trituradora marca SBM.	53
Figura 3.19 Monta cargas Caterpillar.	54
Figura 3.20 Separador neumático de residuos en una planta de selección de RSU.	55
Figura 3.21 Separador óptico de plásticos marca ECOGLASS.	55
Figura 3.22 Tolva de recepción de residuos (flujo masa).	56
Figura 3.23 Banda vibratoria marca Rect y maquinado Vela.	57
Figura 3.24 Aditamento que lleva la grúa, se conoce como pulpo o almeja.	58
Figura 3.25 Aditamento llamado electroimán.	58
Figura 3.26 Grúa caterpillar (material handler).	59

Figura 3.27 Prensas continuas: para residuos sólidos urbanos.	60
Figura 3.28 Prensas hidráulicas para metales con doble o triple compresión.	60
Figura 3.29 Prensas hidráulicas verticales: para hacer pacas de cartón, plástico y similares.	61
Figura 3.30 Banda transportadora de caucho y acero de la empresa Tecnorec Recycling plants and technology.	62
Figura 3.31 Bandas Transportadoras de bisagras.	62
Figura 3.32 Banda transportadora que tiene movimiento por gravedad conocida como roller.	63
Figura 3.33 Banda transportadora de cajones chicos marca Moveyor.	63
Figura 3.34 Criba vibratoria Tamiz vibratorio horizontal Serie STZ (HBM, 2010).	64
Figura 3.35 Criba cilíndrica o trommel (Beaver, 2010).	65
Figura 3.36 Criba de discos (Dinpsa, 2010).	65
Figura 3.37 Separador de metales féreos marca Regulator-Cetrisa.	66
Figura 3.38 Separador para corriente de focault (metales no ferrosos), marca ERNIEZ.	67
Figura 3.39 Planta de tratamiento de RSU de Esquel y Trevelin, con separación manual.	68
Figura 4.1 Diagrama de flujo de la metodología de la tesis.	75
Figura 4.2 Elementos del índice de marginación. CONAPO, 2006.	78
Figura 4.3. Jerarquía del criterio aspectos legal, social y ambiental; y de los subcriterios aceptación social, riesgo de contaminación ambiental y legislación aplicable.	83
Figura 4.4. Jerarquía del criterio equipos y los subcriterios vida útil, escala y experiencia de uso.	84
Figura 4.5. Jerarquía del criterio costo en dólares por tonelada y los subcriterios inversión y amortización, tratamiento de RSU y, operación y mantenimiento.	85
Figura 4.6 Jerarquía del criterio Requerimientos y los subcriterios Nivel de especialización de los trabajadores, Pretratamiento de los RSU y Naturaleza de los RSU.	86
Figura 4.7 Forma de la pila sugerida, en la planta de composta.	90
Figura 4.8. Bandas transportadoras con selección manual.	96
Figura 4.9. Procedimiento del cálculo de la región factible para ubicar el CAR.	105
Figura 4.10. Perfil topográfico (A-B) de un relieve.	108
Adaptada de: Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza.	108
Figura 4.11. Magnitudes relacionadas con la pendiente entre A y B.	108
Adaptada de: Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza.	108
Figura 4.12 .Jerarquía del criterio Distancia en metros [entre el terreno y...]; y los subcriterios una vialidad y zonas de cultivo; zonas de acuíferos superficiales y zonas de vegetación densa y de inundación.	115
Figura 4.13 . Jerarquía del criterio Características del terreno; y de los subcriterios topografía, tipo de propiedad, facilidad de acceso y servicios públicos.	115
Figura 5.1.Plano de la estación de transferencia Tlalpan.	129
Figura 5.2. Plano de la estación de transferencia de Milpa Alta.	131
Figura 5.16. Análisis multicriterio del criterio aspectos social, legal y ambiental y los subcriterios aceptación social, riesgo de contaminación ambiental y legislación aplicable.	138
Figura 5.4. Análisis multicriterio del criterio equipo y los subcriterios vida útil, escala y experiencia de uso.	139

Figura 5.5. Análisis multicriterio del criterio Costos en dólares por tonelada y los subcriterios inversión y amortización, tratamiento y operación y mantenimiento. 139

Figura 5.6. Análisis multicriterio del criterio Requerimientos y los subcriterios Nivel de especialización, pretratamiento y naturaleza de los RSU. 140

Figura 5.7. Diseño general de la planta de selección semi-mecanizada. 151

Figura 5.8. Colocación de las bandas transportadoras para la selección manual. 152

Figura 5.9 Sitios seleccionados para visitar en campo. 158

Figura 5.10 Jerarquía del criterio Distancia, en metros, entre el terreno y; y los subcriterios una vialidad y zonas de cultivo, zonas de acuíferos superficiales y zonas de vegetación densa y de inundación. 159

Figura 5.11 Jerarquía del criterio Características del terreno; y los subcriterios topografía, tipo de propiedad, facilidad de acceso y servicios públicos. 159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características de las tres PS que tiene el DF. 20

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Tabla 2.2 Toneladas de residuos que llegaron en el año 2008, a las 13 estaciones de transferencia del D.F. 21 (PGIRS, 2009)..... 21	21
Tabla 3.1 Clasificación de los termoplásticos. Fuente: NMX-E-232-SCFI-1999..... 69	69
Tabla 4.1. Constantes empíricas requeridas para el cálculo de la Hp vacía de 94 una banda transportadora 94	94
Tabla 4.2 Características requeridas para el cálculo de la potencia del triturador (Rhyner, 1995). 97	97
Tabla 4.3 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de población. 105	105
Tabla 4.4 Factores de importancia sobre los tipos de vialidades. 106	106
Tabla 4.5 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las vialidades. 107	107
Tabla 4.6 Factores de importancia sobre las pendientes del terreno 107	107
Tabla 4.7 Datos requeridos para calcular el centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por la topografía del lugar. 109	109
Tabla 4.8 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado..... 110 por el criterio de los servicios públicos..... 110	110
Tabla 4.9 Factores de importancia sobre los servicios públicos. 110	110
Tabla 4.10 Factores de importancia de las zonas de inundación y conductos de Pemex..... 110	110
Tabla 4.11 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las zonas de inundación y las líneas de conducto de PEMEX. 111	111
Tabla 4.12 Factores de importancia de las zonas probables de compradores de composta. 111	111
Tabla 4.13 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las zonas probables de compradores de composta..... 111	111
Tabla 4.14 Factores de importancia de las zonas protegidas..... 112	112
Tabla 4.15 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las zonas protegidas. 112	112
Tabla 4.16 Factores de importancia de las zonas donde se ubiquen cuerpos de agua superficiales. 112	112
Tabla 4.17 Datos requeridos para calcular el centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las zonas donde haya cuerpos de agua superficiales. 112	112
Tabla 5.1. Cuadro comparativo (indicadores de desarrollo). 124	124
Tabla 5.2. Cuadro comparativo (tratamiento de residuos). 125	125
Tabla 5.3. Cuadro comparativo de la LGPGIR, de normas federales y de normas aplicables al DF 126	126
Tabla 5.4 Ahorros de energía, agua, insumos y materias primas, que se obtendrían al reciclar algunos RSU. (proyección hecha para el año 2030) 128	128
Tabla 5.5. Generación de residuos, en la delegación de Milpa Alta, para el año 2030. 128	128
Tabla 5.6 Cantidad de contaminantes que se evitarían si se reciclan papel, plástico, acero, vidrio y cartón en la delegación de Milpa Alta. 128	128
Tabla 5.7 Registro de los residuos que se recibieron en la estación de transferencia de Milpa Alta, del lunes tres al martes once de noviembre de 2008..... 131	131
Tabla 5.8. Vehículos recolectores muestreados en la delegación Milpa Alta, el 11 de diciembre de 2008..... 133	133
Tabla 5.9. Vehículos recolectores muestreados en la delegación Milpa Alta, el 16 de diciembre de 2008..... 134	134
Tabla 5.10. Vehículos recolectores muestreados, en la delegación Tlalpan, el día 19 de diciembre de 2008..... 134	134
Tabla 5.11. Vehículos recolectores muestreados, en la delegación Tlalpan, el día 9 de enero de 2009. 134	134
Tabla 5.12. Diferentes estudios de composición de RSU en México. 135	135
Tabla 5.13. Composición de los residuos por grupo y generación de los mismos en los años 2008 y 2030, en la Delegación Milpa Alta. 136	136
Tabla 5.14. Composición de los residuos por grupo y generación de los mismos en los años 2008 y 2030, en la Delegación Tlalpan. 136	136
Tabla 5.15. Humedad y peso volumétrico de los RSU muestreados en las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan. 137	137
Tabla 5.16. Análisis multicriterio para la selección de la mejor tecnología. 140	140
Tabla 5.17. Equipos propuestos para la planta de composta. 143	143
Tabla 5.18. Equipos propuestos para la planta de separación. 141	141
Tabla 5.18. Continuación... Equipos propuestos para la planta de separación. 142	142
Tabla 5.20. Cambio de volumen y peso de los residuos orgánicos, durante los 90 días del tratamiento. 146	146
Tabla 5.19. Evaporación de agua en la delegación Milpa Alta. 146	146

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Tabla 5.20. Agua que se requiere en el proceso.	149
Tabla 5.21. Continuación... Agua que se requiere en el proceso.	150
Tabla 5.22. Relación de los mapas analizados y coordenadas resultantes de la evaluación de los criterios por el método de momentos.	153
Tabla A.1. Peso volumétrico de los RSU.	1
Tabla A.2. Precio de compra de los residuos reciclables.	2
Tabla B.1. Colonias de la delegación Tlalpan con sus respectivos niveles de marginación y estrato socioeconómico.	1
Tabla B.1. Continuación... Colonias de la delegación Tlalpan con sus respectivos niveles de marginación y estrato socioeconómico.	2
Tabla B.1. Continuación... Colonias de la delegación Tlalpan con sus respectivos niveles de marginación y estrato socioeconómico.	3
Tabla B.1. Continuación... Colonias de la delegación Tlalpan con sus respectivos niveles de marginación y estrato socioeconómico.	4
Tabla C.1. Comparación de la NMX-AA-22-1985 con la lista ampliada de subproductos.	1
Tabla C.1. Continuación... Comparación de la NMX-AA-22-1985 con la lista ampliada de subproductos.	2
Tabla E.1. Proyección de población y residuos por grupos que llegan a la estación de transferencia Milpa Alta.	1
Tabla E.2. Proyección de población y residuos por grupos que llegan a la estación de transferencia Milpa Alta.	2
Tabla E.3. Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta.	3
Tabla E.4. Continuación... Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta.	4
Tabla E.5. Continuación... Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta.	5
Tabla E.6. Continuación... Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta.	6
Tabla E.7. Continuación... Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta.	7
Tabla F.1. Relación de los mapas analizados por el método de momentos.	1
Tabla G.1. Relación de los mapas analizados por Sistemas de Información Geográficos.	1
Tabla H1. Inversiones fijas.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla H1. Continuación... Inversiones fijas.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla H2. Inversiones diferidas.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla H3. Capital de trabajo.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla H4. Inversiones totales.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla H5. Depreciaciones.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla H6. Amortizaciones.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla H7. Presupuesto de ingresos y egresos.	¡Error! Marcador no definido.

SIGLAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Análisis Multi-Criterio	AMC
Banda Transportadora	BT
Bordo Poniente	BP
Centro de Aprovechamiento de Residuos	CAR
Centro de Gravedad	C.G.
Centro Integral de Reciclaje	CIR
Centro Integral de Reciclaje y Energía	CIRE
Dirección General de Servicios Urbanos	DGSU
Distrito Federal	DF
Environmental Protection Agency	EPA
Estación de Transferencia	ET
Estados Unidos de América	EE.UU.
Instituto Nacional de Ecología	INE
Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos	LGPGIR
Ley de Residuos Sólidos del DF	LRSDF
Programa de Gestión Integral de Residuos	PGIR
Planta de Composta	PdC
Planta de Selección	PS
Policlorobifenilo	PCB
Polipropileno	PP
Polietileno de baja densidad	LDPE
Polietileno de alta densidad	HDPE
Poliestireno	PS
Polietilentereftalato	PET
Policloruro de vinilo	PVC
Residuos de Manejo Especial	RME
Residuos Inorgánicos	RI
Residuos Orgánicos	RO
Residuos Peligrosos	RP
Residuos Sólidos Urbanos	RSU
Sistemas de Información Geográficos	SIG

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

A partir de 1994 los sucesivos gobiernos del DF han hecho esfuerzos importantes en el aprovechamiento de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Prueba de ello es la existencia de las Plantas de Separación (PS) Bordo Poniente (BP) y San Juan de Aragón construidas en 1994 y, la de Santa Catarina, en 1996 (con un periodo de vida útil de 15 años las tres, y una capacidad instalada de 2 000 ton/día las dos primeras, y 2 500 ton/día la última).

En 2006 el DF contaba con trece Plantas de Composta (PdC) distribuidas, ocho de ellas, en diferentes colonias de la delegación Milpa Alta las cuales se redujeron, dos años después, a nueve PdC ya que se clausuraron cuatro en la delegación mencionada. Por lo anterior, quedaron cuatro en Milpa Alta con una capacidad instalada, en conjunto, de 1 380 ton/año y las cinco restantes ubicadas, una de ellas, en BP con una capacidad instalada de 73 000 ton/año y las otras, en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Iztapalapa y Xochimilco; con una capacidad de 1 836, 1 200, 1 440 y 1 295 ton/año, respectivamente. Además cabe señalar que las últimas cuatro PdC tratan residuos de poda, mientras que la de BP los recibe de las estaciones de transferencia; de entidades públicas y de la misma planta para su posterior tratamiento. En lo que se refiere, de manera específica a la PdC de Xochimilco, puede decirse que a ella también llegan diferentes tipos de residuos: orgánicos domiciliarios, de jardinería de los cementerios, de excretas de animales y de lodos activados (PGIR, 2009).

Conforme a datos proporcionados, en 2008, por la Dirección General de Servicios Urbanos del Distrito Federal (DGSU) a través de pesajes que se llevaron a cabo en las Estaciones de Transferencia (ET); en las PS y PdC; en el relleno BP y en los residuos recolectados por particulares se puede derivar, como se pone de manifiesto en la figura 1.1, que en el DF, se generan 13 181.59 ton/día de las cuales el 97.03% (12 790.21 ton/día) se depositan en el relleno sanitario BP, mientras que los residuos recuperados ascienden sólo al 2.97% (391.5 ton/día), de los cuales el 2.4% (316.36 ton/día) corresponden a residuos inorgánicos y el 0.57% (75.14 ton/día) a residuos orgánicos que se tratan en las PdC.

De este tamaño es el problema del manejo de los RSU en el DF, por la poca infraestructura que existe para aprovechar adecuadamente y, desde diferentes vertientes, los RSU que se generan en esta zona geográfica, una de las más importante del país que cuenta con 8.8 millones de habitantes (CONAPO, 2009).

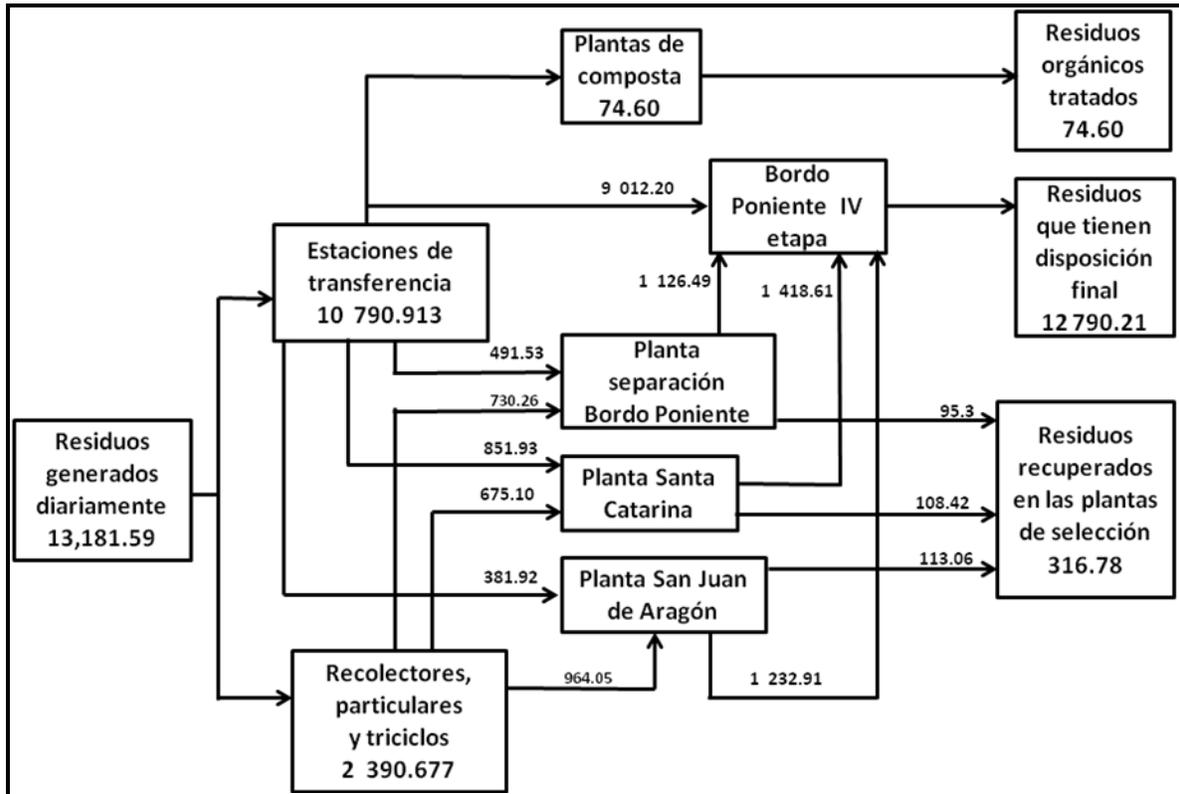


Figura 1.1 Balance de la gestión integral de los RSU generados (ton/día) en el Distrito Federal (DGSU, 2008).

Las tres PS de RSU del DF, que funcionan en poco menos de cuatro hectáreas cada una, reciben 4 094.79 ton/día y únicamente recuperan 316 ton/día de residuos reciclables, por lo que trabajan con una eficiencia comprendida entre el 7.1 y el 8.3% (Flores, 2009).

La delegación Tlalpan no cuenta con PS de RSU, ni de composta para aprovechar los residuos reciclables; sin embargo, la delegación Milpa Alta tiene cuatro PdC que tratan mucho menos del 0.005% (aproximadamente seis ton/día) de los residuos que se disponen en el relleno sanitario BP (12 500 ton/día). Cabe mencionar que las dos delegaciones cuentan con ET.

En la actualidad, algunos países desarrollados utilizan Centros Integrales de Reciclaje y Energía (CIRES) para tratar residuos orgánicos, separar los residuos reciclables y obtener energía a través de procesos térmicos como incineración, pirólisis y gasificación; procesos, como el primero, que por aspectos económicos no han sido implementados en el DF y como el segundo y tercero, no se han demostrado que sean adecuados para el tratamiento de RSU, sus costos de operación son elevados y se les tiene desconfianza, Otra tendencia que existe para el tratamiento de RSU es la de los Centros Integrales de Reciclaje (CIRS), en los cuales se llevan a cabo las mismas actividades que se desarrollan en los CIRES, exceptuando la que se refiere a la obtención de energía. Una más de las formas del manejo de los residuos es la que corresponde a los Centros de Aprovechamiento de Residuos (CAR), en los cuales hay separación y acondicionamiento de RSU para facilitar su reciclaje.

Por lo anteriormente expuesto, en el presente trabajo se hará una propuesta de instalación de un CAR, en la delegación Milpa Alta, para aprovechar residuos reciclables y disminuir la cantidad de RSU que necesiten disposición final, aumentándose con ello el tiempo de vida útil de los rellenos sanitarios que se construyan en el futuro.

1.1 JUSTIFICACIÓN

El relleno sanitario Bordo Poniente (BP) se clausuró oficialmente el 31 de julio de 2008 y a pesar de ello sigue funcionando ya que se le han conseguido tres prórrogas, la última de las cuales indica que debe clausurarse en forma definitiva el 31 de diciembre de 2011 (SEGOB, 2010). Por lo anterior se requiere encontrar formas que garanticen el manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU), ya que cada vez es más difícil encontrar terrenos para su disposición final. Se seleccionó Milpa Alta para la instalación del Centro de Aprovechamiento de Residuos porque es una de las delegaciones más alejadas de BP (se encuentra al sur del DF), en ella se realiza la separación desde la fuente, en orgánico e inorgánico, en el 70% de su población y tiene cinco plantas de composta (PdC) que operan, aunque lo hacen con escasos recursos. Con la propuesta se busca el aprovechamiento de los residuos con base en las características física y de composición de los mismos; además de que se procura el ahorro de energía, combustible, horas-hombre y de tráfico, que se emplean en el traslado de los RSU al relleno sanitario BP.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar la composición y propiedades físicas de los residuos sólidos urbanos que se reciben en la estación de transferencia Milpa Alta para proponer el diseño de un Centro de Aprovechamiento de Residuos destinado a la misma, considerando para ello la generación de residuos sólidos urbanos, la infraestructura y el equipamiento que existe, así como las necesidades presentes y futuras.

Objetivos Específicos

Hacer una revisión y análisis documental sobre tecnologías y equipos relacionados con el tratamiento y reciclaje de residuos sólidos urbanos.

Revisar la normatividad existente relacionada con el reciclaje, tratamientos y disposición final de los residuos sólidos urbanos.

Analizar las ventajas ambientales del Centro de Aprovechamiento de Residuos.

Elaborar estudios de diagnóstico de las estaciones de transferencia de Tlalpan y Milpa Alta, para determinar la factibilidad técnica de la construcción de un Centro de Aprovechamiento de Residuos dentro de sus instalaciones.

Seleccionar los tratamientos que se propondrán para el Centro de Aprovechamiento de Residuos, por medio de análisis multicriterio.

Elaborar una proyección, a 20 años, de los residuos sólidos urbanos que llegan a la estación de transferencia de Milpa Alta.

Seleccionar los equipos del Centro de Aprovechamiento de Residuos, conforme a sus costos y a la naturaleza de los residuos sólidos urbanos.

Elaborar el diseño conceptual y de detalle del Centro de Aprovechamiento de Residuos.

Localizar a través de método de momentos, sistemas de información geográficos y análisis multicriterio un terreno que reúna las condiciones para la construcción del Centro de Aprovechamiento de Residuos.

Determinar la factibilidad del proyecto a través de un análisis de costo y el tiempo de recuperación de las inversiones iniciales.

1.3 ALCANCES

Este trabajo se circunscribe al diseño conceptual, a nivel de ingeniería básica y de detalle, de un Centro de Aprovechamiento de Residuos (CAR), en el que se propone la recuperación de los residuos urbanos orgánicos e inorgánicos, por medio de una planta de composta y una de selección respectivamente. Para la planta de composta, se consideran los aspectos básicos relacionados con la calidad de la misma; por su parte, en la planta de selección no se tomarán en cuenta (o aceptarán) residuos sanitarios ni peligrosos.

La capacidad de recepción y funcionabilidad del CAR, se proyecta a 20 años (2030), considerando que se traten el 100% de los residuos orgánicos que lleguen, y que se recuperen con una eficiencia entre el 80 y 90% los residuos reciclables. En su diseño, se plantea que la separación de los residuos inorgánicos se realiza de manera manual y mecánica, seguida por la correspondiente trituración o compactación final para acondicionar los RSU para su venta. En lo que respecta a la planta de composta, se considera un sistema de pilas con aireación mecánica, además de equipos de trituración y empaclado.

Otro aspecto que se desarrolla en el presente trabajo, es la ubicación geográfica del CAR, basada en aspectos ambientales, sociales, de infraestructura y comunicación.

La implementación del CAR, puede tener beneficios ambientales y sociales, los primeros se reflejan en el ahorro de materias primas, energía, agua, petróleo y espacio en volumen y aumento del tiempo de vida útil en el relleno sanitario; y los segundos, se dan generando empleos.

CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES

Este capítulo muestra como ha ido evolucionando el manejo de los RSU a través del tiempo y algunas tecnologías de tratamientos que se utilizan en el mundo. Además da un panorama del manejo de los residuos en el país, en el DF y en las delegaciones estudiadas.

2.1 DEL NOMADISMO A LOS CENTROS URBANOS

En la etapa del nomadismo los grupos humanos no sintieron necesidad de desarrollar estrategias para el manejo de los RSU que generaban debido a que en esa época aún no existían centros de población establecidos. Fue a partir de que el hombre vivió en forma sedentaria (aproximadamente 10 000 años a.C.), cuando empezó a padecer los problemas ocasionados por la acumulación de diferentes tipos de residuos sólidos y a buscar soluciones que le permitiera resolver las dificultades que enfrentaba, soluciones que fueron perfeccionándose a través del tiempo (Herbert, 2001).

En el año 500 a.C. en la ciudad de Atenas se construyó el primer vertedero de residuos de que se tenga registro, cuya experiencia sirvió de modelo para otras ciudades de Europa. En algunos conglomerados humanos el arrojo de residuos a los cauces de ríos y arroyos motivó problemas de salud, por lo que a partir de 1388 el Parlamento Inglés prohibió disponer los residuos en esos sitios. En el caso de París la no existencia de vertederos para la “basura” generó serios conflictos a partir de 1400 ya que los promontorios de residuos dispersos por la ciudad, aparte de ser focos de infección eran, a la vez, obstáculos que interferían en la defensa de la ciudad (Herbert, 2001).

Lo anterior permite apreciar que, en el transcurso del tiempo, los seres humanos se han dado cuenta que es necesario disponer los residuos sólidos de manera adecuada para evitar múltiples problemas, entre los que destacan la proliferación de enfermedades y la contaminación de acuíferos (Herbert, 2001).

A partir de 1840, puede decirse que inició la “era de la sanitización”, ya que empezaron a destruir los residuos por medio de la quema de estos, y para 1984 se construyó el primer incinerador en Inglaterra, el primer incinerador de residuos sólidos urbanos y, en 1885 en Estados Unidos de América, el segundo (Herbert, 2001).

2.2 TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL

2.2.1 Europa

Dinamarca

En Copenhague, Dinamarca, de las 264 000 toneladas de RSU que se generaron en 2006, el 0.5% (1 320) se dispuso en rellenos sanitarios; el 82% (216 480) se incineraron en tres plantas localizadas en las ciudades de Amargerfor Braending, Vestforbraending y Rensningsanlaeg Linetten, y el 17.5% de los RSU se reciclaron, es decir, 46 200 toneladas (Björn, 2009).

Grecia

En Grecia, el 40% de los RSU se depositan en tiraderos a cielo abierto no controlados y el 52%, en rellenos sanitarios, de lo que se deduce que sólo el 8% son aprovechados de alguna manera (Papachristou, 2008). En el país existe oposición al uso de incineradores, debido a que el terreno es montañoso, tiene una gran cantidad de islas y pocas zonas rurales; además de que arriban a él muchos turistas (Mavropoulos, 2009).

2.2.2 Asia

Japón

Japón cuenta con un sistema integral de aprovechamiento de residuos, ya que se promueve el reuso y reciclaje de los RSU incombustibles y voluminosos que se generan; se tratan los residuos peligrosos como el policlorobifenilo (PCB); se reciclan los residuos de excavación, demolición y construcción, además, por medio de gasificación, se reciclan llantas automotrices, lodos generados por el tratamiento de aguas residuales y residuos incinerables. También se obtiene energía por medio de la incineración de residuos industriales y autos triturados (Nippon, 2008).

Para el reuso y reciclaje de los RSU, en Japón hay una planta de reciclaje, la cual cuenta con separadores magnéticos (para metales ferrosos y no ferrosos); compactadores de botellas de Tereftalato de Polietileno (PET); máquinas empacadoras y bandas transportadoras (Nippon, 2008).

Nepal

En Nepal, país ubicado en Asia Meridional, el 70% de sus residuos son orgánicos, el 20 reciclables y el 10 inertes. Existen zonas donde los residuos reciclables son separados para facilitar su reciclaje y otras donde la población aún deja sus residuos en los lechos de ríos y en lugares públicos, y sólo tres ciudades (Tribhuwan, Katmandu y Pokhara) cuentan con rellenos sanitarios. Debido a que el porcentaje de residuos orgánicos es alto el gobierno los trata, para composta, en tambos de 200 litros y también mediante el compostaje aeróbico en pilas. Además en la actualidad se está promoviendo, en el país, un programa de composta casera (Pokhrel, 2005).

India

Se instaló una planta de incineración en Delhi, en 1980, sin embargo, no resultó ni económica ni ambientalmente factible. En la actualidad los residuos orgánicos conforman entre el 50 y 75% del total de los RSU y la mayoría de estos son tratados en plantas de compostas y rellenos aireados (Narayana, 2009).

La ciudad de Bombay cuenta con una planta de composta privada que procesa 300 ton/día, la cual inició sus operaciones en 1992. Además hay otras plantas de composta similares a la de Bombay en las ciudades de Banglore, Calcutta, Thane, Chandigarh, Gwalior, Solan y Delhi (Pokhrel, 2005).

Singapur

En la República de Singapur, pequeña isla de 707 km² ubicada en el Sudeste Asiático, existe un plan nacional de reciclaje que cuenta con una infraestructura de cuatro plantas de incineración en las que se tratan el 90% de los residuos (con alto poder calorífico) lo que permite la producción de 980 millones de kwh, aproximadamente el 3% del total de energía que se consume anualmente en el país.

El 10% restante, conformado por residuos reciclables (de la construcción y demolición, botellas de vidrio y de plástico, latas, papel, cajas de cartón y ropa) y no reciclables (baterías, cuero, hielo seco, etc.) se envían a un Centro integral de reciclaje (CIR), donde son recuperados, clasificados y reciclados los primeros y, los segundos, depositados en el relleno Sanitario de Semakau que se localiza en la isla artificial de Pulau Semakay, a 8 km al sur de Singapur (Asia 3R, 2006).

Esta isla tiene un área de 350 ha, la cual está conformada por manglares (13.5 ha), una zona para la marina, otra zona turística y el relleno sanitario Semakau (3.5 km²), que tiene una capacidad de 63 millones de m³. El perímetro del relleno sanitario (7.5 km aproximadamente), está cubierto por una geomembrana impermeable destinada a proteger las aguas del mar, de los lixiviados que se generan en el. Éste relleno, recibe diariamente 1 400 toneladas de cenizas y 600 de residuos no incinerables. (Corazon, 2009).

China

En la Región de Las Tres Gargantas, China, se tiene un sistema de separación de RSU para facilitar su reciclaje, tratamiento y disposición final. Por medio de él se hace una separación primaria de residuos peligrosos (RP), reciclables, orgánicos y voluminosos (ver figura 2.1). Los primeros se llevan a un confinamiento especial; los segundos (papel, plástico y metales) se reciclan; los terceros se destinan a la elaboración de composta que se usa como fertilizante y los cuartos se comprimen para ser incinerados o dispuestos en un relleno sanitario, según corresponda (Wang, 2009).

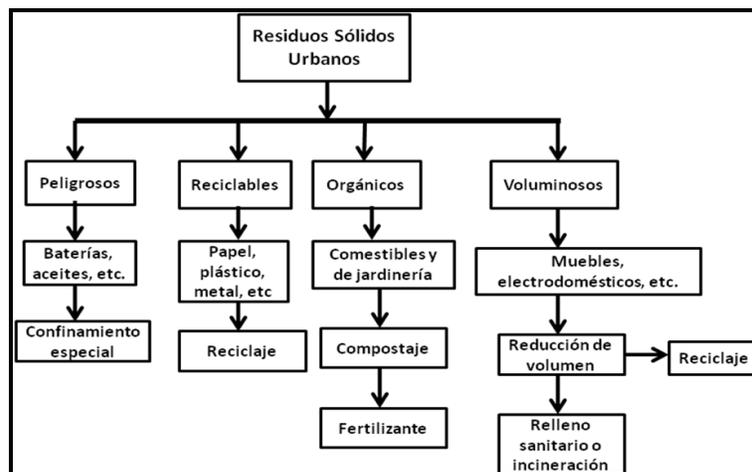


Figura 2.1 Sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en Región de Las Tres Gargantas. Adapted de: "Management of municipal solid waste in the Three Gorges region" (Wang, 2009).

2.2.3 África

Kenia

A pesar de que Kenia posee una economía estable, comparada con la de otros países del continente, padece problemas que son comunes a otras muchas de las 54 naciones africanas como sequías, inundaciones, prostitución, enfermedades, analfabetismo, contaminación ambiental, desempleo y conflictos civiles, entre otros (Mwesigye, 2009).

Nairobi

En Nairobi, su capital, la cuarta más grande de África, la más poblada y uno de los centros urbanos más afectados por la inseguridad se implementó, en 1999, un programa de tratamiento de RSU impulsado por la Asociación Kayonle de Manejo Ambiental. El programa inició con 400 personas que participaron en la recolección, tratamiento y reciclado de los residuos de los hogares ubicados en los suburbios de la parte oriental de Nairobi y de los arrojados en vertederos a cielo abierto.

Otro programa que se implementó, en 1995, fue el de la compañía City Garbage (CGR) en el área Herlingo, zona ubicada al este de Nairobi; un programa que fue diseñado con el propósito de sensibilizar a la comunidad sobre la importancia de incidir en el cuidado del medio ambiente por medio del reciclaje de los RSU.

A través de este programa, apoyado por integrantes de la comunidad y de instituciones públicas, y respaldado técnicamente por el Instituto de Investigaciones Agrícolas y el Departamento de Ciencias de Suelo de la Universidad de Nairobi se ha logrado, con las 100 toneladas que se recogen mensualmente, obtener 70 toneladas de composta, y con ello, reducir la contaminación de aire, suelo y agua; prevenir algunas enfermedades y motivar a miembros de la comunidad para que participen en la gestión de residuos (Muirurip, 2010).

2.2.4 América

Canadá

En Edmonton Canadá se encuentra el CIR de RSU conocido como “Edmonton Waste Management Center”, que cuenta con una planta de selección de residuos reciclables y con una de composta; la primera tiene un terreno de 6 000 m², una capacidad instalada de 40 000 ton/año y se le considera una de las más avanzadas para reciclar residuos en Norte América; la segunda tiene una superficie de 38 690m² y una capacidad instalada de 200 000 ton/año para residuos domiciliarios y 25 000 para biosólidos secos (Leonard, 2008).

Además el centro posee dos rellenos sanitarios, uno seco en donde se reciben residuos de la construcción y demolición y, el otro, destinado a residuos que no se pueden reciclar. Tiene también un sistema de captación y tratamiento de lixiviados y biogás (Leonard, 2008).

A la planta de selección de residuos reciclables se hacen llegar los residuos mezclados que se recolectan por medio del programa “Bolsa Azul”, a través del cual la población deposita en bolsas transparentes del color mencionado latas de aluminio y metal, revistas, plásticos, papel, cartón, CD, y aparatos electrónicos [computadoras, aspiradoras, microondas, tostadores de pan, entre otros] (Leonard, 2008)..

El personal de los vehículos recolectores verifica que la separación sea correcta; de no ser así levantan un reporte y no los recogen. Los residuos reciclables son llevados a la PS en donde los hacen pasar por bandas transportadoras; separadores neumáticos, magnéticos, por tamaño (trommel) y para corriente de Foucault; todo esto con el fin de separar los residuos y facilitar la compactación, transporte y venta de los mismos (Leonard, 2008).

Una vez seleccionados, los residuos orgánicos se transportan a un edificio de aireación con techo, ubicado dentro de la planta de composta. En él se forman pilas que son mezcladas con equipos especiales, para dejarlas reposar en un período comprendido de 14 a 21 días (Leonard, 2008).

Transcurrido el tiempo se criba la composta formada para separar los residuos no biodegradables que hayan quedado. Posteriormente, con la composta obtenida, se forman nuevas pilas en un patio al aire libre en donde se dejan reposar de cuatro a seis meses. Después del tiempo señalado, la composta puede utilizarse como abono destinado a tierras de cultivo, viveros, jardines y otros lugares en donde se requiera. Los residuos no biodegradables, que ascienden aproximadamente al 35%, se depositan en un relleno sanitario (Leonard, 2008).

Estados Unidos de América

En EE.UU. se empezaron a utilizar incineradores de RSU a partir de 1885, los que se incrementaron de tal forma que en el año 1930 se contaba ya con 700. Esta proliferación no fue controlada, por falta de normas que regularan su operación y ubicación. En 1966 el número de incineradores descendió de 700 a 265, debido a los problemas de emisión de contaminantes arrojados al aire y generados por las limitaciones tecnológicas que existían, lo que motivó la aprobación de leyes para evitar el envío de gases tóxicos a la atmósfera. A partir de entonces se dio prioridad a los rellenos sanitarios, como método de manejo de los RSU (Hickmann, 2003).

La construcción de los modernos rellenos sanitarios se inició en 1937 en la ciudad estadounidense de Fresno, California, en donde funcionó uno durante 50 años. Otro relleno sanitario se construyó en 1948, en la ciudad de Nueva York, y llegó en su momento a ser el más grande del mundo de tal forma que podía verse, como la Muralla China, desde el espacio exterior (Gaggero, 2010).

En los EE.UU. se han buscado diferentes alternativas para resolver los problemas generados por los RSU. En 1900, por ejemplo, los cerdos eran alimentados con residuos orgánicos crudos, pero como enfermaron, por ley se obligó a los propietarios a alimentarlos con residuos orgánicos cocidos (De Kadt, 2001).

Otra forma de deshacerse de los RSU consistió en depositarlos, a partir de 1940, en el norte del Océano Atlántico lo que resultó contraproducente porque empezaron a llegar residuos hospitalarios y de otro tipo a las playas de Nueva York y Nueva Jersey. Debido a ello las autoridades prohibieron, a partir de 1988, que los océanos fueran depósitos de RSU (Parmentier, 1997).

En 1954 se construyó el primer centro de acopio de latas de aluminio en Olimpia, Washington y en 1968 se empezó, de manera formal, la industria de reciclaje del aluminio. En 1970 se abrió la primera planta de aprovechamiento de residuos en Bradford, la cual fue diseñada por Peter Parker, un ingeniero que obtuvo varias patentes sobre equipos de separación de RSU (separación de latas, según el tipo de metal, y de vidrio, por su color y triturado). En 1979 la Environmental Protection Agency (EPA) prohibió la apertura de más rellenos sanitarios por su mal diseño y operación y, además, entre 1978 y 1988 clausuró el 70% de los rellenos existentes (EPA, 2009).

Fue entonces cuando empezaron a mencionarse las plantas de cogeneración, como solución al problema, aunque se abandonó la idea porque a pesar de que reducían los volúmenes de los RSU, generaban gran cantidad de contaminantes.

En 1990 se comenzó a abordar el tema de reciclaje tanto en EE. UU. como en el resto del mundo (Herbert, 2001). Es importante señalar que en el país se siguen utilizando los incineradores de RSU aunque con mayores controles técnicos y en un número reducido (87 en el año 2008). En lo que se refiere a rellenos sanitarios, en 2008 el país contaba con 1 812 y con 545 plantas de selección de RSU (EPA, 2009).

Un método de tratamiento de residuos orgánicos que está teniendo auge en países como EE.UU., India, Alemania y Japón es el de los rellenos aeróbicos, los cuales tienen la ventaja de estabilizar los residuos orgánicos más rápido que los rellenos anaerobios, (Pokhrel, 2005).

2.3 TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN MÉXICO

En nuestro país no existen CIR, pero sí equipos por medio de los cuales se desarrollan diversos procedimientos de reciclaje en forma aislada, no integral. Existen 25 plantas cementeras que cuentan con permisos para realizar el reciclaje energético (incineración de RSU y RP con alto poder calorífico) y una de ellas Planta Apasco está autorizada para incinerar envases de plaguidas (Díaz et al, 2008), las empresas que cuentan con estos permisos son CEMEX, APASCO, Cemento Moctezuma, Cooperativa Cruz Azul y Lafarge Cementos. Además, también se cuenta con 17 empresas incineradoras de residuos biológicos infecciosos (Arias, 2009). Respecto al tratamiento de residuos orgánicos existen plantas de composta, en sus diferentes modalidades, de pilas estáticas, pilas aireadas manual y mecánicamente y el vermicomposteo (Montoya, 2008).

La planta clasificadora de Salinas Victoria en Nuevo León operada desde sus inicios, en el año 2000, por el Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos (SIMEPRODE) recibe 800 toneladas de RSU e industriales no peligrosos, de las cuales sólo se recuperan 50 para su reciclaje (Fernández, 2006). La planta tiene cuatro bandas transportadoras de RSU que facilitan la separación manual de los residuos con alto valor de reciclaje como aluminio, vidrio, cartón, papel, plásticos, compuestos laminados y acero. En la actualidad se tiene un relleno sanitario de 212 ha, que recibe 3 500 ton/día de residuos domiciliarios y 1 000 ton/día de residuos industriales, los cuales son aprovechados para obtener energía por medio del biogás (Padilla, 2008).

2.4 TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN LA ZONA METROPOLITANA

El DF tiene algunos centros de acopio oficiales y empresas que trabajan de manera independiente el reciclaje y el tratamiento de residuos porque, como ya se mencionó, no existen los CAR.

A finales de la década de los 70 se empezaron a instalar, en la capital del país, los primeros incineradores en hospitales, universidades e institutos de investigación para cremar, en unos, residuos patológicos y, en otros, cadáveres. Además se instalaron dos empresas relacionadas con la industria química que desarrollaron las mismas actividades.

En 1988 inició sus operaciones la planta de compostaje de BP, ubicada a un costado del relleno sanitario del mismo nombre (INE, 2007). Respecto a las plantas de selección y aprovechamiento de RSU, en el DF se inició la construcción de la de BP en 1992 y, un año después, la de San Juan de Aragón, obras que fueron inauguradas en julio de 1994.

En 1996 se puso en marcha la planta de Santa Catarina y las tres fueron ampliadas en 1997. En sus inicios las tres plantas llegaron a reciclar hasta el 13% de los residuos procesados lo que se redujo al 8% por la disminución de la calidad de los residuos y del material a reciclar, ya que en los vehículos se incrementó la presencia de personas recolectoras de residuos reciclables (Wehenpohl, 1999).

En 1998 se abrieron dos plantas de composta, una en Cuautitlán y la otra en Capulhuac, que continúan operando de forma aeróbica, aunque la última también utiliza vermicompostaje. A partir de 1999 empezó a funcionar la planta de composta de Atizapán de Zaragoza y, en febrero de 2001, la de vermicomposteo en Amecameca (INE, 2007).

En nuestro país existían 35 empresas con un total de 43 equipos, en 2005, las cuales contaban con autorización oficial para incinerar residuos peligrosos. De los 43 equipos, el 85% se utilizaba para incinerar residuos biológicos infecciosos y el 15 residuos industriales. En la república mexicana a la fecha no se utiliza, a escala industrial, la incineración como método de tratamiento de los RSU como sucede en otros países: Alemania, EE.UU. y Singapur, entre otros (INE, 2007).

En abril de 2008, inició sus operaciones la planta de tratamiento de RSU concesionada a la empresa Biosistemas Sustentables S.A. de C.V., ubicada en San José del Vidrio, municipio de Ecatepec de Morelos del Estado de México, aproximadamente a 50 km del DF. A la planta, con una capacidad instalada de 1 500 ton/día, se hacen llegar 120 toneladas de residuos del DF, diariamente, por lo que recibe de parte del gobierno local, el negocio mencionado, \$125.00 más I.V.A., por tonelada. La empresa cuenta, para la separación manual de los residuos inorgánicos, con bandas transportadoras y, para la separación mecánica, con un trommel. Además para el tratamiento de los residuos orgánicos posee una planta de composta.

El Gobierno del DF lleva a cabo la recolección de los residuos públicos y privados, por medio de vehículos recolectores que llevan los RSU a las estaciones de transferencia, a las plantas de selección o a las de composta. De las estaciones de transferencia también se trasladan los residuos, por medio de trailers, al relleno sanitario o a las plantas mencionadas según corresponda, como puede apreciarse en la figura 2.2 (SIR DF, 2006).

El relleno sanitario sirve para la disposición final de los RSU, mientras que en la planta de composta se tratan los residuos orgánicos para ser procesados como abono.

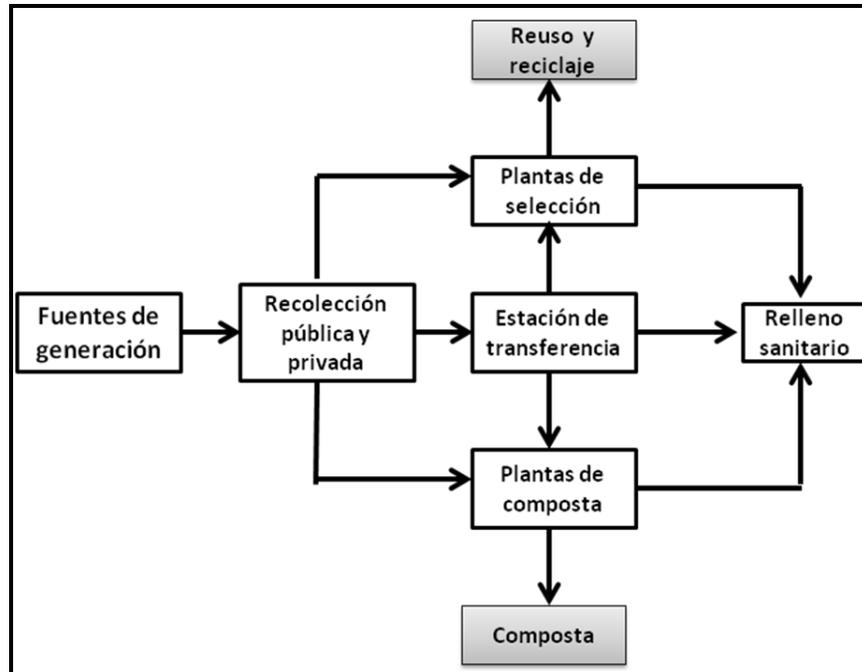


Figura 2.2 Manejo de residuos sólidos en el DF.
(Adaptado de Inventario de residuos sólidos del DF, 2006)

Actualmente en el Gobierno del DF funcionan tres plantas de selección de residuos inorgánicos: San Juan de Aragón, Santa Catarina y la de Bordo Poniente (Díaz, 2007). Las plantas son propiedad del Gobierno, y la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU) está a cargo de su administración y mantenimiento, mientras que la operación se lleva a cabo por conducto de los gremios selectores. En el aspecto de la administración se contempla el transporte de residuos de las estaciones de transferencia a las PS y el de los RSU que se rechazan, hacia BP; en el de mantenimiento se llevan a cabo acciones preventivas, correctivas y emergentes de los equipos e instalaciones y, en el de la operación, se contempla la selección manual de los materiales o subproductos y su comercialización.

Debe destacarse que la nómina del gremio selector se paga con la venta de los residuos. Entre los principales residuos recuperados en estas plantas se encuentran: papel, cartón, metal ferroso (latas, alambre y fierro); metal no ferroso (aluminio, plomo y cobre); plástico (polietileno de alta y de baja densidad, PET, PVC y otros); vidrio, textiles, electrodomésticos y electrónicos, residuos de alimentos (pan y tortilla), y muebles de oficina y domésticos.

La PS San Juan de Aragón se diseñó en una superficie de 64 000 m² para que tuviera una vida útil de 15 años. Inició sus operaciones en 1994, con una capacidad instalada de 2 000 ton/día. Los trabajadores desempeñan sus actividades distribuidos en cuatro turnos, durante seis días a la semana. En el año 2008 el gobierno del DF destinó un presupuesto total de poco más de 16 millones de pesos de los cuales utilizó 5.6 millones para la operación de la PS San Juan de Aragón y el resto para la renta de maquinaria. La planta recibió 545 303.02 toneladas de RSU y de ellas 193 424.66 llegaron de las estaciones de transferencia; 4 745.75, de triciclos; 258 294, de vehículos recolectores y 88 838.62 de particulares. En el año 2008 su eficiencia y tasa de recuperación fueron de 8.4 y 18.3% respectivamente (PGIRS, 2009).

La infraestructura de la PS San Juan de Aragón está conformada por doce secciones (Módulos I y II, naves de proceso en los módulos I y II, oficinas, baños y sanitarios, comedor, taller, oficinas de mantenimiento, bodega, caseta de vigilancia, caseta de control y pesaje de residuos, patios de acondicionamiento y almacenaje, y vialidades) de los cuales, únicamente las casetas, patios y vialidades se encuentran en buenas condiciones mientras que el resto de las secciones, en regulares (PGIRS, 2009).

La planta cuenta con dos retroexcavadoras de orugas que tienen una capacidad de 0.75 yds³ y un motor de 115 Hp; dos montacargas marca CATERPILLAR (CAT)® con motores diesel y capacidad de 2.5 ton, y dos cargadores frontales con motores de 375 Hp y capacidad de 7 yds³ marca CAT. Además cuenta, para el transporte de los residuos rechazados, con 18 tractos cuyos modelos están comprendidos entre los años 2005 y 2008 (PGIRS, 2009).

La PS de Santa Catarina, ubicada en la delegación Iztapalapa tiene dos jornadas de trabajo (7:00-13:00 y 14:00-20:30 hrs) e inició sus operaciones en 1996. Se construyó en una superficie de 35 000 m², con una vida útil de 15 años y una capacidad instalada de 2 500 ton/día.

En 2008 el Gobierno del DF le otorgó un presupuesto aproximado de 21.5 millones de pesos, de los cuales 2.3 millones se destinaron para la operación y el resto para la renta de equipos. La planta recibió en ese mismo año 551 630.96 toneladas de RSU de las cuales, 305 218.33 fueron transportadas desde las estaciones de transferencia, 196 253.12 de los recolectores y 50 160 de particulares. En Santa Catarina se separan RSU (papel, cartón, envases de PET, latas y botellas de vidrio), con una eficiencia de recuperación de 7.1%. En 2008 se recuperaron 173 493.17 ton de RSU, lo que reflejó una tasa de recuperación de 31.5% (PGIRS, 2009).

La planta BP ubicada en la carretera Peñón-Texcoco y distribuida en una superficie de 37 000 m², inició sus operaciones en 1994, con una capacidad instalada de 2 000 ton/día y un tiempo de vida útil de 15 años. En 2008, el gobierno del DF le otorgó un presupuesto aproximado de 14.9 millones de pesos de los que, 3.7 se destinaron para la operación y el resto para la renta del equipo. En este mismo año la planta recibió un total de 527 777.34 toneladas de RSU, de las cuales las estaciones de transferencia hicieron llegar 261 233.53 ton, los vehículos recolectores 200 001.52 y los particulares 66 542.29 (DGSU, 2009). La recuperación fue de 71 015.86 ton, equivalente a una tasa de recuperación de 13.5% (PGIRS, 2009).

La planta está conformada por oficinas administrativas, baños y sanitarios, comedor, naves de proceso, taller, oficinas de mantenimiento, bodega, caseta de vigilancia, caseta de control y pesaje de residuos, anexos, a los que en el programa de gestión integral de residuos del DF (PGIR) se le otorgó una calificación de “regular”; y vialidades, patios de acondicionamiento y pesaje que según el mismo documento están en malas condiciones.

Respecto a la maquinaria y equipo, cuenta con cuatro cargadores compactos marca Bob Cat, motor Diesel 73 Hp, con bomba hidráulica de 186 rpm; dos montacargas, marca CAT, motor diesel, gasolina o gas con capacidad de 2.5 toneladas y 41.55 Hp y dos cargadores frontales sobre neumáticos CAT, con capacidad de siete yds³, motor diesel de 375 Hp, y 16 tractos modelos 2005-2008 para transportar los residuos rechazados (PGIR, 2009).

Dos de los principales problemas que enfrentan las tres plantas de selección mencionadas son, por un lado, una considerable cantidad de residuos orgánicos y voluminosos que dificultan la separación de los residuos valorizables y, por el otro, los equipos que se encuentran en mal estado. El Gobierno del DF destinó un presupuesto total de \$52 689 050.36 a las tres plantas, de los cuales \$11 772 131.03 se utilizaron en la operación y \$40 916 919.33 para la renta de maquinaria (DGSU, 2009).

En la tabla 2.1 se muestra un resumen de lo explicado anteriormente y además se consignan datos importantes relacionados con la operación de las PS que tiene el DF.

Tabla 2.1 Características de las tres PS que tiene el DF.

Parámetros	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina
Capacidad instalada (ton/día)	2 000	2 000	2 500
Recepción de RSU (ton/día)	1 221.79	1 345.97	1 527.03
Residuos recuperados (ton/día)	95.3	113.06	108.42
Eficiencia	7.8 %	8.34%	7.1%
Número de líneas de 500 ton/día.	4	4	5
Velocidad de la Banda transportadora (BT) (metros/min)	18-25	18-25	18-25
Longitud de la BT (m)	50	65	65
Trabajadores	56	76	76
Rendimiento (kg/h/trabajador)	300	400	400
Área (m ²)	37 000	34 000	35 000

El DF cuenta con tres PS y trece estaciones de transferencia cuya ubicación puede observarse en el mapa que aparece en la figura 2.3 (Gobierno del DF, 2008).

De acuerdo con la información de la DGSU del DF las cantidades de RSU que en 2008 recibieron las 13 estaciones de transferencia, estuvieron distribuidas entre las 515 380 y 28 105 ton/año, como puede apreciarse en la tabla 2.2.

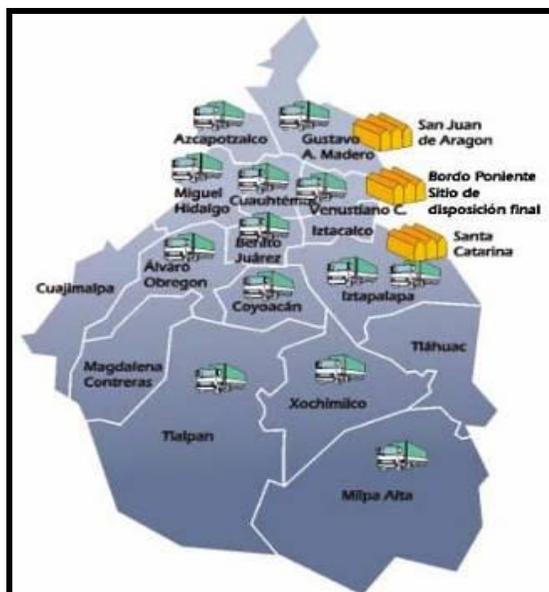


Figura 2.3 Localización de las estaciones de transferencia en el DF
(Inventario de residuos sólidos del D.F. 2006)

Tabla 2.2 Toneladas de residuos que llegaron en el año 2008, a las 13 estaciones de transferencia del D.F.
(PGIRS, 2009)

Estaciones de transferencia	Toneladas por día	Toneladas por año
Álvaro Obregón	1 180	430 700
Azcapotzalco	1 289	470 485
Benito Juárez	308	112 420
Central de Abasto	1 291	471 215
Coyoacán	1 412	515 380
Cuauhtémoc	890	324 850
Gustavo A. Madero	807	294 555
Iztapalapa II	1 251	456 615
Miguel Hidalgo	626	228 490
Milpa Alta	77	28 105
Tlalpan	543	198 195
Xochimilco	469	171 185
Venustiano Carranza	709	258 785

En el manejo de los RSU hay una diferencia notable entre los países desarrollados, los subdesarrollados y los que se encuentran en vías de desarrollo ya que mientras los primeros se valen de diversos tratamientos entre los que destacan la utilización de plantas de composta con altos rendimientos, cuyo producto se utiliza en beneficios de grandes extensiones agrícolas y de terrenos urbanos; de plantas de selección, en las que se recuperan con alta eficiencia los residuos reciclables; de incineradores, de los cuales se aprovecha el poder calorífico de los RSU para obtener energía y de rellenos sanitarios construidos respetando la normatividad y con recursos técnicos avanzados; en los segundos y terceros todavía se llevan a cabo prácticas insalubres como la de disponer residuos en tiraderos a cielo abierto o en baldíos. Otro aspecto de suma importancia es que en los países desarrollados se hace una separación de RSU en la fuente, lo que facilita cualquier aprovechamiento y/o reciclaje de residuos.

De lo anterior se desprende que México, por ser un país en vías de desarrollo, tiene importantes problemas en el manejo de los RSU ya que si existen políticas integrales pero no se aplican, lo que dificulta la implementación de tratamientos que permitan disminuir la contaminación, alargar la vida útil de los rellenos sanitarios, abonar las tierras de cultivo con residuos orgánicos tratados y generar productos reciclables que puedan ser comercializados, entre otras cosas.

En este trabajo, se da a conocer el diseño de un CAR que cuente con una planta de selección de residuos reciclables y otra de composta, como propuesta técnica para el manejo y aprovechamiento de RSU.

2.5 ANÁLISIS DEL CASO ESTUDIO

Para la elaboración del presente trabajo se consideraron, las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta del DF, de acuerdo con sus características y condiciones se seleccionará aquélla en la que sea más factible diseñar un Centro de Cprovechamiento de Residuos (CAR).

2.5.1 Tlalpan

Esta delegación, que tiene 607 545 habitantes, (INEGI, 2005) recibe en su estación de transferencia 552 toneladas diarias de RSU y cuenta con 66 rutas y 92 vehículos para dar servicio a 198 colonias. El Sistema de Información de Residuos del Gobierno del DF (2008) de los 92 vehículos registrados clasificó 77 en las categorías siguientes: 45 de carga trasera, 15 de carga trasera con doble compartimiento, dos de volteo y el resto, 15 de los reportados, fueron ubicados entre rectangulares, de carga lateral, cuadrados, de redilas, tubulares, octagonales, carritos eléctricos, compactadores y transportadores de contenedor.

En 2004 se emprendió, en la delegación Tlalpan, un programa piloto para sensibilizar a la población de la importancia de separar y reciclar los RSU. En el programa se trabajó con 23 unidades habitacionales, 44 escuelas y cuatro edificios públicos, lo que permitió separar el 3% (941.13 ton/mes) de los residuos, de un total de 31 371 ton/mes generados por habitantes de la delegación. Como resultado de las acciones que se desarrollaron se logró separar el 54% de residuos inorgánicos: bolsas, empaques, envases reciclables, residuos sanitarios y especiales y el 46% de orgánicos: residuos de alimentos y de jardinería (Sánchez, 2004).

En la actualidad (2010) la delegación Tlalpan no cuenta con plantas de composta, ni de selección de RSU, aunque sí existe en ella una estación de transferencia.

2.5.2 Milpa Alta

La delegación Milpa Alta tiene 115 895 habitantes (INE, 2005) y recibe 77 toneladas diarias en su estación de transferencia. Cuenta con un terreno montañoso que tiene una extensión de 228 km², terreno que por su conformación, en algunas partes dificulta la recolección de los RSU.

Los 29 vehículos con los que cuenta el gobierno local son insuficientes para llevar a cabo la recolección de RSU en las 78 rutas que tienen establecidas las 29 colonias que conforman la delegación Milpa Alta, por lo que es necesario rentar más vehículos para dar el servicio. Según información proporcionada por personal que labora en la estación de transferencia, en promedio llegan al día 56 vehículos: 33 de volteo, 15 de carga trasera y los ocho restantes se reparten entre contenedores chicos, redilas grandes y chicas, rectangulares, de caja grande y de carga lateral tubular; en estos vehículos se recolectan los residuos y se trasladan a la estación de transferencia de donde salen de tres a seis transfers diarios, por medio de los cuales se llevan los residuos al relleno sanitario de Bordo Poniente, IV etapa.

Milpa Alta se caracteriza por la producción de nopal, ya que en este lugar se cosecha el 80% de esta cactácea que se consume en México. En el lugar también se siembra maíz y se preparan pulque y mole, lo que hace del sitio un espacio que genera, de una manera importante, residuos orgánicos.

La delegación también tiene plantas de composta, registradas en el PGIR (2009), en los ejidos San Francisco Tecoxpa, San Antonio Tecomitl, San Pedro Actocpan y San Agustín el Alto; sin embargo, Milpa Alta en enero de 2010 tenía cinco plantas de composta, ubicadas en los ejidos de San Lorenzo, San Juan Tepenahuatl, San Francisco Tecoxpa, San Antonio Tecomitl y San Pedro Actocpan. En entrevista con el Ingeniero Pedro Rodríguez Arellano, encargado de las plantas de composta de esta delegación, se obtuvieron los datos siguientes:

Las plantas se encuentran en predios prestados que en conjunto suman menos de media hectárea, predios de difícil acceso que están en terrenos montañosos o de terracería. Por las características mencionadas las plantas no cuentan con oficinas, estacionamiento, ni básculas, requerimientos mínimos que son necesarios para que funcione de manera adecuada. Los vehículos, por lo angosto del terreno, deben entrar de reversa para depositar los residuos.

Planta de composta San Francisco

Esta planta (con excepción de carnes, aceites y grasas) recibe una pequeña parte de los residuos orgánicos de Milpa Alta (6 ton/día). En la elaboración de la composta trabajan 13 personas, que se valen del método de pila con aireación manual.

Las pilas son formadas con ocho capas de residuos triturados, de nopal y de domésticos. Los trabajadores llevan a cabo actividades manuales de separación, triturado, mezcla y traslado de los residuos orgánicos que se destinan a la conformación de las pilas. Para evitar el escurrimiento de lixiviados se utilizan plásticos de 600 micras de grosor debajo de las pilas, aunque esto resulta ineficiente ya que se forman charcos de lixiviados sobre el plástico que al no recolectarse se escurren sobre el piso cuando hay necesidad de cambiarlos.

La planta de San Francisco cuenta con una capacidad instalada de 115 ton/día (Rodríguez, 2010) y es la que tiene caminos más accesibles ya que se ubica a las orillas de vialidades pavimentadas, además de que el terreno es plano, situación que favorece la entrada de los vehículos de carga trasera. Uno de los inconvenientes de la planta es que mide nueve metros de ancho por 78 de largo, lo que obliga a los transportistas a entrar de reversa para descargar los residuos (figura 2.4). Una vez separados, triturados y mezclados, los residuos son transportados por medio de vehículos de volteo hacia las plantas de difícil acceso, es decir, ubicadas en montañas y sin caminos de entrada o, en su defecto, sólo terracería.

La planta cuenta únicamente con un cargador frontal marca New Holland L1880, con capacidad de carga de 1 000 kg y un sistema de rotación de 360° que puede alcanzar una altura de 3.15 m y una velocidad de 35 km/hr.

En la planta se trabajan 7 pilas (de 70 cm de alto, dos metros de ancho y 20 metros de largo) que son movidas de lugar en periodos comprendidos entre los 15 y los 20 días. San Francisco recibe, dos veces por semana, siete vehículos de residuos orgánicos mezclados con pocos residuos inorgánicos como bolsas de plástico y envases de PET, y vidrio. Además es importante destacar que semanalmente se recolectan 16 costales con aproximadamente cuatro kg de plásticos cada uno. Las pilas, como ya se mencionó, producen lixiviados que forman charcos en el suelo a pesar de que cuentan con plásticos para protegerlos.



Figura 2.4 Planta de composta San Francisco

Planta de composta San Juan Tepenahuatl

Esta planta tiene una capacidad instalada de 25 ton/día y un área de 1 500 m². Se encuentra en un terreno montañoso con vialidades de entrada y salida empedradas, en muy mal estado y llenas de vegetación, por lo que sólo pueden entrar vehículos de volteo ya que los de carga trasera son muy bajos. En San Juan Tepenahuatl se trabajan cuatro pilas de dos metros de ancho por 20 de largo y uno de alto (figura 2.5).



Figura 2.5 Planta de composta San Juan Tepenahuatl

Plantas de composta Tecomitl, San Lorenzo y San Pedro Actopan

A estas plantas no asiste el personal todos los días, debido a que los trabajadores van sólo cuando se requieren mezclar las pilas. La planta Tecomitl (figura 2.6), se encuentra en un terreno plano con dimensiones de 30 por 10 m; tiene una capacidad instalada de 25 t/día y cuenta con dos pilas de dos metros de ancho, 28 m de largo y 0.8 m de altura. La de San Lorenzo (figura 2.7), que recibe residuos de empresas que elaboran alimentos fabricados como el mole y que mide 50 m de largo por ocho de ancho, cuenta con tres pilas de las mismas dimensiones que las de la planta anterior. La planta de San Pedro Actopan con un área de 1 500 m² (figura 2.8), trabaja con cuatro pilas de dos metros de ancho, 25 de largo y 0.5 de altura.



Figura 2.6 Planta de composta Tecomitl



Figura 2.7 Planta de composta San Lorenzo



Figura 2.8 Planta composta San Pedro Atocpan

De lo visto en este capítulo puede desprenderse que no hay infraestructura adecuada para aprovechar los RSU en ninguna de las dos delegaciones, porque a pesar de que Milpa Alta cuenta con plantas de composta, estas son insuficientes e inapropiadas para satisfacer las necesidades de la delegación. En Tlalpan no existe ningún tratamiento de RSU.

De acuerdo con la información obtenida, la delegación que tiene condiciones más apropiadas para el aprovechamiento de RSU, es la de Milpa Alta, ya que cuentan con la separación del 70% de los residuos, en orgánicos e inorgánicos; existen terrenos libres donde se puede ubicar el CAR; y las autoridades muestran el interés que tienen sobre el aprovechamiento de los residuos orgánicos por medio de la operación de las PdC que se mencionaron anteriormente. Por tal motivo, en este trabajo se presentará una propuesta de un CAR, conformado por dos plantas, una de selección de residuos reciclables y otra destinada a la elaboración de composta. Los planos se encuentran en el anexo E y la metodología en el capítulo IV.

CAPÍTULO 3 MARCO LEGAL Y TEÓRICO

En este capítulo se describirán los marcos legal y teórico. En el primero, se hará referencia a las leyes y normas que están relacionadas con el manejo de RSU y, en el segundo, se explicarán algunos equipos que se utilizan en el aprovechamiento de los mismos.

3.1 MARCO LEGAL

3.1.1 *Observancia federal*

En el contenido del trabajo se considerará como “*residuo*” lo contemplado en el inciso XXIX del artículo cinco de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR): “*material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en dicha Ley y demás ordenamientos que de ella deriven*”.

En la LGPGIR, La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) clasifica los residuos en sólidos urbanos, peligrosos, y de manejo especial. En este trabajo, se diseñará un centro de aprovechamiento de RSU; y en el estudio de composición se tomarán en cuenta las definiciones de residuos peligrosos (RP) y de manejo especial (RME) contempladas en la LGPGIR.

Además en la LGPGIR se estipula, en el ARTÍCULO PRIMERO, que la SEMARNAT debe definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como de los prestadores de servicios en el manejo integral de los residuos; fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica, y esquemas de financiamiento adecuados; promover la participación corresponsable de todos los sectores sociales en las acciones tendientes a prevenir la generación y valorización, y lograr una gestión integral de los residuos ambientalmente adecuada, así como tecnológica, económica y socialmente viable.

En el país se disponen los RSU en rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto, motivo por el cual se creó la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, la cual habla sobre las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Respecto a la incineración de residuos se cuenta con la Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002, en cuyo objetivo se establecen las especificaciones de operación de los incineradores de residuos, así como los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera.

Para la realización del estudio de composición de residuos, humedad y peso volumétrico, y con el fin de adaptar los procedimientos para realizar el estudio en las estaciones de transferencia, se emplearon las normas siguientes:

NMX-AA-022-1985 (Selección y cuantificación de subproductos).

NMX-AA-019-1985 (Peso volumétrico "*in situ*").

NMX-AA-61-1985 (Determinación de la generación).

NMX-AA-015-1985 (Método de cuarteo).

La norma que regula los residuos de los plásticos es la NMX-E-232-SCFI-1999. En ella se indica el número que deben llevar los envases para indicar el tipo de plástico con el que están elaborados. Esto con el fin de facilitar su identificación y favorecer al reciclaje de los mismos.

3.1.2 Observancia estatal

La Ley de Residuos Sólidos del DF (LRSDF) tiene como objetivo regular la gestión integral de los residuos sólidos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia. Además, la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, tiene la facultad de emitir opiniones sobre el diseño, construcción, operación y cierre de estaciones de transferencia, plantas de selección y tratamiento y sitios de disposición final de los residuos sólidos con base en el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos del DF (PGIRDF). Respecto a las plantas de selección y tratamiento de los residuos sólidos indica que deberán contar con la infraestructura necesaria en la realización del trabajo especializado para el depósito de dichos residuos de acuerdo a sus características y conforme a la separación clasificada de los residuos sólidos, y específica que las delegaciones tienen la obligación de orientar a la población sobre las prácticas de separación en la fuente para aprovechar y valorizar los residuos sólidos.

La Norma Técnica Estatal Ambiental del Estado de México NTEA-006-SMA-RS-2006, establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. En ella se indican los parámetros que deben tener los mejoradores de suelo después del tratamiento de los residuos orgánicos (pH, materia orgánica, relación carbono-nitrógeno, fósforo, potasio, relación potasio-sodio, hongos fitopatógenos, huevos de helmintos/g en base seca (1), coliformes fecales NMP (2)/g en base seca, *Salmonella spp.*/g en base seca).

Otra Norma Técnica Estatal Ambiental del Estado de México NTEA-010-SMA-RS-2008, señala los requisitos y especificaciones para la instalación, operación y mantenimiento de infraestructura para el acopio, transferencia, separación y tratamiento de RSU y RME.

Se observa que a pesar de que existe legislación para rellenos sanitarios, incineración y la identificación de plásticos, todavía falta normatividad que impulse y regule la creación de infraestructura para el reciclaje. A pesar de que en las normas ya se tocan temas como plantas de separación, plantas de composta, separación de RSU y reciclaje, esto se aborda de manera superficial; todavía falta regular los diseños, los productos que se obtienen y la infraestructura de las mismas para evitar la contaminación ambiental.

3.1.3 Manejo de los residuos según su clasificación

El manejo de los residuos peligrosos le corresponde a la federación, los residuos de manejo especial al estado y los residuos sólidos urbanos al municipio.

Residuos peligrosos (RP)

“Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio”.

Residuos de manejo especial (RME)

“Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos”.

Residuos sólidos urbanos (RSU)

“Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la LGPGIR como residuos de otra índole”.

3.2 MARCO TEÓRICO

En el planteamiento que se hizo en este trabajo las instalaciones del CAR están conformadas por una planta de composta y otra de selección, por lo que en el desarrollo del mismo se explicarán los aspectos a considerar en la selección de los equipos y áreas de trabajo que requieran las plantas mencionadas.

3.2.1 Plantas de composta

3.2.1.1 Compostaje

En el compostaje se lleva a cabo el proceso de conversión biológica de los residuos orgánicos (RO) que implica la transformación química (en dióxido de carbono y agua) de la materia orgánica de los residuos, además de que en él tienen lugar fenómenos como la transformación de la materia orgánica biodegradable en materia biológicamente estable; la reducción del volumen de los residuos; la destrucción de microorganismos patógenos, de huevos de insectos, y de semillas de maleza. Además el compostaje permite obtener productos con máximos nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) para propiciar condiciones adecuadas que favorecen el crecimiento de las plantas (Narayana, 2009).

Del compostaje aeróbico, proceso biológico más utilizado para convertir la fracción orgánica de los RSU, en composta (humus), existen varios tipos, todos ellos con procesos similares conformados por tres etapas: la del procesamiento (separación de los RO), la de la descomposición aeróbica y la de la preparación del producto para su venta. Mediante el procesamiento (primera etapa) se remueven los materiales no biodegradables, se reduce el tamaño de las partículas y se ajustan las propiedades químicas de los RO (relación carbono-nitrógeno, contenido de humedad y nutrientes) [Haug, 1993].

Para que se lleve a cabo el proceso de biodegradación de los RO en la descomposición aeróbica (segunda etapa) se aplican, entre otras técnicas, la de montículos; por hileras móviles, y pilas aireadas estáticas. En la última etapa (preparación del producto para su venta) la composta se criba con el fin de obtener de ella un material puro y de textura fina. Posteriormente se empaca y transporta con el fin de ubicar el producto en el mercado (Rodríguez et al, 2006).

El compostaje aeróbico tiene ventajas y desventajas; entre las primeras se encuentra la degradación de muchos materiales orgánicos, lo que trae como consecuencia la generación de un producto que tiene uso destinado para la remediación de suelos y abono orgánico, lo que además del beneficio que reciben los suelos ayuda a disminuir la cantidad de residuos que necesitan disposición final y al aumentar los montos del reciclaje reducen impactos ambientales (Stoffella et al, 2004). Entre las segundas destacan la necesidad de disponer de mayores áreas de trabajo, con relación a otras tecnologías, y de no contar con un mercado para el producto final que evite problemas de almacenamiento. Además existe el riesgo de generar malos olores si el proceso no se lleva adecuadamente, lo que puede provocar rechazo por parte de los habitantes del lugar (Epstein, 1997).

3.2.1.2 Técnica por montículos

Se trata de uno de los métodos más antiguos para elaborar composta. Consiste en formar montículos cuyas dimensiones se encuentran, los más grandes, entre 2.44 y 3.05 m de alto y 6.1 y 7.6 m de ancho y, los más pequeños, entre 1.83 y 2.13 m de alto y 4.27 y 4.88 de ancho (figura 3.1). Entre las variables que se controlan en esta técnica se encuentran el tamaño de las partículas [entre 2.54 y 7.62 cm (una y tres pulgadas)], la humedad (entre 50 y 60%), el tiempo de aireación (una o dos veces cada ocho días durante cuatro o cinco semanas) y la temperatura (ligeramente arriba de 55°C). Cuando los montículos alcanzan la temperatura mencionada, se pueden dejar en reposo durante tres o cuatro semanas más (Tchobanoglous, 1994).



Figura 3.1. Planta de composta por montículos en Dhaka, Bangladesh.

Fuente: http://practicalaction.org/practicalanswers/product_info.php?products_id=181

3.2.1.3 Pilas movibles

La de pilas movibles es una de las técnicas más antiguas del compostaje. Se puede construir un sistema de compostaje con hileras movibles de material orgánico, en su sección transversal, tienen una altura comprendida entre los 2.5 y los tres metros y una anchura, en su base, de siete a nueve metros.

Otra forma de operar las hileras movibles, para el compostaje, es la de las hileras de alto rendimiento, las cuales, en su sección transversal, tienen una altura comprendida entre los dos y los 2.30 m y una anchura, en su base, de 4.5 a cinco metros. Debe aclararse que las dimensiones de las hileras, las cuales se voltean hasta dos veces por semana, dependen del equipo que se utilice para mezclar los residuos fermentados. El material orgánico que se utilice debe ser procesado mediante trituración y cribación para que el tamaño de las partículas quede comprendido entre los 2.5 y 7.5 cm y la humedad entre el 50 y el 60%. En esta forma de operar las pilas, la temperatura se mantiene entre los 50 y los 60°C lo que permite, si se cumple con todas las variables, que el proceso de compostaje sea más rápido.

3.2.1.4 Pilas aireadas estáticas

Este sistema consta de pilas formadas por residuos orgánicos municipales, mezclados con residuos de jardinería (como hojarasca y madera) para que estos últimos formen espacios de aireación. Las pilas formadas no se mezclan porque cuentan con una red de tubería que permite una aireación forzada (figura 3.2) necesaria para la conversión biológica de residuos (de orgánicos a composta) y el control de temperatura dentro de las mismas (Roger, 1993). El material orgánico, que se fermenta en un tiempo de tres a cuatro semanas, debe tener una altura comprendida entre los 2 y 2.5 m y cubrirse con plástico para evitar los malos olores.



Figura 3.2 Pilas estáticas aireadas de la empresa TRADEBE.
Fuente: <http://www.tradebe.com>

3.2.1.2 Áreas de una planta de composta y equipos que se utilizan en ella

En el Estado de México, la Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006, establece los requisitos que deben reunir las plantas de mejoradores de suelos, a partir de residuos orgánicos. Conforme a la normatividad, las plantas deben contar con una cerca perimetral y con instalaciones que eviten el ingreso de aguas pluviales y sanitarias. Además las que produzcan más de cinco toneladas por día deben tener un sistema de captación de lixiviados y una caseta de vigilancia.

Antes de empezar la operación de la planta, debe verificarse que la permeabilidad del terreno, de los lechos para pilas y para la laguna de evaporación debe ser de al menos 1×10^{-5} cm/s. Si el terreno no cuenta con esta característica debe impermeabilizarse para evitar infiltraciones de lixiviados al subsuelo. Una vez que la planta esté en operación, lo dice la norma, debe controlarse la temperatura para la eliminación de patógenos; triturar los residuos verdes, excepto pasto y hojarasca y preparar los materiales para permitir una biotransformación aerobia o anaerobia según corresponda.

Se recomienda que las plantas de composta tengan áreas de recepción o pesaje, descarga, trituración, fermentación, mezclado, cribado, empaque, almacenaje de producto terminado, tratamiento de lixiviados, estacionamiento y además cuenten con vías de acceso. Entre los equipos con que mínimamente deben contar las plantas de composta se encuentran los que se describen a continuación:

Báscula

Equipo que se utiliza para llevar un registro de entrada y salida de los residuos, a través de su pesaje, con el propósito de valorar la eficiencia de la planta. (ver punto 3.2.2.3.)

Trituradora

El tamaño de las ramas de los árboles y de la fracción orgánica de los RSU se reducen a través del proceso de trituración (ver punto 3.2.2.3).

Cargadores frontales

Estos equipos se utilizan para mover la composta de un lugar a otro, para mezclarla o para depositarla en los vehículos de transporte. Son muy empleados en las plantas de composta (principalmente las plantas con sistema de pilas con aireación mecánica o manual) y pueden ser simples (figuras 3.3) o con retroexcavadora (figura 3.4).

La capacidad de los cargadores frontales varía según la cantidad (ton/año) de composta producida en las plantas, los más pequeños son los bobcat (figura 3.5) que no son adecuados para las plantas que producen más de 500 ton/año, por lo que en este caso, deben emplearse cargadores frontales con más capacidad. (Rodríguez et al, 2006).

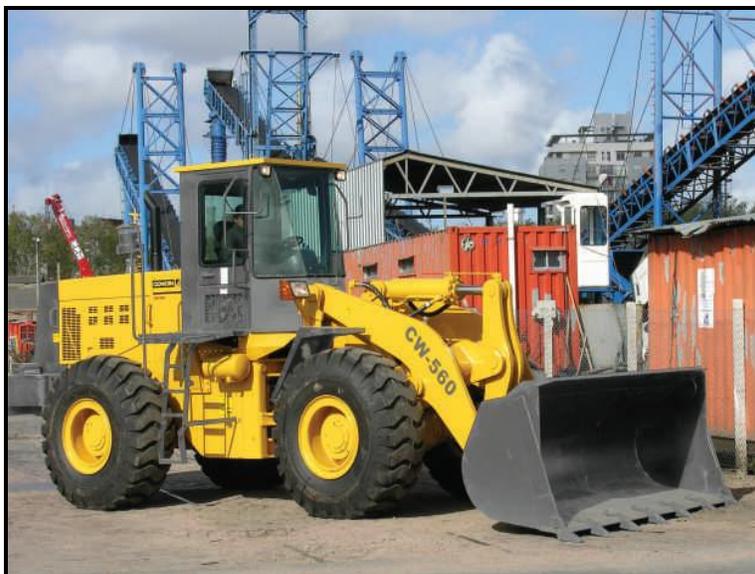


Figura 3.3 Cargador frontal simple modelo CW-560.
Fuente: www.cowdinsa.com



Figura 3.4 Cargador frontal con retroexcavadora hidrochil.
Fuente: <http://www.hidrochil.com/>



Figura 3.5 Minicargador frontal Bobcat 751.

Fuente: <http://mexico.cat.com/bcp12monthsearch>

Camiones de volteo

Vehículo que se utiliza para transportar grandes volúmenes de materiales diversos como residuos de la construcción y la composta. También se les da el de volquete, camión basculante. En su estructura los vehículos tienen un gabinete (donde va el conductor), una plataforma unida a él, y una caja movable sobre la plataforma (figura 3.6). La capacidad de la caja está comprendida entre los 7 y 16 m³, capacidad que sirve como sustento para determinar la cantidad de vehículos que requiere la planta (International, 2010).

Mezcladora

Este equipo se utiliza en las plantas de composta que tienen un sistema de pilas aireadas mecánicamente. Por medio de ellas se mezcla la composta que se encuentra en las pilas ya mencionadas (figura 3.7).

Algunas mezcladoras tienen un contenedor en donde se deposita agua y/o insumos que caen a la pila mientras se revuelve, esto con el fin de proporcionar la humedad y nutrientes que requiere la composta, lo que acelera la digestión de la materia orgánica. Entre las ventajas que tiene la mezcladora se encuentra la de ahorrar tiempo y horas-hombre, si se compara con el mezclado manual o con el de un cargador frontal (Groundgrocer, 2010).



Figura 3.6 Camión de volteo de 14 m³, marca internacional.

Fuente: <http://www.internationalcamiones.com>

Cribadora

Para homogenizar la composta se usan cribadoras que pueden utilizarse de dos formas, la primera para separar los residuos orgánicos de los inorgánicos y la segunda para separar, de la composta, la materia orgánica no degradada, para más detalles ver el punto 3.2.2.3.

Almacén

Área que se utiliza para guardar temporalmente diversos materiales (productos terminados, rechazados, materia prima y residuos que se generan durante el proceso). Cabe mencionar que el manejo de los productos que se van a almacenar debe llevarse a cabo con mucha precaución ya que, en algunos casos, como los que se rechazan antes de ser incinerados y que contienen una alta carga orgánica pueden provocar explosiones espontáneas por lo que, por seguridad, deben almacenarse durante un periodo no mayor de dos días (Vesilind, 1981).



Figura 3.7 Mezcladora de composta (Bioactive Windrow Compost Turner – 1800).
Fuente: <http://www.groundgrocer.com/product.asp?pi=196>

Para dimensionar y diseñar almacenes en el área de residuos orgánicos, deben considerarse, si éstos se guardan en montículos, aspectos como las propiedades químicas, físicas y contenido de humedad, además del ángulo de reposo. Para los residuos orgánicos empacados, deben tomarse en cuenta además de la densidad del residuo, el tamaño y material del empaque (Vesilind, 1981).

Empacado

En ésta área se recomienda contar con tolvas, ensacadoras, cosedoras de costales (figura 3.8), vehículos de volteo, cargadores frontales y empaques de sacos o bolsas.

Cuando se transporta la composta en grandes volúmenes, sin empacar, como es el caso de la utilizada para la remediación de suelos, se pueden utilizar cargadores frontales que permitan llenar los camiones de volteo en los que se transporta el producto.

Si hay necesidad de empacar la composta en cantidades de uno a 50 kg se utilizan bolsas o sacos que pueden cerrarse manual o mecánicamente. En el caso del llenado a mano se requiere que el personal cuente con cucharas y cosedoras de sacos manuales, las cuales son fáciles de operar. Para el llenado y cerrado mecánico se requieren ensacadoras sencillas o con aditamentos para el sellado de los sacos.



Figura 3.8 Cosedora de sacos manual.
Fuente: <http://www.hoseki.com>

Ensayadora

Este equipo es utilizado para verter la composta dentro de sacos de diferentes tamaños (de 20 a 50 kg), aunque existen ensacadoras con mayor capacidad para otro tipo de productos como el cemento. Hay ensacadoras sencillas y compuestas; las primeras tienen una tolva con compuerta y aditamentos para sostener los sacos y sensores para el pesaje. Al funcionar la máquina se abre la compuerta para descargar la composta dentro del saco y una vez que se llega al peso indicado se cierra la compuerta y se deja caer el saco, para que posteriormente un trabajador lo cierre y lleve al almacén. Las segundas (figura 3.9) son más complejas ya que tienen el mismo funcionamiento que las sencillas, y además cuentan con una máquina para cerrar los sacos que son transportados en una banda hasta el vehículo o almacén de producto final (HAVER & BOECKER, 2010).



Figura 3.9 Ensacadora HBV 3U, con alimentación, ensacado y sellado mecánico, además de banda transportadora para la alimentación del producto y el transporte de los sacos.

Fuente: <http://www.masek.cz>

3.2.2 Plantas de selección de RSU

Las plantas de selección deben contar con la tecnología y el personal requerido en el proceso de separación de los residuos reciclables, los que pueden ser aprovechados como materia prima que genera ventajas económicas, sociales y ambientales.

Las ventajas económicas se perciben cuando el gobierno invierte altos costos en el traslado y disposición final de los RSU; si en lugar de ello, se destinan recursos para su separación, se reducen los costos mencionados y además se obtienen ingresos al venderse los residuos reciclables. En lo social se da respuesta a las preguntas del por qué y para qué debe separarse la basura y, en lo ambiental, se reduce la explotación de recursos naturales y los consumos de energía y agua, por el proceso de reciclaje.

Existen dos tipos de plantas de selección: unas en las que se reciben residuos mezclados y otras separados. Es importante destacar que mientras mayor sea la separación de los residuos, mayor será la eficiencia de las plantas ya que más residuos pueden ser reciclados (Tchobanoglous, 1993).

En la figura 3.10, se observa un ejemplo de planta de aprovechamiento de residuos que se encuentra ubicada en Alicante, España la cual tiene una capacidad instalada de 198 000 ton/año. La planta está conformada, como puede observarse, por bandas transportadoras, trommel, cargadores frontales, compactadoras, tolvas y contenedores (Cano, 2008).



Figura 3.10 Planta de Tratamiento de RSU de Alicante, España.
Fuente: http://www.retema.es/img/articulos/128_01.jpg

3.2.2.1 Proceso en una planta de selección de RSU

A las PS pueden hacerse llegar los residuos de acuerdo a la forma en que fueron recolectados (mezclados, separados en reciclables y orgánicos, o únicamente reciclables). Cabe señalar que la eficiencia de las PS aumenta cuando reciben los residuos separados. En la selección de los residuos reciclables existen tres fases en el transcurso de las cuales se reciben, separan y acondicionan para su venta (Tchobanoglous, 1993).

En la fase de recepción los residuos se pesan en una báscula y se depositan en un patio de descarga, lugar en donde en algunas plantas se retiran los residuos voluminosos manualmente y el resto se envía a las bandas transportadoras.

En otras plantas los residuos se envían directamente a la trituración y después a las bandas transportadoras en donde da inicio, con equipos diseñados para el caso, la fase de separación de los materiales reciclables por composición, tamaño y color. Entre los equipos con que cuentan las plantas, en esta fase, se pueden mencionar los trituradores de bolsas, bandas magnéticas, separadores de corriente de Foucault, separadores neumáticos de bolsas, cribadoras, separadores por densidad, trituradores, separadores ópticos, tolvas y bandas vibratorias. En la tercera fase, acondicionamiento de residuos para su venta, se realizan actividades de inspección de pureza del material, lavado, compactación en pacas, trituración, peletización, fundición, empaqueo y almacenaje y transporte de los materiales separados. En ella es muy común encontrar montacargas, compactadores y cargadores frontales (Swartzbaugh, 1993).

Los procesos de separación de residuos tienen como principal objetivo la recuperación de los mismos, para ser utilizados como materia prima en el proceso de reciclaje. La reducción de tamaño y de volumen; el transporte; la separación manual, por tamaño, óptica, neumática y magnética son algunas de las operaciones unitarias que se realizan en las PS (Cui, 2002).

3.2.2.2 Esquema de las plantas de selección en el DF.

Las tres plantas de selección que existen en el DF cuentan con una báscula para pesar el total de los RSU que llegan y, posteriormente, en forma separada, los que se rechazan y los que se aprovechan para reciclar; todo esto con el fin de calcular la tasa de aprovechamiento de los RSU y el balance de materia de las plantas. Por otro lado en la báscula de rechazo se pesan, para su control, los residuos voluminosos, y se busca la comercialización de los que reúnan las condiciones para ello y los que no se envían a disposición final (DGSU, 2008).

Una vez que llegan los RSU se mandan a las bandas de selección, en donde los de menor tamaño se hacen pasar por las bandas transportadoras para seleccionar manualmente los que sean reciclables (como plásticos, latas, PET y vidrio); el resto se manda a las bandas y básculas de rechazo para enviarse a disposición final (DGSU, 2008).

Para su comercialización las latas se clasifican, compactan o trituran; el plástico se compacta; el vidrio se vende entero o triturado, y el PET se compacta, por colores (DGSU, 2008).

3.2.2.3 Equipos que se usan en una planta de selección de RSU.

Básculas

Las básculas (de rampa, portátiles o de fosa) se utilizan para llevar a cabo un registro, mediante el pesaje de las entradas y salidas de las materias primas y productos generados en los centros de aprovechamiento, y en las plantas de selección de residuos, de composta y de incineración. Para el pesaje es necesario seleccionar la báscula tomando en cuenta su capacidad máxima y los productos que se van a pesar; la longitud de los camiones transportadores y la rapidez con la que se deba operar la báscula que se utiliza.

Las básculas de fosa (figura 3.11) permiten un acceso rápido y se utilizan en lugares reducidos para pesar residuos transportados por tráilers o camiones largos, llenos a su máxima capacidad. Las de rampa (figura 3.12) se utilizan en los mismos casos que las de fosa, con la diferencia de que requieren más espacio para su operación (entre 2.5 y tres metros más de longitud). Las portátiles (figura 3.13) se utilizan en empresas que funcionan, en un determinado lugar, de manera provisional (Torrey, 2010).



Figura 3.11 Báscula de fosa Torrey.
Fuente: <http://www.basculas-torrey.com/>



Figura 3.12 Báscula de rampa Acemex.
Fuente: <http://www.ace mex.com>



Figura 3.13 Báscula portátil Reyca.
Fuente: http://basculasreyca.com/html/catalogo/basculascamiones/survivor_atv.htm

Abre bolsas

Triturador conformado con cuchillas fijas y móviles que giran normalmente soldadas, las últimas, a un eje (figura 3.14). Las bolsas con RSU se hacen pasar por las cuchillas para que se rompan y facilitar, de esta manera, la separación de los RSU contenidos en su interior (SPR, 2010).



Figura 3.14 Abre-bolsas 2200-55 de Grupo SPR.
Fuente: <http://www.interempresas.net>

Trituradoras

Maquinaria que reduce el tamaño de los RSU con el propósito de disminuir los tiempos de producción de composta, para los orgánicos, y facilitar la separación de los residuos reciclables. Entre los equipos que se utilizan para la trituración de residuos se encuentran: los molinos de martillo, las trituradoras cortantes y las cubas de trituración (figuras 3.15-3.18) (Tchobanoglous, 2003).

Los molinos de martillos son dispositivos de impacto en los cuales varios martillos golpean residuos para aplastarlos y rasgarlos, con tal velocidad, que no se adhieren a los martillos. Son muy efectivos para triturar materiales fáciles de fragmentar aunque en el proceso se corren riesgos de explosiones en caso de que, mezclados con los RSU, vayan contenedores con residuos peligrosos (volátiles o explosivos, ejemplos). Después de la trituración es recomendable cribar el material resultante porque los molinos de martillo rasgan los RSU de manera heterogénea (figuras 3.15 y 3.16).



Figura 3.15 Molino de martillos de impacto de la empresa FAM.

Fuente: <http://www.fam.de/espanol>

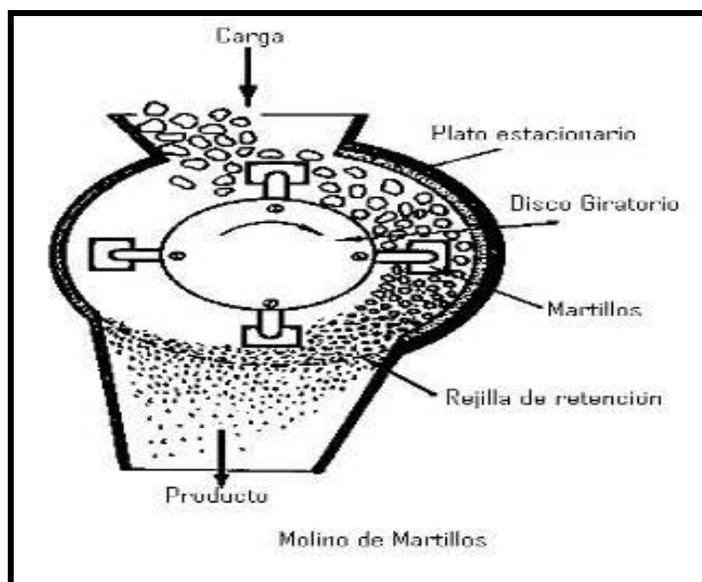


Figura 3.16 Parte inferior del molino de martillos.

Los trituradores cortantes son dispositivos de baja velocidad (60-120 Rev./min) que funcionan con motores hidráulicos. Poseen dos cuchillas que giran cada una de ellas en sentido contrario para cortar, como tijeras, residuos dúctiles y ambas se mueven en sentido inverso en caso de bloqueo, fenómeno que se da cuando las cuchillas no pueden romper algún residuo, por su dureza. Los trituradores cortantes son utilizados porque llevan a cabo una fragmentación uniforme de RSU (figura 3.17).

Las cubas trituradoras se utilizan para reducir el tamaño de los RSU en su lugar de origen (“in-situ”) o en las plantas de tratamiento. Cuentan con tolvas de alimentación a las que llegan los residuos a través de grúas, que pueden o no estar integradas a las cubas; con molinos de diferentes tipos, conformados con martillos horizontales para fragmentar RSU o con mandíbulas para aplastar automóviles, por mencionar algunos ejemplos. Además cuentan con remolques que trasladan a las cubas hacia los lugares donde se necesitan (figura 3.18).



Figura 3.17 Tritradora de mandíbula marca AUBEMA

Fuente: www.aubema.de/wDelivery/Delivery_Programm_Spanish.pdf



Figura 3.18 Cuba de trituradora marca SBM.

Fuente: <http://www.sbmperu.com/>

Montacargas

Los vehículos montacargas cuentan con un mecanismo al frente que se mueve a diferentes alturas según las necesidades que se presenten. Sirven para desplazar las pacas con RSU hacia el almacén o hacia los vehículos en los que se trasladan a los sitios de venta. Para su selección debe tomarse en cuenta la capacidad de carga, la altura a la que puede elevar el material desplazado y el tipo de llantas con que cuenta (figura 3.19).



Figura 3.19 Monta cargas Caterpillar.
Fuente: <http://mexico.cat.com/>

Separadores neumáticos

Los residuos que tienen densidades que van de los 16 a los 3 200 kg/m³ pueden separarse por medio de una corriente de aire, vertical u horizontal, cuyo origen parte de pocos, a varios centenares de pies. Respecto a su tamaño, la separación va desde polvos hasta gránulos de 6.35 mm (Perry, 2001).

La capacidad del sistema neumático de transporte (figura 3.20) que se requiere en una planta de separación depende de la densidad de masa del producto, de la forma y tamaño de las partículas, del contenido de energía del aire de transporte a lo largo del sistema, y del diámetro y longitud equivalente de la línea de transporte (Perry, 2001).



Figura 3.20 Separador neumático de residuos en una planta de selección de RSU.
Fuente: <http://kvaengineering.net/products/air-conveying-systems/>

Separadores ópticos

La separación óptica permite segregar, por colores, residuos como vidrio y plásticos, (colores transparentes, ámbar, azul y verde), ya que así lo requiere el proceso de reciclaje (figura 3.21). El mecanismo de separación se lleva a cabo por medio de luces y fotoceldas, integradas a una caja, que detectan los colores de los materiales y mandan señales para que funcionen los dispositivos de separación, conformados por puertas que se abren y cierran, láminas que se mueven de un lado a otro o clasificadores que expulsan aire, a diferentes velocidades, de acuerdo con la naturaleza del material a separar (Vesiling, 1975).



Figura 3.21 Separador óptico de plásticos marca ECOGLASS.
Fuente: <http://www.picvisa.com/>

Tolvas

Se utilizan para dar entrada a los residuos y conducirlos hacia los diferentes equipos de separación que son parte de la PS. Existen tolvas de masa que requieren de un flujo uniforme de densidad constante y de indicadores de nivel, las que a pesar de su utilidad tienen la desventaja de que algunos residuos pueden quedarse atorados en zonas muertas, con el consiguiente riesgo de descomposición. En las de embudo (figura 3.22), un segundo tipo de tolva, debe tomarse en cuenta que la primera porción de RSU que ingresa es la última en salir, lo que resulta una desventaja porque hay residuos que, al permanecer en zonas muertas, pueden descomponerse ya que se retiran de esos sitios hasta que se lleva a cabo la limpieza completa del equipo. Además los indicadores deben situarse en puntos estratégicos para que funcionen de manera adecuada ya que de no ser así, darán información poco confiable. Este tipo de tolvas tiene un buen desempeño con sólidos de partículas grandes y flujo libre (Perry, 2001).



Figura 3.22 Tolva de recepción de residuos (flujo masa).
Fuente: <http://www.maquias.com>

Bandas vibratorias

Estas bandas (figura 3.23) tienen movimientos vibratorios horizontales inducidos por un dispositivo llamado Head Motion, que separa los residuos de la siguiente forma: los más pesados se desplazan hacia una de las orillas, los más livianos hacia la otra y los de peso medio quedan en la parte central; al final de la banda existen contenedores que captan los RSU ya separados. Para la selección de las bandas vibratorias debe tomarse en cuenta la densidad de los residuos a separar, la medida de la carrera (stroke) y la frecuencia en stroke/min (Vesiling, 1975).



Figura 3.23 Banda vibratoria marca Rect y maquinado Vela.
Fuente: <http://www.rectmaqvela.com>

Grúas

Las grúas se utilizan para mover o separar residuos por medio de aditamentos como pulpos o almejas (figura 3.24), y electroimanes (figura 3.25). Los primeros desplazan residuos desde el patio de descarga hacia las tolvas o trituradoras (figura 3.26) y, los segundos, se utilizan en la separación de los residuos ferrosos, de los no ferrosos.



Figura 3.24 Aditamento que lleva la grúa, se conoce como pulpo o almeja.
Fuente: <http://www.fernie.es/>



Figura 3.25 Aditamento llamado electroimán.
Fuente: <http://www.dinaksa.com>



Figura 3.26 Grúa caterpillar (material handler).

Fuente: <http://mexico.cat.com>

Compactadoras

El principio fundamental de la compactación, proceso que se sigue para acomodar los residuos en pacas, es el de aumentar el peso volumétrico de los RSU, lo que trae como consecuencia el ahorro de espacios de almacenamiento y la reducción de costos de transporte. Los residuos que se someten a compactación son de diferente naturaleza y entre ellos sobresalen los plásticos, metales, cartón y papel (Pitchel, 2005).

La forma, tamaño y capacidad de las compactadoras varían de acuerdo a los requerimientos. Las hay hidráulicas horizontales y verticales. Las primeras se utilizan para compactar RSU mezclados (figura 3.27) y metales (figura 3.28); y las segundas, están diseñadas especialmente para hacer pacas de cartón, plástico y similares (figura 3.29) en industrias que generan una gran cantidad de recortes y desperdicios que deben compactarse (Jovisa, 2010). En el anexo A se presenta la tabla que muestra los diferentes pesos volumétricos de los RSU, por tipo y según el estado en que se encuentren (normal, compactados, triturados o aplanados).

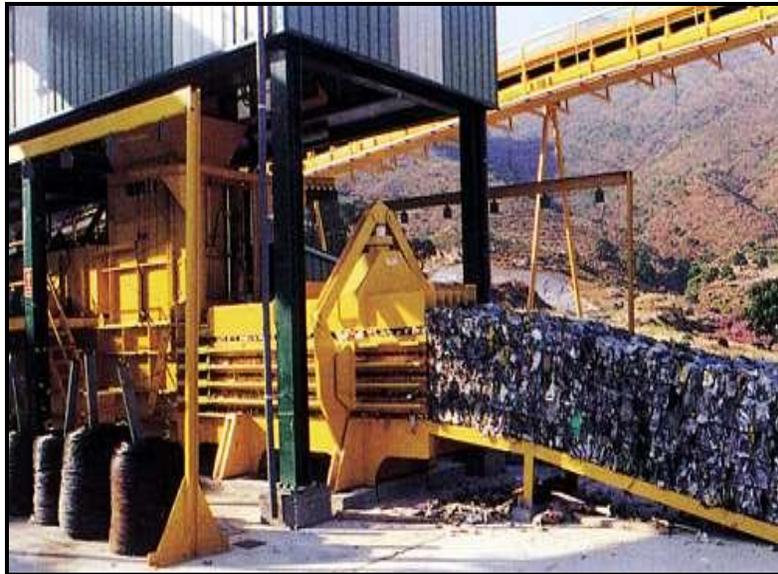


Figura 3.27 Prensas continuas: para residuos sólidos urbanos.
Fuente: <http://www.jovisa.es/>



Figura 3.28 Prensas hidráulicas para metales con doble o triple compresión.
Fuente: <http://www.jovisa.es/>



Figura 3.29 Prensas hidráulicas verticales: para hacer pacas de cartón, plástico y similares.
Fuente: <http://www.jovisa.es/>

Bandas transportadoras

Equipos que se utilizan, por un lado, para desplazar los RSU y, por el otro, para facilitar la separación manual de los mismos a medida de que se mueven a lo largo de la banda transportadora. Existen diferentes tipos de estas bandas: de bisagras, de cinto, de caucho, vibratoras, neumáticas, de cajones (figura 3.31-3.34). Para la selección del equipo mencionado deben considerarse la capacidad de transporte, la longitud, las características del material a transportar, su ángulo de inclinación y el tipo de separación para el que se destina: manual o mecánica (Pitchel, 2005).



Figura 3.30 Banda transportadora de caucho y acero de la empresa Tecnorec Recycling plants and technology.

Fuente: <http://www.tecnorec.com.mx/>



Figura 3.31 Bandas Transportadoras de bisagras.

Fuente: <http://www.fas-srl.com.ar>



Figura 3.32 Banda transportadora que tiene movimiento por gravedad conocida como roller conveyer (FAS, 2010).

Fuente: <http://www.fas-srl.com.ar>



Figura 3.33 Banda transportadora de cajones chicos marca Moveyor.

Fuente: <http://www.moveyor.com>

Cribas

Para llevar a cabo la separación de los RSU por tamaño es necesario colocarlos sobre una superficie de cribado, en donde los pequeños caen por los agujeros de una red y los grandes se quedan sobre ella. Entre los diferentes tipos de cribas que existen pueden mencionarse las vibratorias, las cilíndricas (trommel) y las de discos (Rhyner, 1995).

Las cribas vibratorias tienen mallas con pequeños movimientos que facilitan la separación de los residuos por tamaño, ya que los pequeños caen sobre una banda o un recipiente, y los grandes no (figura 3.34). Estas bandas se utilizan, entre otras cosas, para quitar impurezas como piedras, vidrios y plásticos, que están contenidos en la composta (Rhyner, 1995).

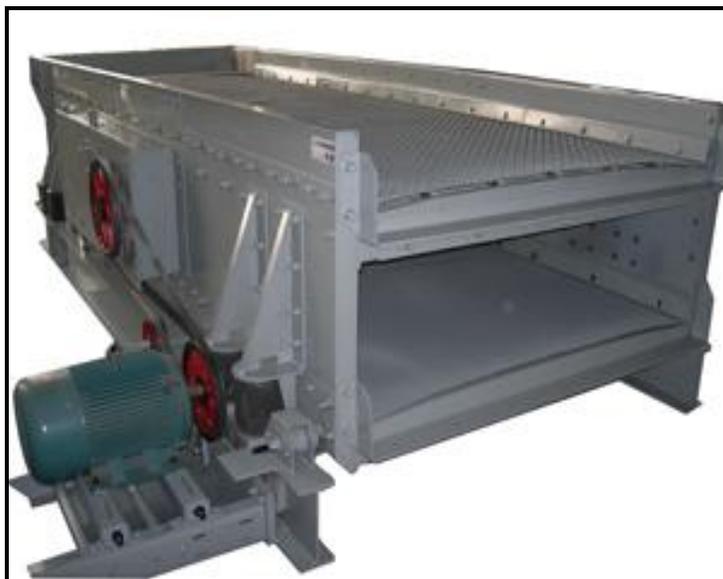


Figura 3.34 Criba vibratoria Tamiz vibratorio horizontal Serie STZ (HBM, 2010).

Fuente: <http://www.hbm-crusher.es/>

Las cribas cilíndricas o Trommel (figura 3.35) son cilindros rotatorios, horizontales o inclinados, con mallas. Se utilizan para separar los residuos orgánicos, de los inorgánicos contenidos en los RSU mezclados y, además, los reciclables, de los inorgánicos ya separados. La eficiencia de separación está condicionada por el tamaño de los agujeros de la malla; por ejemplo, si para la separación de residuos reciclables se utilizan agujeros de diez centímetros puede separarse el 90% de metal y vidrio, y el 30% de papel y plásticos quedando el resto de los residuos dentro del Trommel. Esta parte del proceso facilita la separación definitiva de los materiales, por la división que, en el Trommel, ya se hizo de ellos (Rhyner, 1995).

Las cribas de discos (figura 3.36) contienen, como su nombre lo indica, una serie de cilindros con discos acomodados de tal forma que entre ellos hay espacios por donde caen los residuos más pequeños contenidos en el material. Los residuos de mayor volumen son desplazados por los discos hacia la siguiente operación del proceso de la planta. Si algún residuo se atora e impide el funcionamiento de la criba, los discos giran en sentido inverso, para destrabarla (Rhyner, 1995).



Figura 3.35 Criba cilíndrica o trommel (Beaver, 2010).

Fuente: <http://www.beaverwoodwaste.com/>

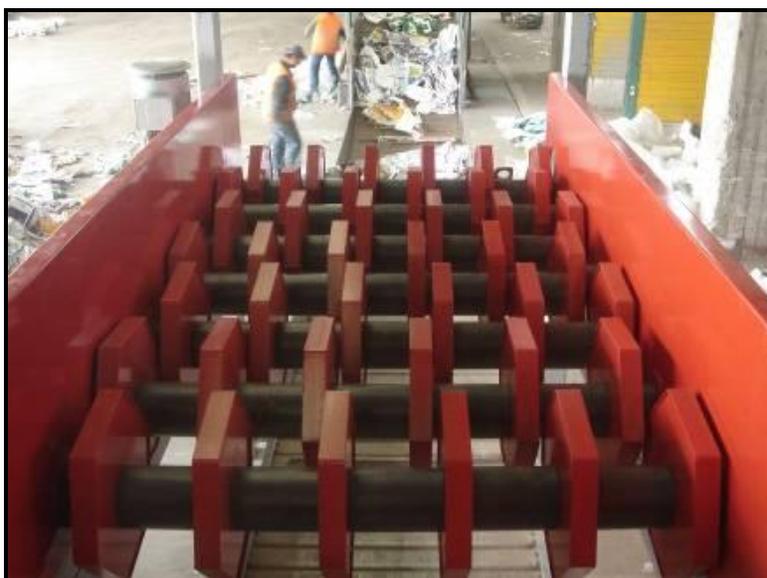


Figura 3.36 Criba de discos (Dinpsa, 2010).

Fuente: <http://www.gdinpsa.com/>

Separador magnético (metales ferrosos y no ferrosos)

Estos equipos forman un campo magnético que atrae a los metales ferrosos y rechaza a los no ferrosos, para separarlos del resto de los residuos (Rhyner, 1995).

En la separación de los metales ferrosos se utilizan imanes que son los encargados de generar los campos magnéticos ubicados en las bandas transportadoras, las grúas, los tambores, las cabezas de polea y las bandas magnéticas. Cuando las bandas transportadoras cuentan con imanes, estos pueden estar ubicados debajo o al final de las mismas; en las magnéticas (figura 3.37), el imán está distribuido en toda la banda que se encuentra arriba y separada de la banda transportadora no magnetizada. Sobre esta última se desplazan los RSU de donde son atraídos, los ferrosos, por el campo de la banda magnética. Los residuos ferrosos son transportados y caen en contenedores cuando, en cierta zona, la atracción magnética deja de ejercer su fuerza (Pitchel, 2005).



Figura 3.37 Separador de metales férreos marca Regulator-Cetrisa.
Fuente: www.regulator-cetrisa.com

Para separar los metales no ferrosos se utiliza un equipo llamado separador para corriente de Foucault (figura 3.38) en el que se genera una fuerza de repulsión magnética; cuando los residuos llegan a un determinado punto de la banda transportadora, los metales no ferrosos son expulsados hacia un contenedor o una banda transportadora. Los demás residuos caen en un depósito estratégicamente ubicado (Rhyner, 1995).

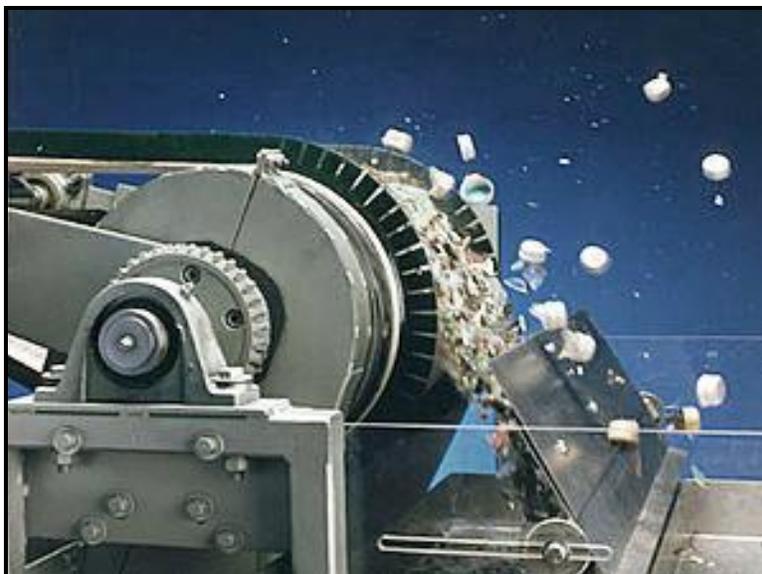


Figura 3.38 Separador para corriente de focault (metales no ferrosos), marca ERNIEZ.

Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/press/press-g/eddy-current-separator-with-erium-3000-features-unmatched-strength-P14035.jpg&imgrefurl Separación manual

Separación manual

La separación manual es el método más simple y común que se utiliza para separar los RSU, los cuales son colocados en una banda transportadora después de que las bolsas con residuos son rasgadas con un trommel o triturador. Debe destacarse que la banda transportadora se mueve a una velocidad comprendida entre 0.075 y 0.45 m/s.

Cuando los encargados de la separación están ubicados sólo en uno de los lados de la banda, ésta no debe medir más de 60 cm de ancho para que el trabajo se desarrolle con eficiencia. Si se encuentran en los dos lados, la banda puede medir hasta 1.20 m (figura 3.39). Los encargados de la separación recolectan, para su venta, los residuos reciclables y para evitar accidentes retiran los peligrosos que puedan explotar (Pitchel, 2005).



Figura 3.39 Planta de tratamiento de RSU de Esquel y Trevelin, con separación manual.

3.2.3 Residuos reciclables

Tienen valor comercial en el mercado ya que son materia prima para formar productos. Existe entre ellos una amplia variedad como: papel de oficina, de publicidad, periódicos, revistas, cuadernos y libros; cartón corrugado y liso; metales ferrosos y no ferrosos; plásticos (PETE, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS y otros), y vidrio transparente, verde y ámbar (Rhyner, 1995).

Con relación a las cajas de cartón corrugado cabe destacar que son fáciles de reciclar y de degradar en la composta, después de que son trituradas. Respecto a la incineración este material tiene un alto poder calorífico (3 915.5 kcal/kg) si se compara con el de los RSU (2 500.2 kcal/kg), por lo que es útil para la combustión. En los rellenos sanitarios las cajas tienen una degradación lenta (Aquino, 1995).

Los metales ferrosos se utilizan para crear productos utilizados en los vehículos y estructuras de acero, así como latas para embasar bebidas y alimentos. Los no ferrosos entre los que se encuentran el aluminio, cobre, plomo, níquel, acero inoxidable, zinc, tienen múltiples aplicaciones en tuberías, cableados de luz, marcos para ventanas, utensilios de cocina, de acuerdo con su naturaleza (Ryner, 1995). Las latas de aluminio (metal no ferroso) tienen, por su volumen, una aplicación industrial muy importante ya que con su recuperación se compactan o trituran, y se funden para su reciclaje (Aquino, 1995).

Los residuos que pertenecen al grupo de los termoplásticos clasificados conforme al contenido de la tabla 3.1 (de bajo costo y alto volumen), pueden moldearse mediante fundición para formar diversos productos. Otro grupo, el de los termoset, que está conformado por plásticos muy resistentes al calor (como las llantas de vehículos), y que tienen un tiempo de degradación de aproximadamente 500 años, no pueden moldearse para generar otros productos, pero si destinarse a usos relacionados con la construcción de carreteras; combustible para las cementeras; aislante para techos y base para tapetes, entre otras cosas (Rhyner, 1995).

Con el plástico HDPE reciclado se obtienen productos como bolsas, botes, tapaderas destinadas a diferentes usos y botellas, entre otros. Es altamente combustible ya que produce 10 384.2 kcal/kg, tanta energía que no puede aprovecharse en su totalidad y que, por ejemplo, causa problemas en hornos y calentadores (Aquino, 1995).

Tabla 3.1 Clasificación de los termoplásticos. Fuente: NMX-E-232-SCFI-1999.

Nombre	Abreviatura (opcional)	Número de identificación
Polietilentereftalato	PET o PETE	1
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE	2
Policloruro de vinilo o Vinilo.	PVC o V	3
Polietileno de baja densidad	PEBD o LDPE	4
Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6
Otros	Otros	7

El PET fue desarrollado por los químicos John Rex Whinfield y James Tennant Dickson en 1941, aunque sus antecedentes se remontan a 1929 (Conde, 2007) y en la actualidad se fabrica con tonalidades café y verde y, transparente. Se utiliza para fabricar recipientes en los cuales se envasan algunos líquidos. En el reciclaje de los envases se forman pacas o se trituran para, por medio de la separación óptica, estar en condiciones de ser seleccionados y separados por colores (Aquino, 1995).

Entre los componentes del vidrio se encuentran la arena sílica, el dióxido de silicio, en su forma más pura, y un poco de óxido de sodio que se utiliza para reducir el punto de fusión. Todos los compuestos de la mezcla se someten, en el interior de un reactor Batch y para obtener el producto citado, a temperaturas comprendidas entre los 1 480 y 1 570°C. En el reciclado del vidrio se sigue el proceso de recolección, trituración y fundido, y con el se obtiene fibra sintética, asfalto y algunas variedades de piso, entre otros materiales.

3.2.4 Ventajas del reciclaje

Si se recicla una tonelada de papel, se ahorra el 86% de agua (80 000 litros), 62% de energía (4 000 kwh), 300 kg de petróleo, dos metros cúbicos de espacio en el relleno sanitario, 298m² de bosque, ya que se evita talar 17 árboles y se reduce el 92% de contaminación de agua y suelo por el uso de químicos. Se considera que el papel se puede reciclar en entre un 75 y 95% del que se genera.

El reciclaje de vidrio permite ahorrar 1.2 ton de materias primas, entre las que se encuentran 665.4 kg de arena sílica, 216.63 kg de piedra caliza, 75.75 kg de feldespato. Aunado a lo anterior, el consumo de energía se reduce en 32% (300 kw), el de agua en 50% (11 000 litros), el de combustible 130 kg (35 litros de petróleo) y el de sílice 990 kg. Así mismo, se dejan de generar 0.5614 kg de contaminantes atmosféricos, lo cual es equivalente a una reducción del 14%. De la misma forma, el 79% (151.775 kg) de los residuos de minería, dejan de ser generados (Campoverde et al, 2005).

Por otra parte, Schlesinger (2007) y Schmitz (2006), mencionan que reciclar una tonelada de aluminio, permite ahorrar el 95% de energía (14 630 kw/h), el 40% de agua (91 200 litros), espacio de 200 m³ en relleno sanitario, 30 kg de dióxido de azufre, 4.5 kg de fluoramina, cuatro toneladas de bauxita, 119 kg de cal, y se reducen cinco toneladas de residuos minerales generados en el proceso de extracción, Así como 1 646 kg de lodos rojos, 1 450 kg de dióxido de carbono, 40.5 kg de contaminantes al aire y 350 kg de residuos sólidos (González, 2001).

En lo que respecta al reciclaje de plástico, autores como CIMA (2000), Francesco (2002) y Anthony y Andrady (2003), mencionan que dicho proceso permite ahorrar, por cada 100 toneladas de plástico el 90% de energía eléctrica y una tonelada de petróleo que se emplearía para producir dicha cantidad.

Al reciclar una tonelada de acero, se evita consumir 500 kg de carbón, y un 40% de agua, 70% de energía eléctrica, y 1.5 toneladas de hierro.

Otro material que ha manifestado un amplio potencial de reciclaje, es el envase multicapas, ya que dicho proceso de transformación propicia el ahorro de 3000 kw de energía eléctrica, 100 000 litros de agua, 221 kg de combustible, y 1500 kg de madera, además del beneficio de ahorro de espacio en los rellenos sanitarios (Barreno et al, 2006).

El reciclaje de llantas, es un proceso que presenta una gran cantidad de beneficios tanto ambientales, como socioeconómicos, ya que al procesar 1 000 toneladas de dicho residuo, se obtienen 400 toneladas de carbón asfáltico, 400 de diesel y 150 de cable de acero. Aunado a lo anterior, se recupera el 25% de la energía que se necesitaría emplear para producir las misma cantidad de llantas (Shulman, 2004).

Las llantas utilizadas para el carbón asfáltico mencionado en el párrafo anterior, deben de ser trituradas a un diámetro de partícula menor al 1.4 mm. Por el contrario, las partículas, resultantes de la trituración, que se utilizan para el ahorro de energía de las cementeras por medio de la incineración, deben ser aproximadamente de un diámetro de 10 mm (Shulman, 2004).

Por otra parte, resulta conveniente destacar que la industria cementera emplea las llantas, ya trituradas, como combustible para sus hornos incineradores, abarcando el 25% del total de su combustible empleado (1.17 millones de BTU) (Blumenthal, 2004), porcentaje que sería sustituido por combustibles fósiles, si no se utilizaran las llantas.

En lo que respecta al reciclaje de los residuos orgánicos, el método de compostaje aerobio permite obtener grandes beneficios tanto económicos como ambientales (Foster, 2005), ya que con el tratamiento de una tonelada de materia orgánica a través del método de conversión aerobia (aplicando 708 kg de oxígeno), se obtienen 400 kg de composta, 974 kg de dióxido de carbono y 332 kg de agua, lo cual se traduce en la obtención de materia prima para la fertilización de suelos, abono para cultivos, ahorro de espacio en rellenos sanitarios aumentando su tiempo de vida útil, además de que evita la emisión de metano a la atmósfera, que se presenta por los residuos orgánicos en rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto (Moreno y Moral, 2007; Castells, 2005).

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA Y DESARROLLO.

La metodología de este trabajo se dividió en tres etapas: revisión bibliográfica, investigación de campo y diseño del CAR. En la primera se hizo un estudio documental de las tecnologías y equipos relacionados con el tratamiento y reciclaje de RSU, y la normatividad vinculada con las áreas social y ambiental de nuestro país y las ventajas que tiene la construcción de un CAR en la delegación Milpa Alta y, en la segunda, (investigación de campo) se desarrollaron los estudios diagnóstico de las estaciones de transferencia y se planearon los muestreos para la realización de los análisis (humedad, peso volumétrico y composición de residuos) que se obtuvieron para el estudio de actualización y composición de los residuos sólidos urbanos en el DF (Orta et al, 2009) y, en la tercera etapa, (diseño del CAR) se realizó la proyección de los RSU al 2030, la selección y dimensionamiento de tecnologías y equipos, el diseño y ubicación del CAR, además del análisis de costos. (figura 4.1).

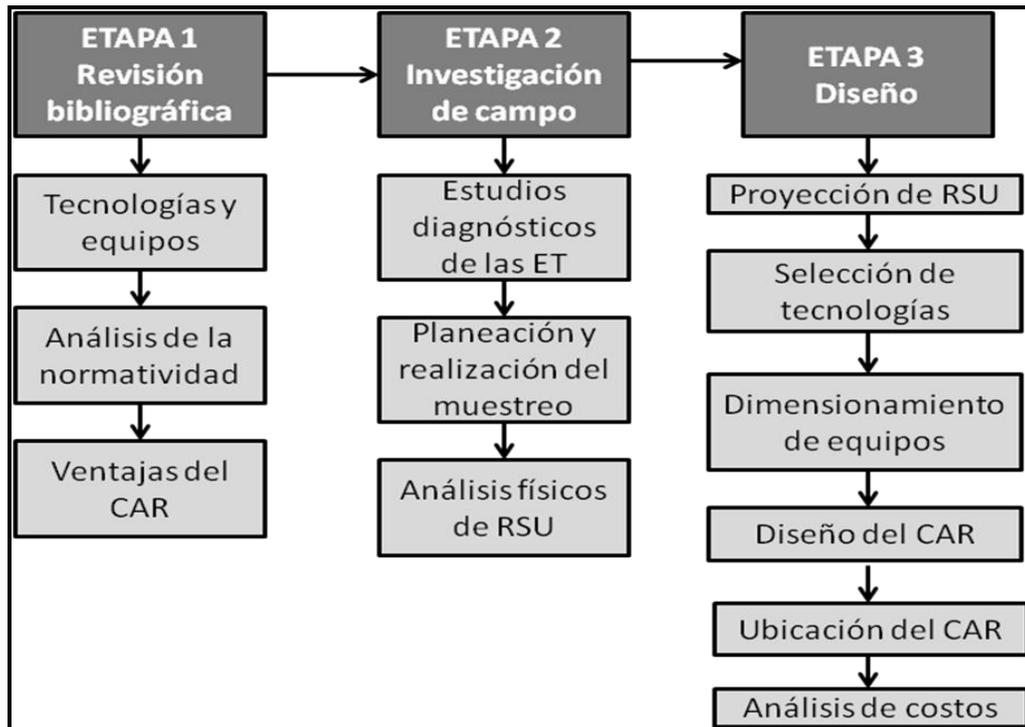


Figura 4.1 Diagrama de flujo de la metodología de la tesis.

4.1 ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1.1 Tecnologías y equipos

En esta primera etapa se revisaron, como ya se mencionó, tecnologías y equipos que, en el tratamiento y aprovechamiento de los RSU se utilizan en algunos países, incluido México, y algunas de las prácticas que se llevan a cabo en diversos lugares con relación también, al manejo de los RSU.

4.1.2 Análisis de la normatividad

En la parte jurídica se tomaron en cuenta las normas relacionadas, en México, con el equilibrio ecológico y la protección del ambiente; la prevención y gestión integral de los RSU; la incineración de residuos; la emisión de contaminantes y los sitios de disposición final de RSU, entre otras. En el apartado correspondiente al “Marco legal” se presentarán, con su nombre respectivo, las leyes y normas, y un resumen de su aplicación en este trabajo.

4.1.3 Ventajas del Centro de Aprovechamiento de Residuos (CAR)

Para analizar las ventajas del CAR, se realizó una revisión bibliográfica sobre el ahorro de agua, energía, petróleo, y materias primas, que se obtiene al reciclar los RSU. Con base en esta información, se prosiguió a estimar *o calcular* el ahorro de los mencionados insumos, que se obtendrían en el CAR propuesto, considerando que se aprovecha el 100% de los residuos reciclables (papel, cartón, vidrio, aluminio, metales ferrosos y no ferrosos, plásticos y llantas, y orgánicos), que se generan en la delegación Milpa Alta.

4.2 ETAPA 2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

La investigación de campo, se llevó a cabo durante la participación en el “Estudio para actualizar la composición y generación de los residuos sólidos urbanos en el DF”. En dicho estudio, se realizaron visitas a las estaciones de transferencia, la planeación de los muestreos, los muestreos y los análisis de humedad, peso volumétrico y composición de residuos (Orta *et al.*, 2010).

4.2.1 Estudios diagnósticos de las estaciones de transferencia de las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta

En principio se evaluaron las condiciones de funcionamiento de las estaciones de transferencia de Tlalpan y Milpa Alta considerándose para ello los espacios, el número de vehículos recolectores, las horas de mayor actividad, los equipos y anexos (oficinas, estacionamientos). Además también se consideró, en la evaluación, el personal que las atiende.

4.2.2 Planeación del muestreo para la realización de análisis

En la planeación del muestreo, se llevó a cabo en Tlalpan la selección de vehículos recolectores, con base en los estratos socioeconómicos que integran la delegación, por lo que fue necesario determinar las características de cada estrato, tomando elementos de referencia de todas las colonias que la conforman. Cabe mencionar, que toda la delegación Milpa Alta se consideró estrato socio-económico medio.

4.2.2.1 División por estrato socioeconómico de la población, de las dos delegaciones

Los estratos socio-económicos que se consideraron en la delegación Tlalpan fueron el alto, medio y bajo, mientras que, en Milpa Alta, debido a la uniformidad de las características poblacionales se consideró un solo “estrato”, que se trabajó por medio del Grado de Marginación que se muestra en el Programa Integrado Territorial para el Desarrollo Social, elaborado por la Coordinación de Planeación del Desarrollo Territorial del Gobierno del DF.

En la figura 4.2 pueden apreciarse las dimensiones socio-económicas que se tomaron en cuenta (educación, vivienda, ingresos económicos y distribución de la población); las nueve formas de exclusión social que se consideraron y los nueve indicadores que sirvieron para medir la intensidad de la exclusión.

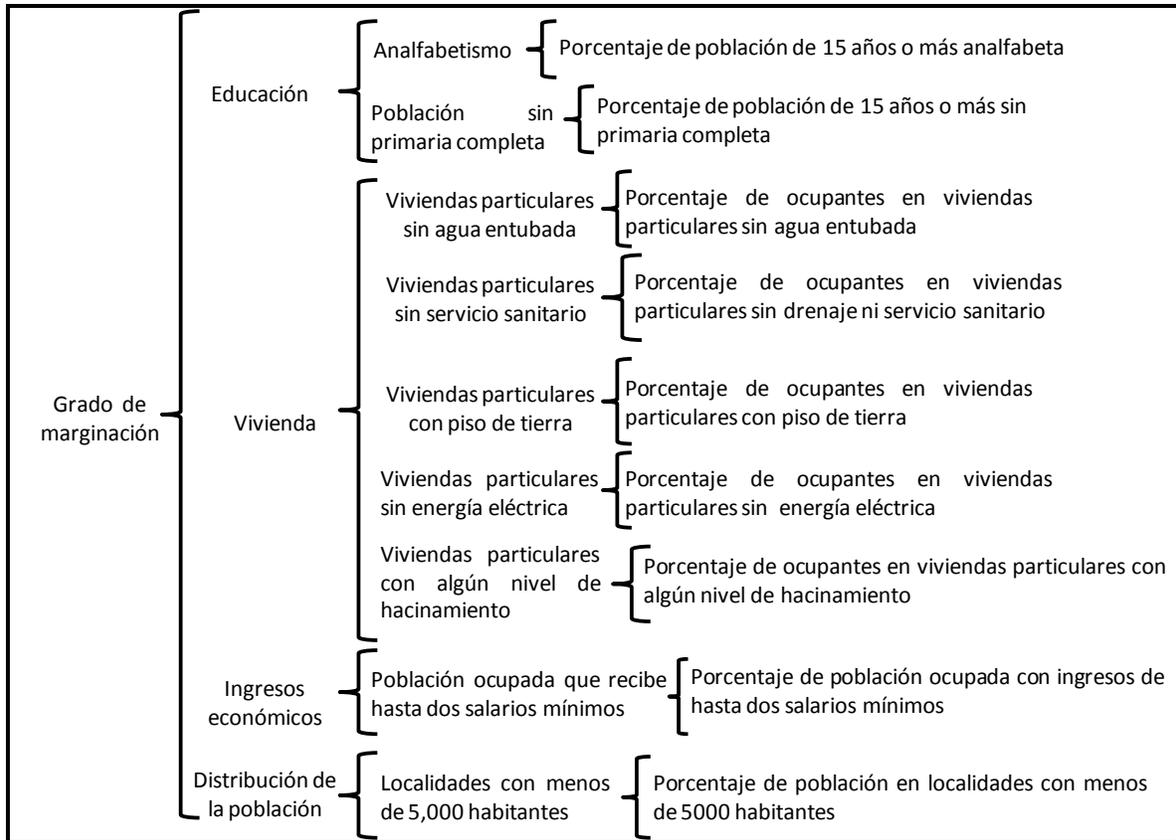


Figura 4.2 Elementos del índice de marginación. CONAPO, 2006.

4.2.2.2 Selección de los vehículos recolectores

Con el propósito de que la muestra de residuos domiciliarios de la delegación Tlalpan fuera representativa, se seleccionaron ocho toneladas de cada uno de los estratos socioeconómicos (bajo, medio, alto). Destinándose para ello el mismo tipo de vehículos recolectores, carga trasera de 10 m³ los cuales a su máxima capacidad reciben 2980 kg de residuos con un peso específico típico de compactación de 298 kg/m³ (Tchobanoglous, 1994). Los residuos domiciliarios recolectados se depositaron en un vehículo de transferencia.

En la delegación Milpa Alta se consideró, por lo expresado anteriormente, solo un estrato socio-económico para seleccionar la muestra de residuos domiciliarios (24 toneladas) y se siguió el mismo procedimiento que en la delegación Tlalpan.

4.2.2.3 Análisis físicos de los residuos sólidos urbanos

Una vez depositados los RSU de la delegación Tlalpan en el vehículo de transferencia, fueron trasladados a la planta de composta BP en donde se mezclaron las muestras que permitieron llevar a cabo el método de cuarteo descrito en la (NMX-AA-15-1985), al que se le hicieron algunos ajustes ya que en lugar de muestrear casas habitaciones, como lo sugiere la norma, el muestreo se llevó a cabo en vehículos recolectores de carga trasera.

Una cuarta parte de las 24 toneladas de residuos recolectados en la delegación Tlalpan y depositados en BP se utilizó para llevar a cabo estudios de humedad conforme a la (NMX-AA-16-1984), el peso volumétrico (NMX-AA-19-1985) y dos cuartas partes para el estudio de composición de residuos. En este último caso se amplió la lista de subproductos conforme a la NMX-AA-22-1985.

Es importante señalar que para llevar a cabo los estudios de peso volumétrico, humedad y composición de los RSU depositados en el transfer en una sección de BP, se tomaron diez partes, de puntos diferentes, utilizándose para ello un bobcat. Las diez partes seleccionadas se trasladaron a la planta de composta BP para aplicárseles el método de cuarteo. Para el estudio de la humedad de los RSU se llevaron a cabo tres determinaciones por cada vehículo de transferencia de cada una de las cuales se tomaron diez kilogramos. Después se realizaron varios cuarteos hasta llegar a una muestra de dos kilogramos. Se hicieron tres determinaciones por cada vehículo de transferencia.

La prueba de peso volumétrico se hizo conforme a la (NMX-AA-19-1985). En su desarrollo se realizaron cinco determinaciones usándose para ello, como recipiente, un tambo de 0.2 m³ el que se pesó previamente. Después se llenó, al tope, el tambo con residuos y se volvió a pesar para obtener el peso volumétrico, lo que se llevó a cabo mediante el desarrollo siguiente: el peso bruto (obtenido del peso del tambo lleno de RSU, hasta el tope, menos el peso del tambo vacío) se dividió entre el total de m³ del tambo.

En cuanto al estudio de composición de los RSU, debe señalarse que la lista de subproductos se amplió de 27 a 50, para lo que se tomó en cuenta la relación consignada en la (NMX-AA-22-1985) (Anexo C). De la muestra (una tonelada y media de peso) se obtuvieron, clasificaron y pesaron los subproductos y se determinó el porcentaje en peso, de cada uno de ellos mediante la ecuación 4.1:

$$P_s = \frac{G_1}{G} \quad (4.1)$$

donde:

P_s = Peso del subproducto

G_1 = Peso del subproducto descontando la muestra empleada.

G = Peso total de la muestra.

4.3) ETAPA 3. DISEÑO DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS (CAR)

El diseño del CAR se hizo para la delegación Milpa Alta, por lo cual se realizó una proyección, hasta el 2030, de los residuos recibidos en la estación de transferencia de dicha delegación. Además se estudió la mejor la ubicación del CAR, se dimensionaron los equipos y recursos tecnológicos requeridos, y también se llevó a cabo el análisis de costos.

4.3.1) Proyección de residuos

En el primer cálculo para el diseño del CAR se traspasaron, a escala real, los datos que se obtuvieron en el estudio. En el proceso se determinó el promedio, en kg y por separado, de los datos obtenidos en los dos muestreos que se hicieron en cada delegación; el porcentaje de generación de los residuos de cada muestra, para lo que se tomó en cuenta una generación de 74 ton/día para la delegación Milpa Alta (DGSU, 2008).

Una vez que se obtuvo la estimación de la cantidad probable generada por cada residuo analizado en el estudio de composición para el 2008, se llevó a cabo un segundo cálculo (proyección de residuos) con el fin de que la capacidad del CAR permitiera en los años subsecuentes, hasta el 2030, el tratamiento y reciclaje de los RSU. Las proyecciones de cada residuo se hicieron tomando en cuenta el crecimiento poblacional (CONAPO) con datos del 2008 al 2030, y considerándose una tasa de crecimiento de generación anual de RSU de 1.5%.

Para la proyección de residuos se utilizó la ecuación 4.2:

$$\text{Resf} = \text{Resa}(1+r)^n \quad (4.2)$$

donde:

Resf= Residuos futuros, kg

Resa= Residuos actuales, kg

r= tasa de crecimiento, adimensional

n= años.

Los residuos totales por año recibidos en las estaciones de transferencia se determinaron basándose en la ecuación 4.3.

$$\text{RTA} = (\text{Hab})(\text{GRP})(365) \quad (4.3)$$

donde:

RTA= Residuos totales anuales, kg/año.

Hab= Número de habitantes, adimensional

GRP= Generación de residuos per cápita, kg/persona/día

Con los resultados de las proyecciones se diseñará el CAR, se calcularán las capacidades de los equipos y se llevará a cabo la selección de los mismos.

4.3.2 Selección de tratamientos

Los tratamientos de RSU que se mencionarán en este capítulo: *selección de residuos, compostaje e incineración* se analizaron por medio del programa *Criterion decision plus*, con el fin de llevar a cabo un análisis multicriterio que permitiera evaluar, para elegir la mejor opción, elementos conformados por diferentes criterios, subcriterios y factores.

En los tratamientos de los RSU, los criterios que se consideraron para su evaluación fueron los referidos a los *aspectos social, legal y ambiental; y a los equipos, costo en dólares por tonelada, y requerimientos*. En el primero se consideraron los subcriterios: *aceptación social, riesgo de contaminación ambiental y legislación aplicable*; en lo referente a *equipos* se tomaron en cuenta los subcriterios: *vida útil, escala y experiencia de uso*. Además, en el criterio *costo en dólares por tonelada* se consideraron los subcriterios: *inversión y amortización, tratamiento, y operación y mantenimiento*; en el criterio *requerimientos* se tomaron como referentes los subcriterios: *nivel de especialización, pretratamiento de los RSU y naturaleza de los RSU*.

En el subcriterio *aceptación social* se analizaron los factores: *sin condiciones, con condiciones y probablemente no aceptado*, por lo que se otorgó mayor puntaje (75) al primero ya que, si existe aceptación social para la operación de las plantas, se pueden construir con menos conflictos.

Es importante resaltar que, de acuerdo con la opinión de grupos sociales, *la selección de RSU es aceptada sin condicionamiento, el compostaje, condicionado y, respecto a la incineración, existen controversias*, por lo que se ubicó en el factor *probablemente no aceptado* (figura 4.3).

En la evaluación del subcriterio *riesgo de contaminación ambiental* se estudiaron los factores *alto, moderado y bajo*. Al último se le otorgó el mayor puntaje (75) debido a que se pretende, a través del tratamiento y aprovechamiento de los RSU, mejorar la calidad del ambiente. Con relación a los tratamientos de los RSU, la *selección* y el *compostaje* se calificaron con un *riesgo moderado*, mientras que, la *incineración* con uno alto (figura 4.3).

Como se mencionó en el punto del marco legal, los CAR no se encuentran de manera específica en la normatividad vigente, pero sí los centros de acopio y tratamiento de los RSU. Considerando lo anterior se realizó el análisis del subcriterio *legislación aplicable* y de los tres factores que lo conforman: *sustentada en la LGPGIR y otras normas*, *sustentada sólo en la LGPGIR* y, *legislación inexistente* (figura 4.3). El valor (75) se le asignó al factor *sustentada en la LGPGIR y otras normas*.

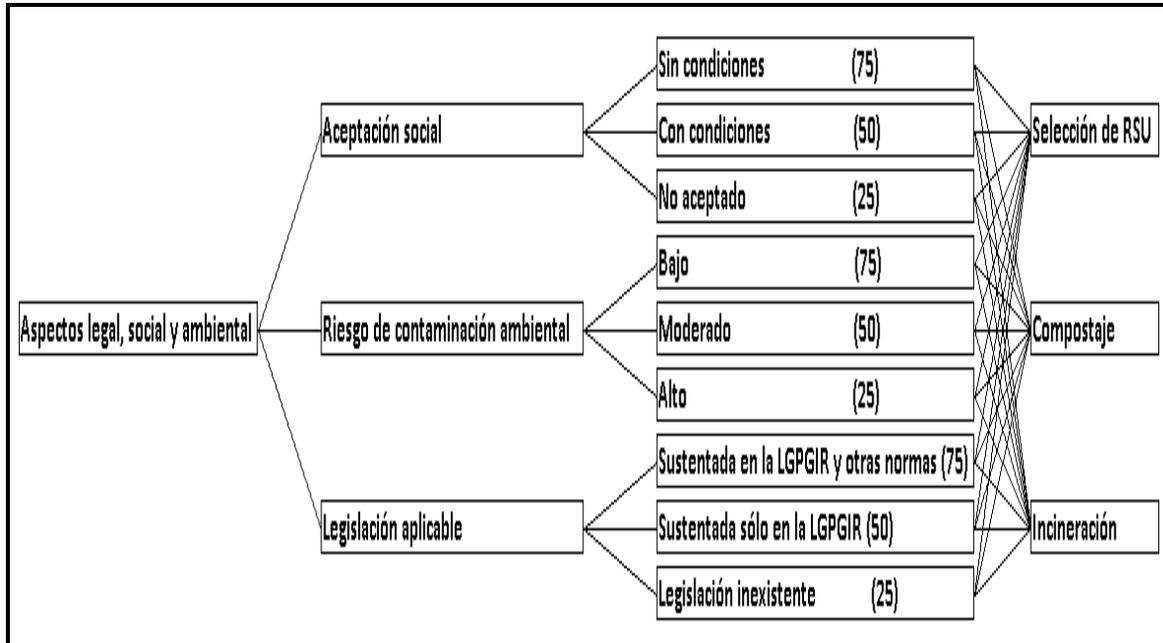


Figura 4.3. Jerarquía del criterio aspectos legal, social y ambiental; y de los subcriterios aceptación social, riesgo de contaminación ambiental y legislación aplicable.

En la valoración del criterio de *equipos*, que se utilizan en diferentes plantas de tratamiento de RSU, se tomaron en cuenta los subcriterios: *vida útil*, *escala* y la *experiencia de uso* que se tiene en diferentes países. Cada subcriterio se dividió en tres factores, el de *vida útil* se clasificó en *más de 10 años*, *entre 5 y diez años*, y *menos de cinco años*; el de *escala*, en *comercial*, *semi-comercial* y *piloto* y, el de *experiencia de uso* se dividió en *Latinoamérica*, *en países en vías de desarrollo no latinoamericanos* y *en países desarrollados*.

En el análisis de la *incineración* se tomó en cuenta una vida útil de los equipos de *más de 10 años* y que éstos pueden ser adquiridos, con las especificaciones requeridas, con característica *comercial* (a escala comercial), además de que se emplean *en países desarrollados*. En cuanto a la *selección de RSU* y al *compostaje*, se observó que se trabaja con equipos que tienen una *vida útil* comprendida *entre 5 y 10 años*; que estos se encuentran en el mercado a escala *comercial* y que, además, en cuanto a su *experiencia de uso*, son recursos tecnológicos que se utilizan en países latinoamericanos. Cabe señalar que, en el tratamiento de sus residuos, las naciones desarrolladas se valen de la *incineración* y de las plantas de selección y de composta, con alta tecnología (figura 4.4).

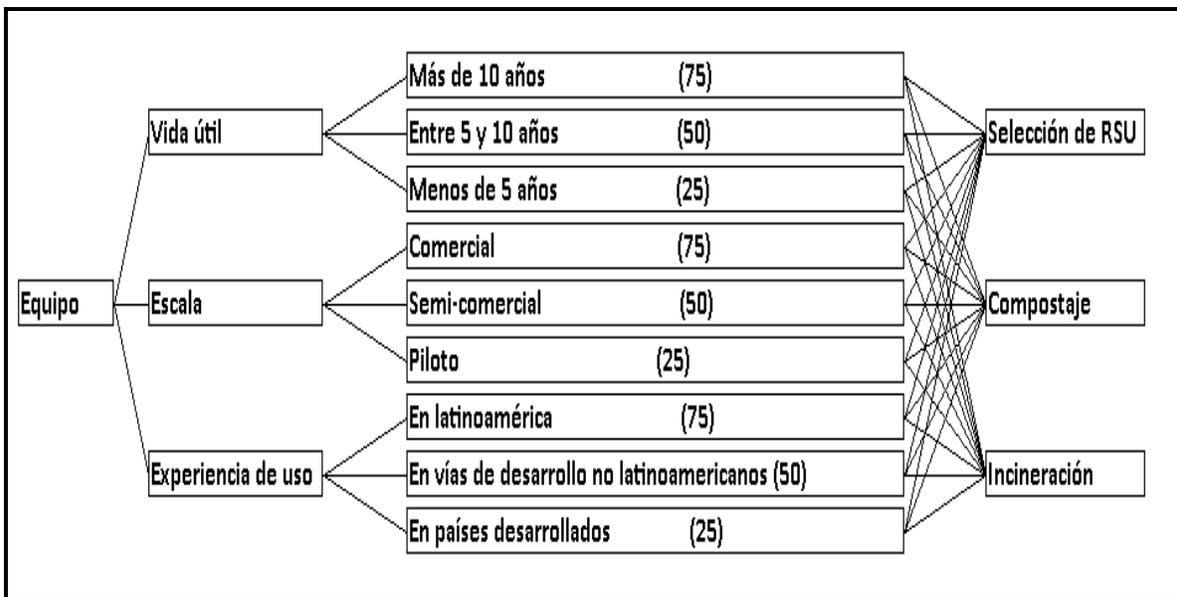


Figura 4.4. Jerarquía del criterio equipos y los subcriterios vida útil, escala y experiencia de uso.

En el criterio, costo en dólares por tonelada, se tomaron en cuenta los subcriterios: inversión y amortización, tratamiento de RSU, y operación y mantenimiento. En el primero, se consideraron los factores: más de 100 000, entre 50 000 y 100 000, y menos de 50 000. En el segundo: más de 80, entre 20 y 80 y menos de 20, y en el tercero: más de 40, entre 20 y 40, y menos de 40. En cuanto a lo económico, según el costo en dólares por tonelada, a los factores de menor valor se les asignó (75) y a los de mayor (25) [figura 4.5].

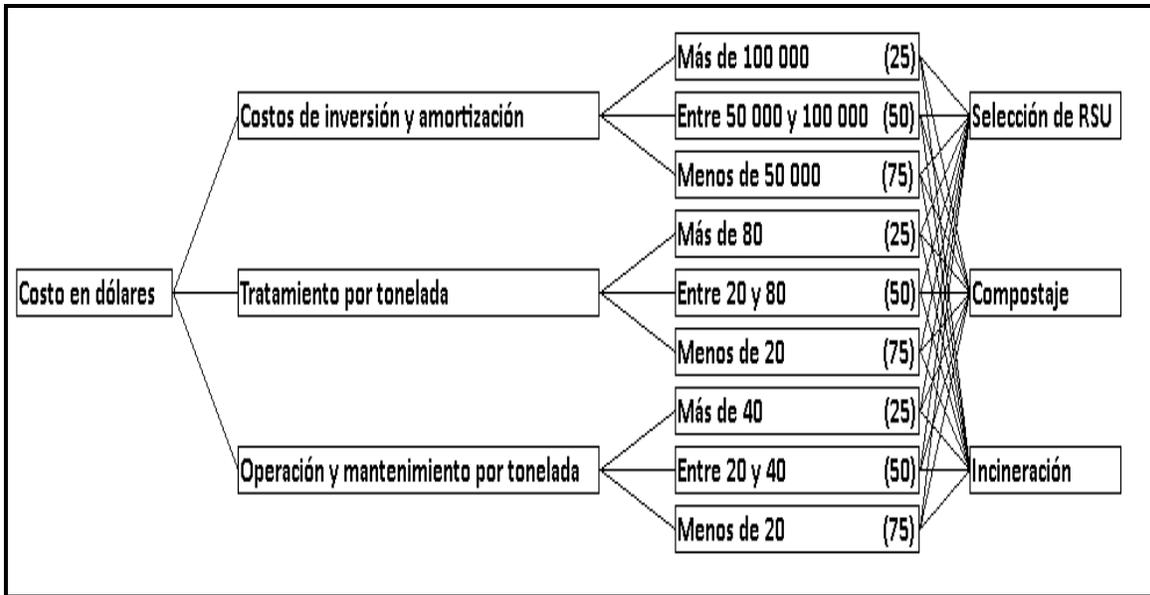


Figura 4.5. Jerarquía del criterio costo en dólares por tonelada y los subcriterios inversión y amortización, tratamiento de RSU y, operación y mantenimiento.

En la evaluación del criterio requerimientos se consideraron los subcriterios *nivel de especialización de los trabajadores*, *pretratamiento de los RSU*, y *naturaleza de los RSU* (figura 4.6). En el primero, se evaluaron los factores *bajo*, *medio* y *alto* requeridos por los trabajadores para operar los equipos; en el segundo se observaron los factores *sin pretratamiento*, *físico-manual* y *físico con equipo*; que indican si se requiere o no un pretratamiento y de qué tipo. En el tercero se analizaron los factores *inorgánicos o mezclados sin restricciones*, *orgánicos*, y *mezclados con restricciones*, en los cuales se indica cómo se reciben los residuos en las diferentes plantas de tratamiento.

Respecto a los *requerimientos* para la operación de los equipos se analizó el subcriterio *nivel de especialización de los trabajadores*, en el cual se observa que la *selección de RSU* y el *compostaje* requieren personal con un nivel medio de especialización, mientras que la *incineración* necesita personal altamente especializado (figura 4.6).

En cuanto a la *naturaleza de los RSU*, el *compostaje* debe recibir sólo residuos *orgánicos* mientras que, en la *selección de residuos*, pueden recibirse mezclados (orgánicos e inorgánicos) o separados (*inorgánicos*). La *incineración*, con algunas restricciones de humedad y composición, acepta residuos mezclados. En lo que se refiere al *compostaje* y a la *incineración* los RSU necesitan un pretratamiento *físico con equipo*, mientras que en la selección de residuos no se requiere pretratamiento.

A los factores: *bajo a mediano* relacionado con el nivel de especialización de los trabajadores, *sin pretratamiento* de los RSU, e *inorgánicos o mezclados sin restricciones*, esto último referido a la *naturaleza de los RSU* se les dio, a todos ellos, un valor de (75).

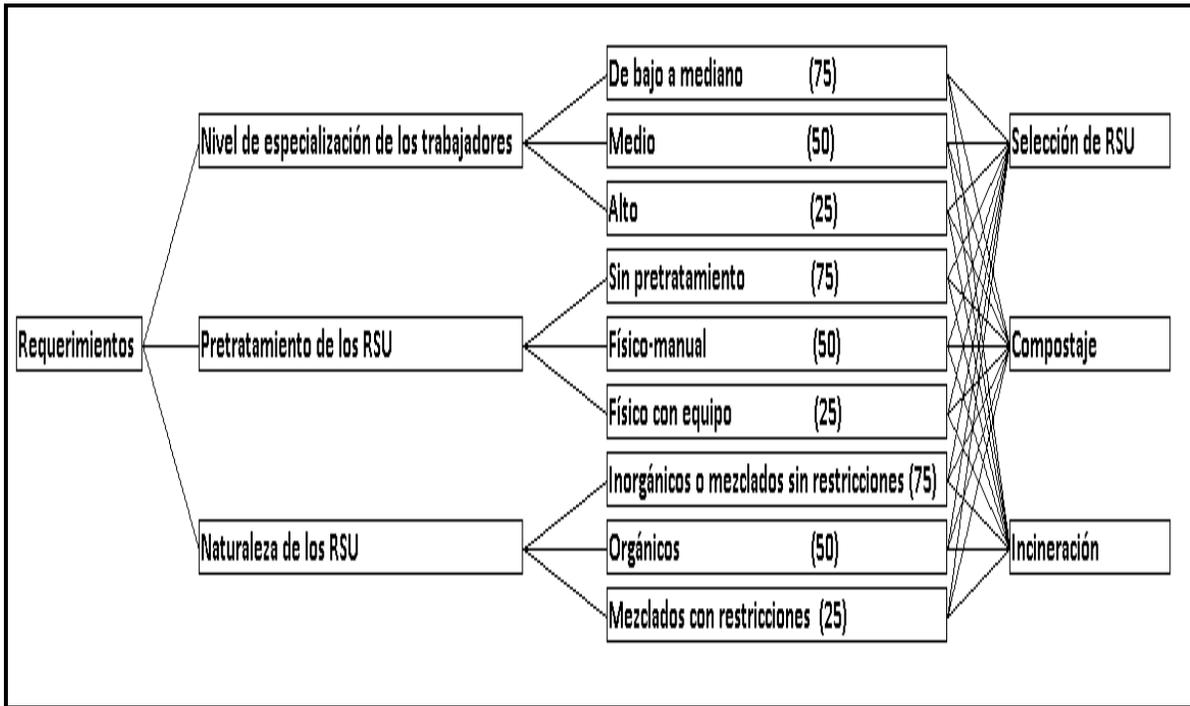


Figura 4.6 Jerarquía del criterio *Requerimientos* y los subcriterios *Nivel de especialización de los trabajadores*, *Pretratamiento de los RSU* y *Naturaleza de los RSU*.

4.3.3 Selección de los equipos.

La selección de los equipos, se llevó a cabo respecto a la naturaleza de los RSU y al funcionamiento de los equipos. En los siguientes puntos se observan los criterios de diseño de los equipos.

4.3.3.1 Infraestructura de las plantas de composta y de selección.

Las plantas de composta y de selección de RSU, requieren de espacios como almacenes, patio de descarga de RSU o RO, estacionamientos, áreas de pesaje y áreas de procesos (patio de fermentación o de selección de RSU).

Almacenes.

Para dimensionar el área del almacén, primero se debe considerar cómo se va a guardar el residuo, es decir, compactado, triturado o en su estado normal (ecuación 4.4), segundo, se investiga el peso volumétrico de cada residuo en el estado que se vaya a almacenar; tercero, se saca el volumen dividiendo los kilogramos diarios entre el peso volumétrico; cuarto, se calcula el área del almacén suponiendo una altura de los residuos (ecuación 4.5) y considerando espacio entre ellos (si son costales, pacas, o los residuos apilados).

$$NP = \frac{VTR}{VP} \quad (4.4)$$

donde:

NP= Número de pacas, unidades.

VTR= Volumen total de residuos, m³

VP= Volumen de una paca, m³

$$AA = \frac{VTRA}{hR} \quad (4.5)$$

donde:

AA= área del almacén, m²

VTRA= Volumen total de residuos almacenados, m³

hR= Altura de los residuos, m.

Patio de descarga.

Dependiendo del número de vehículos recolectores o de transferencia que lleguen a las plantas, se debe calcular si el espacio va a ser para recibir un vehículo o varios al mismo tiempo, según la demanda y horas pico.

Una vez considerado lo anterior, es necesario considerar el área que ocupan dichos vehículos y con el peso volumétrico de los residuos, considerando una altura (ya sea medio o un metro), se estima el volumen que estos ocuparán, con el volumen y la altura, se propone un área (ecuación 4.6). Por lo tanto, se debe sumar el área de descarga de los residuos, el área para acomodar los vehículos y el área de la tolva donde se vayan a depositar.

$$APD = \frac{VR_{hr} + 20\% \text{ del volumen}}{hR} \quad (4.6)$$

donde:

APD= Área del patio de descarga, m²

VR_{hr}= Volumen de residuos por hora, m³/hr

hR= Altura de los residuos, m

Estacionamiento

Siguiendo el reglamento de construcciones para el Distrito Federal, se debe verificar el tipo de infraestructura que se va a construir y con ello buscar en los requisitos mínimos de estacionamiento, el número mínimo de cajones por cada 30, 40, 50, 60, 75, ó 100 metros cuadrados. Por lo anterior, se crearon las ecuaciones 4.7 y 4.8.

$$NCAJ = \left(\frac{ATT}{ACAJ} \right) \cdot (\% \text{ de la zona del DF}) \quad (4.7)$$

donde:

NCAJ= Número de cajones

ATT= Área total del terreno, m²

ACAJ= Área de un cajón, m²

$$ATE = (NCAJ)(ACAJ) \quad (4.8)$$

donde:

ATE=Área total del estacionamiento, m²

Área de pesaje

En el área de pesaje se requiere la báscula, la caseta, la pluma para restringir el acceso de los vehículos y la oficina donde se lleven los registros. La suma de todas las áreas se considera el área de pesaje (ecuación 4.9).

$$APES = ABASC + APLUMA + AOF \quad (4.9)$$

donde:

APES= Área de pesaje, m²

ABASC= Área de báscula, m²

APLUMA= Área de la pluma, m²

AOF= Área de oficina, m²

Área de proceso

Según el tipo de planta, son las acciones que se realizan en esta área de proceso. Por ejemplo, en las plantas de composta, se realiza la fermentación de los RO y se llama patio de trabajo o patio de fermentación y, en las plantas de selección, se tienen todos los equipos de separación, con el fin de seleccionar los residuos reciclables.

4.3.3.2 Diseño de las plantas de composta y de selección.

Determinación del área del terreno de la planta de composta

Primero es importante considerar que se propone el diseño de una planta de composta por pilas, con aireación mecánica semanal. Se estimaron las dimensiones del patio de trabajo, calculando las dimensiones y el número de las pilas que se van a formar diariamente, los espacios entre ellas y los canales que van a recolectar los lixiviados.

Para calcular las dimensiones de las pilas, es necesario saber el tamaño que requiere la mezcladora, para evitar problemas de ingeniería después. Estas dimensiones son largo por ancho por alto, las cuales van a formar un talud que también es importante para el cálculo del volumen de la pila.

En la ecuación 4.10 y figura 4.7 se observa que la pila tiene caras en forma de trapecio, y la longitud total de la base de la pila es B, considerando que la pila tiene un talud 3:1, se obtiene el valor B₁, restándole a B la longitud de los dos talud. Lo mismo pasa con el lado ancho de la pila, pero a estas se les llama con la letra A y A₁ y la letra h es la altura de la pila.

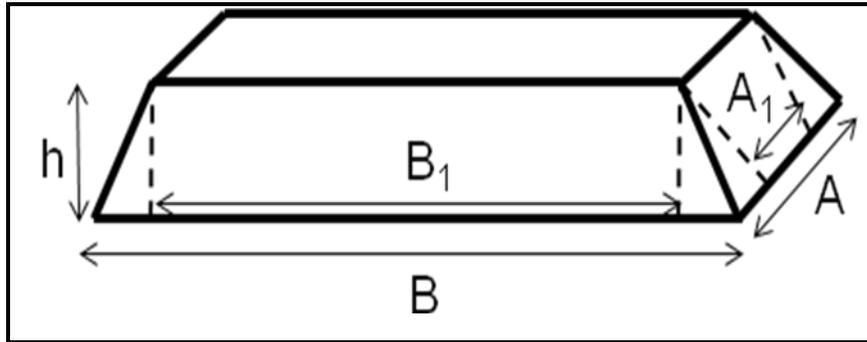


Figura 4.7 Forma de la pila sugerida, en la planta de composta.

$$VP = \frac{h}{6} [AB + (A + A_1)(B + B_1) + A_1 B_1] \quad (4.10)$$

donde:

VP= Volumen de la pila, m³

h= es la altura de la pila, m

A= ancho de la pila, m

A₁= ancho de la pila sin taludes, m

B= largo de la pila, m

B₁= largo de la pila sin taludes, m

Para utilizar la ecuación 4.10, es necesario saber la cantidad de residuos orgánicos que se estimaron para el 2030 (anexo C). Esos kilogramos de residuos se dividen entre el peso volumétrico para calcular el volumen que requerirán dichos residuos (ecuación 4.11). Para fines de diseño es necesario agregar el 10% de volumen y con esta nueva cantidad calcular el volumen diario.

$$VTD\ RO = \frac{\text{kg D de RO}}{PV\ de\ RO} \quad (4.11)$$

donde:

VTD RO= Volumen Total Diario de Residuos Orgánicos, m³

PV de RO= Peso volumétrico de Residuos Orgánicos, kg/m³

kg D de RO= Kilogramos diarios de Residuos orgánicos, kg

Una vez calculado el volumen total diario de los residuos orgánicos y el volumen por pila, se dividen para obtener el número total de pilas diarias (ecuación 4.12). Esta fórmula considera un 10% extra en el cálculo, para que quede de margen por si hay días que se produzca más.

$$NP = \frac{VTD\ RO}{VP} + \left(\frac{VTD\ RO}{VP} \right) (0.10) \quad (4.12)$$

NP = Número de pilas

VP = Volumen de una pila, m³

Dimensionamiento del patio de la planta

Para el cálculo de las dimensiones del terreno de la planta de composta, se proponen las dimensiones de las pilas, ancho, largo y alto, y con la ecuación 4.10 se obtiene el volumen de la pila. Si se divide el volumen total de residuos diarios entre el volumen por pila se obtiene el número de pilas diarias que se tendrán que formar. El espacio que habrá entre las pilas será de 3 metros, tanto a lo largo como a lo ancho. Las pilas van a tardar 90 días en salir, pero se tiene un margen del diez por ciento, entonces si se tiene un número x de pilas diarias, se tendrá que multiplicar por cien y esas serán las pilas que se tendrán que acomodar en el patio.

Se acomodan las pilas de diferentes formas, hasta obtener el menor número de área, calculada con las ecuaciones (4.13-4.15).

$$LT = (NP)(AP) + (NE)(L) \quad (4.13)$$

donde:

LT= Largo del terreno, m

AP=Ancho de pila, m

NE= Número de espacios

L= Longitud, m

$$ANT=(NP)(LP)+(NE)(L) \quad (4.14)$$

donde:

ANT= Ancho del terreno, m

LP = Largo de pila, m

$$AT=(LT)(AT) \quad (4.15)$$

donde:

AT= Área del terreno, m²

LT=Largo del terreno, m

Para diseñar una plantas de selección es necesario dimensionar todos los equipos que se van a utilizar, para con ello, saber qué especificaciones se deben considerar, al momento de la selección y compra del equipo.

4.3.3.3 Dimensionamiento de los equipos de una planta de selección

Báscula.

Para determinar el pesaje máximo permitido en la báscula, es necesario considerar qué tipo de vehículos se van a recibir en el CAR, además de su peso máximo, en esta caso, se pueden recibir vehículos de transferencia de 25 toneladas de capacidad o vehículos recolectores de cinco toneladas. Debido a que se va a pesar uno a la vez, se puede decidir por el pesaje total del vehículo de transferencia (que es el que pesa más) o un poco más.

Bandas transportadoras.

Como ya se mencionó en el capítulo de marco teórico (páginas 74-76), existen bandas transportadoras de diferentes materiales y para diversos usos. En este caso, se necesitará calcular dos tipos de bandas, la primera es para realizar la separación manual, y la segunda para transportar los residuos. Es importante tomar en cuenta esto, ya que los parámetros de diseño cambian según su uso, el más importante en este caso es la velocidad con la que se transportan los residuos.

Para dimensionar las bandas transportadoras es necesario conocer los puntos siguientes, flujo de residuos que se quieren transportar (ton/hr), velocidad de la cinta transportadora (indica si se va a hacer separación manual o si se va a transportar residuos únicamente), ancho y longitud de la banda transportadora, entonces con estos datos se puede determinar la potencia del motor que moverá la banda (Hp). Con las ecuaciones (4.16-4.19) se puede calcular, la potencia que se requiere cuando la banda está vacía, cuando tiene alguna inclinación y cuando no tiene inclinación, se suman estas tres potencias para obtener la total (Tchobanoglous, 1994).

$$HP_{vacía} = \frac{(A+BL)}{100} * S_{cinta} \quad (4.16)$$

donde:

A, B = Son las constantes de la tabla 4.1, dependen del ancho de la banda.

L = Longitud de la banda transportadora, m.

S_{cinta} : Velocidad de la cinta en m/s.

$$Hp_{subida} = \frac{1.015 HM}{1000} \quad (4.17)$$

donde:

H = es la altura de subida de la banda, m.

M = es el rendimiento de la banda, ton/hr.

$$HP_{\text{llano}} = \left(M \cdot \left(\frac{0.48 + (0.00302 \cdot L)}{100} \right) \right) \quad (4.18)$$

$$HP_{\text{total}} = HP_{\text{vacía}} + HP_{\text{llano}} + HP_{\text{subida}} \quad (4.19)$$

donde:

$HP_{\text{vacía}}$ = son los caballos de fuerza que necesita una banda vacía, HP

HP_{llano} = son los caballos de fuerza que necesita una banda sin inclinación y con carga, HP

HP_{subida} = son los caballos de fuerza que necesita una banda con inclinación, HP

Tabla 4.1. Constantes empíricas requeridas para el cálculo de la HP vacía de una banda transportadora.

Anchura de la cinta transportadora, cm	Constantes empíricas b	
	A	B
35	0.20	0.00140
40	0.25	0.00140
45	0.30	0.00162
50	0.30	0.00187
60	0.36	0.00224
76	0.48	0.00298
91	0.64	0.00396
107	0.72	0.00458
122	0.88	0.00538
137	1.00	0.00620
152	1.05	0.00765

^b Para usar con la ecuación 4.16

Respecto a las velocidades, se sabe que las bandas metálicas se pueden manejar de 0.05 a 0.5 m/s y las flexibles de 0.5 a 2.5 m/s. Para poder realizar una separación manual, se debe considerar una velocidad entre 0.075 a 0.45 m/s, y se debe de calcular el grosor de los residuos a dicha velocidad, considerando la tasa de carga de los residuos sólidos, el peso específico medio de los residuos la anchura efectiva de la cinta. Para calcular el espesor de los residuos es necesario realizar el cálculo de la ecuación 4.20.

$$TW_{b,cm} = \frac{\left(LR, \frac{t}{h} \right) \cdot \left(1000 \frac{kg}{t} \right) \cdot \left(\frac{10^{-2} cm}{m} \right)}{\left(3600 \frac{s}{h} \right) \cdot \left(S_{cinta}, \frac{m}{s} \right) \cdot \left(W, \frac{kg}{m^3} \right) \cdot (BW_{ef}, m)} \quad (4.20)$$

donde:

TW_b = Espesor de los residuos sobre la cinta transportadora, cm.

LR = Tasa de carga de los residuos sólidos, t/h.

S_{cinta} = Velocidad de la cinta, m/s.

W = Peso específico medio de los residuos, kg/m^3

Bw_{ef} = Anchura efectiva de la cinta, m.

Para calcular la longitud y ancho de una banda específica para la separación manual, es necesario calcular el número de trabajadores que se requieren (ecuación 4.21), especificar si la separación se va a hacer por un lado (60 cm de ancho) de la banda, o por los dos (1.2 m de ancho). Por último, se acomodan los trabajadores a lo largo de la banda, considerando un metro de distancia por cada trabajador (ecuación 4.22 y 4.23).

$$NT = \frac{F}{RendT} \quad (4.21)$$

donde:

NT = Número de trabajadores

F = Flujo, kg/hr

RendT = Rendimiento del trabajador, kg/hr

$$LB_{(60cm)} = (NT)(1\text{ m}) \quad (4.22)$$

donde:

$LB_{(60cm)}$ = Largo de la banda considerando 60 cm de ancho, m

NT = Número de trabajadores

$$LB_{(1.2m)} = \frac{(NT)(1m)}{2} \quad (4.23)$$

donde:

$LB_{(1.2m)}$ = Largo de la banda considerando 1.2 m de ancho, m



Figura 4.8. Bandas transportadoras con selección manual.

Transportadores neumáticos.

Se pueden utilizar para trasladar materiales triturados como papel periódico y plástico. En este caso se va a utilizar para separar el papel y algunos plásticos ligeros, de los otros residuos, para esto, es necesario calcular la velocidad que necesita tener el aire para transportar dichos residuos. En las ecuaciones 4.24 y 4.25 se calcula dicha velocidad, tomando en cuenta el diámetro más grande de la partícula del residuo, y su densidad específica (Tchobanoglous, 1994).

Para conductos horizontales:

$$V = 3.048 \left(\frac{S}{S+1} \right) (0.0254 d)^{0.6} \quad (4.24)$$

Para conductos verticales:

$$V = 67.56 \left(\frac{S}{S+1} \right) (0.0254 d)^{0.6} \quad (4.25)$$

donde:

V = velocidad del aire, m/s

s = Densidad relativa del material transportado, adimensional

d = Diámetro de la partícula más larga a transportar, m

Trituradoras.

Un cálculo indispensable para las trituradoras, es el gasto de energía, ya que esto repercute en los costos de operación, lo que puede ser crucial para el éxito de la planta. En las ecuaciones 4.26 y 4.27 se observan dos términos (tamaño y material multiplicador), los cuales se pueden obtener en la tabla 4.2, estos son parámetros que varían según el tamaño de partícula que se requiere y según el tipo de material que se va a triturar (Rhyner, 1995).

$$P_a = \left(12 \text{ kw} \frac{\text{hr}}{\text{t}}\right) (Q)(TM)(MM) \quad (4.26)$$

donde:

Q = es el flujo del material, ton/hr.

TM = tamaño del multiplicador

MM = Material multiplicador.

Pa = energía requerida para triturar un tipo de material a un tamaño específico, KW

$$E = (P_a)(HrT) \quad (4.27)$$

donde:

E= Energía, kw/hr

HrT= Tiempo de trabajo, hr

Tabla 4.2 Características requeridas para el cálculo de la potencia del triturador (Rhyner, 1995).

Tamaño	Multiplicador de tamaño	Tipo de material	Multiplicador de material
0.15	1	RSU	1
0.1	1.39	RSU seleccionado	0.65
0.05	1.64	Madera y fibras	0.45
0.25	2.38	Carcasa de automóvil	2.82

Cribas.

Los criterios de diseño de un trommel, son la velocidad crítica, el diámetro del trommel, y esto tiene que ver con el rendimiento, peso específico de los residuos, inclinación del trommel, factor de corrección de velocidad, factor del relleno y la gravedad. En las ecuaciones 4.28 y 4.29 se estima la velocidad y el diámetro del trommel (Vesilind, 1981).

$$n_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{r}} \quad (4.28)$$

donde:

n_c = Velocidad crítica, rev/s.

r = radio del trómmel, m

g = gravedad= 9.81 m/s

$$D = \frac{11.36 Q_m^{0.4}}{d_b F K_v g^{0.5} \tan \alpha} \quad (4.29)$$

donde:

D = Diámetro del trommel, m.

Q_m = Rendimiento del trómmel, kg/s.

d_b = peso específico de los residuos, kg/m³.

α = Inclinación del trommel, grados.

K_v = factor de corrección de velocidad,

$K_v = 1.35$ cuando $\alpha = 3^\circ$.

$K_v = 1.85$ cuando $\alpha = 5^\circ$.

F = factor del relleno (entre 0.25 y 0.33).

Para calcular el porcentaje de recuperación de RSU en el trommel es necesario conocer la cantidad de residuos (en peso kg, toneladas, etc.) que son de menor y mayor tamaño que el agujero del trommel, para colocarlos en la ecuación 4.30 (Vesilind, 1981):

$$R = \frac{X_1}{X_2} (100) \quad (4.30)$$

donde:

R = Porcentaje de recuperación de RSU en la criba, %.

X_1 = Cantidad de residuos que se alimentan al trommel (en peso)

X_2 = Cantidad de residuos que pasan a través de los agujeros (en peso).

Eficiencia de separación.

Para calcular la eficiencia de separación, se deben contemplar el tamaño de la abertura, ya que existen datos teóricos que indican el porcentaje del residuo que se recupera, es decir, si se tiene una abertura de 10 cm, se puede separar el 90% de los metales y entre el 30 y 35 % de papeles y plásticos (Pitchel, 2005).

Separador de corriente Eddy.

Este equipo separa el aluminio, del resto de los metales no ferrosos, donde se debe generar un campo magnético que repela los residuos de aluminio y de esa forma lo separa, para generar el campo magnético, es necesario conocer la magnitud de la densidad del flujo magnético, el área del campo magnético y el voltaje que este requerirá, lo cual se observa en las ecuaciones 4.31-4.33.

$$-\frac{dB}{dt} = \frac{V}{A} \quad (4.31)$$

$$- \int dB = \frac{V}{A} \cdot \int dt \quad (4.32)$$

$$-B = \frac{V}{A} t \quad (4.33)$$

donde:

B = Magnitud de la densidad del flujo magnético (T).

V= Voltaje,

A= Área transversal del campo magnético, m²

4.3.4 Diseño del CAR

En el diseño del CAR de Milpa Alta, se contemplaron dos secciones, una destinada a residuos orgánicos (planta de composta) y la otra para residuos inorgánicos (planta de selección), dejándose por fuera los residuos sanitarios.

Con los datos para el dimensionamiento de los equipos, se llevó a cabo una proyección de residuos para lo que se tomó en cuenta una estimación de los orgánicos y de los inorgánicos, clasificándose los segundos en peligrosos, de la construcción, electrónicos, reciclables, reutilizables, otros residuos y sanitarios.

Para el diseño de la planta de composta, como parte integrante del CAR, se determinó la cantidad de toneladas de residuos orgánicos a recibir para con ello calcular el número, dimensiones y volumen de las pilas que a diario deben formarse. Además se calculó la superficie necesaria para el patio de trabajo, considerando que el tiempo requerido por las pilas para completar el proceso y quedar lista como composta es de 90 días en promedio y que requieren, además, un acomodo especial para ocupar menos superficie.

Se analizó el tipo de trituradora requerida en la planta de composta, tomando en cuenta su capacidad por hora con base en jornada de 8 horas. Además se calcularon las capacidades del resto de los equipos: cargador frontal, mezcladora, cribadora, camión de volteo, ensacadora.

El cálculo de la superficie del terreno necesario para ubicar las áreas de trituración, cribado y empaque se hizo tomando en cuenta las dimensiones de los equipos y la extensión del terreno destinado a la carga y descarga, utilizándose para los primeros, como cantidad mínima, el flujo de residuos por hora (ton/hr), y un margen mayor en las áreas de carga y descarga, para evitar la formación de colas de los vehículos recolectores. Cabe mencionar que el flujo de residuos considerado, tanto para el dimensionamiento de las superficies (trituración, cribado, empaques, zonas de carga y descarga), como el de los equipos requeridos para este tipo de infraestructura puede incrementarse, a criterio del diseñador.

En el diseño del estacionamiento se siguió la normatividad contemplada en el Reglamento de la Construcción del DF, en cuanto a las dimensiones de los cajones y a la cantidad mínima requerida por área de construcción. Además se siguió un criterio en el que se dividió la cantidad de vehículos con acceso diario a la planta, entre las horas de trabajo, para evitar el congestionamiento vehicular. En el cálculo realizado se consideró un margen de dos horas para que fuera posible lo mencionado anteriormente.

En el dimensionamiento del almacén de la planta de composta se tomó en cuenta el total del producto obtenido en dos días y el volumen requerido para su almacenaje. Además consideraron las medidas de los pasillos para el desplazamiento de los montacargas. También se destinó un espacio extra para el camión de volteo, utilizado para el traslado de la composta.

Las capacidades de los equipos de la planta de selección de los residuos inorgánicos, se determinaron, tomándose en cuenta los datos generados de cada residuo, con base en la proyección calculada para el 2030. Además se obtuvo un balance de materia, tomándose en cuenta que los equipos no tienen el 100% de eficiencia. También se determinó el porcentaje de eficiencia en la separación de residuos porque este dato es importante para la realización del balance. Con la suma de las áreas que requiere cada equipo, se estimó el área total de proceso requerida.

Otras áreas que requirieron cálculos, en la planta de separación, fueron las de pesaje, proceso, almacenaje, estacionamiento, oficinas, patio de carga y el patio de descarga. Para calcular el área de pesaje, se tomó en cuenta el espacio destinado a la báscula, la pluma y la oficina del operador. La del patio de descarga, se determinó con el volumen de los residuos recibidos en dos horas y distribuidos con una altura de dos metros, para prever en lo posible fallas de alguna máquina, el consecuente retraso de la producción y el incremento del tiempo de espera de los vehículos.

Para el cálculo de las áreas de estacionamiento, almacenes y oficinas, se utilizó el mismo procedimiento que se siguió en la planta de composta, con algunas variantes en el almacenaje, debido a los diferentes tipos de residuos a recuperar, en los que se debe tomar en cuenta sus características físicas para los diferentes de almacenaje que requieran (pacas, sacos, bolsas, caja, camiones de volteo y otros).

Para calcular el área de pesaje, se debe tomar en cuenta las dimensiones de la báscula, de la pluma y de una pequeña oficina, en donde se encuentre el operador de la báscula. Para dimensionar el patio de carga, fue necesario estimar el volumen de residuos que llegarán en dos horas y con una altura máxima propuesta, calcular el área para proponer diferentes dimensiones de largo y ancho, así se escogerá la que más convenga.

4.3.5 Ubicación del CAR.

En forma paralela a la propuesta del diseño del CAR se llevaron a cabo estudios para localizar el sitio que cumpliera con las exigencias técnicas y normativas para su construcción. Debe destacarse que fue necesario recurrir a normas que, aunque de manera específica no se refieren a la ubicación de sitios para la construcción de los CAR, sí dan algunos lineamientos que deben tomarse en cuenta.

Entre la normatividad que sirvió de sustento para la ubicación del sitio mencionado debe destacarse la relacionada con rellenos sanitarios (NOM-083-SEMARNAT-2003), con sitios de confinamiento especial para RP (NOM-055-SEMARNAT-2003), con el manual vinculado a las estaciones de transferencia (INE, 2006), con las plantas mejoradoras de suelo (NTEA-006-SMA-RS-2006) y con los centros de acopio, transferencia, separación y tratamiento de los RSU y RME, para el Estado de México (NTEA-010-SMA-RS-2008).

Las NOM (083-SEMARNAT-2003 y 055-SEMARNAT-2003), conviene resaltar, indican que los sitios de disposición final de RSU y confinamiento especial de los RP no deben construirse en áreas naturales, acuíferos, humedales, zonas arqueológicas, ni de inundación. De las recomendaciones establecidas en el manual (INE, 2006) casi todas son aplicables a los CAR por las similitudes que existen entre estos y las ET, ya que en ambos casos se reciben, pesan, separan y retiran del lugar los residuos; aunque en el caso de los CAR se presenta el inconveniente de que los RO deben permanecer en la planta de composta durante aproximadamente 90 días y si no se toman las medidas exigidas por la normatividad, los lixiviados que se generan pueden filtrarse al subsuelo y los residuos provocar malos olores por la inadecuada operación de la planta.

Por ello es necesario considerar la reglamentación contemplada en la (NTEA-006-SMA-RS-2006) relacionada con el tratamiento de los RO y la (NTEA-010-SMA-RS-2008) que especifica la distancia mínima a la que, con respecto a las poblaciones, deben ubicarse las plantas de selección y de tratamiento biológico, físico-químico, mecánico y térmico de los RSU, en el Estado de México.

Además de la normatividad, en la ubicación del sitio más adecuado para la construcción y operación del CAR se tomó en cuenta la información obtenida a través del análisis multicriterio; del método de momentos y de los softwares Autocad, Arcview, Criterium decision plus (CDP) y Excel.

4.3.5.1 Identificación del área ambientalmente factible por medio del método de momentos

En este caso en primer lugar se identificaron los requerimientos que tiene éste, los cuales se citan a continuación:

Definir un área de estudio.

Dividir el área de estudio en sectores de un kilómetro cuadrado.

Definir los factores de importancia de cada criterio a evaluar.

Estimar el porcentaje de llenado que tenga cada sector, según el criterio analizado.

En este proyecto, se entiende por área de estudio a la delegación Milpa Alta; por sectores, a los cuadrados que forman un sistema reticular, el cual se sobrepone al área de estudio, estos sectores se encuentran a escala, representando cuadros de 1000 por 1000 metros en la realidad; por factor de importancia, a la calificación que se le otorga al criterio, con el fin de que éste se encuentre más cerca o más lejos del CAR y, al porcentaje de llenado, como la cantidad de área del sector que está cubierta por el criterio analizado.

Respecto a los sectores, cabe mencionar que en la mayoría de los límites de la delegación, el terreno no cubre el kilómetro cuadrado de área del sector, en estos casos forma figuras diferentes al cuadrado (regulares o irregulares) por tal motivo estos sectores no pueden tener un porcentaje de llenado de 100.

Ya definidos todos los sectores, se calcularon y ubicaron sus respectivos centros de gravedad geográficos [cada centro con un punto (x, y)] con base en el sistema cartesiano. Lo anterior permitió formar una tabla con el número de sectores y sus respectivos valores (x, y) .

La determinación del Centro de Gravedad Geográfico (C.G.G.), implica la definición de las zonas o sectores de recolección, el cálculo de su superficie y de sus coordenadas centrales en un sistema cartesiano; para después determinar los momentos de transporte de cada una de las zonas o sectores; es decir, la distancia de los centros de gravedad de ellas hasta los ejes cartesianos, por la superficie que ocupa la mancha urbana en cada una de dichas zonas o sectores. Los momentos resultantes divididos entre la superficie total de la mancha urbana, serán las coordenadas del centro de gravedad de toda la región considerada (Sánchez, 1996).

En la figura 4.9, se observa el procedimiento seguido, en el método de momentos, para ubicar el CAR, con un ejemplo hipotético. Arriba a la izquierda, se encuentra la tabla con los criterios de diseño a evaluar y sus respectivas coordenadas; arriba a la derecha, se ven los centros de gravedad del área en estudio, afectado por cada criterio; y abajo se observa el área de estudio para localizar diferentes terrenos y a su vez analizarlos.

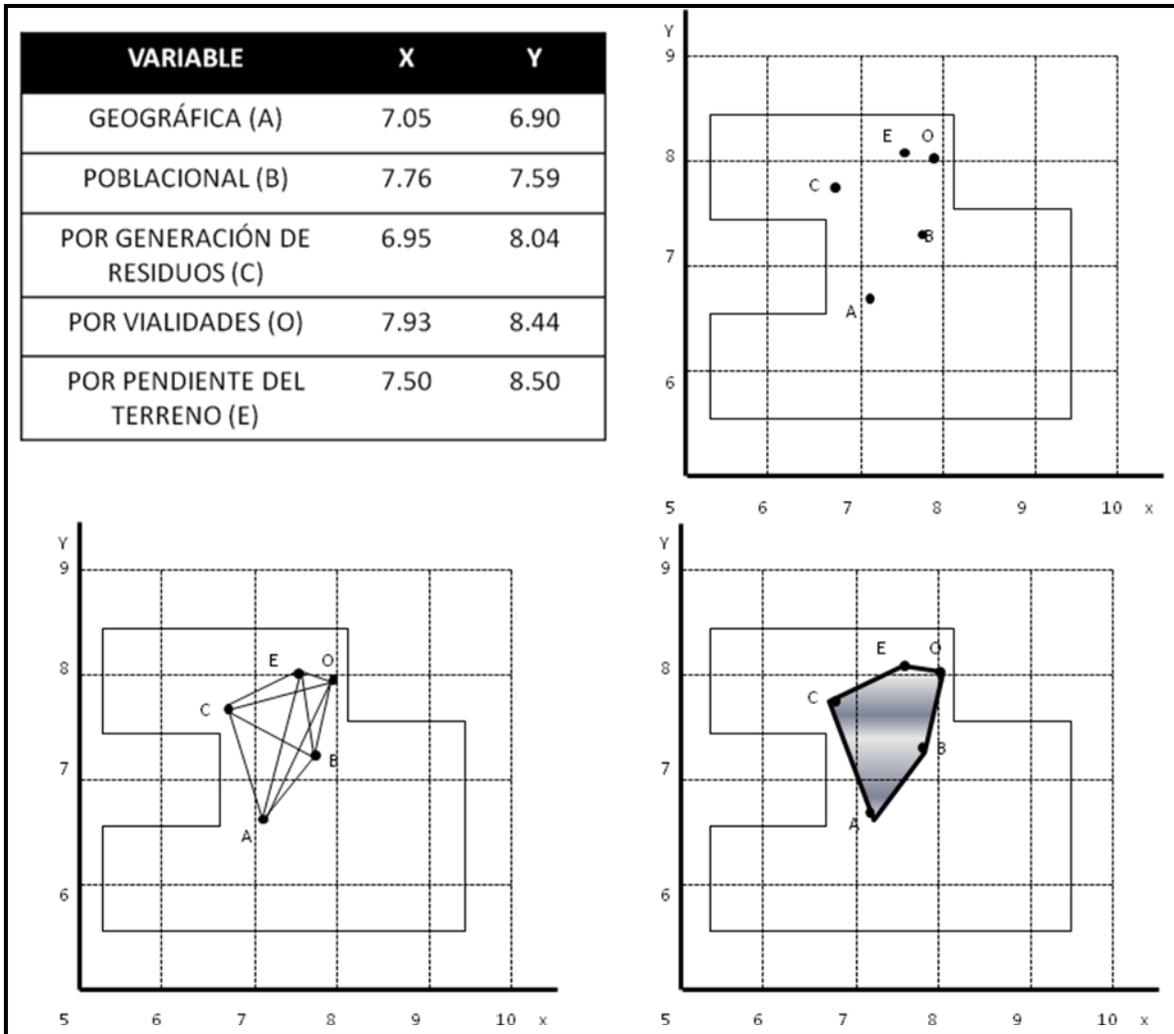


Figura 4.9. Procedimiento del cálculo de la región factible para ubicar el CAR.
Adaptado de: Estaciones de Transferencia.

Criterios para ubicar el CAR con respecto a la población:

El CAR debe de estar a 500 m de distancia de la población, es por ello que se evaluó si existe traza urbana en cada sector, respondiendo las dos preguntas siguientes: ¿Existe traza urbana?, ¿En qué porcentaje se encuentra lleno cada sector (de la traza urbana)? Si existe traza urbana se le da al factor de importancia un valor de cero y de uno cuando no hay.

Tabla 4.3 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de población.

Sector	Factor de importancia	Porcentaje de llenado	Distancia "x"	Distancia "y"
Número del sector	0 ó 1	%	Coordenada x del C.G.G.	Coordenada y del C.G.G.

Obtenidos los datos de la tabla 4.3 se calcularon las coordenadas del centro de gravedad (ecuaciones 4.34 y 4.35) de la delegación Milpa Alta afectado por la población:

$$X = \frac{Aa+Bb+Cc...}{A+B+C...} \quad (4.34)$$

$$Y = \frac{Aa'+Bb'+Cc'...}{A+B+C...} \quad (4.35)$$

donde:

A, B, C... son los valores de la población del sector 1 hasta n.

a, b, c, ... son los valores de las coordenadas X desde el sector 1 hasta n.

a', b', c'... son los valores de las coordenadas Y desde el sector 1 hasta n.

Criterios para ubicar el CAR con respecto a las vialidades.

Para la ubicación del CAR se tomaron en cuenta vías de acceso que facilitarían la llegada y salida de los vehículos recolectores a las vialidades: calles, caminos, puentes, vías férreas y carreteras en sus diferentes tipos, se les asignó un factor de importancia con valor de uno conforme al nivel del flujo vehicular y a la capacidad de tránsito. Como extremos, con el número uno se indicó una recomendación mayor para ubicar el CAR más cerca de la vialidad y con el cero se marcó un nulo interés.

Debe comentarse que si un sector cuenta con varias vialidades se suman los factores de importancia de cada una y en la tabla se pone el resultado de la suma. Respecto al porcentaje de llenado se asigna el 100% a las vialidades que atraviesan todo el sector, el 50 % que atraviesan solo la mitad y así sucesivamente (tabla 4.5).

Tabla 4.4 Factores de importancia sobre los tipos de vialidades.

Tipo de vialidad	Factor de importancia
Calles de primero, segundo, tercero y cuarto orden.	1
Caminos (brechas, veredas)	1
Carretera federal (de uno y dos carriles)	1
Carretera estatal	1
Carretera terracería (uno y dos carriles)	1
Carretera pavimentada.	1
Sin caminos, ni carreteras, ni calles.	0

Tabla 4.5 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las vialidades.

Sector	Factor de importancia de las vialidades.	Porcentaje de llenado	Distancia "x"	Distancia "y"
--------	--	-----------------------	---------------	---------------

Criterios para ubicar el CAR con respecto a la topografía de la delegación.

Tomando en cuenta la topografía de Milpa Alta, se seleccionó un lugar de fácil acceso para los vehículos de carga utilizándose para ello el criterio de la "pendiente de terreno". Para la selección con base en este criterio se consideró que el valor de condiciones óptimas de la pendiente del terreno está entre el cero y el cinco por ciento, las críticas entre el 5 y 8%, las poco favorables del ocho al doce, y las de nada favorable mayor al doce, como puede apreciarse en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Factores de importancia sobre las pendientes del terreno

Pendiente	Factor de importancia	Condiciones
0-5%	1	Óptima
5-8%	0.75	Crítica
8-12%	0.5	Poco favorable
Mayor de 12%	0	Nada favorable

Con la topografía del lugar (figura 4.10), en un mapa a escala, se puede calcular la pendiente, en este caso la retícula cuadrangular tiene sectores de un kilómetro cuadrado de área, y el mapa de topografía coincide con esa escala. Por lo tanto, si se considera que la pendiente es la relación que existe entre el desnivel de un terreno y la distancia horizontal entre ellos, se puede calcular la pendiente con la ecuación 4.36, donde P es la pendiente, expresada en %, h es el desnivel (en metros) y d es la distancia horizontal (metros) y, al multiplicar esta relación por 100 se obtiene el porcentaje (figura 4.11). La pendiente habitualmente se expresa en porcentajes (%), pero también se puede designar en grados sexagesimales (Melendo, 2002).

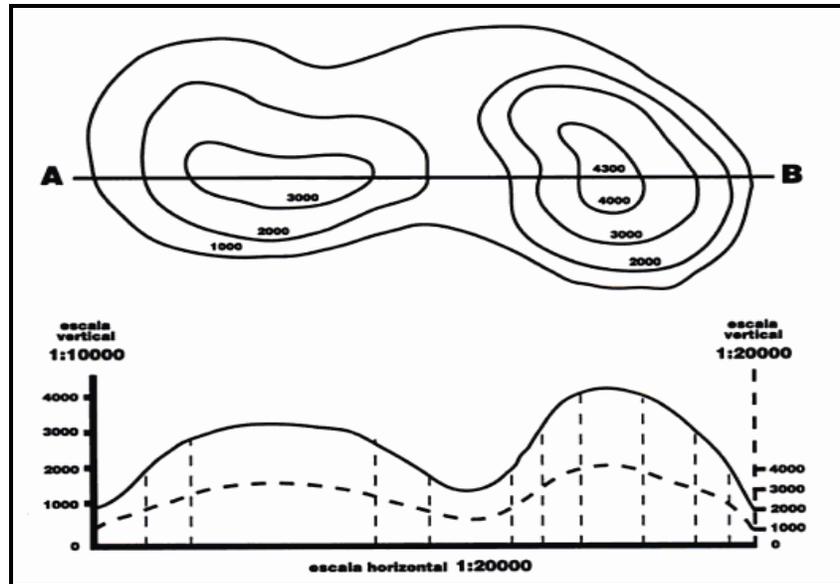


Figura 4.10. Perfil topográfico (A-B) de un relieve.

Adaptada de: Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza.

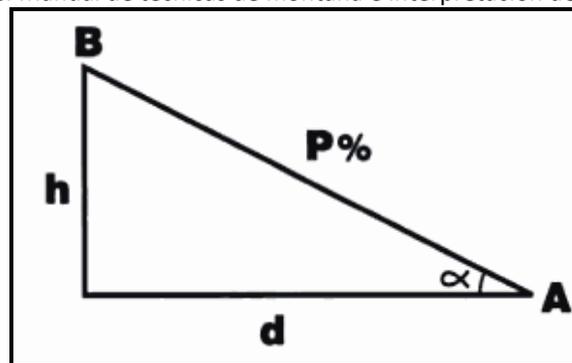


Figura 4.11. Magnitudes relacionadas con la pendiente entre A y B.

Adaptada de: Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza.

$$P(\%) = \left(\frac{h}{d}\right) (100) \quad (4.36)$$

donde:

P(%)= Pendiente, %

h= altura, m

d= distancia entre el punto A y el B, m

En este proyecto se hizo la ecuación 4.37, considerando la anterior, para las características específicas de la delegación Milpa Alta, los sectores de un kilómetro cuadrado, la distancia entre curvas de nivel de 10 metros, la pendiente requerida de 5% y la altura de 50 metros cuando se tiene una distancia horizontal de 1 000 metros. Únicamente en estas condiciones, la fórmula dará resultados correctos.

$$P(\%) = \frac{(N_1 - N_2)(5\%)}{50 m} \quad (4.37)$$

donde:

N_1 = Nivel 1, m

N_2 = Nivel 2, m

Una vez calculada la pendiente, se busca el factor de importancia que se especificó en la tabla 4.4. Además, también se debe estimar el porcentaje de llenado de cada sector, en este sentido, se le dará el valor de 100% a los sectores que estén cubiertos en su totalidad por la delegación Milpa Alta, es decir, los sectores que estén en los límites de la delegación, no cubren todo el cuadrado, entonces, en estos casos, se tendrá que cuantificar en qué porcentaje cubre la delegación Milpa Alta cada sector. Con todo lo anterior se llena la tabla 4.7.

Tabla 4.7 Datos requeridos para calcular el centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por la topografía del lugar.

Sector	Factor de importancia de la pendiente	Porcentaje de llenado	Distancia "x"	Distancia "y"
--------	---------------------------------------	-----------------------	---------------	---------------

Con los datos y las ecuaciones 4.34 y 4.35, se calcula el centroide de la delegación Milpa Alta, afectado por el valor de la pendiente.

Criterios para ubicar el CAR con respecto a la cercanía de los servicios públicos.

En la construcción y funcionamiento del CAR es importante considerar que el lugar cuente, para reducir costos, con el mayor número de servicios públicos posibles. Cada uno de los servicios mencionados tiene un factor de importancia de uno, si un sector cuenta con varios servicios, deberán sumarse todos los factores de importancia.

A los servicios con los que no cuenten los sectores deberá asignársele el valor de cero. De estos valores resultará un total que determinará el valor del “factor de importancia” del sector. Con los datos de cada sector de los factores de importancia, porcentaje de llenado, valores de las coordenadas (x, y) y resultados de las ecuaciones 4.34 y 4.35 (aplicadas a los datos de la tabla 4.8) se procedió, en Milpa Alta, a calcular un nuevo centro de gravedad de la delegación, afectado por el criterio de los servicios públicos (tabla 4.9).

Tabla 4.8 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de los servicios públicos.

Sector	Factor de importancia de servicios públicos.	Porcentaje de llenado	Distancia “x”	Distancia “y”
--------	--	-----------------------	---------------	---------------

Tabla 4.9 Factores de importancia sobre los servicios públicos.

Servicios públicos	Factor de importancia
Energía eléctrica	
Líneas de transmisión (postería y torre)	1
Agua potable	
Acueducto subterráneo	1
Acueducto superficial	1
Estanque	1
Tanque de agua	1
Punto de instalación de bombeo	1
Comunicación telefónica	
Líneas de comunicación telefónica aérea.	1
Líneas de comunicación telefónica subterránea	1
Zonas donde no hay servicios públicos.	0

Criterios para ubicar el CAR respecto a las zonas de inundación.

Con los factores de importancia mencionados en la tabla 4.10, se buscó que el CAR no estuviera en zonas de inundación con un período de retorno menor a cien años. Por ello se le debe dar a los criterios de ubicación mencionados un factor de importancia de cero (tabla 4.11).

Tabla 4.10 Factores de importancia de las zonas de inundación y conductos de Pemex.

Zonas de estudio.	Factor de importancia
Área de terreno sujeto a inundación	0
Áreas donde no haya riesgo de inundación	1

Tabla 4.11 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las zonas de inundación y las líneas de conducto de PEMEX.

Sector	Factor de importancia de la zona.	Porcentaje de llenado	Distancia "x"	Distancia "y"
--------	-----------------------------------	-----------------------	---------------	---------------

Criterios para ubicar el CAR respecto a las zonas donde se pueda utilizar la composta.

Uno de los productos que de manera importante se pretende genere el CAR es el relacionado con la composta motivo por el cual debe ubicarse lo más cerca posible de sitios que requieran del producto señalado; como campos de cultivo (tablas 4.12 y 4.13). Los residuos reciclables no se valoraron, respecto a la ubicación, ya que dentro de Milpa Alta no se encuentran empresas recicladoras de residuos.

Tabla 4.12 Factores de importancia de las zonas probables de compradores de composta.

Zonas de estudio.	Factor de importancia
Área de cultivo.	1
Otro tipo de actividad.	0

Tabla 4.13 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las zonas probables de compradores de composta.

Sector	Factor de importancia de la zona.	Porcentaje de llenado	Distancia "x"	Distancia "y"
--------	-----------------------------------	-----------------------	---------------	---------------

Criterios para ubicar el CAR respecto a las zonas arqueológicas y áreas de vegetación densa.

La NOM-083-SEMARNAT-2003, especifica que un relleno sanitario no se debe estar dentro zonas arqueológicas ni áreas protegidas. En este estudio se analizarán, de las áreas protegidas, sólo las correspondientes a vegetación densa.

Debido a que la norma no especifica una distancia mínima de la ubicación de los rellenos sanitarios, respecto a zonas arqueológicas y áreas naturales protegidas, en este estudio se considerará, para la ubicación del CAR, la misma distancia que se indica para los acuíferos (un mínimo de 500 m). En este caso, los valores del factor de importancia que se asignaron a los dos criterios fue cero (tabla 4.14 y 4.15).

Tabla 4.14 Factores de importancia de las zonas protegidas.

Zonas de estudio.	Factor de importancia
Áreas de vegetación densa	0
Áreas que no tienen vegetación densa.	1

Tabla 4.15 Cálculo del centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las zonas protegidas.

Sector	Factor de importancia de la zona.	Porcentaje de llenado	Distancia "x"	Distancia "y"
--------	-----------------------------------	-----------------------	---------------	---------------

Criterios para ubicar el CAR respecto a las zonas que tengan cuerpos de agua superficiales.

El único tipo de acuíferos que se estudiará es el que corresponde a los cuerpos de agua superficiales, porque son los datos con los que se cuenta, proporcionados por el INEGI. Este aspecto también es importante porque debe evitarse cualquier riesgo de contaminación que se pueda generar, por el manejo de los residuos sólidos urbanos.

Los cuerpos de agua superficiales que se analizaron fueron: corriente que desaparece, manantial, cuerpo de agua intermitente, corriente de agua intermitente, corriente de agua perene, canal en operación, línea corriente de agua intermitente y, línea corriente de agua perene; sin embargo, únicamente se encontraron los primeros cuatro en la Delegación Milpa Alta (tablas 4.16 y 4.17).

Tabla 4.16 Factores de importancia de las zonas donde se ubiquen cuerpos de agua superficiales.

Zonas de estudio.	Factor de importancia
Corriente que desaparece	0
Manantial	0
Corriente de agua intermitente	0
Zonas donde no hay cuerpos de agua superficiales.	1

Tabla 4.17 Datos requeridos para calcular el centro de gravedad de la delegación Milpa Alta afectado por el criterio de las zonas donde haya cuerpos de agua superficiales.

Sector	Factor de importancia de la zona.	Porcentaje de llenado	Distancia "x"	Distancia "y"
--------	-----------------------------------	-----------------------	---------------	---------------

4.3.5.2 Identificación de las áreas ambientalmente factibles localizadas por medio de Sistemas de Información Geográficos

En Milpa Alta para la ubicación del CAR se buscaron, por medio del software Arcview, las áreas que cumplieran con los requisitos mencionados en el Método de Momentos, por lo que a lo largo del proceso se fueron eliminando las zonas que no los tuvieron.

Para el estudio de las áreas se hicieron intersecciones de capas correspondientes a la carta cartográfica, clave (e14a49) del INEGI, para elaborar con ello, en primer término, un mapa geográfico con zonas sin traza urbana ni reserva ecológica y otros en los que por medio de buffers se señalaran los 500 metros de distancia con relación a manantiales, acuíferos, pozos y ríos. La información anterior permitió localizar las zonas en donde, por cuestiones ambientales, no se recomienda la construcción del CAR.

Con relación a vialidades y servicios públicos que requiere el CAR para su operación también se señalaron, por medio de buffers, los espacios (de cero a 500 metros) en los que es factible su ubicación. Una vez que se determinaron las zonas ambientalmente factibles, se analizó la topografía del lugar para valorar el acceso de los vehículos a los sitios preseleccionados.

En la selección de las áreas se tomaron en cuenta criterios como la distancia mínima (500 metros) que debe existir entre el CAR y centros de población mayores de 2 500 habitantes, zonas de inundación, pozos de agua, acuíferos, líneas de conductos de Pemex y cuerpos de agua superficiales. También se consideró que el CAR debe estar fuera de zonas arqueológicas y de áreas de vegetación densa, y protegidas. Además se cuidó que el CAR quedara a no más de 500 metros de zonas de cultivo y que contara cuando menos con servicios de agua potable y de energía eléctrica. Otro aspecto que se consideró, desde el punto de vista topográfico, fue que el terreno seleccionado para la construcción del CAR tuviera una pendiente comprendida de 0 a 8%, esto con el propósito de que los vehículos tengan acceso al lugar.

4.3.5.3) Selección del mejor sitio por medio de Análisis Multicriterio

En el análisis multicriterio se utilizan un conjunto de técnicas en los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones (Barredo, 1996), las que deben ser entendidas como un *mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios* (Colsony de Bruin, 1989).

El método que se utilizó en el análisis multicriterio para evaluar lugares que cumplieran con los requisitos exigidos para la ubicación del CAR (en zonas detectadas a través del método de momentos y del software Arcview) fue el de las jerarquías analíticas, en cuyo desarrollo se tomó en cuenta la identificación del problema, el objetivo, los criterios y subcriterios, el establecimiento de la importancia relativa de los elementos de cada jerarquía y el análisis e interpretación de resultados.

Una vez seleccionados los terrenos, se evaluaron con base en las características mencionadas en las figuras (4.12-4.13). Para determinar el mejor sitio los datos se trabajaron en el programa *Criterion decision plus*, para determinar el mejor sitio.

En el análisis multicriterio fue necesario llevar a cabo una visita de campo a los sitios seleccionados por el método de momentos y los SIG, con el propósito de corroborar que los sitios cumplieran con las especificaciones establecidas para su ubicación.

Los criterios que se estudiaron fueron, por un lado, el de la *Distancia en metros [entre el terreno y ...]* (figura 4.12) y, por el otro, *Características del terreno* (figura 4.13) y los subcriterios: *una vialidad y zonas de cultivo, zonas de acuíferos superficiales y zonas de vegetación densa y de inundación*, para el primero y *topografía, tipo de propiedad, facilidad de acceso y servicios públicos*, para el segundo.

Cada uno de los subcriterios se dividió en tres factores, a los cuales se les dieron valores de 75, 50 y 25 según correspondió. Los factores que se evaluaron en el criterio *Distancia en metros [entre el terreno y...]*, fueron los mismos para cada subcriterio [*Menos de 200 (75), Entre 200 y 500 (50) y Más de 500 (25)*] (Figura 4.12).

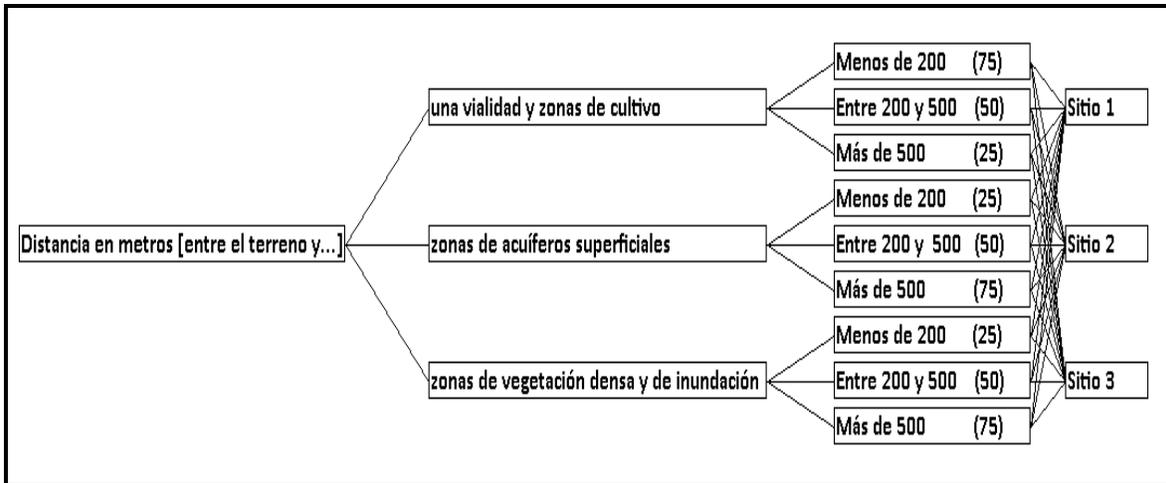


Figura 4.12 .Jerarquía del criterio *Distancia en metros [entre el terreno y...]*; y los subcriterios *una vialidad y zonas de cultivo*; *zonas de acuíferos superficiales* y *zonas de vegetación densa y de inundación*.

En el criterio *Características del terreno*, se evaluó el subcriterio *Topografía*, con los factores *Plano con poca inclinación* (75), *Casi plano y ligeramente inclinado* (50) e *Inclinación mayor de 12% o de naturaleza irregular* (25); para el subcriterio *tipo de propiedad*, los factores evaluados fueron *Pública* (75), *Privada* (50) y *Comunal* (25). El subcriterio *Facilidad de acceso* se dividió en los factores: *Puede entrar todo tipo de vehículo* (75), *Pueden entrar camiones CT y de volteo* (50) y *pueden entrar sólo camiones de volteo* (25); y para el subcriterio *servicios públicos* se evaluaron los factores: *energía eléctrica, agua potable, línea telefónica* (75); *energía eléctrica y agua potable* (50) y *sólo un servicio* (25) (figura 4.13).

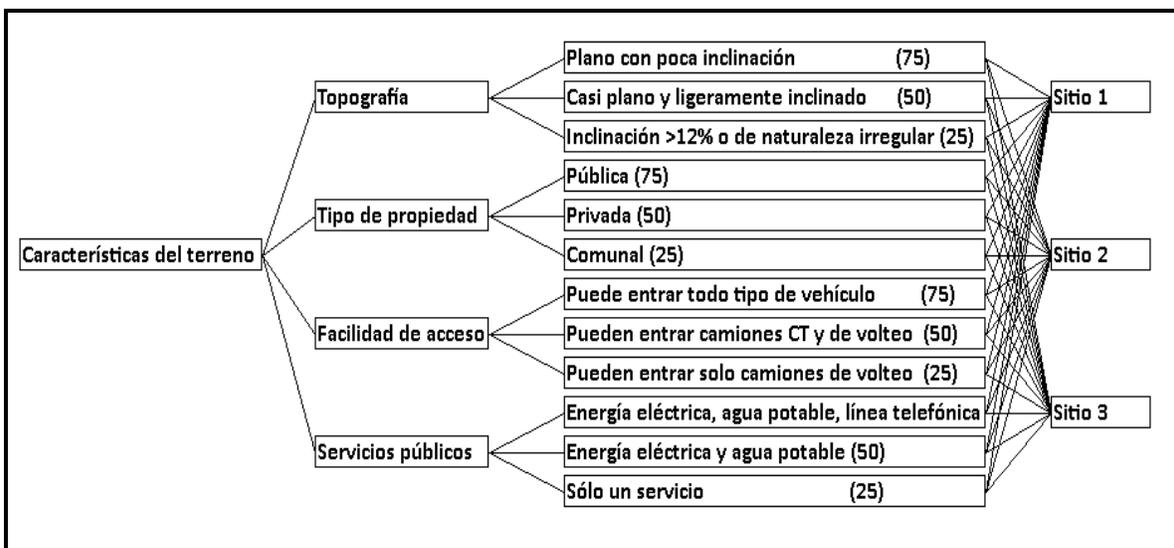


Figura 4.13 . Jerarquía del criterio *Características del terreno*; y de los subcriterios *topografía*, *tipo de propiedad*, *facilidad de acceso* y *servicios públicos*.

4.4) ANÁLISIS DE COSTOS

En este apartado, se llevó a cabo un estudio económico y financiero del proyecto. En el primero, se consideraron las inversiones que se requieren para operar el CAR: Inversiones de activo fijo y diferido, y el capital del trabajo. En el segundo, se contempló su financiamiento por medio de un préstamo bancario.

Se hizo un recuento de los diferentes tipos de inversiones fijas que se requieren para la construcción del CAR: Obra civil, maquinaria y equipo, y equipo auxiliar y de transporte. Entre las inversiones de obra civil se consideraron: cerca, cisterna, fosa y obras exteriores, drenaje, caminos inferiores y entronques, báscula y casetas de vigilancia y de pesaje; edificio de operación y mantenimiento, oficinas y áreas de servicio, señalamientos y proyecto paisajístico.

Entre las inversiones de maquinaria y equipo se encuentran los equipos de separación de RSU y los utilizados en la PdC (mecánicos, digitales y accesorios). En cuanto a los equipos auxiliares las inversiones que se sugieren deben canalizarse a la adquisición de subestación eléctrica, transición aérea y subterránea, suministro e instalación de equipos y materiales para el sistema de fuerza, alumbrado: exterior, de caseta de vigilancia, de pesaje, de servicios, de taller y de oficinas. Respecto a los equipos de transporte se consideraron los vehículos recolectores y los trailers.

Para las cotizaciones de la obra civil, se consideró el costo de construcción por metro cuadrado en el año 2010 y para la cotización de la maquinaria, los equipos auxiliares y los de transporte se llevó a cabo en forma directa con las empresas y cuando esto no fue posible se consideraron los precios de equipos similares a través de los productos ofrecidos en internet.

En las inversiones diferidas se consideraron los estudios, los proyectos, las licencias y los imprevistos. En el capital de trabajo se tomaron en cuenta los insumos, las materias primas y la mano de obra. En cuanto a la mano de obra directa se consideró la desempeñada por los operadores de maquinaria, jefe de operaciones, encargado de pesaje, mecánico, ayudante de mecánico y, en la indirecta por el gerente del CAR, secretarías, vigilantes y veladores.

El cálculo de las amortizaciones (hablar del %) del CAR se aplicó a los activos diferidos o intangibles, considerándose para ello que estos se refieren al cargo anual que se realiza para recuperar la inversión. En cuanto a las depreciaciones el cálculo se hizo sobre los activos fijos. Debe precisarse que mientras que en la depreciación los bienes disminuyen su valor con el uso y el transcurso del tiempo, como sucede con la maquinaria, en la amortización esto no se da como se observa en el valor de terrenos y de marcas comerciales.

Además se hizo un análisis de presupuestos de ingresos y egresos para calcular las ganancias o pérdidas de la empresa y estar con ello en posibilidad de determinar la factibilidad de la construcción de la empresa.

CAPITULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

5.1.1 Tecnologías y equipos

Mientras que, por ejemplo, Canadá y Dinamarca países que cuentan con Índice de Desarrollo Humano (IDH) superior a 0,900; Producto Interno Bruto per cápita (PIB per cápita) mayor a los 35 000 dólares; alfabetización sobre el 98%; esperanza de vida por arriba de los 77 años; cobertura de agua potable del 100%; desempleo menor al 5% y mortalidad infantil (por mil nacidos vivos) inferior al 5%, tratan sus residuos con avanzadas tecnologías incorporadas a la recolección, transporte, reciclaje, tratamiento (incineración) y disposición final (rellenos sanitarios) de los RSU; países como Kenia y Nepal, con ingresos menores a 1 600 dólares per cápita de su producto interno bruto; umbral de la pobreza de hasta el 50% de su población; IDH menos a 0.541; desempleo mayor del 40%; esperanza de vida menor a los 66 años; mortalidad infantil de hasta 55%; en donde un porcentaje considerable de la población no tiene acceso a fuentes de agua potable y es analfabeta, los conflictos generados con sus RSU son en muchos casos graves ya que no existe una cultura del cuidado del medio ambiente, ni recursos para el tratamiento de los residuos; lo que motiva que sean dispuestos en tiraderos a cielo abierto, calles, mantos de agua, arroyos, caminos y baldíos, ocasionándose con lo anterior múltiples enfermedades. Además las prácticas de reciclaje y composta que se realizan en estos países, son mínimas (Tabla 5.1).

Países desarrollados como Japón que carecen de espacios para la construcción de rellenos sanitarios, están poniendo especial atención en la incineración para reducir el volumen de sus RSU y aprovechar los desechos (escorias y cenizas) en la industria de la construcción y como sub-base de las carreteras, evitando depositar en los rellenos sanitarios existentes, los residuos combustibles o susceptibles de compostaje. Además utilizan tecnologías para el reciclaje de los residuos inorgánicos y el compostaje de los orgánicos, con lo que están logrando mayores y mejores rendimientos y una menor agresividad con el medio ambiente (Tabla 5.2).

Tabla 5.1. Cuadro comparativo (indicadores de desarrollo).

Indicadores Países	Población (año 2010)	IDH (año 2007) ^a	PIB Per cápita (dólares (año 2009) ^b	Población bajo el umbral de pobreza ^c (%)	Alfabetismo (%)	Esperanza de vida al nacer (años) (2010)	Acceso a agua potable (%)	Tasa de mortalidad infantil (2010)	Gasto en educación (% del PIB)	Tasa de desempleo (%)
Canadá	33 487 208	0,966	38 200	10.8 (2005)	99 (2003)	81.23	100 (2009)	5.04	5.2 (2002)	8.3 (2009)
EE.UU.	307 212 123	0,956	46 000	12 (2004)	99 (2003)	78.11	99 (2009)	6.22	5.3 (2005)	9.3 (2009)
México	111 211 789	0,854	13 200	18.2 (2008)	91 (2004)	76.06	95 (2009)	4.8	5.5 (2005)	5.5 (2009)
Singapur	4 657 542	0,944	52 200	ND	92.5 (2000)	88.98	100 (2004)	4.66	3.7 (2001)	3.0 (2009)
Japón	127 078 679	0,960	32 700	ND	99 (2002)	82.12	100 (2009)	2.79	3.5 (2005)	5.1 (2009)
China	1 338 612 968	0,772	6 600	2.8 (2007)	91.6 (2007)	73.47	88 (2009)	20.25	2.9 (1999)	4.3 (2009)
India	1 156 897 766	0,602	3 100	25 (2007)	61 (2001)	66.09	89 (2009)	50.68	3.2 (2005)	10.7 (2009)
Nepal	28 563 367	0,534	1 200	24.7 (2008)	48.6 (2001)	75.46	89 (2009)	47.46	3.9 (2003)	46.0 (2008)
Dinamarca	5 500 510	0,955	36 000	12 (2007)	99 (2003)	78.3	100 (2009)	4.34	8.3 (2005)	4.3 (2009)
Grecia	10 737 428	0,942	31 000	20 (2009)	97.8 (2001)	79.66	100 (2009)	5.16	4.4 (2005)	9.5 (2009)
Kenia	39 002 772	0,545	1 600	50 (2008)	85.1 (2003)	57.86	62 (2009)	54.7	6.9 (2006)	40 (2008)

^aIDH. Índice de desarrollo humano.^bPIB. Producto interno bruto.^cUmbral de la pobreza (ingreso inferior a 1.25 dólares al día)^dMayores de 15 años que saben leer y escribir^e(Por mil nacidos vivos)

ND. No disponible

Los rellenos sanitarios, plantas de composta y de selección, reciclaje e incineración se utilizan a gran escala y con altas tecnologías en países desarrollados mientras que, como ya se mencionó, en países subdesarrollados prevalecen los tiraderos a cielo abierto y con reducidos márgenes funciona el reciclaje manual y las plantas de composta (Tabla 5.2).

Respecto a los equipos que se utilizan en las plantas de selección, de los países mencionados, se encuentran separadores: neumáticos, por corriente de Foucault, por tamaño (trommel) y magnéticos; también existen compactadoras de RSU, máquinas empacadoras y bandas transportadoras. Las técnicas que se utilizan para tratar los residuos son la incineración, el compostaje aeróbico en pilas, la composta casera y los rellenos aireados, secos, y sanitarios.

Tabla 5.2. Cuadro comparativo (tratamiento de residuos).

TRATAMIENTO PAÍSES	Incineración	Plantas de selección	Plantas de composta	Reciclaje	Rellenos sanitarios	Tiraderos a cielo abierto
Dinamarca	Si	No	Si	Si	Si	No
Grecia	No	No	Si, < 17% recolectado	Si	Si	Si
Japón	Si	Si	Si < 31% generado	Si	Si	Si
Nepal	No	Si	Si	Si	Si	Si
India	No	No	Si	Si	Si	Si
Singapur	Si	Si	Si	Si	Si	Si
China	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Canadá	Si	Si	Si	Si	Si	-----
EE. UU.	Si	Si	Si	Si	Si	-----
Kenia	No	No	No	Si	No	Si
México	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Si. Se realiza esa actividad.

No. No se practica esa actividad.

Rechazo. Existe oposición hacia esa actividad.

---- .No se tiene registro.

En el caso de México el 68% de los residuos generados se dispusieron (2008) en rellenos sanitarios y sitios controlados y el 33% en tiraderos a cielo abierto, lo que significó un avance ya que, a finales de los noventa, se dispuso el 50% de los RSU en rellenos sanitarios y en sitios controlados. En las zonas metropolitanas del país el 80% de los RSU se dispuso en rellenos sanitarios mientras que en localidades rurales y semiurbanas se alcanzó el 3.2%. En 1998 se recicló el 2.4% de los RSU y en 2008 el 3.6%; como puede apreciarse, un porcentaje muy bajo. Entre los materiales que más se reciclaron en 2008 se encuentran papel y cartón 42.1%, vidrio 28.7%, metal 27.8%, plásticos 1.2% y textiles 0.2% (SEMARNAT, 2008). La incineración en México sólo se aplica a los residuos peligrosos (industriales y hospitalarios) y en llantas de automotores para aprovechar, en cementeras, su alto poder calorífico.

De los RSU generados al día en el DF (12 500 toneladas), el 0.0005% (62.5 kilogramos) se tratan en Milpa Alta por medio de plantas de composta, aunque se tienen muchas limitaciones ya que se carece de la infraestructura necesaria y de la operación adecuada para la obtención de una composta de excelente calidad.

5.1.2 Análisis de la normatividad

En la tabla 5.3 se muestra, en el cuadro comparativo, la regulación normativa de la gestión integral de los RSU en la República Mexicana; en el DF y en el Estado de México. En el país se cuenta con la LGPGIR y las normas de la SEMARNAT: NOM-098-SEMARNAT-2002 y NOM-083-SEMARNAT-2003. La primera se refiere, en forma general, a la gestión integral de los residuos y a los diferentes tratamientos que existen, aunque no profundiza en el tema de la incineración ni de los rellenos sanitarios; la segunda, hace señalamientos relacionados con la incineración de RSU y la tercera menciona los rellenos sanitarios. Existe además, de manera local la Ley de Residuos Sólidos del DF la cual excluye, en su reglamento, a las plantas de incineración, a las de composta y a los centros de acopio.

En el estado de México, existen las normas NTEA-006-SMARS-2006 y la NTEA-010-2008. La primera aborda aspectos relacionados con el tratamiento de residuos orgánicos, como mejoradores de suelo, plantas de composta y, la segunda, con plantas de selección, de composta, de estaciones de transferencia y centros de acopio.

Tabla 5.3. Cuadro comparativo de la LGPGIR, de normas federales y de normas aplicables al DF

TRATAMIENTO LEYES Y NORMAS	Incineración	Plantas de selección	Plantas de composta	Relleno Sanitario	Estaciones de transferencia	Centros de acopio
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) (OBSERVANCIA NACIONAL)	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Ley de Residuos Sólidos del DF (LRSDF) (OBSERVANCIA EN EL DF)	No	Si	No	Si	Si	----
NOM-098-SEMARNAT-2002 (OBSERVANCIA NACIONAL)	Si	No	No	No	No	No
NOM-083-SEMARNAT-2003 (OBSERVANCIA NACIONAL)	No	No	No	Si	No	No
NTEA-006-SMA-RS-2006 (OBSERVANCIA EN EL ESTADO DE MÉXICO)	No	No	Si	No	No	No
NTEA-010-SMA-RS-2008 (OBSERVANCIA EN EL ESTADO DE MÉXICO)	No	Si	Si	No	Si	Si

Además de las anteriores existen normas que indican estudios que se pueden realizar a los RSU como la: NMX-AA-022-1985 (selección y cuantificación de subproductos), NMX-AA-019-1985 (peso volumétrico “in situ”), NMX-AA-61-1985 (determinación de la generación) y la NMX-AA-015-1985 (método de cuarteo). También existe la NMX-E-232-SCFI-1999, que establece la numerología para identificar los tipos de plástico con los que están contruidos los envases, todas ellas de observancia nacional.

5.1.3 Ventajas del Centro de Aprovechamiento de Residuos (CAR)

Al investigar sobre el funcionamiento y los procesos que se realizan dentro de los centros de aprovechamiento de residuos, CAR, se pone de manifiesto que éstos, presentan una serie de ventajas relacionadas con la reducción tanto de insumos, como de la generación de contaminantes. De esto, destaca el ahorro de espacio en rellenos sanitarios, el consumo de gasolina, agua para la producción de materiales y gases de invernadero; además, permite aprovechar el alto potencial de los RSU como materia prima, realizando los diferentes procesos de reciclaje.

En lo que respecta al CAR propuesto en el presente trabajo, en la tabla 5.4 se observa la reducción en el consumo de agua y energía que resulta de reciclar los residuos de papel, aluminio, vidrio y plástico. Así mismo, se presenta el ahorro de espacios, ya que al aprovechar los residuos como materias primas, se evita la necesidad de disponerlos en rellenos sanitarios.

En la estación de transferencia de Milpa Alta, se reciben diariamente en promedio 53.49 ton de residuos reciclables, que incluyen papel, cartón, vidrio, aluminio, plástico y acero. Con el establecimiento del CAR, se pueden ahorrar hasta 865 842.45 litros de agua, 105 183.8 kw/h de energía eléctrica, 22 732.68 kg de petróleo, 1 991.85 m² de bosque, 116 árboles, y más de 12.5 toneladas de materias primas; lo cual se puede observar con mayor objetividad en la tabla 5.4, mientras que en tabla 5.6, se denotan las cantidades de contaminantes atmosféricos, lodos rojos y residuos mineros que se dejarían de generar.

Tabla 5.4 Ahorros de energía, agua, insumos y materias primas, que se obtendrían al reciclar algunos RSU. (proyección hecha para el año 2030)

TIPO DE RESIDUOS AHORRO	Papel	Vidrio	Aluminio	Plástico	Acero	Cartón	TOTAL
Agua (litros)	318,640	2.45	28,089	-		216,068	562,799.
Energía eléctrica (kw/h)	15,932	1,472	4,506.04	-	3577	10,803.4	55,631.2
Petróleo (kg)	1,195	638	0.0	20,900		810.55	23,543.55
Volumen del relleno sanitario (m ³)	7.97	9.81	61.6	-	-	50.402	129.78
Área de bosques (m ²) y árboles	1187 (68)	-	-	-	-	804.85 (46)	1991.85 (114)
Sílice (kg)	-	4856	-	-	-	-	3856
Arena sílica (kg)	-	3264	-	-	-	-	3264
Piedra caliza (kg)	-	1062.8	-	-	-	-	1062.8
Feldespato (kg)	-	371.3	-	-	-	-	371.3
Hierro (ton)	-	-	-	-	6	-	6
Materias primas (ton)	-	5.88	-	-	0.21	-	6.09

Tabla 5.5. Generación de residuos, en la delegación de Milpa Alta, para el año 2030.

TIPO DE RESIDUOS GENERACIÓN	Papel	Vidrio	Aluminio	Plástico	Acero	Cartón	TOTAL
Generación de residuos (ton/día)	3.983	4.9	0.308	20.9	4	19.4	53.49
Residuos reciclados (ton/día)	3.784	4.9	0.308	20.9	4	18.43	52.32

Tabla 5.6 Cantidad de contaminantes que se evitarían si se reciclan papel, plástico, acero, vidrio y cartón en la delegación de Milpa Alta.

TIPO DE RESIDUOS RESIDUOS DEL PROCESO	Papel	Vidrio	Aluminio	Plástico	Acero	Cartón	TOTAL
Contaminantes de aire exceptuando el CO ₂ (kg)	-	2.75	12.47	-		-	10.1
CO ₂ (kg)	-	-	446.6	-		-	290.0
Lodos rojos (kg)	-	-	507	-		-	329.2
Residuos de minería (kg)	-	744.6	1000.0	-		-	1531.5
Residuos sólidos generados por trabajadores (kg)	-	-	107	-		-	70.0

Finalmente, cabe destacar que en los cálculos de los ahorros de insumos, materias primas y minimización en la generación de residuos, no se consideraron las que resultan del reciclaje de las llantas, ya que estas, por medio de tratamientos especiales, se aprovechan como materia prima en la producción de asfalto, reencauchamiento, y como combustible dentro de los hornos de las cementeras; ventajas que se estiman bajo un esquema diferente a las del papel, plástico, aluminio, vidrio y acero.

5.2 ETAPA 2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

5.2.1 Estudios de diagnóstico de la infraestructura, equipo y personal que labora en las estaciones de transferencia de las delegaciones Tlalpan y Milpa Alta

5.2.1.1 Resultado del estudio diagnóstico de la estación de transferencia Tlalpan

La estación de transferencia de Tlalpan empezó sus operaciones a partir del mes de septiembre de 1991. En sus instalaciones tiene tres tolvas, con una capacidad instalada cada una de ellas, de 250 ton/día y cuatro líneas de recepción de vehículos por lo que puede recibir 12 vehículos recolectores al mismo tiempo. La estación recibe 470 ton/día de RSU y no necesita ampliaciones ya que su capacidad instalada total es de 750 ton/día. Para operar posee, además de las tres tolvas, tres hidrolavadoras, una podadora y un cargador frontal.

En la estación trabajan nueve personas: dos jefes de estación, un jefe de taller, un sobrestante, un pailero y cuatro peones. El horario con el que se labora en la recepción de residuos, es de lunes a sábado (6:00 a 21:00 hrs) y domingos (7:00 a 15:00 hrs).

Cuenta (figura 5.1) con siete zonas divididas en: áreas de patio de maniobras (2 424 m²), administrativas (197 m²), de caseta de control (4.80 m²), de caseta de pesaje (5.76 m²), de talleres (338 m²), de vialidades (8 972 m²) y de áreas verdes (15 200.94 m²), lo que hace un total aproximado de 27 143 m².

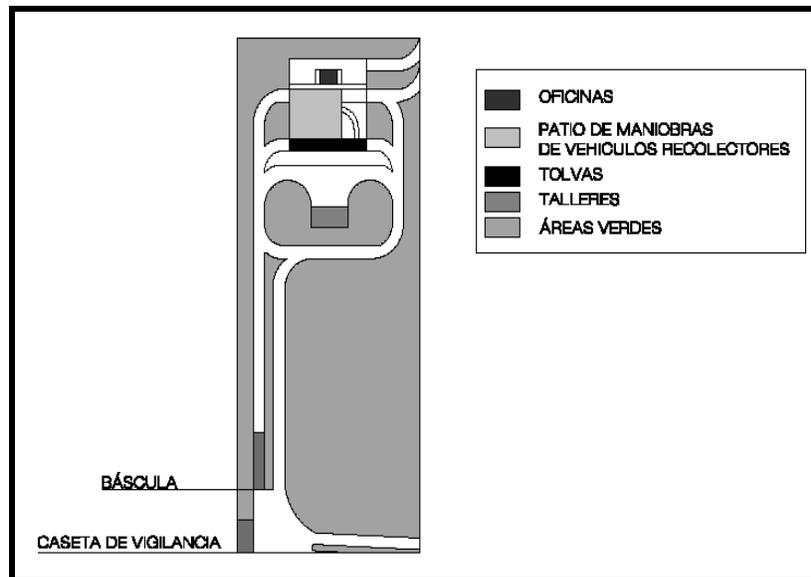


Figura 5.1. Plano de la estación de transferencia Tlalpan.

La estación recibe el 99% de los residuos que llegan de la delegación Tlalpan y el 60% de la delegación Magdalena Contreras. Los espacios están bien distribuidos, ya que los vehículos recolectores entran por una vialidad y llegan al patio de maniobras, en donde tienen el espacio suficiente para entrar de reversa a las tolvas, y salir, sin dificultad, por otra vialidad. Las vías de acceso y de salida tienen suficiente espacio para que los transferes transiten por ellas. Además la estación tiene un paisaje agradable ya que poseen espacios verdes, amplios y muy bien cuidados.

En la estación de transferencia de la delegación Tlalpan, el gobierno del D.F. lleva a cabo acciones semanales para evitar riesgos ambientales, controlando para ello la proliferación de ratas, cucarachas y otros insectos.

5.2.1.2 Resultado del estudio diagnóstico de la estación de transferencia de Milpa Alta

La estación de transferencia de Milpa Alta, operada desde 1985, tuvo en sus inicios únicamente un contenedor al que llegaban, durante el día, residuos transportados en carretas manuales o tiradas por animales de carga.

En 1999 se construyeron dos tolvas y las instalaciones se remodelaron en una superficie de 475 m². En las instalaciones quedó un claro máximo de 20 m; dos áreas, una para descarga de los vehículos recolectores y otra para la recepción de los residuos por medio de vehículos de transferencia. Las dos áreas son insuficientes, para maniobrar los vehículos, ya que los operadores se ven obligados a conducir en reversa para que las unidades queden colocadas de manera adecuada frente a las tolvas y los transfers debajo de ellas (figura 5.2).

Las oficinas de la estación están construidas aproximadamente en 12 m². Las instalaciones tienen un espacio para comedor que se utilizan también para guardar utensilios de limpieza, por lo que no hay un lugar higiénico para el consumo de alimentos. El personal que labora está conformado por 17 trabajadores: un jefe de estación, 8 personas ubicadas en el área de limpieza, dos policías, dos representantes de la unidad verificadora, y un enlonador.

Para evitar riesgos ambientales, como en la estación de transferencia de Tlalpan, el gobierno del D.F. también lleva a cabo acciones semanales de fumigación para el control de ratas, cucarachas y otros insectos.

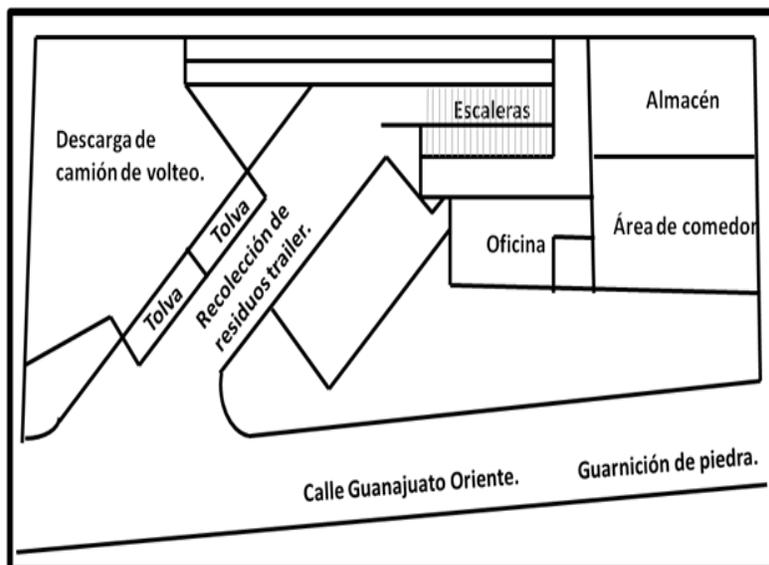


Figura 5.2. Plano de la estación de transferencia de Milpa Alta.

En esta estación (figura 5.2) se reciben todos los residuos que se generan en la delegación Milpa Alta, los que son enviados al relleno sanitario de Bordo Poniente.

Para determinar el promedio aproximado de RSU que llegan a la estación de transferencia se aprovechó, de la información que se registra diariamente, la correspondiente a la semana comprendida del 3 al 11 de noviembre de 2008, cuyos resultados se indican en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Registro de los residuos que se recibieron en la estación de transferencia de Milpa Alta, del lunes tres al martes once de noviembre de 2008.

Días	Número de vehículos de transferencia	Kilogramos por día
Primero	5	104 200
Segundo	4	77 540
Tercero	5	93 820
Cuarto	4	72 060
Quinto	3	61 280
Sexto	4	87 460
Séptimo	3	61 500
Octavo	6	122 620
Noveno	3	65 800
PROMEDIO	4.111	82 920

De lo anterior se desprende que para recolectar las aproximadamente 80 toneladas que en promedio diario llegan a la planta, se necesitan entre tres y seis vehículos de transferencia diarios. Debe destacarse que las actividades que se desarrollan se llevan a cabo con muchas dificultades, debido a que la estación no cumple con los requerimientos mínimos en cuanto a la medida de sus espacios lo que ocasiona, por las áreas reducidas, que los vehículos lleven a cabo, como ya se mencionó, maniobras incómodas y peligrosas que pueden provocar accidentes.

5.2.2 Planeación del muestreo para la realización del análisis

5.2.2.1 División por estrato socioeconómico de la población, de las dos delegaciones

El Grado de Marginación se escogió porque constituye una medida-resumen que permite diferenciar las entidades federativas y municipios de acuerdo con el impacto global de las carencias que padece la población, como resultado de la falta de acceso a la educación formal, viviendas inadecuadas, ingresos económicos insuficientes y distribución de la población en comunidades pequeñas (menos de 5 000 habitantes). Además, de que se puede conocer el nivel del estrato socio-económico al conocer el grado de marginación. En el anexo B se observan las colonias de la delegación Tlalpan, con sus respectivos grados de marginación y estratos socioeconómicos, teniendo como resultado del estudio 57 colonias pertenecientes al estrato bajo, 17 al estrato medio y 73 al estrato alto. En la delegación Milpa Alta, el estudio arrojó que todas las colonias pertenecen al estrato socio-económico bajo.

5.2.2.2 Selección de los vehículos recolectores

Los muestreos de la delegación Milpa Alta se realizaron los días 11 y 16 de diciembre de 2008 en seis vehículos de carga trasera y cuatro camiones, el primer día; y siete vehículos de carga trasera, cuatro camiones de volteo y una camioneta, el segundo (Tablas 5.8 y 5.9).

La diferencia en cuanto a la cantidad de vehículos se dio por su volumen de llenado por lo que el 16 de diciembre (segundo día) se requirieron más vehículos para llenar el transfer debido a que transportaron menos volúmenes de residuos que el día 11. Con relación al estrato socioeconómico no hubo problemas para muestrear los residuos ya que los habitantes de Milpa Alta se ubicaron en el estrato socioeconómico bajo. Se cuidó que los residuos sólo fueran domiciliarios por lo que se descartaron los de jardinería municipal, de panteones y otros.

En Tlalpan se llevaron a cabo los muestreos el día 19 de diciembre de 2008 y el 9 de enero de 2009; en los dos días, se seleccionaron seis vehículos de carga trasera y se tomaron muestras de residuos domiciliarios correspondientes a los tres estratos socioeconómicos en los que fueron ubicados los habitantes de la delegación (tablas 5.10 y 5.11).

Debido a las limitaciones que se tuvieron en el muestreo, como el tiempo que estaba esperando la caja del camión de transferencia, y la espera de los vehículos que no fueron muestreados (para descargar en otro transfer), se tuvieron que repetir las colonias al escoger los vehículos del mismo estrato socio-económico.

Tabla 5.8. Vehículos recolectores muestreados en la delegación Milpa Alta, el 11 de diciembre de 2008.

Colonia	Tipo de vehículo	Estrato socio-económico
San Antonio Tecómitl	Carga trasera	Bajo
Santa Ana Tlacotenco	Carga trasera.	
San Pablo Oztotepec.	Volteo.	
San Juan Tepenahuac y San Jerónimo Miacatlán	Carga Trasera	
Santa Ana Tlacotenco.	Carga Trasera	
Tecómitl	Carga Trasera	
Tecómitl	Carga Trasera	
San Salvador Cuauhtenco	Volteo	
Bodega Tecómitl, De barrenderos	Volteo	
San Salvador Cuauhtenco.	Carga Trasera	

Tabla 5.9. Vehículos recolectores muestreados en la delegación Milpa Alta, el 16 de diciembre de 2008.

Colonia	Tipo de vehículo	Estrato socio-económico
Pueblo San Pedro Atocpan	Volteo	Bajo
Pueblo San Salvador Cuauhtenco	Volteo	
Pueblo Santa Ana Tlacotenco	Carga Trasera	
Pueblo San Antonio Tecómitl	Volteo	
Pueblo San Pablo Oztotepec	Carga Trasera	
Pueblo San Agustín Ohtenco	Volteo	
Camioneta de supervisión sector # 4. (Pueblo San Antonio Tecomilt, Pueblo San Francisco Tecoxpa, Pueblo San Jerónimo Miacatlan, Pueblo San Juan Tepenahuac.	Camioneta chica	
Pueblo San Antonio Tecómitl	Carga Trasera	
Pueblo San Francisco Tecoxpa	Volteo	
Pueblo San Antonio Tecómitl	Carga Trasera	
San Mateo	Volteo	
Pueblo San Pedro Atocpan	Volteo	

Tabla 5.10. Vehículos recolectores muestreados, en la delegación Tlalpan, el día 19 de diciembre de 2008.

Colonia	Tipo de vehículo	Estrato socio-económico
Dos de octubre	Carga Trasera	Bajo
Barrio del Trueno		Medio
Belvedere		Bajo
Fraccionamiento Fuentes del Pedregal		Alto
Pedregal San Nicolás primera sección.		Bajo
Barrio de Lonja		Medio

Tabla 5.11. Vehículos recolectores muestreados, en la delegación Tlalpan, el día 9 de enero de 2009.

Colonia	Tipo de vehículo	Estrato socioeconómico
El mirador 1	Carga Trasera	Bajo
Fraccionamiento Jardines de la Montaña		Alto
Héroes de Padierna Poniente.		Medio
San Miguel Ajusco.		Bajo
Misiones Tlalpan		Medio

5.2.2.3) Análisis físico de los residuos sólidos urbanos

Diferentes reportes sobre la composición de los RSU en México (Tabla 5.12) realizados entre 1992 y 2008 indican que, en porcentaje, entre el 40 y 52 corresponden a los orgánicos; entre el 44 y 60 a los inorgánicos y entre el 26.6 y el 36 a los reciclables. En el caso específico de Milpa Alta (Tabla 5.13) el estudio de composición de los RSU (Orta, et al, 2009) señala que el 39.33% pertenece a los orgánicos (alimenticios, jardinería, madera, hueso y fibra dura vegetal) y el 33.71 a los reciclables (papel y cartón, vidrio, plásticos, metales, textiles y aluminio); mientras que en Tlalpan el 40.73 es parte de los orgánicos y el 37.21 de los reciclables. El resto de los residuos: sanitarios, de la construcción, peligrosos, electrónicos y reutilizables, corresponden (26.97%) a Milpa Alta y 22.05 a Tlalpan.

Tabla 5.12. Porcentajes de composición de RSU en México (1992-2008).

Fuentes Tipo de residuos	DGSU (1992)	Departamento del DF (1992)	SEDESOL (2004)	GOBIERNO DF (2004)	SEDESOL (2005)	INE (2005)	SEMARNAT (2008)
Orgánicos	40	47	51	40	53	40	52
Alimentos	---	41	---	---	---	---	---
Jardinería	---	6	---	---	---	---	---
Inorgánicos	44	31	32	60	28	36	---
<i>Reciclables</i>	---	31	32	---	28	36	36
Papel y cartón.	---	18	15	---	14	8	14
Vidrio	---	5	6	---	6	8	6
Plástico	---	8	6	---	4	5	11
Metal	---	---	3	---	3	6	4
Textil	---	---	2	---	1	4	1
Aluminio	---	---	---	---	---	5	---
<i>No reciclables</i>	---	---	---	---	---	---	---
Sanitarios	---	3	---	---	---	3	12
Pañales	---	---	---	---	---	3	---
Otros	16	16	17	---	19	20	---

Tabla 5.13. Composición de los RSU que se recibieron en la estación de transferencia Milpa Alta (2008).

Muestreo Tipo de residuos	Uno (kg)	Dos (kg)	Promedio (kg)	Porcentaje	Cálculo (kg/día) 2008
Orgánicos	427.2	501	464.1	39.33	29 105.81
Sanitarios	152.8	128.7	140.75	11.93	8 827.07
Peligrosos	0.9	1.2	1.05	0.09	65.85
De la construcción	31	57.4	44.2	3.75	2 771.98
Electrónicos	0	11.5	5.75	0.49	360.61
Reciclables	362.5	433.1	397.8	33.70	24 947.8
Reutilizables	7.3	19.1	13.2	1.12	827.83
Otros	103.8	122.4	113.1	9.59	7 093.01
TOTAL	1085.5	1274.4	1179.95	100.00	74 000

Tabla 5.14. Composición de los RSU que se recibieron en la estación de transferencia Tlalpan (2008).

Muestreo Tipo de residuos	Uno (kg)	Dos (kg)	Promedio (kg)	Porcentaje	Cálculo (kg/día) 2008
Orgánicos	478.20	479.80	479.00	40.73	224 856
Sanitarios	125.30	88.30	106.80	9.08	50 135
Peligrosos	3.70	0.00	1.85	0.16	868
De la construcción	33.10	29.10	31.10	2.64	14 599
Electrónicos	10.30	2.60	6.45	0.55	3 028
Reciclables	426.60	448.50	437.55	37.21	205 398
Reutilizables	22.30	10.90	16.60	1.42	7 792
Otros	84.20	108.90	96.55	8.21	45 323
TOTAL	1 183.70	1 168.10	1 175.90	100.00	552 000

En cuanto a las variables humedad y peso volumétrico, como se observa en la tabla 5.15 (en las dos muestras de cada delegación), la humedad permaneció constante (30%), mientras que en lo referente al peso volumétrico, en Milpa Alta, se obtuvo un promedio de 208.85 kg/m³ y, en Tlalpan, de 188.9 (Orta et al, 2009).

En 1999 la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) llevó a cabo, en el DF, un estudio de composición y análisis físico de residuos domésticos, comerciales, institucionales, hospitalarios, de barrido de calles y de mercados. Los resultados obtenidos arrojaron un peso volumétrico de 280 kg/m³ y una humedad comprendida entre el 68 y 78%. La diferencia de los resultados reportados por JICA y los obtenidos en el estudio de actualización y composición de los residuos sólidos urbanos en el DF (Orta et al, 2009) se debió a que, en los primeros, la empresa promedió todos los residuos analizados mientras que, en los segundos, se tomaron en cuenta únicamente los residuos domiciliarios.

Tabla 5.15. Humedad y peso volumétrico de los RSU muestreados en las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan.

Delegación	Número de muestra	Tamaño de la muestra (kg)	Humedad (%)	Peso Volumétrico (kg/m ³)	
				Por muestra	Promedio
Milpa Alta	Uno	1 100	30	215.2	208.85
	Dos	1 280	30	202.5	
Tlalpan	Uno	1 190	30	227.8	188.9
	Dos	1 180	30	150	

5.3 DISEÑO DEL CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS (CAR)

5.3.1 Proyección de residuos

Para determinar la capacidad requerida por los equipos del CAR, se llevó a cabo un estudio proyectivo de la generación de RSU en Milpa Alta que permitió determinar la cantidad de residuos que se recibirán en la estación de transferencia en el año 2030. Los cálculos arrojaron que en ese año la delegación tendrá 208 591 habitantes con una generación de residuos per cápita de 0.810 kg/día y se recibirán, en la estación de transferencia 169 058 kg/día distribuidos (en toneladas), de la siguiente manera: 66.5, de residuos orgánicos; 16.9, de sanitarios; 6.34, de la construcción; 63.5, de reciclables y 1.9, reutilizables. Además la estación recibirá 152 kg/día de residuos peligrosos, 823 de electrónicos y 16.2 ton/día de otros.

En las tablas (D.1 a la D.6) del anexo D, se aprecia cómo varían, hasta el 2030, las cantidades de RSU que se recibirán en la estación de transferencia de Milpa Alta.

5.3.2 Selección de tratamientos

En la evaluación del criterio *aspecto social, legal y ambiental* (figura 5.3), el tratamiento que obtuvo mayor puntaje fue el de la *selección de residuos* (0.444), el segundo lo ocupó el *compostaje* (0.389) y el último, la *incineración* (0.278). En el criterio *equipos* (figura 5.4), la *selección de residuos* y el *compostaje* obtuvieron los mismos puntos entre ellos (0.444), aunque el puntaje resultó menor, comparado con el tratamiento de la *incineración* (0.500). En el análisis del criterio *costo en dólares por tonelada* (figura 5.5), el *compostaje* obtuvo el mayor valor (0.444), la *selección de residuos* fue ubicada en segundo lugar (0.389) y la *incineración* en tercero, con un puntaje muy bajo (0.167).

En el análisis del criterio *requerimientos* (figura 5.6), la *selección de residuos* obtuvo (0.444), el *compostaje* (0.278) y la *incineración* (0.167).

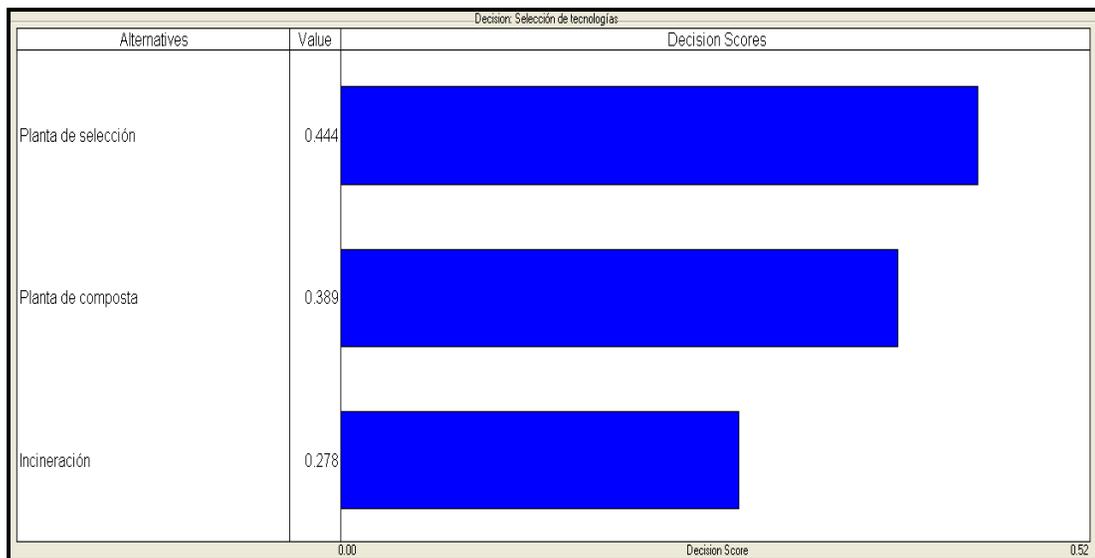


Figura 5.16. Análisis multicriterio del criterio aspectos social, legal y ambiental y los subcriterios aceptación social, riesgo de contaminación ambiental y legislación aplicable.

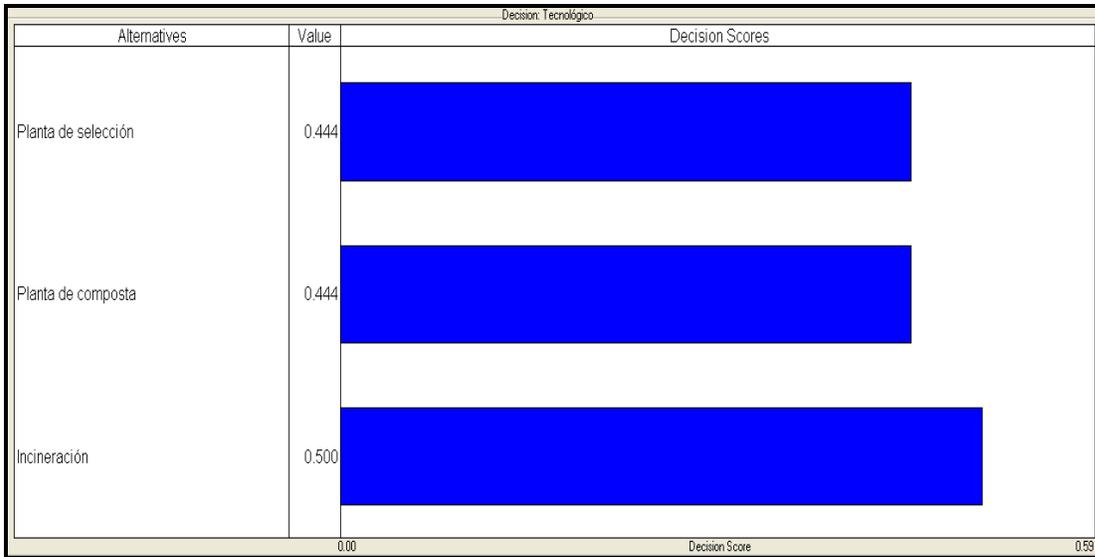


Figura 5.4. Análisis multicriterio del criterio equipo y los subcriterios vida útil, escala y experiencia de uso.

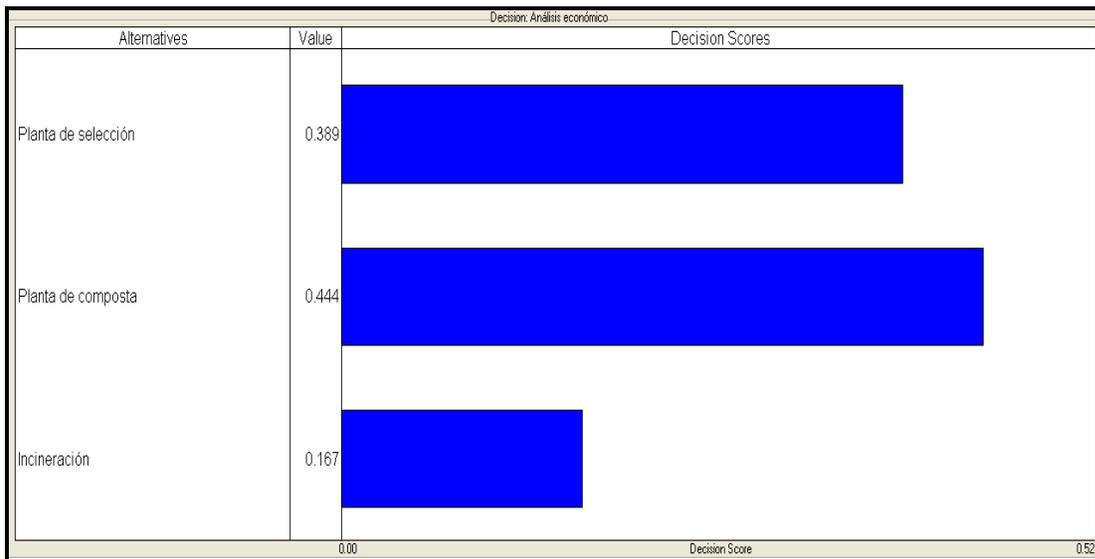


Figura 5.5. Análisis multicriterio del criterio Costos en dólares por tonelada y los subcriterios inversión y amortización, tratamiento y operación y mantenimiento.

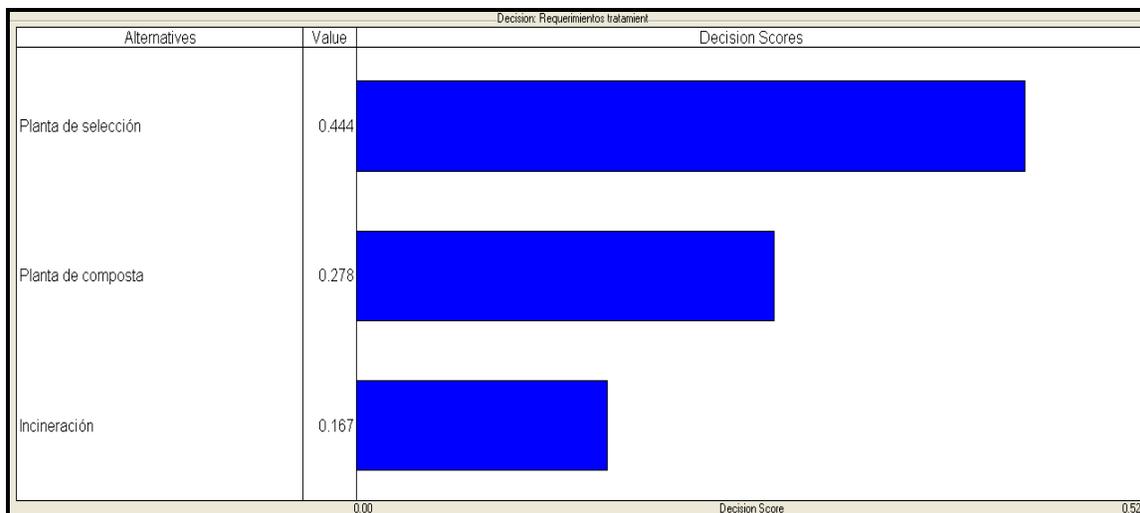


Figura 5.6. Análisis multicriterio del criterio Requerimientos y los subcriterios Nivel de especialización, pretratamiento y naturaleza de los RSU.

La suma de los subcriterios de cada criterio arrojada en los puntajes que se consignan en la tabla 5.16, permiten desprender que la mejor opción para el tratamiento de los RSU, en Milpa Alta, es la de la *selección* de los mismos (1.721), a la que le sigue el *compostaje* (1.555) y, por último, la de *incineración* (1.112). Debido a que la primera opción favorece el aprovechamiento de los residuos inorgánicos y la segunda a la de los orgánicos se decidió integrarlas en el diseño del CAR para lograr, con ello, el tratamiento tanto de los residuos reciclables como de los orgánicos generados en la delegación.

Tabla 5.16. Análisis multicriterio para la selección de la mejor tecnología.

Tratamientos	Aspectos social, legal y ambiental	Equipo	Costos en dólares por tonelada	Requerimientos	Total
Selección de RSU	0.444	0.444	0.389	0.444	1.721
Compostaje	0.389	0.444	0.444	0.278	1.555
Incineración	0.278	0.5	0.167	0.167	1.112

- Tecnología con más factibilidad.
- Tecnología con mediana factibilidad.
- Tecnología con menos factibilidad.

5.3.3 Selección de los equipos

En el trabajo se presentan dos propuestas de CAR: la primera integrada por una planta de composta (PdC) y una planta de selección de RSU semi-mecanizada y, la segunda, conformada por una PdC y una PS con selección manual de RSU que cuenten, ambas, con algunos equipos complementarios (tritadoras y compactadoras) que permitan la preparación de los RSU.

En cuanto a la planta de separación semi-mecanizada (Tabla 5.17), se propone que tenga con equipos para realizar operaciones de separación, compactación, transporte, pesaje y empaque de residuos. Para la de separación se proponen tres bandas transportadoras (separación manual de residuos voluminosos), un separador magnético para los metales ferrosos, una placa para metales no ferrosos, una mesa vibratoria para botellas de vidrio, un equipo para la separación óptica de los vidrios (por color), y cuatro separadores neumáticos para papel y empaques de polipropileno, polietileno de baja y alta densidad y PET. La operación de compactación contempla una compactadora de residuos de cartón, papel, aluminio y PET. Para la operación de transporte, se proponen un elevador de cangilones, un montacargas y un cargador frontal. Para el pesaje se contempla una báscula y para el empaque una ensacadora.

Tabla 5.17. Costos, operación unitaria y consumo de energía de los equipos propuestos para la planta de separación semi-mecanizada. IVA incluido. (2010)

EQUIPO	OPERACIÓN UNITARIA	CANTIDAD DE EQUIPOS	PRECIO UNITARIO (Pesos)	CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR EQUIPO
Separadores neumáticos				
Uno	De papel y empaques ligeros de polipropileno.	1	1 000 000.00	17 280 kw
Dos	De polietileno de baja densidad.	1	1 000 000.00	17 280 kw
Tres	De PET	1	1 000 000.00	17 280 kw
Cuatro	De polietileno de alta densidad	1	1 000 000.00	17 280 kw

Tabla 5.17. Continuación... Costos, operación unitaria y consumo de energía de los equipos propuestos para la planta de separación semi-mecanizada. IVA incluido. (2010)

EQUIPO	OPERACIÓN UNITARIA	CANTIDAD DE EQUIPOS	PRECIO UNITARIO (Pesos)	CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR EQUIPO
Bandas transportadoras	Separación manual de residuos voluminosos	3	116,484.00	3 456 kw
Separador magnético	Separación de metales ferrosos	1	2,000,000.00	2 304 kw
Placa separadora de metales no ferrosos	Separación de metales no ferrosos	1	300,000.00	2 304 kw
Mesa vibratoria	Separación de botellas de vidrio.	1	400,000.00	5 184 kw
Separador óptico	Separación de botellas por color.	1	2,900,000.00	52 992 kw
Compactadora	Formación de pacas de cartón, papel, PET, latas de aluminio.	1	140,000.00	25 820 kw
Montacargas	Traslado de pacas.	1	439,567.50	9 676.8 lt diesel
Elevador de cangilones	Traslado de residuos a la ensacadora.	1	200,000.00	10 368 kw
Ensacadora	Empaque de los residuos	1	434,724.50	110 592 kw
Trituradora	Trituración de llantas, vidrio, madera, fibra dura vegetal, residuos de la construcción.	1	1,600,000.00	129 600 kw
Cargador frontal	Alimentación a las bandas transportadoras y transporte a la compactadora y trituradora.	1	1,562,500.00	9 676.8 lt diesel
Báscula	Pesaje de los residuos que ingresan y que se venden.	1	405,600.00	155.52 kw

Para la planta de selección manual (Tabla 5.18), se proponen, además de la compactadora, montacargas, trituradora, cargador frontal y báscula, 13 bandas transportadoras para que 254 trabajadores separen manualmente los residuos.

Tabla 5.18. Costos, operación unitaria y consumo de energía de los equipos propuestos para la planta de separación manual. IVA incluido. (2010)

EQUIPO	OPERACIÓN UNITARIA	CANTIDAD DE EQUIPOS	PRECIO UNITARIO (Pesos)	CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR EQUIPO
Bandas transportadoras	Separación manual de residuos voluminosos	13	116,484.00	3456 kw
Compactadora	Pacas de cartón, papel, PET, latas de aluminio.	1	140,000.00	25820 kw
Montacargas	Traslado de pacas.	1	439,567.50	9676.8 lt de diesel
Trituradora	Llantas, vidrio, madera, fibra dura vegetal, residuos de la construcción.	1	1,600,000.00	129 600 kw
Cargador frontal	Alimentación a la banda transportadora y transporte a la compactadora y trituradora.	1	1,562,500.00	9676.8 lt de diesel.
Báscula		1	405,600.00	155.52

En la PdC se requieren dos trituradoras, una de mandíbula para residuos orgánicos blandos y otra de rodillo para residuos duros como madera y fibra dura vegetal. También se necesita una mezcladora para airear los residuos orgánicos que forman las pilas; una cribadora para quitar residuos que no se hayan degradado en la composta y homogenizar la textura de la misma; tres cargadores frontales, uno para transportar los residuos orgánicos a las trituradoras, otro de las trituradoras al patio de pilas, y el último para trasladar la composta a la cribadora y a los camiones de volteo. Los elevadores de cangilones se utilizan para transportar la composta a las ensacadoras. En la tabla 5.19 se señalan los nombres de los equipos propuestos para la PdC, sus precios y consumo de energía.

Tabla 5.19. Costos, operación unitaria y consumo de energía de los equipos propuestos para la planta de composta. IVA incluido. (2010).

EQUIPO	OPERACIÓN UNITARIA	CANTIDAD DE EQUIPOS	PRECIO UNITARIO (Pesos)	CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR EQUIPO
Trituradora de mandíbula.	Trituración de residuos orgánicos blandos	1	1,600,000.00	34560 Kw
Trituradora de rodillos.	Trituración de madera y fibra dura vegetal	1	1,600,000.00	129600 Kw
Cargador frontal	Traslado de los residuos orgánicos hacia el triturador, patio de pilas, cribadora y camión de volteo.	3	1 562 500.00	9676.8 lt de diesel.
Mezcladora	Mezclado de las pilas de composta.	1	898,275.00	2520 lt de diesel
Cribadora	Cribado de la composta	1	350,000.00	5184 kw
Ensacadora	Empaque de la composta en sacos	6	434,724.50	110592 kw
Elevador de cangilones	Transporte de la composta hacia la ensacadora.	1	200,000.00	10368 kw

5.3.4) Diseño del CAR

Se propone que el CAR esté conformado por una planta de composta (PdC) y otra de selección (PS) de residuos inorgánicos reciclables. En cuanto a las plantas de selección se hacen dos propuestas: una de selección semi-mecanizada y otra manual, para establecer comparaciones y determinar la más viable, desde el punto de vista económico.

5.3.4.1) Planta de composta

El proceso de tratamiento de los RO en la PdC (del tipo de pilas con aireación mecánica) se compone de varias etapas: trituración de RO; formación de pilas de tres metros de ancho, 25 de largo, y dos de alto; mezclado mecánico de pilas una vez por semana, durante 90 días; cribado con tamiz de un ancho de malla comprendido entre 10 y 15 mm y envío de la composta, al área de empaque, por medio de elevadores de cangilones.

La trituración se trabaja, con base en la propuesta, a través de un triturador de mandíbulas con una capacidad de 9 ton/hr para disminuir los residuos alimenticios blandos a un tamaño comprendido entre 1.5 y 3 cm. Para los residuos de jardinería, madera, fibra dura vegetal y hueso, se requiere un triturador de rodillo, con capacidad de 8 ton/hr. Cabe mencionar que este triturador también se utiliza en la PS, para fragmentar llantas, vidrios y residuos de la construcción (ver diseño de la PS, en el anexo E).

El transporte de los RO y de la composta requiere tres cargadores frontales con una capacidad, cada uno de ellos, de 3.15 m^3 que puedan desplazarse a una velocidad de 6.9 km/hr. El primer cargador trasladará los RO triturados, al patio de pilas, en aproximadamente 43 viajes (entre 5 y 6 viajes por hora); el segundo trasladará la composta al área de cribado y el tercero depositará la composta en el camión de volteo y además los RO que lleguen, en la trituradora.

La mezcladora para los RO de toda la planta (que ascienden a $11\,638 \text{ m}^3$) funciona seis horas a la semana y tiene una capacidad de $2\,041 \text{ m}^3/\text{hr}$. En el proceso de mezclado se le agrega agua a los RO para proporcionarles la humedad requerida (entre 50 y 60%). La capacidad del equipo de cribado es de 10 ton/hr con un tamiz de un ancho de malla comprendido entre 10 y 15 mm.

El área de empaque se compone de dos secciones, una destinada a empacar la composta en sacos de 25 o de 50 kg y otra para depositar la composta, no empacada, en camiones de volteo para su traslado.

En el año 2030 la delegación Milpa Alta hará llegar al CAR $66\,500 \text{ kg/día}$ de RO. Como la planta de composta trabajará 6 de los 7 días de la semana, el promedio de los RO será de $77\,583.33 \text{ kg/día}$, cantidad con la cual se llevaron a cabo los cálculos requeridos por el diseño. Tomando como referencia que los RO tienen un peso volumétrico de 600 kg/m^3 y que cada una de las pilas (con dimensiones de 3 m de ancho, 25 de largo y 2 de alto) tienen un volumen de 96.7 m^3 , se calculó que los residuos que lleguen en un día ($77\,583.33 \text{ kg}$) tendrán, al inicio, un volumen de 129.31 m^3 y formarán 1.34 pilas del tamaño ya mencionado. El volumen y peso volumétrico de los RO disminuye, de manera gradual, en el transcurso de los 90 días de tratamiento (Tabla 5.19).

Tabla 5.19. Disminución del volumen de los residuos orgánicos, en el transcurso de los 90 días del tratamiento.

Días	m ³	Pilas	Días	m ³	Pilas	Días	m ³	Pilas
1	129.31	1.34	31	103.88	1.07	61	83.45	0.86
2	128.37	1.33	32	103.12	1.07	62	82.84	0.86
3	127.44	1.32	33	102.37	1.06	63	82.24	0.85
4	126.51	1.31	34	101.63	1.05	64	81.64	0.84
5	125.59	1.30	35	100.89	1.04	65	81.05	0.84
6	124.68	1.29	36	100.16	1.04	66	80.46	0.83
7	123.77	1.28	37	99.43	1.03	67	79.87	0.83
8	122.87	1.27	38	98.70	1.02	68	79.29	0.82
10	121.09	1.25	39	97.99	1.01	69	78.71	0.81
11	120.21	1.24	40	97.27	1.01	70	78.14	0.81
12	119.33	1.23	41	96.57	1.00	71	77.57	0.80
13	118.47	1.23	42	95.86	0.99	72	77.01	0.80
14	117.61	1.22	43	95.17	0.98	73	76.45	0.79
15	116.75	1.21	44	94.47	0.98	74	75.89	0.78
16	115.90	1.20	45	93.79	0.97	75	75.34	0.78
17	115.06	1.19	46	93.11	0.96	76	74.79	0.77
18	114.22	1.18	47	92.43	0.96	77	74.25	0.77
19	113.39	1.17	48	91.76	0.95	78	73.71	0.76
20	112.57	1.16	49	91.09	0.94	79	73.17	0.76
21	111.75	1.16	50	90.43	0.94	80	72.64	0.75
22	110.93	1.15	51	89.77	0.93	81	72.11	0.75
23	110.13	1.14	52	89.12	0.92	82	71.59	0.74
24	109.33	1.13	53	88.47	0.91	83	71.07	0.73
25	108.53	1.12	54	87.82	0.91	84	70.55	0.73
26	107.74	1.11	55	87.19	0.90	85	70.04	0.72
27	106.96	1.11	56	86.55	0.90	86	69.53	0.72
28	106.18	1.10	57	85.92	0.89	87	69.02	0.71
29	105.41	1.09	58	85.30	0.88	88	68.52	0.71
30	104.64	1.08	59	84.68	0.88	89	68.02	0.70
---	---	---	60	84.06	0.87	90	67.53	0.70

Considerando que los RO llegan al CAR con un 48% de humedad, es necesario agregarles 12 288.68 litros de agua, para lograr el 55% de humedad necesaria para la elaboración de la composta, por medio de la degradación aerobia.

Para determinar la cantidad de agua, en litros, que requieren los RO en el proceso de degradación que se da durante 90 días, debe considerarse la pérdida de agua que se tiene por la reacción $\text{CHO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CHO} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, la cual corresponde al 39.7% del 55% de humedad (0.44% al día). Además, con fines prácticos para el procesamiento de la composta, se tomará como elemento de referencia el promedio mensual de la pérdida de agua del suelo de Milpa Alta, por evaporación natural, de acuerdo con las condiciones climatológicas de la delegación dadas a conocer por la Comisión Nacional del Agua (CNA), en el período comprendido de 1971 al 2000 (Tabla 5.20).

Tabla 5.20. Promedio mensual de la pérdida de agua del suelo, por evaporación natural, en la delegación Milpa Alta (CNA, 1971-2000)

MES	EVAPORACIÓN (mm/m ²)	MES	EVAPORACIÓN (mm/m ²)	MES	EVAPORACIÓN (mm/m ²)
Enero	60.7	Mayo	25.3	Septiembre	-162.9
Febrero	116.7	Junio	-90.7	Octubre	-60.4
Marzo	151.4	Julio	-103.5	Noviembre	51.4
Abril	99.3	Agosto	-152.9	Diciembre	37
Promedio anual comprendido de 1971 al 2000.					994.3(mm/m²)

En las tablas 5.21 y 5.22 se muestra la cantidad de agua que debe agregarse, semanalmente, a los RO que llegan diariamente a la planta y a todos los residuos que se encuentran en ella cuando está a su máxima capacidad. Se requiere un total de 18 815 150 litros al año para toda la planta lo que significa, en promedio, 51 548 litros al día. Los RO que llegan en un día requieren, para su tratamiento, 209 057.22 litros al año y, en promedio, 573 litros.

Para el área de almacenaje se proponen dos espacios, el primero para los RO y el segundo para la composta. Al momento de dimensionar el almacén de RO se tomó en cuenta que los días lunes se recibe el doble que el resto de los días de la semana debido a que no hay recolección de residuos los domingos, por lo que se consideraron dos alternativas: que la planta trabaje 16 horas los lunes o de lo contrario que se trituren y distribuyan los residuos a lo largo de los seis días de la semana.

Tabla 5.21. Agua que se requiere en el proceso de compostaje.

Mes	Orden de las semanas	Día de agregado de agua, en un período de 90 días.	Día del año	Agua agregada a los residuos	
				De un solo día	De los residuos acumulados en 90 días.
Enero	1 ^a	1	1	12 288.68	1 105 981
	2 ^a	7	7	2 489.73	224 075
	3 ^a	14	14	2 904.68	261 421
	4 ^a	21	21	2 904.68	261 421
	5 ^a	28	28	2 904.68	261 421
Febrero	6 ^a	35	35	2 973.72	267 635
	7 ^a	42	42	3 025.50	272 295
	8 ^a	49	49	3 025.50	272 295
	9 ^a	56	56	3 025.50	272 295
Marzo	10 ^a	63	63	3 068.28	276 146
	11 ^a	70	70	3 100.37	279 033
	12 ^a	77	77	3 100.37	279 033
	13 ^a	84	84	3 100.37	279 033
	14 ^a	90	90	2 657.46	239 171
Abril	14 ^a	1	91	12 288.68	1 105 981
	15 ^a	7	97	2 561.11	230 500
	16 ^a	14	104	2 987.96	268 917
	17 ^a	21	111	2 987.96	268 917
Mayo	18 ^a	28	118	2 987.96	268 917
	19 ^a	35	125	2 873.92	258 653
	20 ^a	42	132	2 828.30	254 547
	21 ^a	49	139	2 828.30	254 547
	22 ^a	56	146	2 828.30	254 547
Junio	23 ^a	63	153	2 812.71	253 144
	24 ^a	70	160	2 773.72	249 635
	25 ^a	77	167	2 773.72	249 635
	26 ^a	84	174	2 773.72	249 635
	27 ^a	90	180	2 377.48	213 973
Julio	27 ^a	1	181	12 288.68	1 105 981
	28 ^a	7	187	2 377.47	213 973
	29 ^a	14	194	2 773.72	249 635
	30 ^a	21	201	2 773.72	249 635
	31 ^a	28	208	2 773.72	249 635
Agosto	32 ^a	35	215	2 773.72	249 635
	33 ^a	42	222	2 773.72	249 635

Tabla 5.21. Continuación... Agua que se requiere en el proceso de compostaje.

Mes	Orden de las semanas	Día de agregado de agua, en un período de 90 días.	Día del año	Agua agregada a los residuos	
				De un solo día	De un solo día
Agosto	34 ^a	49	229	2 773.72	249 635
	35 ^a	56	236	2 773.72	249 635
	36 ^a	63	243	2 773.72	249 635
Septiembre	37 ^a	70	250	2 773.72	249 635
	38 ^a	77	257	2 773.72	249 635
	39 ^a	84	264	2 773.72	249 635
	40 ^a	90	270	2 377.48	213 973
	40 ^a	1	271	12 288.68	1 105 981
Octubre	41 ^a	7	277	2 377.47	213 973
	42 ^a	14	284	2 773.72	249 635
	43 ^a	21	291	2 773.72	249 635
	44 ^a	28	298	2 773.72	249 635
Noviembre	45 ^a	35	305	2 789.56	251 061
	46 ^a	42	312	2 884.62	259 615
	47 ^a	49	319	2 884.62	259 615
	48 ^a	56	326	2 884.62	259 615
	49 ^a	63	333	2 884.62	259 615
Diciembre	50 ^a	70	340	2 858.73	257 285
	51 ^a	77	347	2 854.41	256 897
	52 ^a	84	354	2 854.41	256 897
	53 ^a	90	360	2 446.64	220 198
	53 ^a	1	361	12 288.68	1 105 981
	54 ^a	5	365	1 631.09	146 798

Tabla 5.22. Cantidad de agua requerida en la planta de composta.

Agregado de agua (litros)			
Promedio diario (1.34 pilas)	Agregado anual (1.34 pilas por 365 días)	Promedio diario (100 pilas)	Agregado anual (116 pilas por 365 días)
573	51 548	209 057	18 815 150

Considerando que los RO tienen un peso volumétrico de 600 kg/m^3 y que la altura de los residuos almacenados es de un metro, el área de almacenaje debe medir 20 m de largo por 14 de ancho (280 m^2) ya que de esa manera se tiene capacidad para recibir y almacenar los lunes, los RO generados en dos días debido a que como se mencionó, los domingos no se recolectan residuos.

El área para el almacenaje de la composta tendrá una superficie de 620 m^2 (10 por 62 m) para almacenar 26 600 kg de composta (correspondiente al 40%, en peso, del total del RO recibidos). Para el dimensionamiento de este almacén se consideró, de la composta, un peso volumétrico de 600 kg/m^3 y una altura de 1 m. Además se tomó en cuenta el volumen de la composta (315 m^3) y la construcción de pilas y pasillos de 2 por 10m.

5.3.4.2) Propuesta para la planta de selección semi-mecanizada

En el año 2030 la estación de transferencia de Milpa Alta recibirá 76 095 kg/día de residuos inorgánicos. En el diseño de la planta de selección semi-mecanizada de RSU se contempló que ésta tenga una capacidad instalada de 88 778 kg/día, que le permita operar seis días a la semana.

En la planta se contempla que las actividades se desarrollen en dos etapas, la primera destinada a separar manualmente 35 395.50 kg/día de residuos voluminosos (llantas, cartones, periódicos, revistas, papel, algodón, cuero, trapo, tenis y zapatos) actividad que desempeñada por 15 operadores (con un rendimiento de 300kg/hora/trabajador) ubicados, ocho de ellos, al lado derecho de una primera banda transportadora de 10 m de largo y, los siete restantes, al lado izquierdo.

La separación manual, como parte de la primera etapa, se lleva a cabo en los primeros ocho metros de la banda, mientras que la segunda etapa (separación mecánica) da inicio en los últimos 2m de la misma, con la recepción de los 53 382 kg de residuos no seleccionados en la separación manual. En esta parte un separador neumático expulsa el papel y los empaques de polietileno.

Una segunda banda transportadora, que mide lo mismo que la primera, cuenta con tres separadores neumáticos colocados a una distancia de 2m cada uno; el primero se destina a la separación de polietileno de baja densidad; el segundo, a la separación de polietileno de alta densidad y, el tercero a la separación del PET. Después de los 6m, la banda cuenta con un separador magnético de metales ferrosos con una capacidad de atracción de 586 kg/hr. Al final de la misma existe una placa magnética con capacidad de repulsión de 40 kg/hr para latas de aluminio. Los residuos no separados caen en una mesa vibratoria que también cuenta, al final, con dos bandas, una que recibe las botellas de vidrio para ser seleccionadas, de acuerdo por su color, por un separador óptico y, otra que recibe el resto de los residuos, de donde son separados por un operador, los envases multicapas que quedan en la banda (figura 5.7).

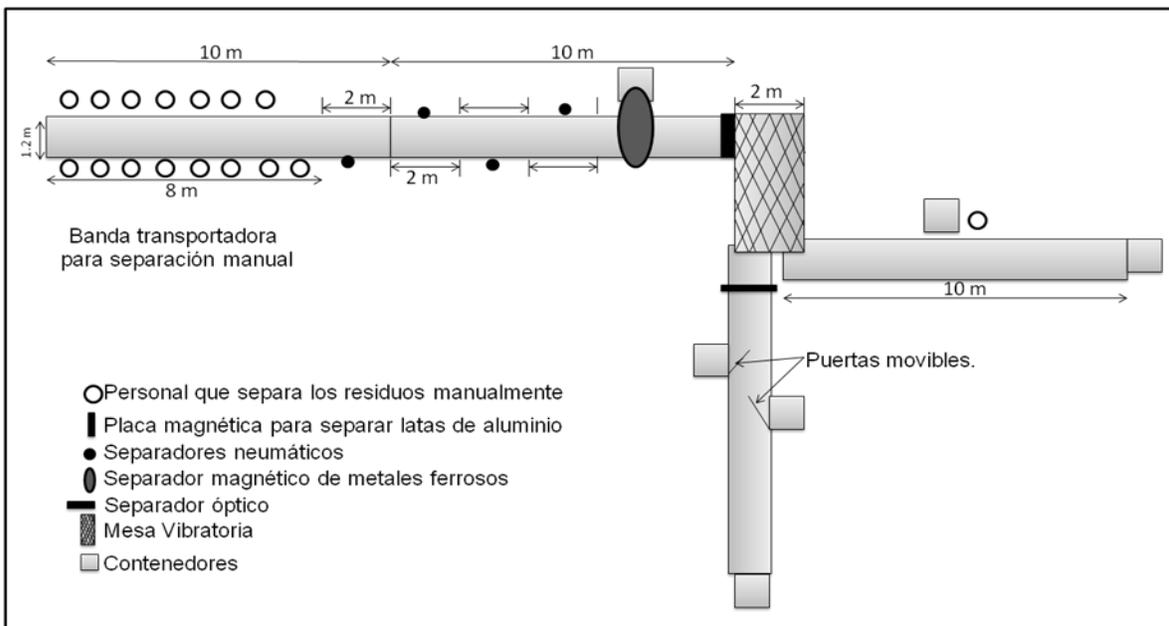


Figura 5.7. Diseño general de la planta de selección semi-mecanizada.

El almacén cuenta con dos áreas, una que tiene un margen de almacenamiento de residuos recolectados en dos días y que requiere de una superficie de 1 162 m² (116.2 por 10 m) y otra, de 600 m² (60 por 10m), para el almacenaje del producto terminado.

Cabe destacar que el CAR propuesto, con separación mecánica, que requiere de 34 trabajadores para su operación, consume 50 904 litros de diesel y 1 225 771.42 kw de energía eléctrica. (Tabla H.1.3).

*Los datos sobre las áreas para cada residuo separado, se encuentran en la tabla A.1 del anexo A.

5.3.4.3) Propuesta para la planta de selección manual

La operación de la planta de selección manual, con una capacidad de 76 095 kg/día de residuos inorgánicos, requiere 254 trabajadores que laboren ocho horas diarias con un rendimiento de 300 kg/hr/trabajador. Las 13 bandas transportadoras con las que cuenta la planta, de 1.2 por 10 m, se colocarán en un terreno de 60 por 12m, como se observa en la figura 5.8. El patio de descarga de 10 m de largo por dos de ancho, tendrá capacidad para recibir residuos hasta por tres horas seguidas. Además la planta contará con un área destinada a la compactación de los residuos reciclables.

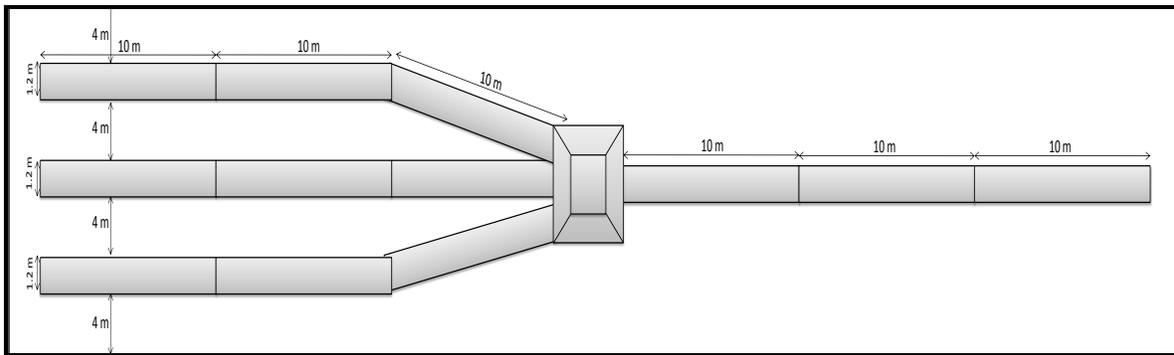


Figura 5.8. Colocación de las bandas transportadoras para la selección manual.

La planta de selección manual requiere de un consumo anual de 41 227.2 litros de diesel y 242 551.42 kw de energía eléctrica, consumo que es menor al de la planta de selección semi-mecanizada.

5.3.5 Ubicación del CAR

5.3.5.1 Identificación del área ambientalmente factible por medio del método de momentos

Por este método se obtuvieron los diferentes centros de gravedad, con relación a los criterios evaluados: *traza urbana, áreas de vegetación densa, cuerpos de agua, servicios, vialidades, zonas de cultivo y topografía* (Tabla 5.23 y mapas del anexo E).

Tabla 5.23. Relación de los mapas analizados y coordenadas resultantes de la evaluación de los criterios por el método de momentos.

CRITERIOS	NÚMERO DE MAPA	COORDENADAS		SECTOR
		X	Y	
Traza urbana	1	492596.00	2115514.35	189 y 167
Vegetación densa	2	493359.64	2116787.81	146
Cuerpos de agua	3	492978.71	2118866.88	103
Servicios	4	492905.48	2120405.74	84
Vialidades	5	494808.29	2121093.45	68
Zonas de cultivo	6	492559.34	2119300.40	103 y 104
Topografía	7	491335.08	2115497.85	188 y 166
Centro de gravedad final	8	492934.65	2118209.50	124

El centro de gravedad de la traza urbana se localizó entre el límite superior del sector 189 y el inferior del 167, lugar que resultó poco factible para la ubicación del CAR ya que se localiza en una zona donde se encuentran dos ríos y las pendientes de los terrenos son mayores del 12%, además de que los servicios se encuentran lejos ya que se tiene una línea de transmisión de posterial a 2.5 km y un acueducto subterráneo a 4.5 km y las zonas de cultivo más cercanas se encuentran a 1.5 km; sin embargo cumple con dos requerimientos: se localiza a poco más de tres km de la población más cercana y a 500 metros de la zona de vegetación densa (mapa uno, anexo E).

El centro de gravedad de la *vegetación densa*, se localizó en el límite inferior del sector 146, el cual tiene la ventaja de estar alejado de las zonas de vegetación densa (a más de 900 m de la zona más cercana). Topográficamente es un lugar inviable ya que tiene pendientes mayores al 12% como lo tienen también los cuadrantes ubicados a su alrededor. Además se encuentra rodeado de cinco ríos localizados a menos de 500 m y cuenta solo con un camino de terracería y servicio de energía eléctrica proporcionado por una línea de transmisión que se localiza a un kilómetro de distancia. Tiene, entre sus ventajas, que la población más cercana se encuentra a dos km y las zonas de cultivo y áreas de vegetación densa, a más de 500 m (mapa dos, anexo E).

En cuanto a la hidrología se localizó su C.G. en el sector 103, sitio que cumple con varios de los requerimientos exigidos ya que el lugar con probabilidad de ser escogido se encuentra a una distancia mayor de 500 m de los ríos, está comunicado por una carretera de terracería y una estatal pavimentada, además de caminos y brechas; otra de sus ventajas es que se encuentra cerca de *zonas de cultivo*. Entre los inconvenientes del lugar debe destacarse que está a menos 500 m de la población más cercana, a 800 m de un acueducto subterráneo, a 1.5 km de una línea de transmisión eléctrica y que los terrenos tienen una pendiente mayor al 12%. Además de que se encuentra en una zona de aproximadamente tres hectáreas de vegetación densa; aunque en sus alrededores no existe esta condición (mapa tres, anexo E).

El sector 84, en el que se localizó el centro de gravedad de los *servicios públicos*, está bien ubicado respecto a este criterio, ya que se encuentra a menos de 500 m de un acueducto subterráneo y a 1.5 km de otro; a dos km de una línea de transmisión eléctrica, a un kilómetro de una línea telefónica y a tres km de las instalaciones de bombeo. Otras ventajas que tiene es que se encuentra cerca de zonas de cultivo, bien comunicado por medio de calles, carreteras de terracería, carreteras estatales y caminos, además de que no existen zonas de vegetación densa a menos de 500 m; sin embargo hay inconvenientes que hacen inviable el sitio, para la ubicación del CAR, ya que se encuentra dentro de un poblado (San Juan Oztotepec), tiene una pendiente mayor al 12% y está a menos de 500 m de un río (mapa cuatro, anexo E).

El centro de gravedad de las *vialidades* se localizó en el sector 68, que está comunicado por una carretera estatal y un camino de terracería. A parte de lo anterior, el sector tiene otras ventajas entre las que se encuentran que está ubicado entre tres poblados (San Pablo Oztotepec, San Pedro Atocpan y San Lorenzo Tlacoyucan), a poco más de 500 m del más cercano; también se localiza a menos de 500 m de una línea de transmisión telefónica aérea y de tres acueductos subterráneos y está a más de 500 m de zonas de vegetación densa y a menos de 500 m de zonas de cultivo. Entre los puntos que lo hacen inviable se destaca que los terrenos tienen una pendiente mayor al 12% y que se encuentra a menos de 500 m de tres ríos (mapa cinco, anexo E).

El centro de gravedad de las *zonas de cultivo* se localizó entre los sectores 103 y 104, donde hay áreas agrícolas ubicadas a sus alrededores. El centro de gravedad tiene ventajas por las que puede ser viable la ubicación del CAR: se encuentran a poco más de 500 m de la población y ríos más cercanos, a más de 500 m de una zona de vegetación densa y cerca de las zonas de cultivo, tiene acceso a caminos de terracería y a menos de 500 metros se encuentran las carreteras estatal y de terracería y, a pesar de que está a un km de una línea de transmisión y de un acueducto subterráneo, puede contar con los servicios de energía eléctrica y agua potable. El único inconveniente de la zona y sus alrededores, es que tienen pendientes mayores al 12% (mapa seis, anexo E).

El centro de gravedad *topográfico* se localizó entre el límite superior del sector 188 y el inferior del 166 en una zona donde las pendientes son mayores al 12% lo que, en sí, lo hace inviable para la instalación del CAR; sin embargo, topográficamente hablando, hay zonas como puede apreciarse en los cuadrantes: 116, 137, 159, 181, 204, 205, 206, 207, 208, 186 y 187 (mapa 7 anexo E) que se ubican cerca del centro de gravedad y que cuentan con pendientes menores del 8% lo que, por su topografía, son factibles para la instalación del CAR. Aunque el centro de gravedad topográfico se encuentra a 4 000 m de la población más cercana, fuera de zonas con vegetación densa, a 500 m de la zona de cultivo más próxima y tiene accesos de caminos de terracería y brechas posee el inconveniente, además del citado con anterioridad, de estar ubicado cerca de un río, a 3.5 km de un acueducto subterráneo y a 2.5 km de una postera de luz, para el servicio de energía eléctrica.

El mejor sitio que detectó el Método de momentos para ubicar el CAR se localiza en el sector 24 (mapa 8 anexo E), ya que tiene las ventajas que se mencionan a continuación: El sitio se puede ubicar a más de 500 metros de los dos ríos que tiene el sector; se encuentra a un km de la población más cercana; tiene una línea de transmisión eléctrica, de postería, a menos de 500 metros; está a dos kilómetros de un acueducto subterráneo; se encuentra a un kilómetro de las zonas de vegetación densa más cercanas; se ubica a menos de 500 metros de zonas de cultivos y está comunicado por varios caminos y brechas.

El sector a pesar de las ventajas mencionadas tiene el limitante de que posee pendientes mayores al 12%. Es importante señalar además que el sitio no se pudo evaluar en campo, debido a que está ubicado en una zona socialmente peligrosa, razón por la cual resulta inviable para la ubicación del CAR.

A partir del punto localizado en el sector 24 y por los inconvenientes que se presentaron, se amplió el área de estudio de campo por medio de círculos concéntricos, para detectar otros lugares; sin embargo, tampoco fue posible visitar estos sitios debido a que también quedaron en una zona, de Milpa Alta, socialmente peligrosa. Debe destacarse que el punto marcado con las coordenadas (492934.65, 2118209.50) coincidió con uno de los resultados (sitio 5) que se obtuvieron por medio del método SIG (mapa 8, anexo E).

5.3.5.2 Identificación de las áreas ambientalmente factibles por medio de Sistemas de Información Geográficos

Uno de los requisitos con los que debe cumplir la instalación del CAR es que su ubicación esté a más de 500 metros de los centros urbanos con más de 2 500 habitantes; en el caso de la delegación Milpa Alta ésta cuenta, con relación a su traza urbana (mapas uno y dos, anexo G), con diez poblaciones cada una de las cuales rebasa los 2 500 habitantes.

En Milpa Alta el uso de suelo es de cuatro tipos: agricultura de riego (5 626 ha), de temporal (4 209 ha), zonas urbanas (1 931.47 ha) y zonas ecológicas (16 608.53 ha) [mapa 3 anexo G]. Las zonas urbanas y ecológicas se descartaron para la ubicación del CAR porque, de manera general, en cuanto a las diferentes formas de tratamiento y disposición final de los RSU, la normatividad ambiental señala restricciones (mapa 4, anexo G).

El estudio hidrológico de la delegación arrojó que la misma cuenta con ríos, manantiales, pozos y corrientes que desaparecen, y que además tiene espacios libres en los cuales, de acuerdo con algunos referentes normativos, puede instalarse el CAR (mapa 5, anexo G).

En cuanto a las vialidades se observa (mapa 6, anexo G) que las calles pavimentadas se encuentran dentro de la traza urbana y que existen carreteras a lo largo de la delegación (principalmente en la zona norte). También puede apreciarse que hay caminos de terracería que facilitan la comunicación.

En lo que se refiere a la topografía (mapa 7, anexo G), Milpa Alta posee terrenos muy accidentados, aunque tiene zonas planas al norte y al sur de la delegación.

Las zonas localizadas que cumplieron con las restricciones de la traza urbana, en cuanto a las zonas ecológicas y acuíferos, también se analizaron con respecto a los servicios públicos, encontrándose que algunas de ellas cuentan con agua y energía eléctrica.

El estudio que se llevó a cabo determinó la existencia de ocho áreas ambientalmente factibles para ubicar el CAR, las que fueron divididas en cuatro zonas. El análisis de la uno y dos determinó que cuentan con brechas y caminos de terracería; la tres, con caminos de terracería y dos carreteras estatales pavimentadas, y la cuatro con carretera de terracería de dos carriles, carretera estatal revestida y carretera estatal con anchura de dos carriles, sin división.

5.3.5.3- Selección del mejor sitio por medio de Análisis Multicriterio

En este punto se realizó el análisis multicriterio por medio del programa Criterium Decision Plus, de las áreas que resultaron factibles para ubicar el CAR como lo indicaron el Método de Momentos y el de SIG. De las cuatro zonas seleccionadas por el SIG se escogieron nueve sitios para visitas de campo (figura 5.8). La primera zona quedó conformada por los sitios ocho y nueve, la segunda por los sitios cinco, la tercera por los sitios seis y siete, y la cuarta por los sitios uno, dos, tres y cuatro (mapas 11-15, anexo G).

Cabe mencionar que la zona dos, seleccionada por el SIG, fue la misma que arrojó el Método de Momentos. Cuando se realizó la visita de campo para llevar a cabo el análisis multicriterio con el fin de seleccionar el mejor sitio, únicamente se visitaron tres de ellos (sitios uno, dos y tres), ya que no se pudo tener acceso a los sitios 6 y 7 debido a que los habitantes del lugar tienen restringido el acceso; el sitio 4 se encontró a 100 metros de la población, por lo que quedó descartado para el análisis; y los sitios 5, 8 y 9 se encuentran en zonas socialmente peligrosas. Respecto al criterio *Distancia en metros [entre el terreno y...]*, los sitios UNO y TRES obtuvieron el mayor puntaje (0.500) y el DOS el menor (0.444) (figura 5.9); mientras que para el criterio *Características del terreno*, el sitio UNO obtuvo un puntaje de 0.417, el DOS de 0.292 y el TRES de 0.375 (figura 5.10). Al sumar los valores de los criterios se determinó que el sitio UNO fue el mejor posicionado para instalar el CAR (figura 5.11), ya que su puntaje final fue de 0.917, el sitio TRES fue el segundo mejor posicionado con un puntaje de 0.875 y el sitio DOS obtuvo 0.736, que fue el menor puntaje (Tabla 5.24).



Figura 5.9 Sitios seleccionados para visitar en campo.

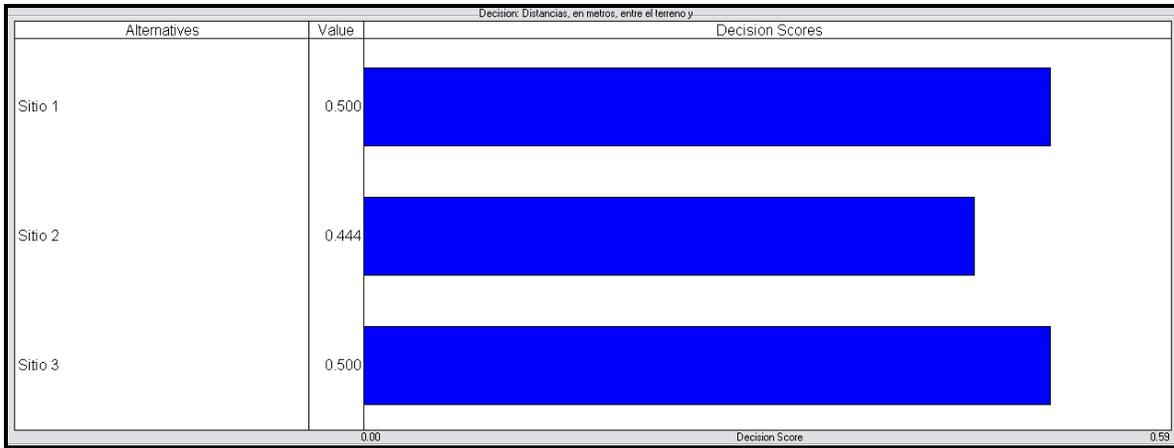


Figura 5.10 Jerarquía del criterio *Distancia, en metros, entre el terreno y*; y los subcriterios *una vialidad y zonas de cultivo, zonas de acuíferos superficiales y zonas de vegetación densa y de inundación.*

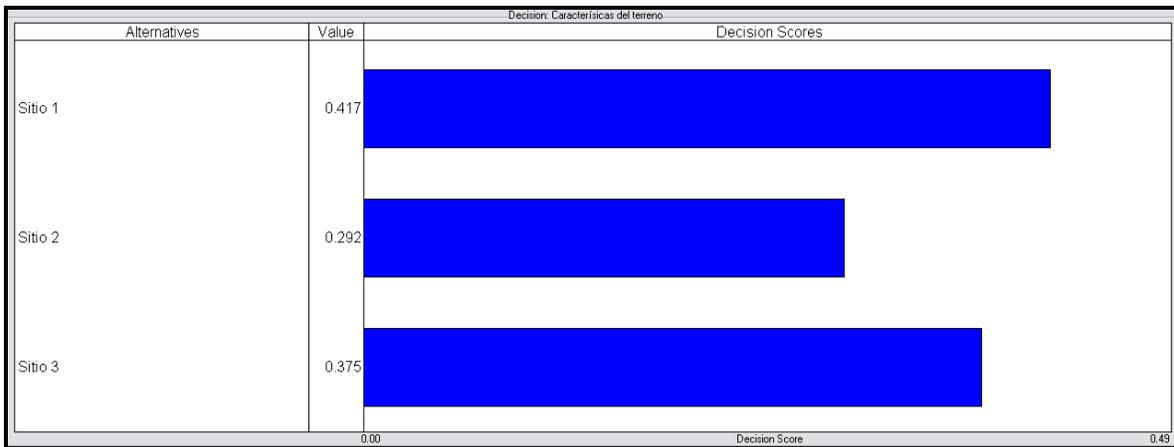


Figura 5.11 Jerarquía del criterio *Características del terreno*; y los subcriterios *topografía, tipo de propiedad, facilidad de acceso y servicios públicos.*

Tabla 5.24. Resultados del análisis multicriterio.

Criterios Sitios evaluados	Distancia en metros [entre el terreno y...]	Características del terreno	Suma
Uno	0.500	0.417	0.917
Dos	0.444	0.292	0.736
Tres	0.500	0.375	0.875

- Más factible.
- Medianamente factible.
- Menos factible.



Figura 5.12. Terreno seleccionado como el mejor sitio para construir el CAR por medio del análisis multicriterio

5.4 ANÁLISIS DE COSTOS

5.4.1 Análisis de costos del CAR con una planta de selección semi-mecanizada

El costo total de inversiones fijas asciende a \$ 36 505 870 distribuidas de la manera siguiente: terreno (\$7 500 000.00); obra civil [planta de composta (\$2 332 010.00) y planta de separación (\$1 349 040.00)]; maquinaria y equipo (\$25 075 970.00) que incluye tanto la planta de composta (\$11 944 120.00) como la de selección semi-mecanizada (\$13 131 840.00) y, equipos de oficina (\$248 850.00). Todos los costos incluyen IVA y se encuentran expresados en moneda nacional (Tabla H.1.1).

Las inversiones diferidas ascienden a \$1 460 230.00 que corresponde al 4% del total de las inversiones fijas. De este porcentaje el 2.5% (\$912 650.00) debe destinarse al pago de licencias y permisos y el 1.5 (\$547 590.00) a imprevistos (Tabla H.1.2).

El costo del capital de trabajo es de a \$24 402 910.00; incluye mano de obra directa (\$1 563 660.00) e indirecta (\$258 860.00); insumos (\$22 535 140.00) y otros (\$45 250.00). En el costo de la mano de obra (directa e indirecta) se incluye el 2% sobre nómina, el 2.5% de IMSS y el 5% de INFONAVIT (Tabla H.1.3). Las inversiones totales ascienden a \$62 369 010.00 (Tabla H.1.4).

El valor de la depreciación de los equipos corresponde a \$1 209 410.00 para la planta de composta y \$2 018 130.00 para la planta de selección semi-mecanizada, lo que hace un total \$ 3 277 310 (Tabla H.1.5). Las amortizaciones ascienden al 12% (\$73 010.00); del porcentaje mencionado debe destinarse el 2% (\$18 250) a licencias y permisos y el 10% (\$54 760) a imprevistos.

En la tabla H.1.8 se aprecia que el Flujo Neto Efectivo (FNE) presenta valores positivos que se incrementan con el tiempo. El Valor Actual Neto (VAN) corresponde al 5.72% lo que señala que el proyecto resulta económicamente factible. De acuerdo con la Tasa Interna de Retorno (TIR) en 20 años, los inversionistas privados, obtendrán una rentabilidad (del 14.20%. El Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) es de 4.23 lo que indica que la recuperación de las inversiones iniciales se dará a partir del cuarto año de operación de la planta.

5.4.2 Análisis de costos del CAR con una planta de selección manual

El total de las inversiones fijas de la planta de selección manual es de a \$23 065 140.00, de los cuales \$7 500 000.00 se destinan a la adquisición del terreno, \$3 681 050.00 a la obra civil: planta de composta (\$2 332 010.00) y planta de separación (\$1 349 040.00). El costo de la maquinaria y equipo asciende a \$11 635.23.00 y dentro de él se considera la planta de composta (\$7 573 280.00), la de selección manual (\$4 061 960.00) y los equipos de oficina \$248 850.00. Todos los costos incluyen IVA y también están expresados en moneda nacional (Tabla H.2.1).

El total de las inversiones diferidas, de la planta de selección manual, que corresponde al 4% de las inversiones fijas asciende a \$922 610.00. En este caso también se destina el 2.5% (\$576 630.00) del total de las inversiones fijas al concepto de licencias y permisos y el 1.5 (\$345 980.00) al de imprevistos (Tabla H.2.2).

Las inversiones totales correspondientes a la suma de las inversiones fijas, diferidas y capital de trabajo, ascienden a \$56 478 240.00 (Tabla H.2.4) y se distribuyen de la manera siguiente: capital de trabajo (\$32 490 500.00), mano de obra directa (\$12 364 740.00), mano de indirecta (\$166 880.00), insumos (\$19 913 640.00) y otros rubros (\$45 250.00); además del 2.5% de cuotas correspondientes al IMSS, 5% al INFONAVIT y el 2% de impuestos sobre nómina (Tabla H.2.3).

Otro rubro a considerar es el de las depreciaciones (\$1 399 720.00). De esta cantidad, \$792 330.00 corresponden a la planta de composta y \$557 630.00 a la de selección manual. Las amortizaciones (12% de las inversiones totales) ascienden a \$46 130.00 (Tabla H.2.5), de los cuales el 2% corresponde a licencias y permisos, y el 10% a imprevistos.

El FNE contempla, como en la planta semi-mecanizada valores positivos que se incrementan con el tiempo (Tabla H.2.8). El VAN asciende a 8.78% lo que indica también indica que el proyecto es económicamente factible. De acuerdo con la TIR los inversionistas, en 20 años, tendrán una rentabilidad del 21%. El valor del PRI asciende a 5.8 lo que indica una recuperación de las inversiones iniciales a partir del quinto año.

Para el financiamiento del CAR, con PdC y PS semi-mecanizada, puede recurrirse a BANOBRAS puede otorgar apoyos económicos del 40% (\$24 947 610.00) de las inversiones totales (\$62 369 010.00) con un interés anual del 13% (Tabla H.1.7). Para el CAR, con PdC y PS manual, también se puede obtener crédito del 40% (\$22 591 300.00) de las inversiones totales (\$56 478 240.00) con la misma tasa de interés (Tabla H.2.7).

Las dos propuestas del CAR son económicamente viables; sin embargo, el CAR con separación manual tiene más ventajas en cuanto a costos y utilidades que el CAR con separación semi-mecanizada ya que la primera genera 235 empleos más que la segunda; consume 983 220 kw de energía eléctrica menos, y consume 9676.8 litros de diesel menos y, en cuanto a la utilidad, genera el 6.8% más.

CONCLUSIONES

De la revisión documental que se llevó a cabo a lo largo del trabajo se concluye que los países desarrollados aprovechan el potencial de los RSU con la aplicación de diversas tecnologías de vanguardia. En México los RSU, en su gran mayoría, se depositan en rellenos sanitarios y en tiraderos controlados y a cielo abierto, lo que impide su reciclaje y la obtención de las ventajas ambientales y económicas que esto conlleva. En cuanto al tratamiento de la materia orgánica, en muchos sitios del país se tienen limitaciones para obtener composta de calidad que se destinen a tierras de cultivo y como mejoradora de suelo, debido a la carencia de instalaciones adecuadas y de personal capacitado para producirla.

A pesar de que en México existe normatividad para el tratamiento de los RSU, se carece de disposiciones legales específicas para la operación, construcción y diseño de plantas de selección, de compostaje y de estaciones de transferencia.

Entre las ventajas del CAR, con relación al manejo de los RSU que actualmente se practica en Milpa Alta se encuentra: la reducción del consumo de energía, de agua, de materia prima de primer uso y de gastos relacionados con el traslado de los residuos, a disposición final (gasolina, mantenimiento de los vehículos, horas-hombre), además de la utilidad económica que generan la composta y los residuos inorgánicos separados.

De acuerdo con el estudio de diagnóstico que se llevó a cabo, la estación de transferencia de Milpa Alta es un lugar inadecuado para la instalación del CAR, debido que carece de espacios y cuenta con sólo una vialidad.

Debido a la naturaleza de los RSU y a las características de la delegación Milpa Alta, la planta de composta es la mejor opción para tratar los residuos orgánicos y, la de selección de RSU, para aprovechar los reciclables.

Según proyecciones del Consejo Nacional de Población, Milpa Alta tendrá 208 591 habitantes en el año 2030. Lo que indica que, respecto al 2008 (126 691 habitantes), el incremento en este punto será del 65%. Lo anterior provocará un aumento tanto en la generación de residuos, como en la tasa per cápita, de 128% y 0.23 kg/hab-día respectivamente, tomándose como antecedente que, en el 2008, Milpa Alta tuvo una generación de RSU de 74 000 kg/día y una tasa de generación de 0.58 kg/hab-día.

El número de vehículos recolectores que se utilizaron para llenar los trailers fue diferente en los cuatro muestreos, debido a que varió la cantidad de residuos transportados en cada uno de ellos. Para el caso específico de Milpa Alta, además varió el tipo de vehículos (volteo, camioneta y de carga trasera) que se requirieron, lo que no sucedió en Tlalpan ya que en esta delegación sólo se utilizaron vehículos de carga trasera.

El porcentaje del total de residuos inorgánicos y orgánicos que se pueden recuperar y reciclar es del 73.04 en la delegación Milpa Alta y del 77.94 de Tlalpan.

Los RSU que se reciben en la planta de composta de Milpa Alta tienen un 30% de humedad y un peso volumétrico de 208.85 kg/m^3 (Orta et al, 2009), lo que sirve de base en el cálculo de la cantidad de agua necesaria para llegar al rango comprendido entre el 50 y el 60% de humedad, que se requiere para favorecer su degradación. En cuanto al peso volumétrico, éste no fue representativo para el diseño por tratarse de residuos sólidos mezclados, motivo por el cual se consideró, de 600 kg/m^3 , el peso volumétrico de la composta.

La selección de los equipos requiere considerar costos, capacidades, eficiencia, lugar de venta, existencia de refacciones, características físicas de los RSU; además de las operaciones unitarias que se necesitan en el Centro de aprovechamiento de Residuos (CAR): transporte, separación, trituración, acondicionamiento y pesaje.

La planta semi-mecanizada es más eficiente, en cuanto a la separación de RSU, que la de selección manual, aunque tiene el inconveniente de que el consumo de energía eléctrica, agua y combustible, son más elevados. En el caso de la planta de selección manual, a pesar de que requieren casi 300 trabajadores genera menos costos que la semi-mecanizada, porque como se mencionó, el precio de los insumos de la última es más elevado.

Los métodos de análisis para la ubicación del CAR (Método de momentos, Sistemas de Información Geográficos, y análisis multicriterio), permitieron localizar, en la parte norte de la delegación, sitios ambientalmente factibles para la construcción del CAR.

La propuesta del CAR, con una planta de selección manual de RSU en Milpa Alta, es la que genera más empleos, utilidades económicas, y menos consumo de energía y combustible; además en la planta de composta, que se incluye en las dos propuestas, se pueden tratar todos los residuos orgánicos que se reciban en la estación de transferencia, desde el inicio de la operación del CAR, hasta el año 2030. En el proceso se pueden aprovechar hasta el 73% de los RSU (orgánicos y reciclables).

RECOMENDACIONES

Es necesario elaborar un plan de manejo de los RSU de Milpa Alta en el que se incluyan campañas para que la población separe, de manera conciente, los residuos (orgánicos, inorgánicos y sanitarios), ya que la separación desde la fuente facilita el proceso de selección de los diferentes tipos de residuos que se recolectan, además se evita la contaminación de los residuos reciclables que se produce cuando se mezclan residuos orgánicos con inorgánicos.

Los residuos orgánicos e inorgánicos deben depositarse, en forma separada, en contenedores abiertos con tapadera movable para mejorar, en el caso de los residuos orgánicos, la calidad de la composta que se produce al evitar que las bolsas de plástico, que se usan como contenedores, se mezclen con los residuos orgánicos que se tratan en la planta de composta. Además también debe evitarse que botellas, latas y cartones, se usen como contenedores de otros residuos, ya que con esto se facilita su separación y reciclaje.

Para el manejo de las pilas eléctricas deben colocarse contenedores fuera del Centro de Aprovechamiento de Residuos para que sean depositadas en ellos y, posteriormente recogidas y recicladas por las empresas que se dedican a esta actividad.

Para el traslado de los residuos de la construcción puede firmarse un convenio entre la empresa que los recicla en el Estado de México y el CAR, esto con el propósito de abaratar costos el traslado de los residuos desde Milpa Alta hasta el Estado de México.

Las toallas femeninas y pañales, como residuos biológicos infecciosos, deben separarse desde la fuente, para ser llevados a confinamiento especial.

Como en este trabajo sólo se aborda una propuesta de ingeniería básica se recomienda llevar a cabo una investigación experimental para obtener, por medio del tratamiento de residuos orgánicos, una composta de calidad dirigida a los cultivos y al mejoramiento del suelo de la delegación Milpa Alta.

BIBLIOGRAFÍA

Anthony L. Andrady, PhD (2003). *“Plastics and the environment (on line)”*. Editor Wiley-IEEE. ISBN: 0471095206 9780471095200.

Aquino, John T. (1995). *“Waste age/Recycling times recycling handbook”*. Lewis Publisher. ISBN: 156670068X, 9781566700689.

Arias, Jose Manuel y Sánchez, Elías Perez (2008). *“Tratadoras térmicas de residuos peligrosos: Caso Tabasco (En línea)”*. Asociación Ecológica Santo Tomás, A.C. [Citado el 2 de octubre, 2010].

Asia 3R Conference. (2006). *“Integrated Solid Waste Management in Singapore (on line)”*. National Environment Agency. And Ministry of the Environment & Water Resources Singapore. Available in: http://www.env.go.jp/recycle/3r/en/asia/02_03-3/05.pdf

Barreno et al, 2006. *“Proyecto de inversión para la elaboración de aglomerado a partir del reciclaje de tetrapak”*. Escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil, Ecuador. pp 32 y 33.

Básculas Torrey. (2010). *“Productos en línea”*. México, DF. Disponible en: <http://www.basculas-torrey.com/>

Bio-Sistemas Sustentables sapi de C.V. (2008). *“Resolver integral y sustentablemente el problema de la basura en México (en línea)”*. Nicolás Romero, Estado de México. Disponible en: <http://www.biosistemas.com.mx/> [Citado el 2 de diciembre, 2008].

Björn Appelqvist. (2009). *“Challenging times in transition: The case of Copenhagen”*. Waste management world. Available at: http://www.waste-management-world.com/display_article/359459/123/CRTIS/none/none/1/Challenging-times-in-transition:-The-case-of-Copenhagen/. [Citado el 15 de abril 2009].

Blumenthal, Michael. (2004). "Scrap Tires Fuel U.S. Cement Industry (on line)". Cement americas. Magazine articles. Available at: http://cementamericas.com/mag/cement_scrap_tires/

Campoverde, et al, (2005). "Proyecto de inversión para la implementación de una planta recicladora de envases de vidrio en la ciudad de Guayaquil". Escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil, Ecuador. pp 55-95.

Cano, Alfonso. (2008). "Nueva Planta de Tratamiento de RSU de Alicante". Revista Técnica de Medio Ambiente (RETEMA). Nº 128 julio-agosto de 2008. Disponible en: <http://www.retema.es/articulos/128.php>. [Citado 20 abril,2009].

Castells, Elias Xavier. (2005). "Tratamiento y valorización energética de residuos (en línea)". Fundación Universitaria Iberoamericana. Ediciones Díaz de Santos, España. ISBN: 84-7978-694-9. Disponible en: http://books.google.com.mx/books?id=KBTPxli6lRsC&pg=PR5&dq=Castells,+2005&hl=es&ei=MFcqTY6_OcWblgf38oSeAQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDAQ6AEwAg#v=onepage&q=Castells%2C%202005&f=false

CIMA. (2002). "Reciclaje (en línea)". Cumbre Internacional del medio ambiente. Disponible en: <http://www.cimaecuador.com/reciclaje/reciclaje/reciclaje>

CONAPO. Consejo Nacional de Población. (2010). "Población total de los municipios a mitad de año, 2005-2030 (en línea)". Proyecciones. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=123&Itemid=226. [Citado diciembre 15, 2009].

Corazon, Claudio PB. (2009). "Singapore's National Recycling Programme (on line)". MAP Environment and & Urban Development Committee Available at: http://www.apfed.net/ki/database/doc/RISPO_GP165.pdf. [Citado el 13 de diciembre, 2009]

Cowdin, 2010. "Maquinaria Vial". Cargadores frontales. Disponible en: <http://www.cowdinsa.com/>

De Kadt, Maarten. (2001). *“La gestión de los residuos sólidos de Estados Unidos en la encrucijada. El reciclaje en la rueda de producción”*. Debates ambientales. Residuos. Disponible en: http://biblioteca.hegoa.ehu.es/system/ebooks/10109/original/La_Gestion_de_los_Residuos_Solidos_en_Estados_Unidos.pdf. [Citado el 18 de mayo, 2010].

Díaz, Gabriel, et al (2009). *“Programa de recolección de envases vacíos de agroquímicos”*. Asociación Mexicana de la Industria fitosanitaria. AMIFAC. Disponible en: www.ceagro.org.mx/AMIFAC%20Conservemos%20un%20Campo%20Limpio.ppt

Díaz Ortiz Maricela. (2007) *“Avances y retos en el Distrito Federal en materia del manejo de residuos(en línea)”*. Seminario sobre residuos “De la cuna a la reencarnación”. Dirección de planeación y evaluación de proyectos, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.gemi.org.mx/files/IIISeminario/02%20Marisela%20Diaz%20GDF.pdf>

DGSU. (2008). *“Balance de la gestión integral de los RSU generados (ton/día) en el Distrito Federal”*. Dirección General de Servicios Urbanos del Distrito Federal. [Citado 3 de marzo, 2009].

DGSU. (2009). *“Desgloce de residuos enviados por estación de transferencia en el año 2008”*. Dirección General de Servicios Urbanos del Distrito Federal. [Citado 3 de marzo, 2009]

E. Papachristou et al. (2008). *“Perspectives for integrated municipal solid waste management in Thessaloniki, Greece”*. Laboratory of Environmental Engineering and Planning, Division of Hydraulics and Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, GR-541 24 Thessaloniki, Greece. Waste management 29 (2009). Buscado mayo 2009 en USI.

ECOEMBES. (2007). *“Las plantas de selección automatizadas optimizan el procesamiento de los residuos de envases (en línea)”*. Madrid. Disponible en: <http://www.ecoembes.com/es/Actualidad/noticias/Paginas/plantasdeselecci%C3%B3nautomatizadas.aspx>

EPA, 2009. *“Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States Detailed Tables and Figures for 2008 (on line)”*. U.S. Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery. Available at: <http://www.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/pubs/msw2008data.pdf>. [Citado el 15 de diciembre, 2009]

Epstein, Eliot (1997) *“The Science of Composting”*. Technomic Publishing Inc., Lancaster, Pennsylvania. p. 83.

En entrevista con el Ingeniero Pedro Rodríguez Arellano, encargado de las plantas de composta de la delegación Milpa Alta. [Citado el 10 de enero de 2010].

González, Ana Martínez. (2001). *“Costos y beneficios ambientales del reciclaje en México (en línea)”*. Instituto Nacional de Ecología (INE). Gaceta Ecológica, número 058. Distrito Federal, México. pp. 17-26. ISSN (Versión impresa): 1405-2849
Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/539/53905802/53905802.html>

Groundgrocer, 2010. *“Composting and living soil, products delivered worldwide”*. Available at: <http://www.groundgrocer.com/product.asp?pi=196>

Fernández, Jorge Luis Treviño. (2006). *“Sistema Integral para el manejo ecológico y procesamiento de desechos”*. Director de tecnología y desarrollo de SIMEPRODE. Disponible en: http://www.ine.gob.mx/cclimatico/descargas/bioenergia_12_j_fernandez.pdf

Flores, Victor (2009). *“Selección y recuperación de residuos sólidos reciclables en plantas de selección y aprovechamiento de residuos sólidos del gobierno del DF”*. Secretaría de obras públicas y servicios. Dirección General de Servicios Urbanos. Dirección de transferencia y disposición final. Subdirección de mantenimiento de equipo maquinaria e instalaciones. [citado el 16 de octubre,2009].

Francesco, La Mantia. (2002). *“Handbook of Plastics Recycling (on line)”*. Editor Rapra Technology Limited. First edition. ISBN: 1-85957-325-8. Available at: http://books.google.com.mx/books?id=TBroGJqvgcMC&pg=PR15&dq=Francesco,+2002,+recycle&hl=es&ei=oVoqTcKIN8OAIafp5ZyTAg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDYQ6AEwAg#v=onepage&q=Francesco%2C%202002%2C%20recycle&f=false

Gaggero, E., Ordoñez M. (2010). *“Gestión integral de Residuos sólidos urbanos”*. Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS). DGCyE. Subsecretaría de educación. Disponible en: http://www.opds.gba.gov.ar/uploaded/File/residuos_03_10.pdf [Citado el 15 de junio, 2010].

Gobierno del Distrito Federal. (2008). *“Sistema de Información de Residuos Sólidos 2008”*. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/intranet/privados/sirs/catalogos/catcolonia.php>. Diciembre 2008.

Haug T. Roger, (1993) *“The practical Handbook of Compost Engineering”*, Ed. Lewis Publishers. Capítulo 2. Composting systems. pp 21-91.

HAYER & BOECKER. (2010). *“Información, ensacadoras para sacos de válvulas HAYER”*. <http://www.haverboecker.com>. Disponible en: http://www.haverbrasil.com.br/pdf/esp/ensacadeiras/Ensacadoras_para_sacos_de_valvula.pdf. [Citado 20 de septiembre, 2010].

Hickmann, H. Lanier, Jr. (2003). *“American alchemy: the history of solid waste management in the United States ForesterPress”*. ISBN 9780970768728. Available at: <http://books.google.com/books?id=gEfuG590qNoC>. [Citado el 20 de diciembre 2009]

Herbert, F. Lund. (2001). *“The McGraw-Hill recycling handbook (en línea)”*. Editorial McGraw Hill. Segunda edición. Capítulo 1. pp 1.1-1.2. ISBN 0-07-039156-4. Disponible en: [http://books.google.com.mx/books?id=gIn8o0b6zj0C&pg=SA10-PA12&dq=The+McGraw-Hill+recycling+handbook+\(en+línea\)&](http://books.google.com.mx/books?id=gIn8o0b6zj0C&pg=SA10-PA12&dq=The+McGraw-Hill+recycling+handbook+(en+línea)&). [Citado el 20 de diciembre de 2009].

INEGI. (2005). *“Censo de Población y Vivienda 2005”*. Principales resultados por localidad. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/default.aspx?c=10395&s=est

INEGI. (2009). *“Generación per cápita diaria y anual de residuos sólidos urbanos por zona geográfica, 1998 a 2006”*. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mamb126&c=6123>. (abril, 2009).

INE, Instituto Nacional de Ecología. (2007). *“Experiencias de la producción de composta en México (en línea)”*. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/499/experiencias.html>. Diciembre de 2008.

International, 2010. *“Camiones y Motores International de México Oficinas Corporativas”*. México, D.F. Disponible en: <http://www.internationalcamiones.com>

JICA. Agencia de Cooperación Internacional del Japón. (1999). *“Estudio sobre el manejo de los residuos sólidos para la ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos”*. Informe Final volumen 1.

Jirang Cui. (2002). *“Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review”*. Division of Mineral Processing, Luleå University of Technology, SE-971 87 Luleå, Sweden. *Journal of Hazardous Materials B99* (2003) 243–263

Kiely, Gerard. (1999). *“Ingeniería ambiental, fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión”*. Editorial Mc Graw-Hill. Segunda edición. pp 898-908.

Kreith, Frank. *“Handbook of Solid Waste Management”*. E.U.A. 1994.

Leonard, Jerry. (2008). *“The Edmonton Waste Management Centre (on line)”*. EWMCE Executive Manage. Available at: http://www.edmonton.ca/for_residents/garbage_recycling/edmonton-waste-management-centre.aspx. Edmonton Waste Management Centre of Excellence. Available at: <http://www.ewmce.com/about-ewmce>

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Última reforma publicada el 19 de junio de 2007.

Ley de Residuos sólidos del Distrito Federal (LRSDF). Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 22 de abril de 2003.

Mavropoulos, Antonis. (2009). *"Why there is no incineration in Greece (on line)"*. CEO EPEM SA. Vice President of Hellenic Solid Waste Management Association. Available at: <http://www.scribd.com/doc/4909382/Why-There-is-No-Incineration-in-Greece>. [Citado el 15 de abril 2009].

McQuaid-Cook, et al. (1989). *"Development and Operation of a Waste Management System in Alberta, Canada (en línea)"*. Waste Management & Research, Vol. 7, No. 1, 219-227 (1989). DOI: 10.1177/0734242X8900700129

Melendo, Javier A., Arbonés, Nieves, et al. (2002). *"Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza (en línea)"*. Editorial Paidotribo. Primera Edición. Pp11-36. Barcelona. ISBN: 84-8019-592-4.

Montoya Gomez, Javier (2008). *"Planta de composta UNAM, otras plantas en México y en el extranjero (en línea)"*. Secretaría Administrativa, Dirección general de Obras y Conservación. UNAM. Disponible en: http://www.obras.unam.mx/cecolog/composta_intr_i.html. [Citado en Febrero, 2009].

Moreno Casco, J. y Moral Herrero, R. (Edit. Cient.).(2007). *"Compostaje (en línea)"*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa, 2008. 570p. ISBN: 978-84-8476-346-8. Disponible en: http://books.google.com.mx/books?id=V2x2hEfBbboC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Joaqu%C3%ADn+Moreno+Casco%22&hl=es&ei=_IQqTa61EML7IwfTybiiAQ&sa=X&oi=book_result&ct=book-thumbnail&resnum=1&ved=0CCoQ6wEwAA#v=onepage&q&=false

Muirurip, Billy. (2010). *"Tonnes of fertiliser going to waste (on line)"*. Nairobi. Daily Nation. Nation Media Group Staying true to you. Available at: <http://www.nation.co.ke/News/Tonnes%20of%20fertiliser%20going%20to%20waste%20/-/1056/1026096/-/view/printVersion/-/8m0qcr/-/index.html>. [Citado en octubre 2010].

Mwesigye, Patrick.(2009). *"Africa review report on waste management Main report (on line)"*. United Nations Economic and Social Council. Sixth Session of the committee on food security and sustainable Development (CFSSD-6)/Regional Implementation Meeting (RIM) for CSD-18. Addis Adaba, Ethiopia.

National Environment Agency (NEA).(2001). *"National Recycling Programme (NRP)"*.

Narayana, Tapan. (2009). *"Municipal solid waste management in India: From waste disposal to recovery of resources?"*. National Law University. Waste Management 29 (2009) 1163–1166. Contents lists available at: ScienceDirect, Waste Management journal homepage: www.elsevier.com/locate/wasman. [Citado el 13 de diciembre, 2009]

Nippon steel engineering. (2008). *"Waste treatment and recycling plants (on line)"*. Japan. Available at: <http://www.nsc-eng.co.jp/english/business/pdf/environment.pdf>. [Citado el 15 de diciembre de 2008].

Norma Mexicana. **NMX-AA-16-1984.** Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Humedad.¶

Norma Mexicana. **NMX-AA-22-1985.** Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos.

Norma Mexicana **NMX-AA-19-1985.** Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Peso Volumétrico "IN SITU".

Expedición: 18 de marzo de 1985, D.O.F.

Norma Mexicana **NMX-AA-61-1985,** Protección al ambiente- Contaminación del suelo- Residuos sólidos municipales- Determinación de la generación

Norma Mexicana. **NMX-AA-15- 1985**. Protección al ambiente- Contaminación del suelo- Residuos sólidos municipales-Muestreo- Método de cuarteo.

Norma Mexicana. **NMX-E-232-SCFI-1999**. Industria del plástico - reciclado de plásticos - simbología para la identificación del material constitutivo de artículos de plástico – nomenclatura.

Norma Oficial Mexicana **NOM-083-SEMARNAT-2003**, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Norma Oficial Mexicana. **NOM-098-SEMARNAT-2002**. Protección ambiental-incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.

Norma Técnica Estatal Ambiental. **NTEA-006-SMA-RS-2006**. que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos

Norma Técnica Estatal Ambiental. **NTEA-010-SMA-RS-2008**. Establece los requisitos y especificaciones para la instalación, operación y mantenimiento de infraestructura para el acopio, transferencia, separación y tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para el Estado de México.

ORTA, María Teresa y Rojas-Valencia, María Neftalí., et al, (2009). *“Estudio para actualizar la composición y generación de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal”*. Instituto de Ingeniería UNAM. Elaborado para el Instituto de Ciencia y Tecnología del DF. [Citado marzo 27, 2009]

P. Aarne Vesilind, Alan E. Rimer; Prentice-Hall. (1981). *“Unit Operation in Resource Recovery. Engineering”*. Published March 1st 1981 by Prentice Hall. ISBN 0139379533 (ISBN13: 9780139379536).

Padilla, Jorge (2008). *“Para SIMEPRODE nada es basura todo es materia prima”*. Sistema integral para el manejo ecológico y procesamiento de desechos SIMEPRODE.

Parmentier, Remi. (1997). *"History of Ocean Dumping". Greenpeace International. September 1997*". Available at: <http://archive.greenpeace.org/odumping/radioactive/reports/history.html>. [Citado el 13 de diciembre, 2009]

PGIRS (2004-2009). *"Actualización del programa de gestión integral de los residuos sólidos para el Distrito Federal"*. Primer producto. Gobierno del Distrito Federal. IPN.SEMARNAT.[Citado en julio, 2009].

PGIRSDF (2004-2009). *"Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito Federal"*. [Citado junio 15, 2010].

Pokhrel, T. Viraraghavan. (2005). *"Municipal solid waste management in Nepal: practices and challenges"*. Faculty of Engineering, University of Regina, Waste Management 25 (2005) 555–562. [Citado el 13 de diciembre, 2009]

Programa delegacional de desarrollo urbano de Milpa Alta. Estados Unidos Mexicanos. Presidencia de la República.

Programa delegacional de desarrollo urbano de Milpa Alta. Estados Unidos Mexicanos. Presidencia de la República.

Rodriguez, Marcos, Córdova, Velazques. (2006). *"Tratamiento de residuos sólidos urbanos"*. Manual de compostaje municipal. SEMARNAT. INE. GTZ.

Rhyner, Charles R, et al. (1995). *"Waste management and resource recovery"*. Lewis Publisher. ISBN. 0873715721, 9780873715720.

Sánchez, Lino. (2004). *"Experiencia del gobierno de la Delegación Tlalpan del D.F. en la implementación y seguimiento del programa piloto de separación de residuos sólidos"*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería.Coordinación de Bioprocesos Ambientales. Gobierno del Distrito Federal, Delegación Tlalpan. Dirección General De Servicios Urbanos. [Consultado en Octubre de 2008].

Sánchez, Jorge et al (1996). “Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas (en línea)”. Publicación conjunta del Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Asociación Mexicana para el control de residuos sólidos y peligrosos, A.C., Serie: Cuadernos de trabajo 5. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/download/105.pdf>. [Citado en mayo, 2010].

Sancho y Cervera, et al. (2005). “El Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en México”. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).

Schlesinger, Mark.(2007).”*Recycling and waste processing: proceedings of symposium (on line)*”. Editor TMS, 2007. Universidad Estatal de Pensilvania. ISBN: 0873396766 9780873396769. pp 120.

Schmitz, CH. (2006). “*Handbook of aluminium recycling (on line)*”. Fundamentals Mechanical Preparation Metallurgical Processing Plant Design. ISBN 10: 3-8027-2936-6 e ISBN 13: 978-3-8027-2936-2. Available at: http://books.google.com.mx/books?id=WvT2Oef8DskC&printsec=frontcover&dq=aluminium+recycling&hl=es&ei=ATexTKzOFoH8AbP_rnBDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CDcQ6AEwAQ#v=onepage&q&f=false

SEGOB, Secretaría de Gobernación. (2010). “*Comunicado de prensa, boletín 347*”. México, DF. 20/08/2010. Dirección General de Comunicación Social. Disponible en: http://www.gobernacion.gob.mx/es/SEGOB/Sintesis_Informativa?uri=http://www.SEGOB.swb%23swbpress_Content:2291&cat=http://www.SEGOB.swb%23swbpress_Category:1 [Citado el 20 de septiembre, 2009].

Shulman, V.L. (2004).”*Tyre Recycling (on line)*”.Volume 15, number 7. Rapra review reports. Series Editor Dr. Sally Humphreys, Rapra Technology Limited. ISSN: 0889-3144. Available at: http://books.google.com.mx/books?id=Ku_24v6ZKlgC&printsec=frontcover&dq=Shulman,+2004&hl=es&ei=fEoqTdm5OsKclgfH29j9AQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=0CE8Q6AEwCA#v=onepage&q=Shulman%2C%202004&f=false

Sistema de información de residuos sólidos. (2006). *“Catálogo de destinos de infraestructura (en línea)”*. Gobierno del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/intranet/privados/sirs/catalogos/di.php>

Stoffella, Peter J., Kahn, Brian A. (2004). *“Utilización de compost en los Sistemas de Cultivos Hortícolas (en línea)”*. Editorial Mundi-Prensa Barcelona. Madrid España. P.17-50. ISBN: 84-8476-186-X. Disponible en: http://books.google.com.mx/books?id=qiVQOERQSOIC&pg=PA184&lpg=PA184&dq=composta+restauracion+suelos&source=bl&ots=riYB7kiQ5v&sig=l3VChLLVBTzZrnKXOewXGah6llc&hl=es&ei=6i-wTJzSF5GFIfDqaG7Dw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CBcQ6AEwAQ#v=onepage&q&f=false

Stwatzbaugh, Joseph, S. Duvall, Donovan. (1993). *“Material recovery facilities for municipal solid waste”*. Handbook. United States. Environmental Protection Agency. EPA 625/6-91/031.

Tasa de crecimiento: <http://www.worldbank.org/depweb/spanish/modules/basicdata/datancenbasic.html>

Tchobanoglous, G. (1993). *“Integrated Solid Waste Management”*. Mc. Graw-Hill. Tomo I. pp 221-260.

Wang, Li ao (2009). *“Management of municipal solid waste in the Three Gorges region”*. A College of Resources and Environmental Science in Chongqing University, Chongqing 400030, China. [Citado el 13 de diciembre, 2009]

Wehenpohl, Gunther J et al. (1999). *“Análisis del mercado de los residuos sólidos municipales reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo (en línea)”*. Deutsche Gesekkschaft Für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ). Secretaría de Ecología Dirección General de Normatividad y apoyo técnico. Disponible en: http://www.giresol.org/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=49&Itemid=2

ANEXO A. Tabla de peso volumétrico de los RSU

En este anexo, se observan los pesos volumétricos de los RSU mezclados y por separado, además, de algunas características como compactados o triturados que sirven de referencia para el diseño de los almacenes. También se observa el cálculo del volumen que dichos residuos ocuparán según la generación de RSU en la delegación Milpa Alta y dos posibles dimensiones de los almacenes, considerando un metro de altura de los residuos.

Tabla A.1. Peso volumétrico de los RSU.

Residuo	Peso volumétrico típico (kg/m ³)	kg/día recibidos	Volumen (m ³)	Área requerida con un metro de altura	Largo requerido con 10 m de ancho	Largo requerido con 20 m de ancho
Residuos domiciliarios	291.0	169058.0	581.0	581.0	58.1	29.0
Residuos de jardinería	540.0		0.0	0.0	0.0	0.0
Madera	237.0	3466.0	14.6	14.6	1.5	0.7
Papel y cartón	50.0	23524.0	470.5	470.5	47.0	23.5
Plásticos	65.0	20897.0	321.5	321.5	32.1	16.1
Textiles	65.0	8003.0	123.1	123.1	12.3	6.2
Vidrio	196.0	4906.0	25.0	25.0	2.5	1.3
Latas de hojalata	89.0	3180.0	35.7	35.7	3.6	1.8
Otros metales	280.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Revista	208.0	429.0	2.1	2.1	0.2	0.1
Papel bond	208.0	2593.0	12.5	12.5	1.2	0.6
Papel periódico	197.2	962.0	4.9	4.9	0.5	0.2
Cartón liso	145.3	7136.0	49.1	49.1	4.9	2.5
Cartón corrugado	145.3	2651.0	18.2	18.2	1.8	0.9
Otros cartones	145.3	3954.0	27.2	27.2	2.7	1.4
Envases multicapas	145.3	5802.0	39.9	39.9	4.0	2.0
Vidrio transparente	207.6	3180.0	15.3	15.3	1.5	0.8
Vidrio de color	228.3	1726.0	7.6	7.6	0.8	0.4
Vidrio semi-triturado	415.1	4906.0	11.8	11.8	1.2	0.6
Vidrio triturado mecánicamente 1-1/2"	747.2	4906.0	6.6	6.6	0.7	0.3
Vidrio triturado para fundir (¼")	1120.9	4906.0	4.4	4.4	0.4	0.2
Latas de aluminio normal	20.8	308.0	14.8	14.8	1.5	0.7
Latas de aluminio compactada	72.6	308.0	4.2	4.2	0.4	0.2
Lata de metal normal	62.3	3180.0	51.1	51.1	5.1	2.6
Lata de metal compactada	352.9	3180.0	9.0	9.0	0.9	0.5
PET normal	14.1	7242.0	513.1	513.1	51.3	25.7
PET compactado	31.1	7242.0	232.6	232.6	23.3	11.6
HDPE normal color natural	12.5	6225.0	499.8	499.8	50.0	25.0
HDPE compactado color natural	27.0	6225.0	230.7	230.7	23.1	11.5
HDPE normal de color	18.7	6225.0	333.2	333.2	33.3	16.7
HDPE compactado de color	37.4	6225.0	166.6	166.6	16.7	8.3

La tabla A.2. Muestra los precios que se consiguieron en distintas empresas que compran los residuos en el Distrito Federal.

Tabla A.2. Precio de compra de los residuos reciclables.

Residuo recuperado	Precio de compra en el mercado (\$/kg)
Archivo blanco	1.75-2.5
Archivo color	1.2-1.50
Archivo muerto	0.85
Cartón	0.85-1.20
Cartón con flete para cinco toneladas	1.2
Corrugado	0.80-1.00
Periódico	1.15-1.40
Papel bond (blanco)	2.00
Revista	0.85-1.50
PET	2.00-3.20
PET con flete	3.5
HDPE (soplado)	2.00
Inyección	2-2.5
Material ferroso	2.00
Lata aluminio	13.00
Lata metálica	2.00-2.20
Vidrio	0.95
Envases multicapas	0.50

ANEXO B Clasificación de las colonias de Tlalpan por estrato socio-económico

Tabla B.1. Colonias de la delegación Tlalpan con sus respectivos niveles de marginación y estrato socioeconómico.

CLAVE DEL MAPA	ZONA	ESTRATO SOCIOECONOMICO
12-001-1	Ampliación Isidro Fabela.	Medio
12-002-1	Arboledas del Sur.	Medio
12-003-1	Arenal Guadalupe ex ejido Huipulco.	Alto
12-004-1	Arenal Tepepan.	Alto
12-005-1	Belisario Domínguez.	Alto
12-006-1	Barrio el trueno.	Medio
12-007-1	Barrio la Lonja.	Medio
12-008-1	Barrio San Fernando	Bajo
12-009-1	Bel Verdere	Bajo
12-010-1	Bosques del Pedregal.	Bajo
12-011-1	Camisetas	Alto
12-012-1	Cantera.	Alto
12-013-1	Cantera Puente de piedra.	Bajo
12-014-1	Chichicarpa	Bajo
12-015-1	Chimalcoyoc	Alto
12-016-1	Chimilli Mirador II	Bajo
12-017-1	Coactecan	Bajo
12-018-1	Colinas del bosque Fresnos.	Alto
12-019-1	Conjunto Infonavit Cuernavaca.	Alto
12-020-1	Conjunto Urbano Coapa.	Alto
12-021-1	Corrales.	Alto
12-022-1	Cruz del farol	Bajo
12-023-1	Cuchilla de Padierna.	Bajo
12-024-1	Cuevitas	Alto
12-025-1	Cuicuilco pedregal.	Alto
12-026-1	Cuilotepec Pedregal	Bajo
12-027-1	Cultura Maya	Bajo
12-028-1	De vergel y Coapa	Alto
12-029-1	Dos de Octubre	Bajo
12-030-1	Ejidos de San Pedro.	Bajo
12-031-1	El capulín	Bajo
12-032-1	El metro.	Alto
12-033-1	El mirador.	Bajo
12-034-1	El mirador, primera sección.	Medio
12-035-1	El mirador tercera sección.	Medio
12-036-1	El mirador 1	Bajo
12-037-1	El zapatón	Bajo
12-038-1	Equipamiento Colegio Militar.	Alto
12-039-1	Ex –hacienda San Juan de Dios.	Medio
12-040-1	Floresta Coyoacán Prados Coapa.	Alto
12-042-1	Fraccionamiento Club Golf México.	Alto
12-043-1	Fraccionamiento condominio del Bosque.	Alto
12-044-1	Fraccionamiento Fuentes del Pedregal.	Alto
12-045-1	Fraccionamiento Jardines de la Montaña.	Alto
12-046-1	Fraccionamiento Rancho Los Colorines.	Alto

Tabla B.1. Continuación... Colonias de la delegación Tlalpan con sus respectivos niveles de marginación y estrato socioeconómico.

CLAVE DEL MAPA	ZONA	ESTRATO SOCIO-ECONÓMICO
12-047-1	Fraccionamiento Rincón del Pedregal.	Alto
12-048-1	Fraccionamiento Gabriel Ramos Millón.	Alto
12-049-1	Granjas Coapa Magisterial.	Alto
12-050-1	Granjas Coapa Oriente, rinconada Coapa.	Alto
12-051-1	Guadalupe Tlalpan	Medio
12-052-1	Hacienda Coapa	Alto
12-053-1	Hacienda San Juan	Alto
12-054-1	Héroes de Padierna Oriente.	Medio
12-054-2	Héroes Padierna Poniente.	Bajo
12-055-1	Isidro Fabella	Bajo
12-056-1	Jardines de Xitle María Esther Zuno.	Bajo
12-057-1	Jardines del Ajusco.	Alto
12-058-1	Jardines Tlalpan	Alto
12-059-1	JardinesVilla Coapa.	Alto
12-060-1	La fama	Alto
12-061-1	La fama II	Medio
12-062-1	La joya	Alto
12-063-1	Las hadas, residencial Coapa.	Alto
12-064-1	Villa Lázaro Cárdenas.	Alto
12-065-1	Lomas Altas de Padierna.	Bajo
12-066-1	Lomas de Padierna	Bajo
12-067-1	Lomas Hidalgo	Bajo
12-068-1	Los encinos.	Bajo
12-069-1	Los volcanes.	Medio
12-070-1	Lotería Tenorios Fovisste.	Alto
12-071-1	Magdalena Petlalcalco.	Bajo
12-072-1	Mesa los hornos.	Bajo
12-073-1	Miguel Hidalgo	Medio
12-074-1	Miguel Hidalgo Primera sección.	Alto
12-075-1	Miguel Hidalgo Segunda sección.	Bajo
12-076-1	Miguel Hidalgo Tercera sección.	Bajo
12-077-1	Miguel Hidalgo Villa Olímpica.	Alto
12-078-1	Mirador del Valle.	Bajo
12-079-1	Misiones Tlalpan	Medio
12-080-1	Narciso Mendoza Manzana 2.	Medio
12-081-1	Narciso Mendoza manzana 6.	Alto
12-082-1	Narciso Mendoza manzana 7.	Alto
12-083-1	Narciso Mendoza manzana 1	Alto
12-084-1	Narciso Mendoza Supermanzana 3.	Alto
12-085-1	Niño Jesús.	Alto
12-086-1	Nuevo Renacimiento de Axalco.	Bajo
12-087-1	Oriental Coapa Residencial Acoxa.	Alto
12-088-1	Paraje 38.	Bajo
12-089-1	Paraje Tetecón	Medio
12-090-1	Parres el Guarda.	Bajo

Tabla B.1. Continuación... Colonias de la delegación Tlalpan con sus respectivos niveles de marginación y estrato socioeconómico.

CLAVE DEL MAPA	ZONA	ESTRATO SOCIOECONOMICO
12-091-1	Pedregal de Las Águilas.	Bajo
12-092-1	Pedregal de Santa Úrsula Xitla.	Bajo
12-093-1	Pedregal del Lago.	Alto
12-094-1	Pedregal, San Nicolás, primera sección.	Bajo
12-095-1	Pedregal San Nicolás, Segunda sección.	Bajo
12-096-1	Pedregal San Nicolás, Tercera sección.	Bajo
12-097-1	Pedregal San Nicolás, Cuarta Sección.	Bajo
12-098-1	Popular Santa Teresa.	Bajo
12-099-1	Prado Coapa, segunda sección.	Alto
12-100-1	Primavera verano.	Bajo
12-101-1	Chimalcoyoc, pueblo canela	Medio
12-102-1	Pueblo quieto.	Bajo
12-103-1	Real del Sur.	Alto
12-104-1	Residencial Villa Coapa.	Alto
12-105-1	Rinconada Coapa Primera Sección.	Alto
12-106-1	Rómulo Sánchez.	Bajo
12-107-1	San Andrés Totoltepec Oriente.	Bajo
12-107-2	San Andrés Totoltepec Poniente.	Bajo
12-108-1	San Bartolo Chico Coapa.	Alto
12-109-1	San Buenaventura	Alto
12-110-1	San Juan Tepeximilpa	Bajo
12-111-1	San Lorenzo Huipulco.	Alto
12-112-1	San Miguel Ajusco.	Bajo
12-113-1	San Miguel Topilejo.	Bajo
12-114-1	San Miguel Xicalco.	Bajo
12-115-1	San Pedro Mártir.	Bajo
12-116-1	San Pedro Martir Foviste.	Alto
12-117-1	Santo Tomás Ajusco.	Bajo
12-118-1	Sección XVI	Alto
12-119-1	San Pedro Apostol	Alto
12-120-1	Solidaridad	Bajo
12-121-1	Santa Úrsula Xitla.	Alto
12-122-1	Tecorral	Bajo
12-123-1	Tenorios Infonavit I	Alto
12-124-1	Tenorios Infonavit II	Alto
12-125-1	Cumbres de Tepetongo.	Bajo
12-126-1	Tlalcoligia.	Bajo
12-127-1	Tlalmille.	Bajo
12-128-1	Tlalpan	Alto
12-129-1	Tlalpuente.	Medio
12-130-1	Toriello Guerra	Alto
12-131-1	Torres de Padierna	Bajo
12-132-1	Tres fuentes.	Alto
12-133-1	U. H. el Zapote.	Bajo
12-134-1	U. H. Hueso Periférico.	Alto
12-135-1	U. H. Pemex Picacho.	Alto
12-136-1	U. H. Residencial Insurgentes Sur.	Alto

Tabla B.1. Continuación... Colonias de la delegación Tlalpan con sus respectivos niveles de marginación y estrato socioeconómico.

CLAVE DEL MAPA	ZONA	ESTRATO SOCIOECONOMICO
12-137-1	U. H. Sauzales Cebadales.	Alto
12-138-1	U. H. Fuentes Brotantes.	Alto
12-139-1	Valle Tepepan Xolalpan.	Medio
12-140-1	Vergel de Coyoacán.	Alto
12-141-1	Vergel del Sur.	Alto
12-142-1	Villa Cuemanco	Alto
12-143-1	Villa del puente.	Alto
12-144-1	Villa Royale.	Alto
12-145-1	Prado Coapa, tercera sección.	Alto

ANEXO C. Lista ampliada de subproductos a analizar en el estudio de composición

La tabla C.1. Muestra la lista de subproductos que se utilizó para el estudio de composición. La cual fue modificada de la Norma Mexicana NMX-AA-22-1985.

Tabla C.1. Comparación de la NMX-AA-22-1985 con la lista ampliada de subproductos.

Clasificación de residuos	NMX-AA-22-1985	Lista ampliada de subproductos
Residuos reciclables	Vidrio	
	De color y transparente	De color y transparente
	Metales ferrosos	
	Metal ferroso	Metal ferroso Lata metálica
	Metales no ferrosos	
	Lata Metal no ferroso	Lata aluminio
	Plásticos	
	Plástico rígido y de película Poliuretano Poliestireno expandido	PET (Polietilen -tereftalato) HDPE-PEAD (Polietileno de alta densidad) PVC (Policloruro de vinilo) LDPE-PEBD (Polietileno de baja densidad) PS (Poliestireno)
	Papel	
	Papel	Periódico Revista Papel Bond
	Cartón	
	Cartón Envase de cartón encerado	Envase de cartón Envases multicapas Cartón corrugado Cartón liso
	Hule	
	Hule	Llantas de automóvil Llantas de camioneta Otros hules
	Residuos de la construcción	
	Material de construcción Loza y cerámica	De la construcción Loza y cerámica
	Residuos textiles	
Algodón	Algodón	
Fibras sintéticas	Fibra sintética	
Trapo	Trapo	

Tabla C.1. Continuación... Comparación de la NMX-AA-22-1985 con la lista ampliada de subproductos.

Clasificación de residuos	NMX-AA-22-1985	Lista ampliada de subproductos
Residuos orgánicos	Alimenticios	Alimenticios
	Hueso	Hueso
	Fibra dura vegetal (esclerenquima)	Fibra dura vegetal
	Residuos de jardinería	De jardinería
	Madera	Madera
Residuos sanitarios	Pañal desechable	Pañal desechable y toallas femeninas Papel higiénico
Otros residuos	Cuero	Cuero
	Residuo fino (todo material que pase la criba M 2.00)	Residuo Fino Residuo grueso
	Otros	Otros residuos
		Tenis
Zapatos		
Residuos electrónicos	No se estudian	Residuos electrónicos

ANEXO D. Proyección de RSU

En las tablas siguientes, se observan las proyecciones hasta el año 2030 de los residuos, por grupo y por subproducto, tanto para la delegación Milpa Alta.

Tabla D.1. Proyección de población y residuos por grupos que llegan a la estación de transferencia Milpa Alta.

RSU RECIBIDOS EN LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA				PORCENTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS						
Año	Habitantes	kg hab.día	kg día	Alimenticios (33.11 %)	De jardinería (1.21%)	Madera (2.05%)	Hueso (0.65%)	Fibra dura vegetal (2.31 %)	Total RO (39.33%)	De la construcción (3.75%)
2008	126 691	0.584	74000	24503	897	1518	480	1709	29106	2772
2009	130 518	0.593	77379	25620	936	1586	503	1787	30433	2902
2010	134 361	0.602	80852	26770	978	1657	526	1868	31799	3032
2011	138 217	0.611	84420	27951	1021	1731	549	1950	33202	3166
2012	142 079	0.620	88081	29163	1066	1806	573	2035	34642	3303
2013	145 944	0.629	91834	30406	1111	1883	597	2121	36118	3444
2014	149 808	0.639	95679	31679	1158	1961	622	2210	37631	3588
2015	153 667	0.648	99616	32983	1205	2042	648	2301	39179	3736
2016	157 520	0.658	103645	34317	1254	2125	674	2394	40764	3887
2017	161 364	0.668	107767	35682	1304	2209	700	2489	42385	4041
2018	165 195	0.678	111981	37077	1355	2296	728	2587	44042	4199
2019	169 007	0.688	116283	38501	1407	2384	756	2686	45734	4361
2020	172 797	0.698	120674	39955	1460	2474	784	2788	47461	4525
2021	176 563	0.709	125154	41438	1514	2566	814	2891	49223	4693
2022	180 298	0.719	129718	42950	1570	2659	843	2996	51018	4864
2023	183 999	0.730	134367	44489	1626	2755	873	3104	52846	5039
2024	187 660	0.741	139096	46055	1683	2851	904	3213	54706	5216
2025	191 277	0.752	143904	47646	1741	2950	935	3324	56597	5396
2026	194 846	0.764	148787	49264	1800	3050	967	3437	58518	5580
2027	198 365	0.775	153747	50906	1860	3152	999	3552	60469	5766
2028	201 831	0.787	158780	52572	1921	3255	1032	3668	62448	5954
2029	205 241	0.798	163884	54262	1983	3360	1065	3786	64456	6146
2030	208 591	0.810	169058	55975	2046	3466	1099	3905	66490	6340

Tabla D.2 Proyección de población y residuos por grupos que llegan a la estación de transferencia Milpa Alta.

RSU RECIBIDOS EN LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA				PORCENTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS						
Año	Habitantes	kg hab.día	kg día	Algodón (1.92%)	Pañal desechable, toallas femeninas (3.51%)	Papel higiénico (6.49%)	Residuos sanitarios (11.93%)	Pilas eléctricas (0.09 %)	Residuos peligrosos (0.09%)	Residuos electrónicos (0.487%)
2008	126 691	0.584	74000	1424	2600	4804	8827	66	66	361
2009	130 518	0.593	77379	1486	2716	5022	9231	70	70	377
2010	134 361	0.602	80852	1552	2838	5247	9646	73	73	394
2011	138 217	0.611	84420	1621	2963	5479	10071	76	76	411
2012	142 079	0.620	88081	1691	3092	5716	10508	79	79	429
2013	145 944	0.629	91834	1763	3223	5960	10956	83	83	447
2014	149 808	0.639	95679	1837	3358	6210	11415	86	86	466
2015	153 667	0.648	99616	1913	3497	6465	11884	90	90	485
2016	157 520	0.658	103645	1990	3638	6727	12365	93	93	505
2017	161 364	0.668	107767	2069	3783	6994	12857	97	97	525
2018	165 195	0.678	111981	2150	3931	7268	13359	101	101	545
2019	169 007	0.688	116283	2233	4082	7547	13873	105	105	566
2020	172 797	0.698	120674	2317	4236	7832	14396	109	109	588
2021	176 563	0.709	125154	2403	4393	8122	14931	113	113	609
2022	180 298	0.719	129718	2491	4553	8419	15475	117	117	632
2023	183 999	0.730	134367	2580	4716	8720	16030	121	121	654
2024	187 660	0.741	139096	2671	4882	9027	16594	125	125	677
2025	191 277	0.752	143904	2763	5051	9339	17168	130	130	701
2026	194 846	0.764	148787	2857	5222	9656	17750	134	134	725
2027	198 365	0.775	153747	2952	5397	9978	18342	138	138	749
2028	201 831	0.787	158780	3049	5573	10305	18942	143	143	773
2029	205 241	0.798	163884	3147	5752	10636	19551	147	147	798
2030	208 591	0.810	169058	3246	5934	10972	20169	152	152	823

Tabla D.3. Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta.

RSU RECIBIDOS EN LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA				PORCENTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS						
Año	Habitantes	kg hab.día	kg día	Llantas de automóvil (1.36%)	Llantas de camioneta (0.377%)	Otros hules (0.246%)	Total de hule (1.983%)	Metal ferroso (0.487)	Tenis (0.271%)	Zapatos (0.847%)
2008	126 691	0.584	74000	1007	279	182	1468	361	201	627
2009	130 518	0.593	77379	1052	292	190	1534	377	210	655
2010	134 361	0.602	80852	1100	305	199	1603	394	219	685
2011	138 217	0.611	84420	1148	318	208	1674	411	229	715
2012	142 079	0.620	88081	1198	332	217	1747	429	239	746
2013	145 944	0.629	91834	1249	346	226	1821	447	249	778
2014	149 808	0.639	95679	1301	361	235	1897	466	259	810
2015	153 667	0.648	99616	1355	376	245	1975	485	270	844
2016	157 520	0.658	103645	1410	391	255	2055	505	281	878
2017	161 364	0.668	107767	1466	406	265	2137	525	292	913
2018	165 195	0.678	111981	1523	422	275	2221	545	303	948
2019	169 007	0.688	116283	1581	438	286	2306	566	315	985
2020	172 797	0.698	120674	1641	455	297	2393	588	327	1022
2021	176 563	0.709	125154	1702	472	308	2482	609	339	1060
2022	180 298	0.719	129718	1764	489	319	2572	632	352	1099
2023	183 999	0.730	134367	1827	507	331	2664	654	364	1138
2024	187 660	0.741	139096	1892	524	342	2758	677	377	1178
2025	191 277	0.752	143904	1957	543	354	2854	701	390	1219
2026	194 846	0.764	148787	2024	561	366	2950	725	403	1260
2027	198 365	0.775	153747	2091	580	378	3049	749	417	1302
2028	201 831	0.787	158780	2159	599	391	3149	773	430	1345
2029	205 241	0.798	163884	2229	618	403	3250	798	444	1388
2030	208 591	0.810	169058	2299	637	416	3352	823	458	1432

Tabla D.4. Continuación... Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta.

RSU RECIBIDOS EN LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA				PORCENTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS						
Año	Habitantes	kg hab.día	kg día	Residuos reutilizables (1.118%)	PET (Polietilen - tereftalato) (4.284%)	HDPE-PEAD (Polietileno de alta densidad) (3.682%)	PVC (Policloruro de vinilo) (0.665%)	LDPE-PEBD (Polietileno de baja densidad) (3.314%)	PS (Poliestireno) (0.415%)	Total de plásticos (12.361%)
2008	126 691	0.584	74000	828	3170	2725	492	2452	307	9147
2009	130 518	0.593	77379	865	3315	2849	515	2564	321	9565
2010	134 361	0.602	80852	904	3464	2977	538	2679	336	9994
2011	138 217	0.611	84420	944	3617	3108	561	2798	350	10435
2012	142 079	0.620	88081	985	3773	3243	586	2919	366	10888
2013	145 944	0.629	91834	1027	3934	3381	611	3043	381	11352
2014	149 808	0.639	95679	1070	4099	3523	636	3171	397	11827
2015	153 667	0.648	99616	1114	4268	3668	662	3301	413	12314
2016	157 520	0.658	103645	1159	4440	3816	689	3435	430	12812
2017	161 364	0.668	107767	1205	4617	3968	717	3571	447	13321
2018	165 195	0.678	111981	1252	4797	4123	745	3711	465	13842
2019	169 007	0.688	116283	1300	4982	4282	773	3854	483	14374
2020	172 797	0.698	120674	1349	5170	4443	802	3999	501	14917
2021	176 563	0.709	125154	1399	5362	4608	832	4148	519	15470
2022	180 298	0.719	129718	1450	5557	4776	863	4299	538	16034
2023	183 999	0.730	134367	1502	5756	4947	894	4453	558	16609
2024	187 660	0.741	139096	1555	5959	5122	925	4610	577	17194
2025	191 277	0.752	143904	1609	6165	5299	957	4769	597	17788
2026	194 846	0.764	148787	1663	6374	5478	989	4931	617	18392
2027	198 365	0.775	153747	1719	6587	5661	1022	5095	638	19005
2028	201 831	0.787	158780	1775	6802	5846	1056	5262	659	19627
2029	205 241	0.798	163884	1832	7021	6034	1090	5431	680	20258
2030	208 591	0.810	169058	1890	7242	6225	1124	5603	702	20897

Tabla D.5. Continuación... Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta.

RSU RECIBIDOS EN LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA				PORCENTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS							
Año	Habitantes	kg hab.día	kg día	Cuero (0.051%)	Residuo Fino (2.051%)	Residuo grueso (2.254%)	Fibra sintética (2.098%)	Trapo (2.636%)	Losa y cerámica (0.496%)	Otros residuos (9.585%)	Residuos reciclables (33.713%)
2008	126 691	0.584	74000	38	1518	1668	1552	1950	367	7093	24948
2009	130 518	0.593	77379	39	1587	1744	1623	2040	384	7417	26087
2010	134 361	0.602	80852	41	1658	1822	1696	2131	401	7750	27258
2011	138 217	0.611	84420	43	1731	1903	1771	2225	419	8092	28461
2012	142 079	0.620	88081	45	1807	1985	1848	2322	437	8443	29695
2013	145 944	0.629	91834	47	1884	2070	1927	2421	455	8802	30960
2014	149 808	0.639	95679	49	1962	2157	2007	2522	475	9171	32256
2015	153 667	0.648	99616	51	2043	2245	2090	2626	494	9548	33584
2016	157 520	0.658	103645	53	2126	2336	2174	2732	514	9934	34942
2017	161 364	0.668	107767	55	2210	2429	2261	2841	535	10329	36332
2018	165 195	0.678	111981	57	2297	2524	2349	2952	555	10733	37752
2019	169 007	0.688	116283	59	2385	2621	2440	3065	577	11146	39203
2020	172 797	0.698	120674	62	2475	2720	2532	3181	599	11567	40683
2021	176 563	0.709	125154	64	2567	2821	2626	3299	621	11996	42193
2022	180 298	0.719	129718	66	2661	2924	2721	3419	643	12434	43732
2023	183 999	0.730	134367	69	2756	3029	2819	3542	666	12879	45299
2024	187 660	0.741	139096	71	2853	3135	2918	3667	690	13332	46893
2025	191 277	0.752	143904	73	2951	3244	3019	3793	714	13793	48514
2026	194 846	0.764	148787	76	3052	3354	3122	3922	738	14261	50161
2027	198 365	0.775	153747	78	3153	3465	3226	4053	763	14737	51833
2028	201 831	0.787	158780	81	3257	3579	3331	4185	788	15219	53529
2029	205 241	0.798	163884	84	3361	3694	3438	4320	813	15708	55250
2030	208 591	0.810	169058	86	3467	3811	3547	4456	839	16204	56994

Tabla D.6. Continuación... Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta.

RSU RECIBIDOS EN LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA				PORCENTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS						
Año	Habitantes	kg hab.día	kg día	Lata aluminio (0.182%)	Lata metálica (1.881%)	TOTAL latas (2.064%)	Papel Bond (1.534%)	Periódico (0.569%)	Revista (0.254%)	TOTAL papel (2.356%)
2008	126 691	0.584	74000	135	1392	1527	1135	420	188	1743
2009	130 518	0.593	77379	141	1455	1597	1187	440	197	1823
2010	134 361	0.602	80852	147	1521	1669	1240	460	205	1905
2011	138 217	0.611	84420	154	1588	1742	1295	480	214	1989
2012	142 079	0.620	88081	160	1657	1818	1351	501	224	2075
2013	145 944	0.629	91834	167	1727	1895	1409	523	233	2164
2014	149 808	0.639	95679	174	1800	1975	1468	544	243	2254
2015	153 667	0.648	99616	181	1874	2056	1528	567	253	2347
2016	157 520	0.658	103645	189	1950	2139	1590	590	263	2442
2017	161 364	0.668	107767	196	2027	2224	1653	613	274	2539
2018	165 195	0.678	111981	204	2106	2311	1718	637	284	2638
2019	169 007	0.688	116283	212	2187	2400	1784	662	295	2740
2020	172 797	0.698	120674	220	2270	2491	1851	687	307	2843
2021	176 563	0.709	125154	228	2354	2583	1920	712	318	2949
2022	180 298	0.719	129718	236	2440	2677	1990	738	329	3056
2023	183 999	0.730	134367	245	2527	2773	2061	765	341	3166
2024	187 660	0.741	139096	253	2616	2871	2134	791	353	3277
2025	191 277	0.752	143904	262	2707	2970	2207	819	366	3390
2026	194 846	0.764	148787	271	2799	3071	2282	847	378	3505
2027	198 365	0.775	153747	280	2892	3173	2358	875	391	3622
2028	201 831	0.787	158780	289	2987	3277	2436	903	403	3741
2029	205 241	0.798	163884	298	3083	3383	2514	933	416	3861
2030	208 591	0.810	169058	308	3180	3489	2593	962	429	3983

Tabla D.7. Continuación... Proyección de cada subproducto de residuo de la Delegación Milpa Alta

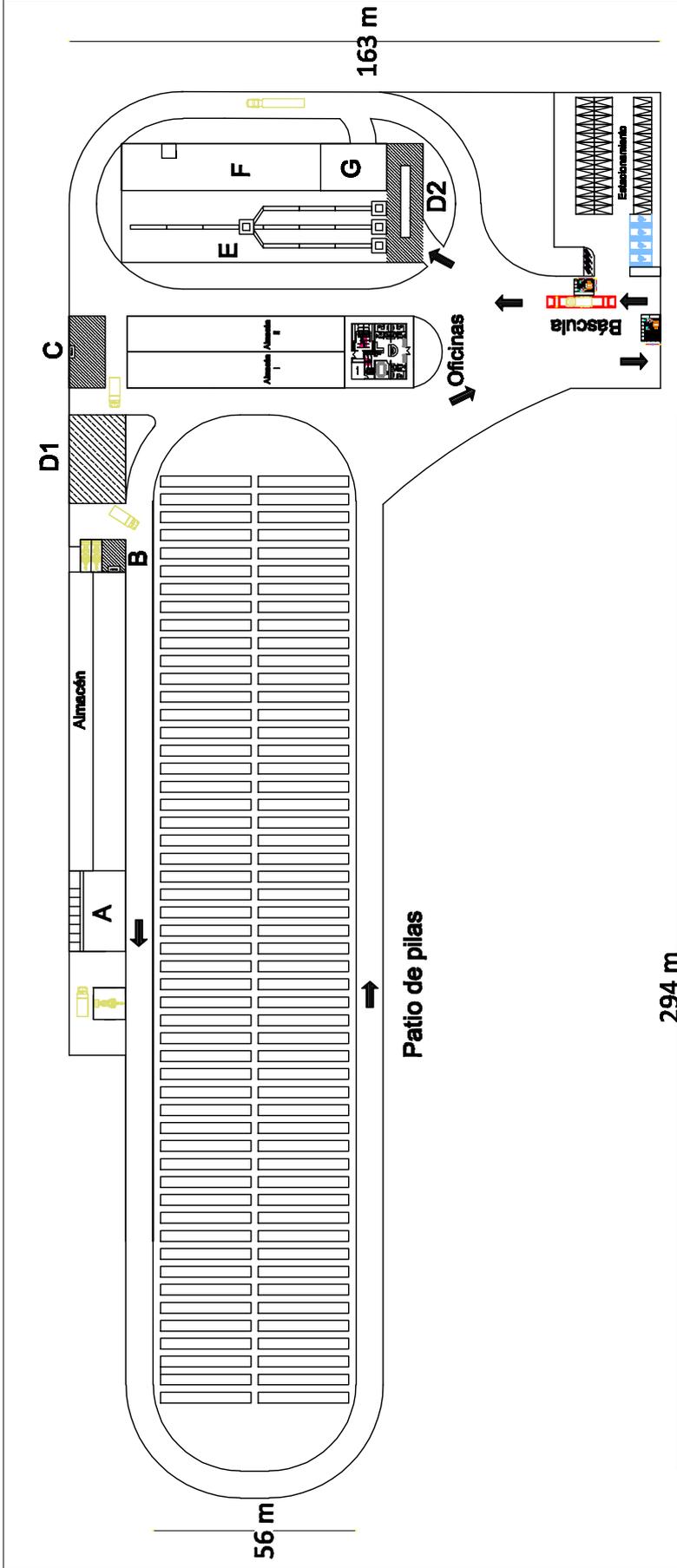
RSU RECIBIDOS EN LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA				PORCENTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS							
Año	Habitantes	kg hab.día	kg día	Cartón liso (4.221%)	Cartón corrugado (1.568%)	Otros cartones (2.339%)	Envase multicapas (3.432%)	TOTAL cartón (11.559%)	Vidrio Transparente (1.881%)	Vidrio color (1.021%)	TOTAL vidrio (2.902%)
2008	126 691	0.584	74000	3123	1160	1731	2540	8554	1392	756	2148
2009	130 518	0.593	77379	3266	1213	1810	2656	8944	1455	790	2246
2010	134 361	0.602	80852	3413	1268	1891	2775	9346	1521	825	2346
2011	138 217	0.611	84420	3563	1324	1975	2897	9758	1588	862	2450
2012	142 079	0.620	88081	3718	1381	2060	3023	10181	1657	899	2556
2013	145 944	0.629	91834	3876	1440	2148	3152	10615	1727	938	2665
2014	149 808	0.639	95679	4039	1500	2238	3284	11060	1800	977	2777
2015	153 667	0.648	99616	4205	1562	2330	3419	11515	1874	1017	2891
2016	157 520	0.658	103645	4375	1625	2424	3557	11980	1950	1058	3008
2017	161 364	0.668	107767	4549	1690	2521	3699	12457	2027	1100	3127
2018	165 195	0.678	111981	4727	1756	2619	3843	12944	2106	1143	3250
2019	169 007	0.688	116283	4908	1823	2720	3991	13441	2187	1187	3375
2020	172 797	0.698	120674	5094	1892	2823	4142	13949	2270	1232	3502
2021	176 563	0.709	125154	5283	1962	2927	4295	14467	2354	1278	3632
2022	180 298	0.719	129718	5475	2034	3034	4452	14994	2440	1324	3764
2023	183 999	0.730	134367	5672	2107	3143	4611	15531	2527	1372	3899
2024	187 660	0.741	139096	5871	2181	3253	4774	16078	2616	1420	4037
2025	191 277	0.752	143904	6074	2256	3366	4939	16634	2707	1469	4176
2026	194 846	0.764	148787	6280	2333	3480	5106	17198	2799	1519	4318
2027	198 365	0.775	153747	6490	2411	3596	5277	17772	2892	1570	4462
2028	201 831	0.787	158780	6702	2490	3714	5449	18353	2987	1621	4608
2029	205 241	0.798	163884	6918	2570	3833	5625	18943	3083	1673	4756
2030	208 591	0.810	169058	7136	2651	3954	5802	19541	3180	1726	4906

ANEXO E. Diseño del CAR.

En los siguientes planos se observan los dos diseños del CAR, con las plantas de selección semi-mecanizada y manual.

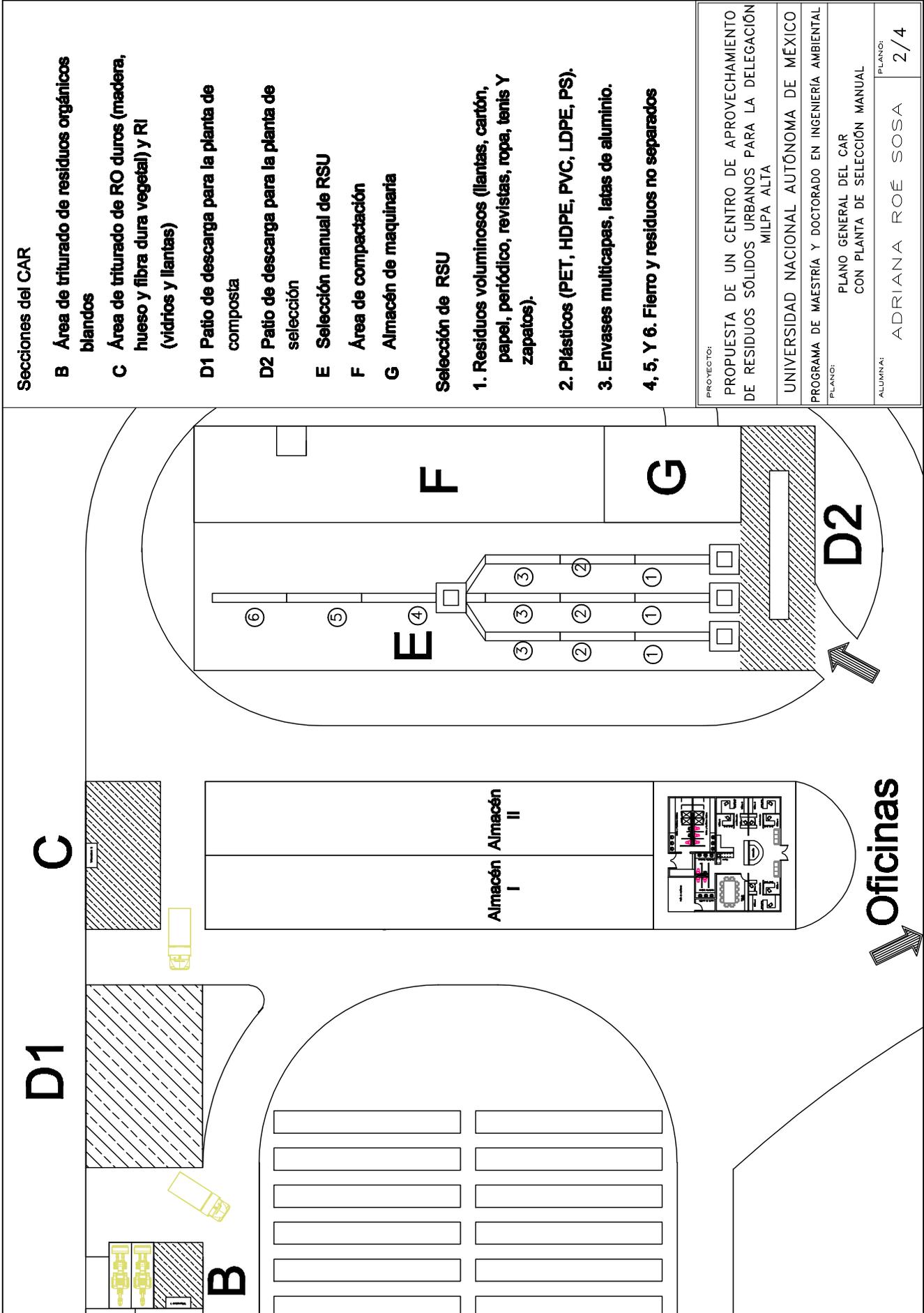
CRITERIOS	NÚMERO DE MAPA
CAR con planta de selección semi-mecanizada	
Plano general	1/4
Plano de la planta de selección	2/4
Área de entrada y pesaje del CAR.	3/4
Patio de la planta de composta.	4/4
CAR con planta de selección manual	
Plano general	1/4
Plano de la planta de selección	2/4
Área de entrada y pesaje del CAR.	3/4
Patio de la planta de composta.	4/4

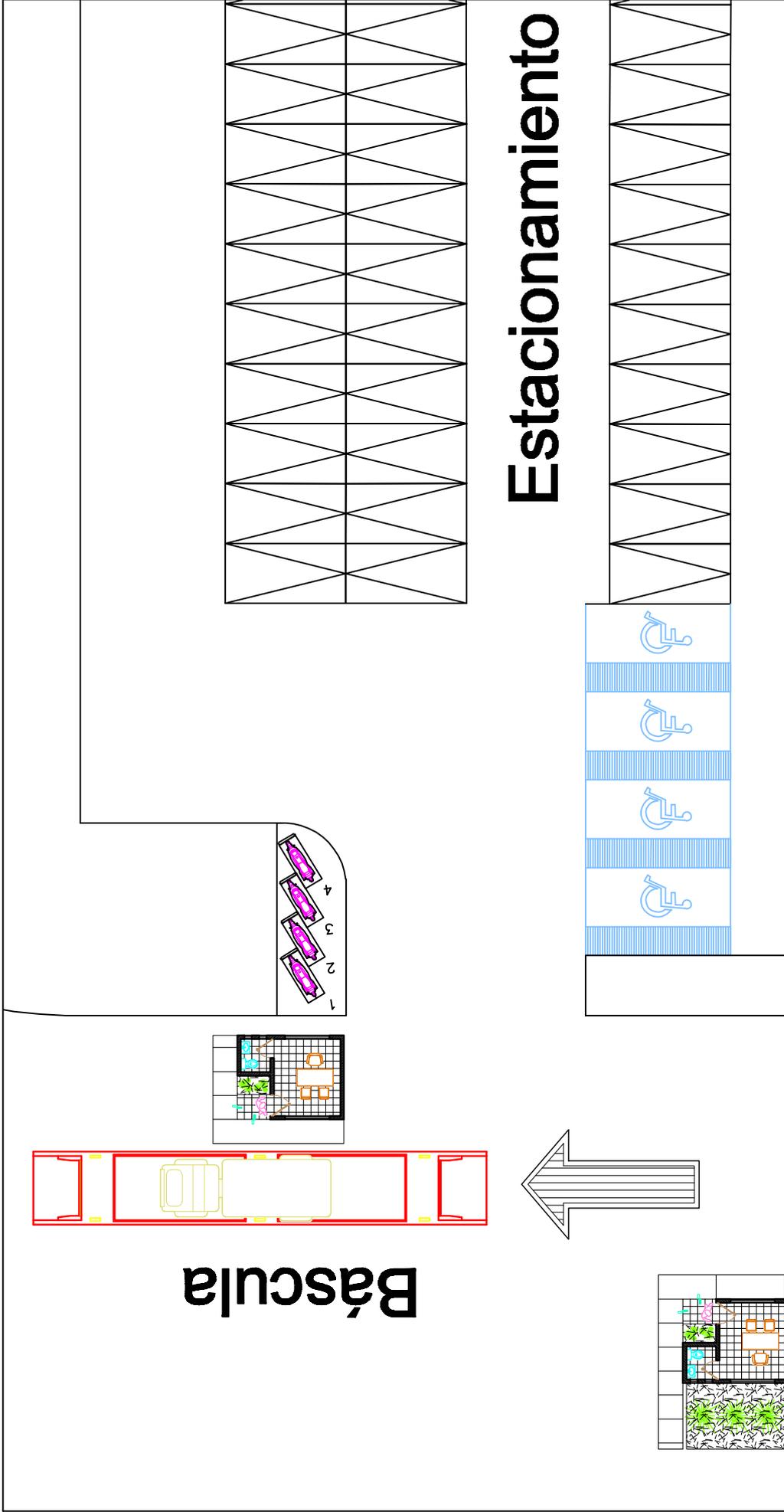
ANEXO E



- A Área de cribado y empaque
- B Área de triturado de residuos orgánicos blandos
- C Área de triturado de RO duros (madera, hueso y fibra dura vegetal) y RI (vidrios y llantas)
- D1 Patio de descarga para la planta de composta
- D2 Patio de descarga para la planta de selección
- E Selección manual de RSU
- F Área de compactación
- G Almacén de maquinaria

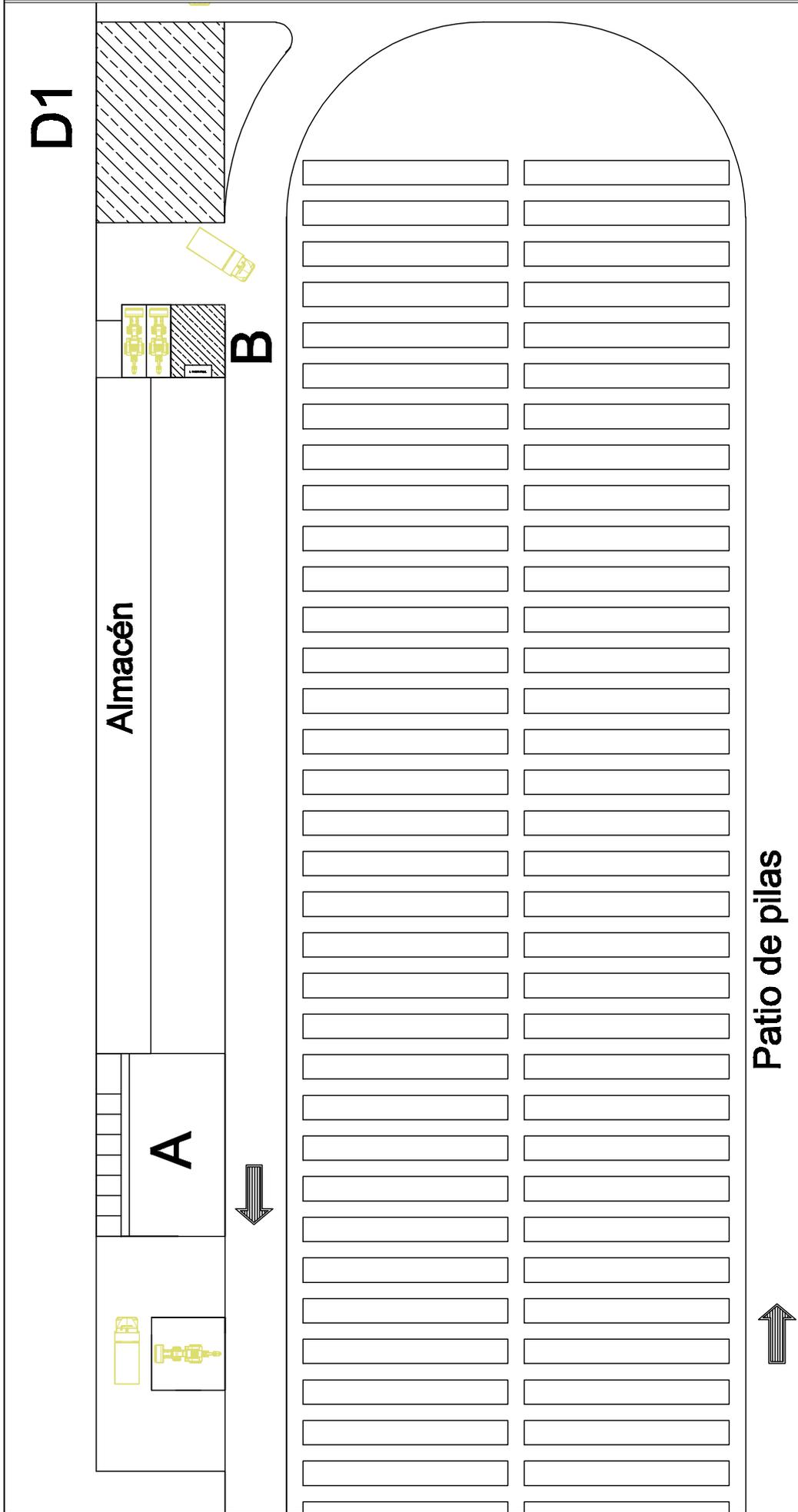
PROYECTO:	PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL	
PLANO:	PLANO GENERAL DEL CAR CON PLANTA DE SELECCIÓN MANUAL
ALUMNA:	ADRIANA ROÉ SOSA
PLANO:	1/4





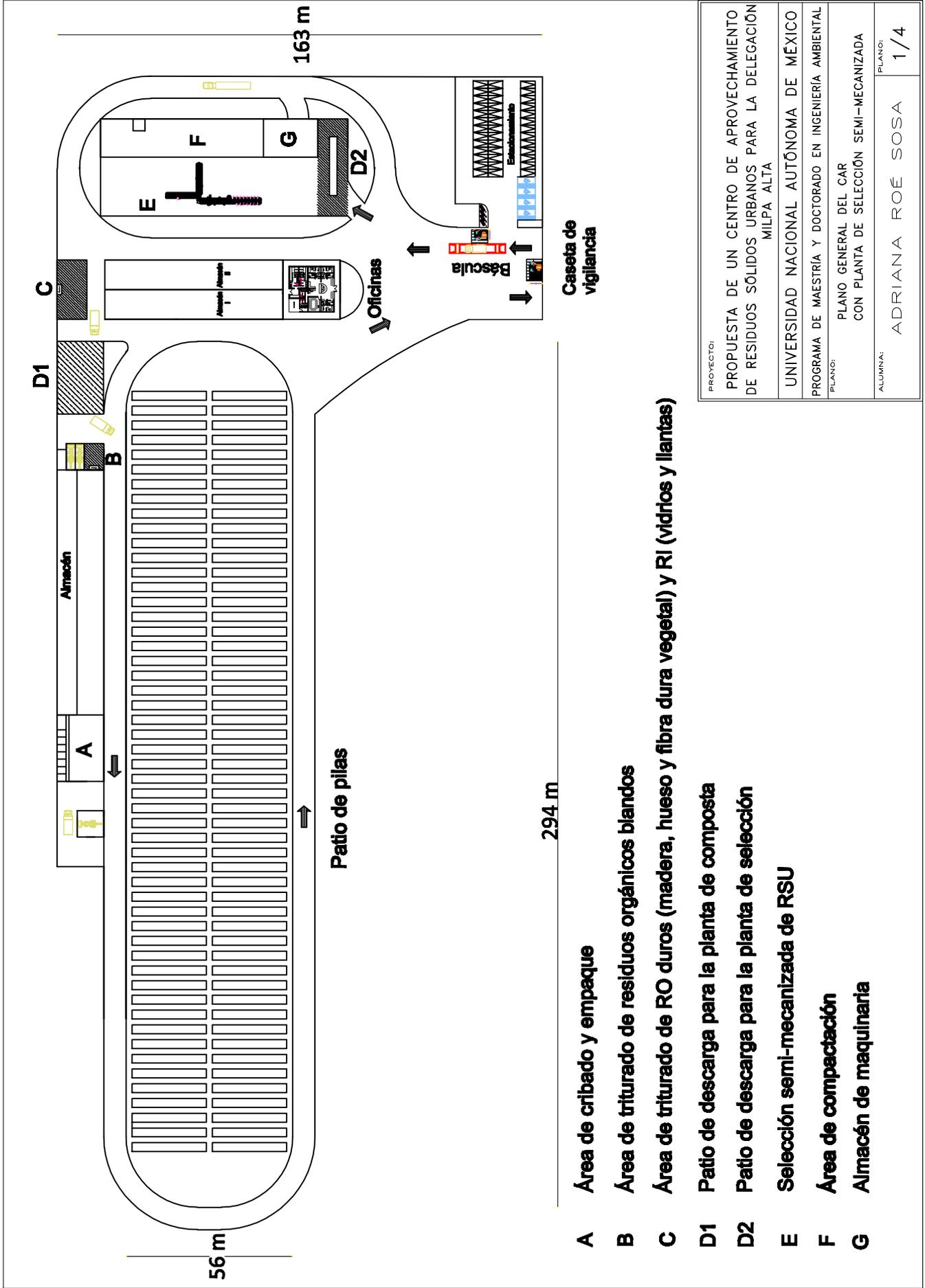
PROYECTO:	PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PLANO:	PLANO GENERAL DEL CAR CON PLANTA DE SELECCIÓN MANUAL
ALUMNA:	ADRIANA ROÉ SOSA
PLANO:	3/4

Caseta de vigilancia



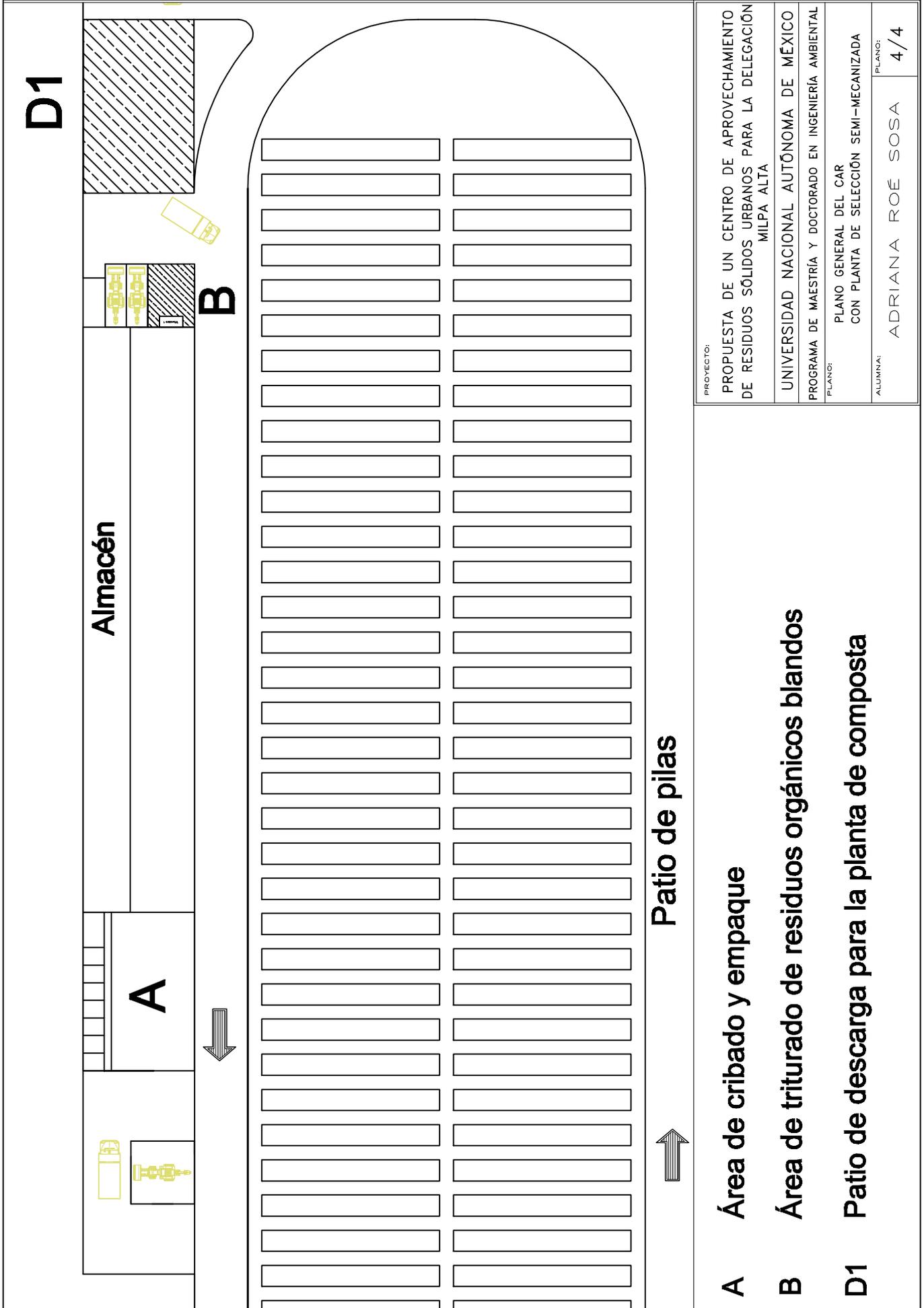
<p>A Área de cribado y empaque</p> <p>B Área de triturado de residuos orgánicos blandos</p> <p>D1 Patio de descarga para la planta de composta</p>	PROYECTO:	PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
	PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL	
	PLANO:	PLANO GENERAL DEL CAR CON PLANTA DE SELECCIÓN MANUAL
ALUMNA:	ADRIANA ROÉ SOSA	PLANO: 4/4

ANEXO E



- A** Área de cribado y empaque
- B** Área de triturado de residuos orgánicos blandos
- C** Área de triturado de RO duros (madera, hueso y fibra dura vegetal) y RI (vidrios y llantas)
- D1** Patio de descarga para la planta de composta
- D2** Patio de descarga para la planta de selección
- E** Selección semi-mecanizada de RSU
- F** Área de compactación
- G** Almacén de maquinaria

PROYECTO:	PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL	
PLANO:	PLANO GENERAL DEL CAR CON PLANTA DE SELECCIÓN SEMI-MECANIZADA
ALUMNA:	ADRIANA ROÉ SOSA
PLANO:	1/4



<p>PROYECTO: PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA</p>
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO</p>
<p>PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL</p>
<p>PLANO: PLANO GENERAL DEL CAR CON PLANTA DE SELECCIÓN SEMI-MECANIZADA</p>
<p>ALUMNA: ADRIANA ROÉ SOSA</p>
<p>PLANO: 4/4</p>

- A** Área de cribado y empaque
- B** Área de triturado de residuos orgánicos blandos
- D1** Patio de descarga para la planta de composta

ANEXO F. Mapas del Método de momentos

En las siguientes páginas se observan los diferentes mapas que se utilizaron para el análisis del método de momentos. En el último mapa se observan los centros de gravedad como resultados. En la tabla F.1. se encuentra la relación de ellos.

Tabla F.1. Relación de los mapas analizados por el método de momentos.

CRITERIOS	NÚMERO DE MAPA
TRAZA URBANA	1
VEGETACIÓN DENSA	2
CUERPOS DE AGUA	3
SERVICIOS	4
VIALIDADES	5
ZONAS DE CULTIVO	6
TOPOGRAFIA	7
CENTRO DE GRAVEDAD FINAL	8

SIMBOLOGÍA



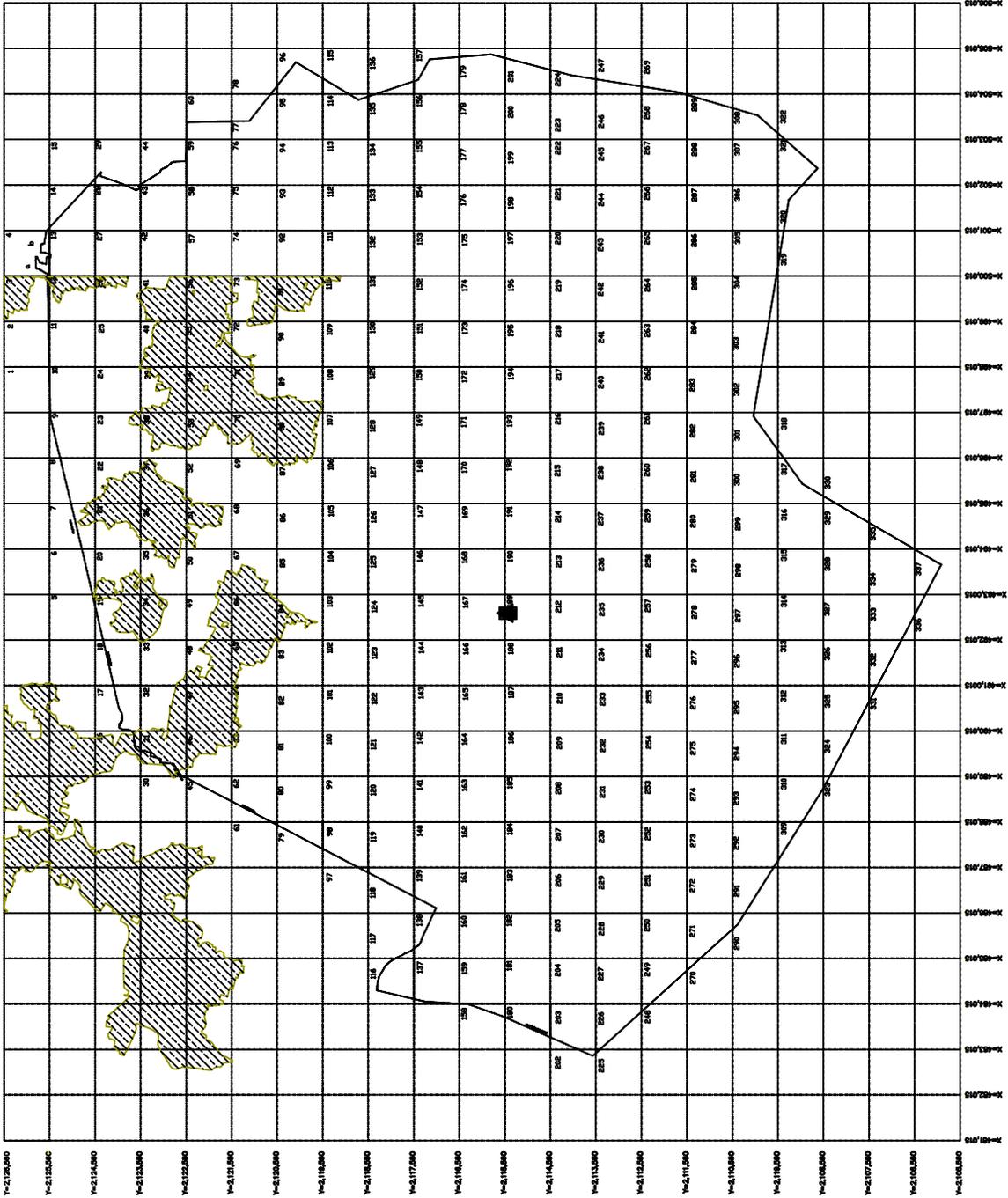
ZONAS CON POBLACIÓN URBANA



SECTOR DE 1 KM²



CENTRO DE GRAVEDAD DE TRAZA URBANA



PROYECTO:

PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PLANO: ZONA CON POBLACIÓN URBANA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

ALUMNA: ADRIANA ROÉ SOSA

PLANO: 1/8

SIMBOLOGÍA

ÁREAS DE VEGETACIÓN DENSA



SECTOR DE 1 KM²



CENTRO DE GRAVEDAD DE VEGETACIÓN DENSA



PROYECTO:

PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

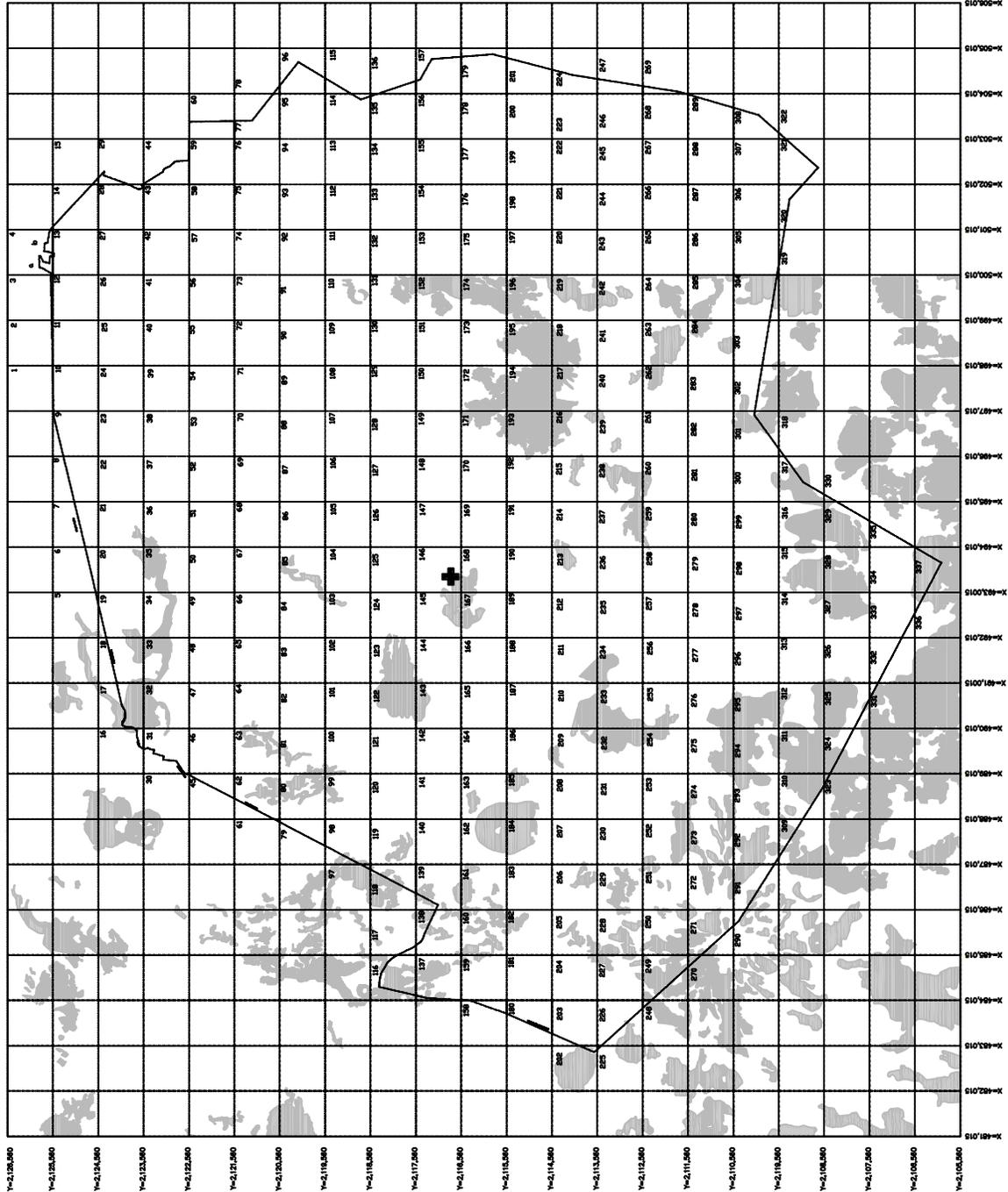
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PLANO: ÁREAS DE MILPA ALTA QUE CUENTAN CON VEGETACIÓN DENSA

ALUMNA: ADRIANA ROÉ SOSA

PLANO: 2/8



SIMBOLOGÍA

CORRIENTE INTERMITENTE



CUERPO DE AGUA INTERMITENTE



MANANTIALES



SECTOR DE 1 KM²



CENTRO DE GRAVEDAD DE CUERPOS DE AGUA



PROYECTO:

PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

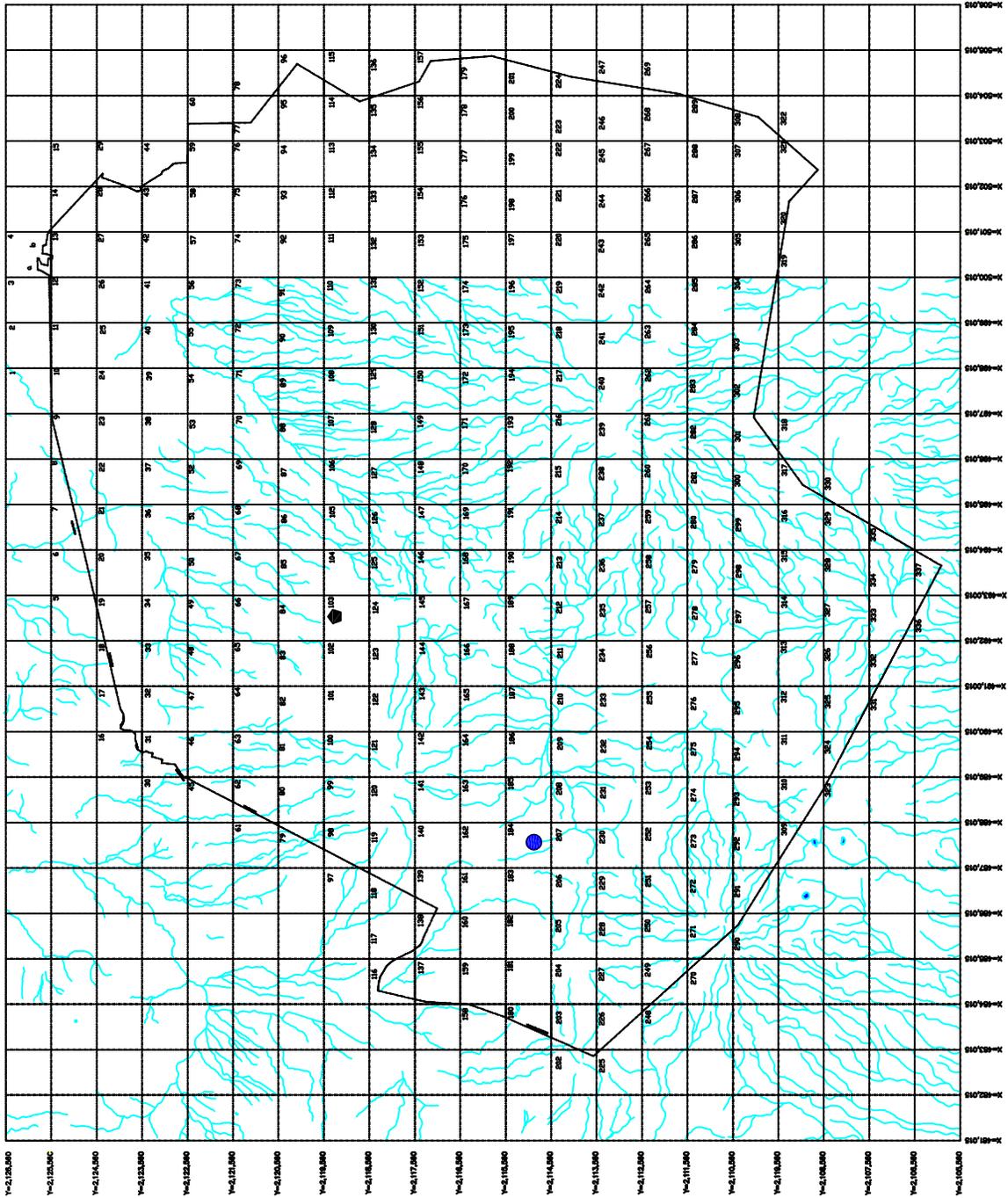
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PLANO: CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

ALUMNA:

ADRIANA ROÉ SOSA

PLANO: 3/8



0 0.5 1 2 4 KM

SIMBOLOGÍA

- LÍNEA TELEFÓNICA AÉREA
- LÍNEA TRANSMISIÓN DE POSTERÍA
- LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE TORRE
- ACUEDUCTO SUBTERRANEO
- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
- INSTALACIONES DE BOMBEO
- ESTANQUES
- SECTOR DE 1 KM²
- CENTRO DE GRAVEDAD SERVICIOS PÚBLICOS

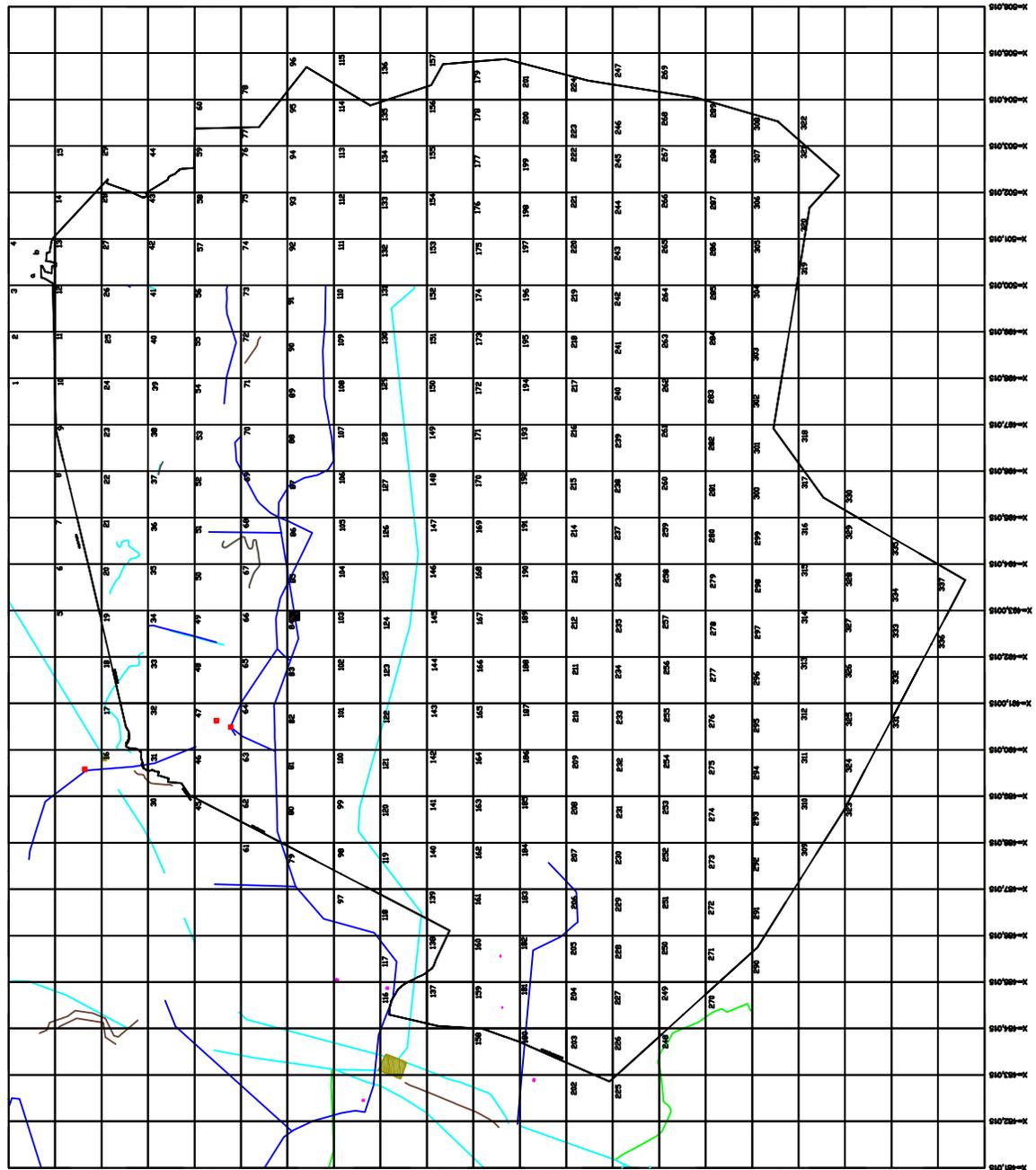
PROYECTO:
PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
 PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

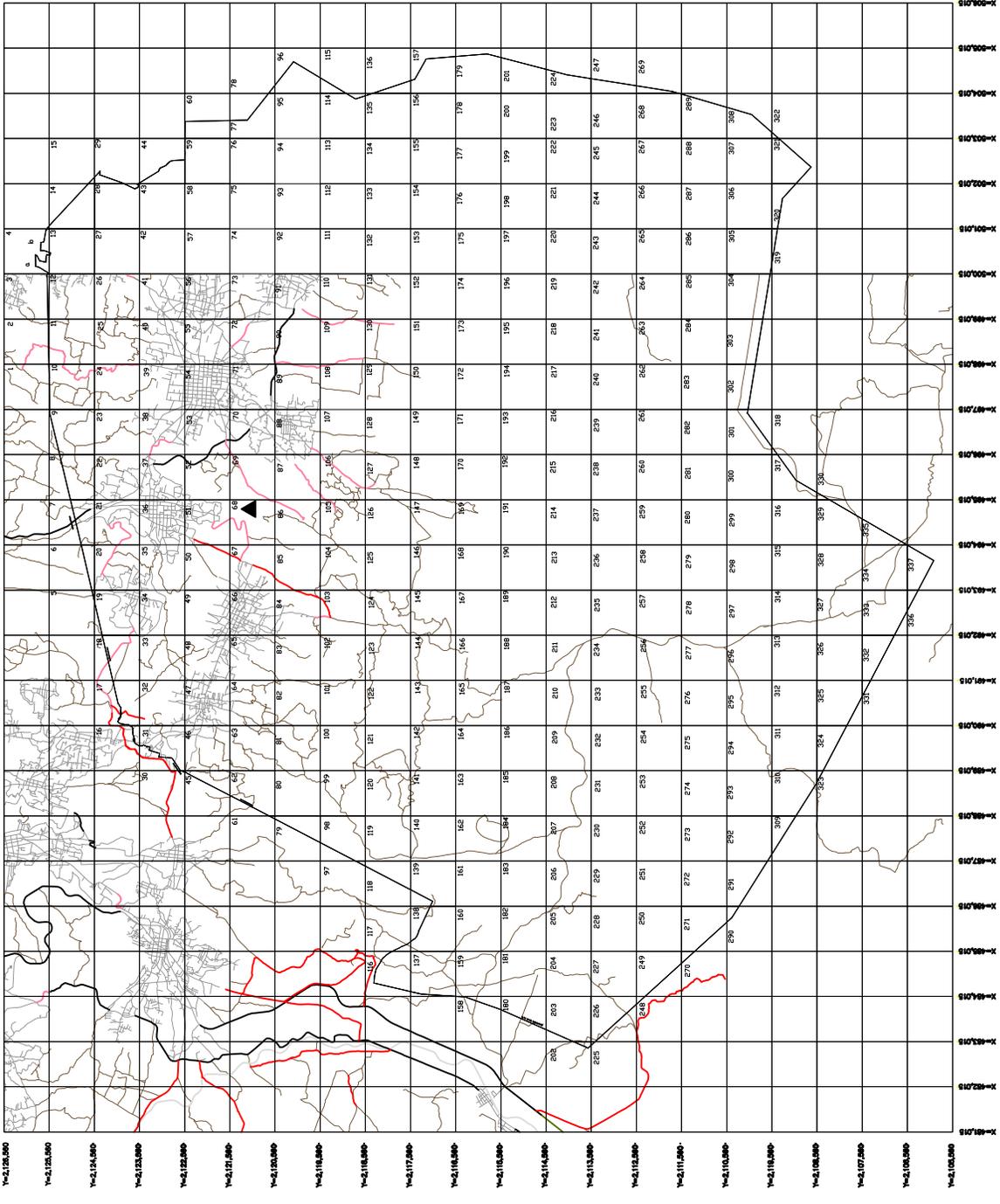
PLANO:
SERVICIOS PÚBLICOS QUE EXISTEN EN LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

ALUMNA:
ADRIANA ROÉ SOSA

PLANO: 4/8



0 0.5 1 2 4 KM



SIMBOLOGÍA

- CALLES**
- CARRETERAS ESTATALES**
- CARRETERA FEDERAL**
- CAMINOS (BRECHAS Y VEREDAS)**
- CARRETERAS DE TERRACERÍA**
- SECTOR DE 1 KM²**
- CENTRO DE GRAVEDAD DE VIALIDADES**

PROYECTO:
PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

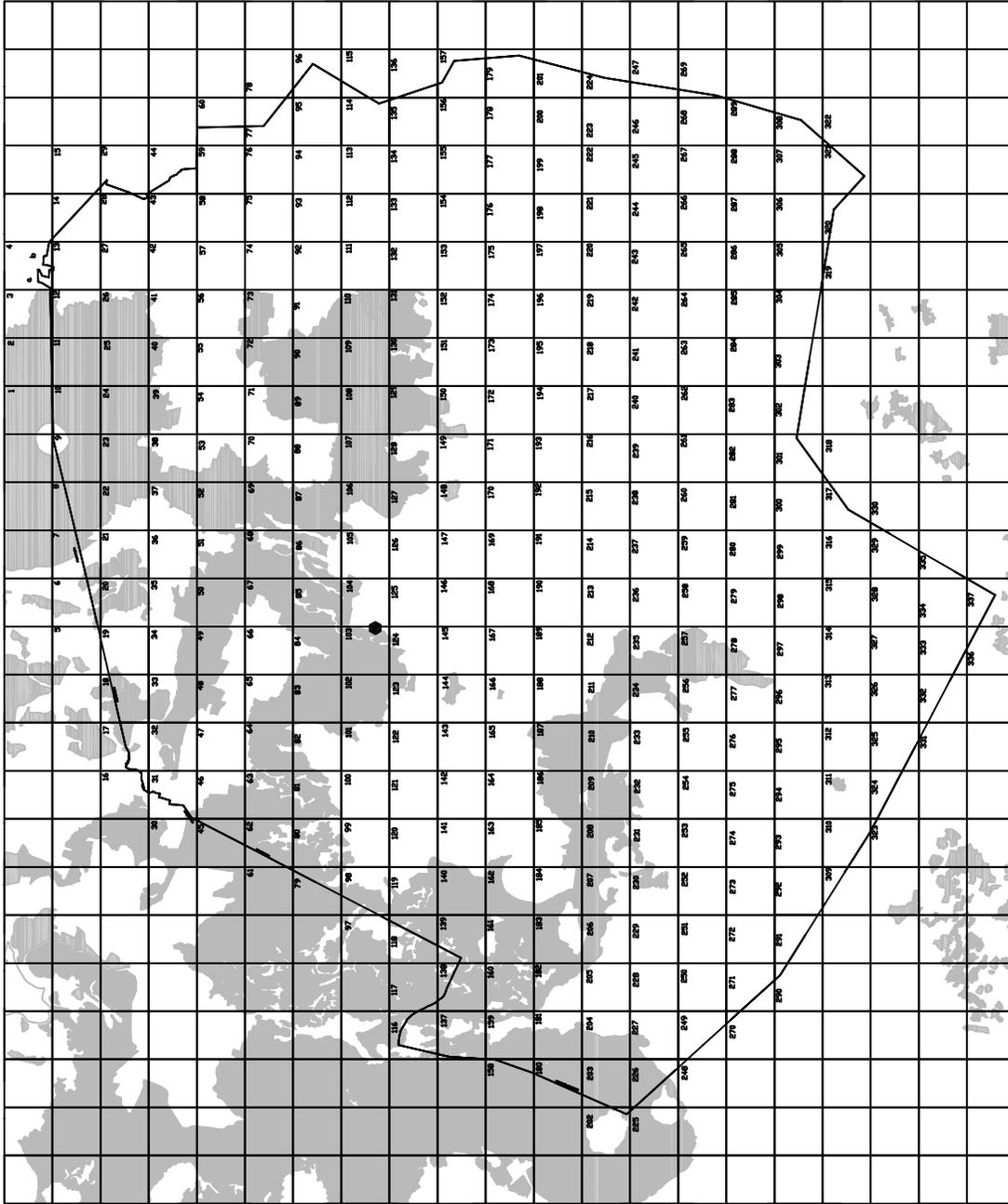
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PLANO:
VIALIDADES DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

ALUMNA:
ADRIANA ROÉ SOSA

PLANO: 5/8





SIMBOLOGÍA

ZONAS DE CULTIVO

SECTOR DE 1 KM²

CENTRO DE GRAVEDAD DE ZONAS DE CULTIVO

PROYECTO:
 PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO
 DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN
 MILPA ALTA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PLANO:
 ZONA DE MILPA ALTA DONDE SE PUEDE
 UTILIZAR LA COMPOSTA

ALUMNA:
 ADRIANA ROÉ SOSA

PLANO:
 6/8

SIMBOLOGÍA

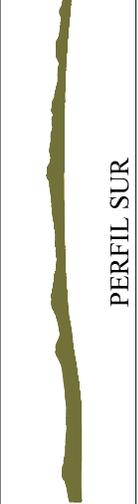
SECTOR DE 1 KM²

CENTRO DE GRAVEDAD DE TOPOGRAFÍA

CURVAS DE NIVEL ORDINARIAS A CADA 10 METROS

ELEVACIÓN

DEPRESIÓN



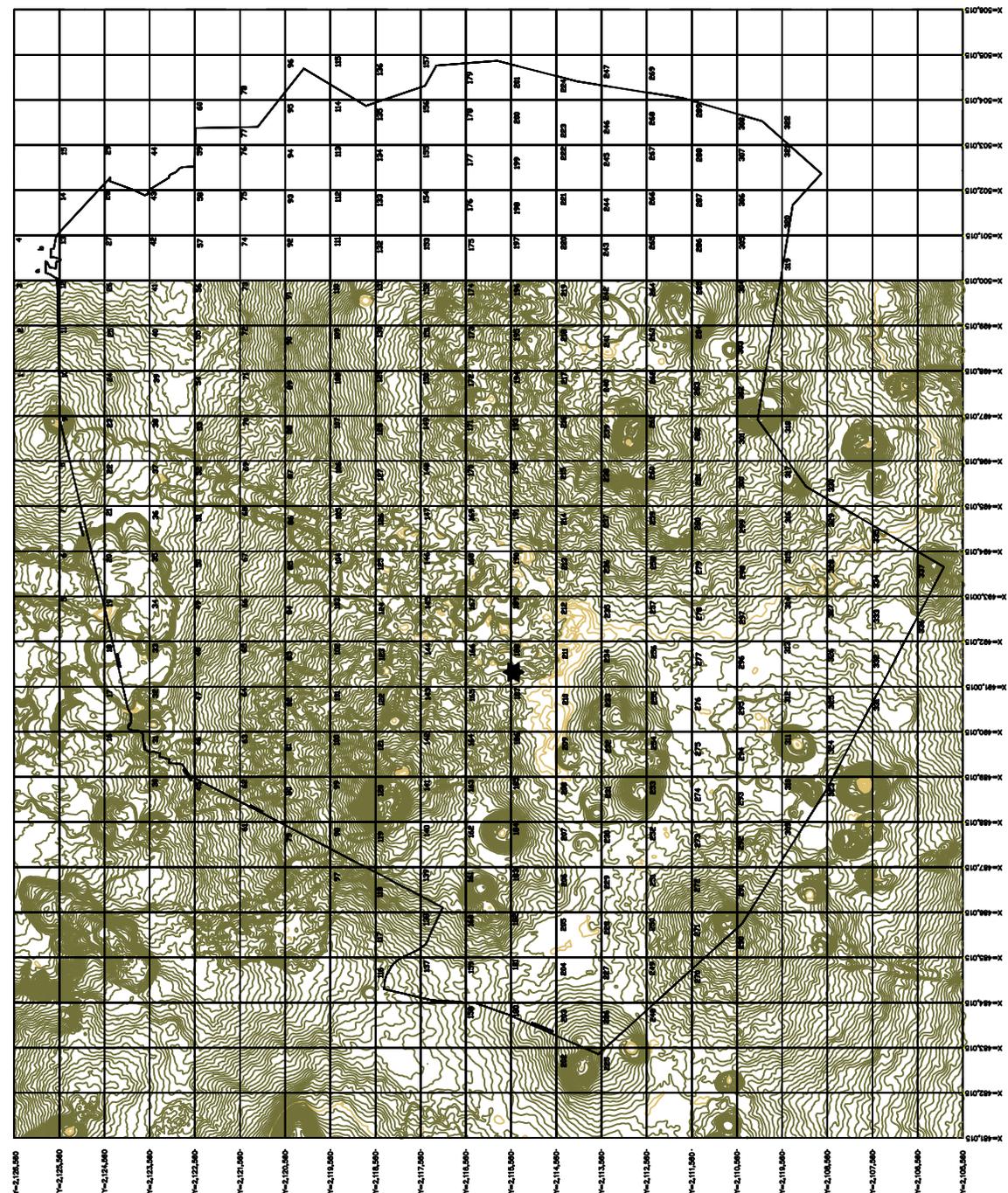
PROYECTO:
PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PLANO:
TOPOGRAFÍA DE LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

ALUMNA:
ADRIANA ROÉ SOSA

PLANO:
7/8



SIMBOLOGÍA

-  CENTRO DE GRAVEDAD DE VIALIDADES
-  CENTRO DE GRAVEDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS
-  CENTRO DE GRAVEDAD DE CUERPOS DE AGUA
-  CENTRO DE GRAVEDAD DE ZONAS DE CULTIVO
-  CENTRO DE GRAVEDAD DE VEGETACIÓN Densa
-  CENTRO DE GRAVEDAD DE TRAZA URBANA
-  CENTRO DE GRAVEDAD DE TOPOGRAFÍA
-  UNIÓN DE CENTROS DE GRAVEDAD PARA FORMACIÓN DE POLIGONO
-  CENTRO DE GRAVEDAD GENERAL CON RADIOS DE 500 METROS

PROYECTO:

PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA DELEGACIÓN MILPA ALTA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

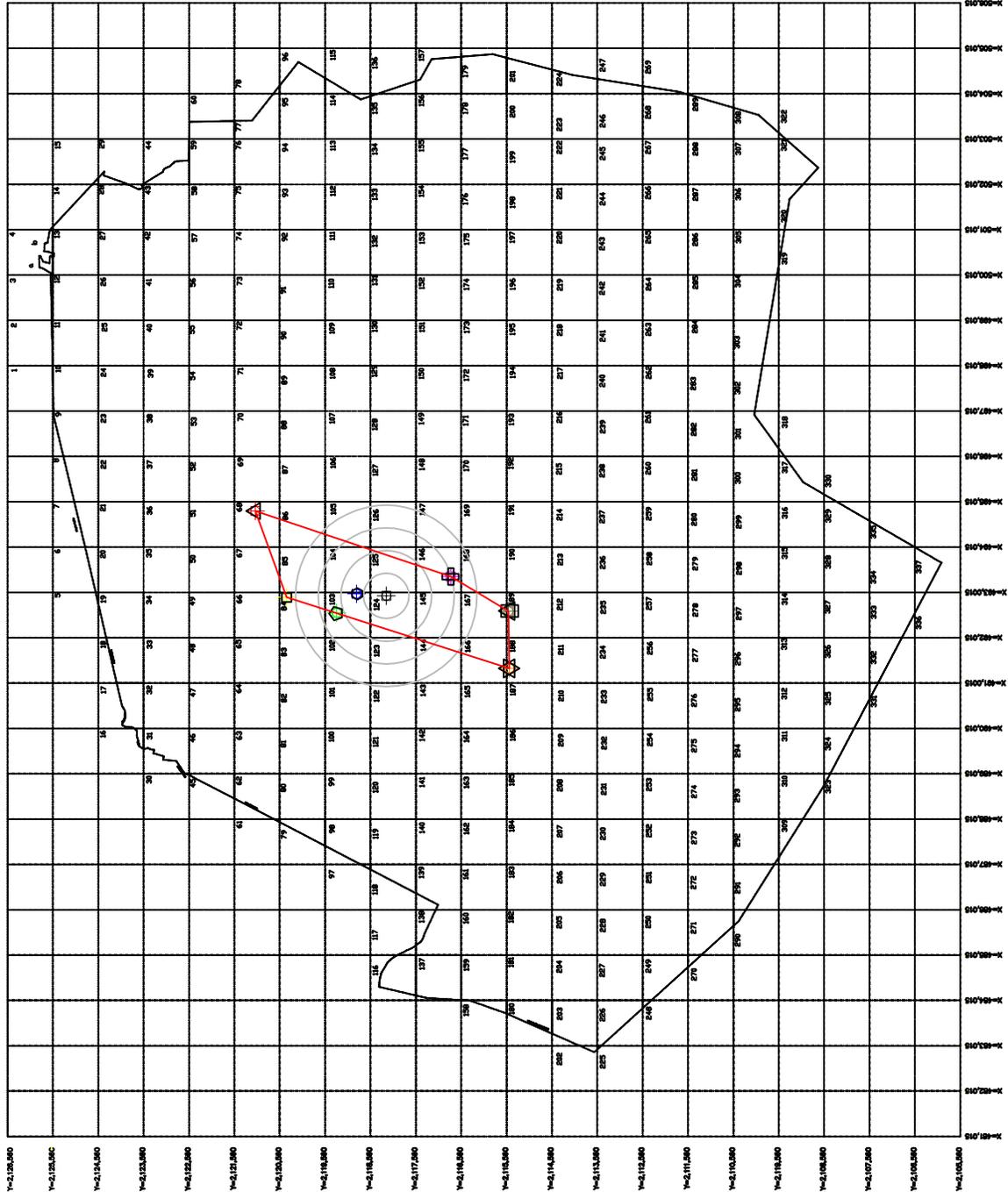
PLANO: CENTROS DE GRAVEDAD DE LOS CRITERIOS DE UBICACIÓN ANALIZADOS

ALUMNA:

ADRIANA ROÉ SOSA

PLANO:

8/8



0 0.5 1 2 4 KM

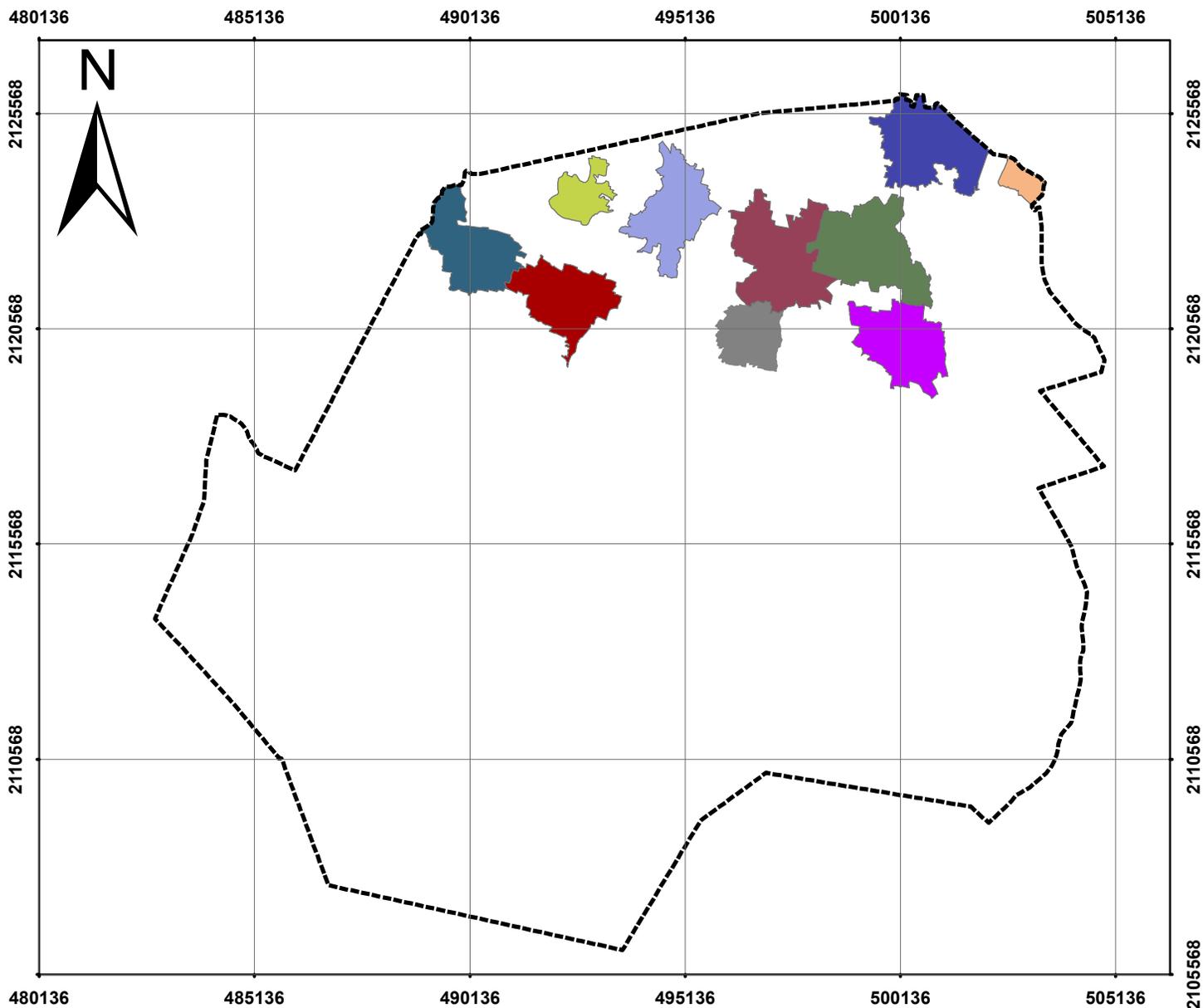
ANEXO G. Mapas de SIG

En los siguientes mapas (Tabla G.1), se observan los criterios que se utilizaron para el análisis de sistemas de información geográficos y también se observan los resultados.

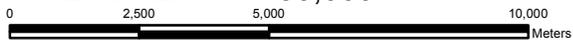
Tabla G.1. Relación de los mapas analizados por Sistemas de Información Geográficos.

CRITERIOS	NÚMERO DE MAPA
Localidades urbanas	1
Tamaño de población	2
Uso de suelo	3
Zonas hidrológicas con restricciones	4
Vialidades	5
Curvas de nivel	6
Zonas factibles para ubicar el CAR, en cuanto a traza urbana y reserva ecológica.	7
Zonas factibles para ubicar el CAR, en cuanto a traza urbana, reserva ecológica y cuerpos de agua.	8
Zonas factibles para ubicar el CAR, en cuanto a traza urbana, reserva ecológica, cuerpos de agua y vialidades.	9
Restricciones eléctricas	10
Zonas factibles para ubicar el CAR	11
Zona uno con posibilidad de selección	12
Zona dos con posibilidad de selección	13
Zona tres con posibilidad de selección	14
Zona cuatro con posibilidad de selección	15

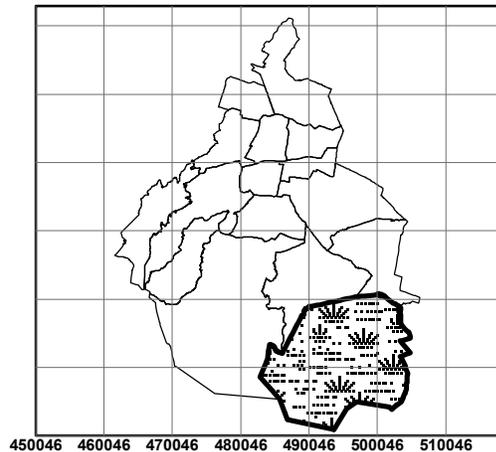
DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:150,000



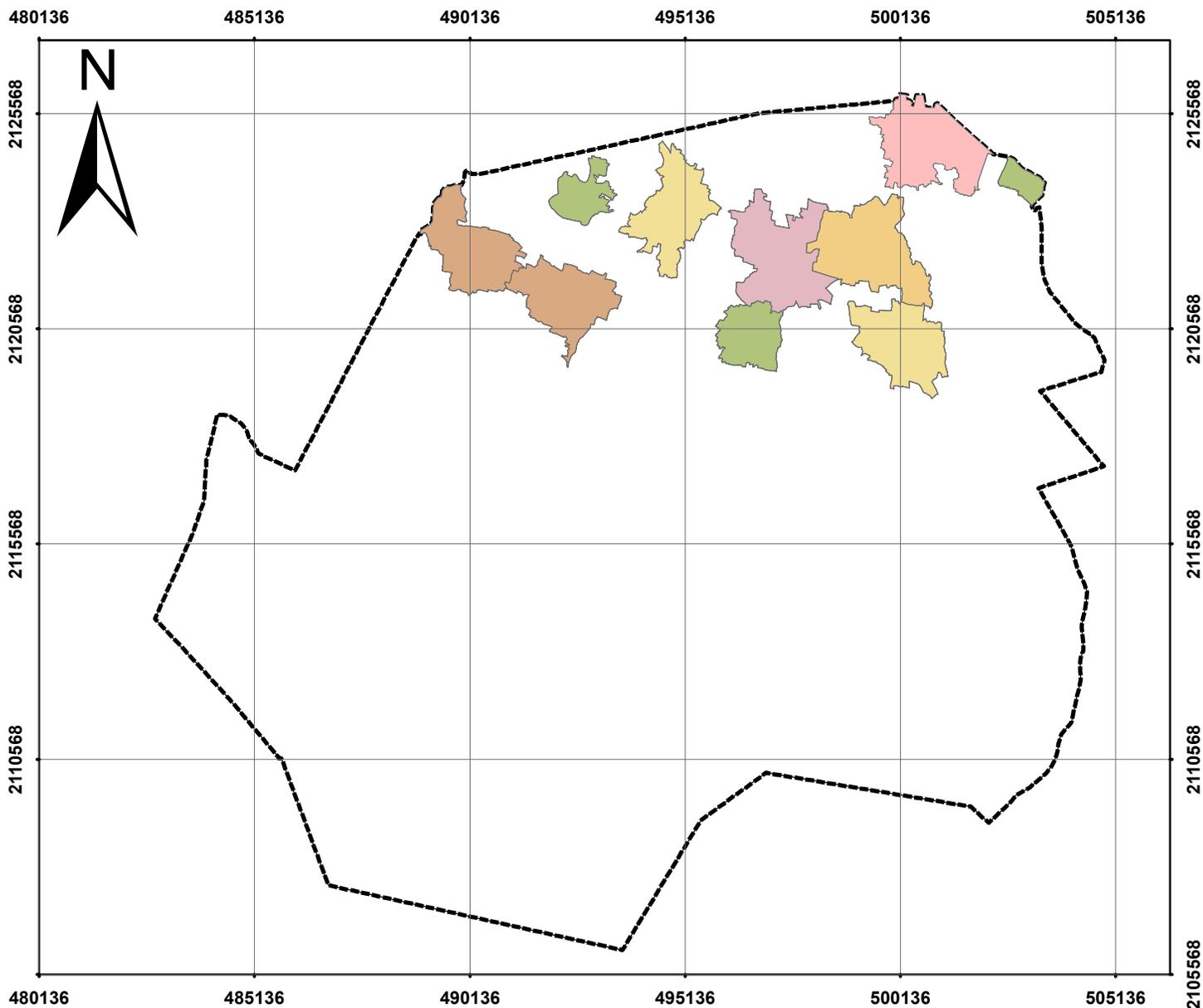
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



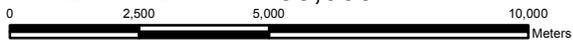
LOCALIDADES URBANAS

- LÍMITE DELEGACIONAL
- San Antonio Tecómitl
- San Bartolomé Xicomulco
- San Francisco Tecoxpa
- San Lorenzo Tlacoyucan
- San Nicolás Tetelco
- San Pablo Oztotepec
- San Pedro Atocpan
- San Salvador Cuahtenco
- Santa Ana Tlacotenco
- Villa Milpa Alta

DELEGACIÓN MILPA ALTA



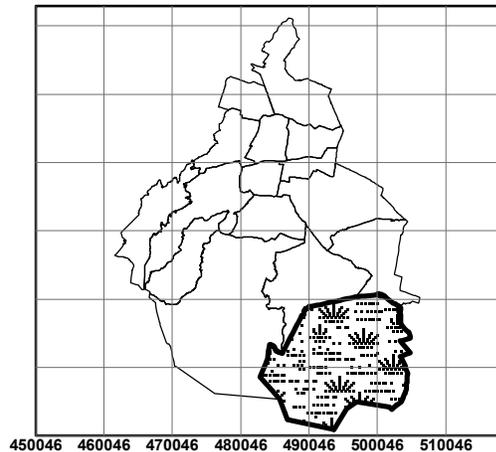
ESCALA 1:150,000



TAMAÑO DE POBLACIÓN (HABITANTES)

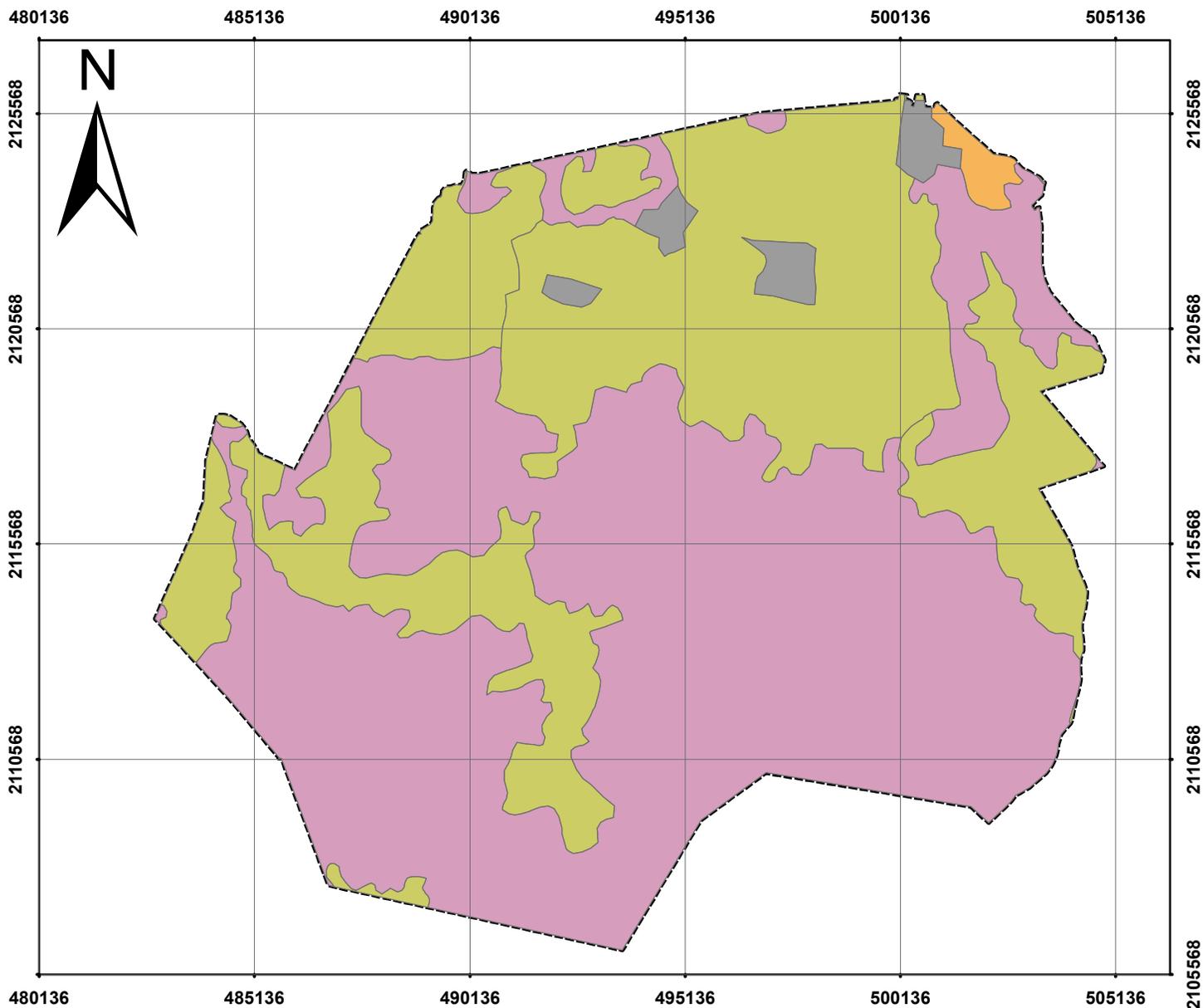
- | | |
|---------------------|---------------|
| LÍMITE DELEGACIONAL | 10001 - 12500 |
| 0 - 2500 | 12501 - 15000 |
| 2501 - 5000 | 15001 - 17500 |
| 5001 - 7500 | 17501 - 20000 |
| 7501 - 10000 | 20001 - 22500 |

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

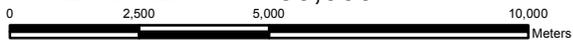


PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

DELEGACIÓN MILPA ALTA



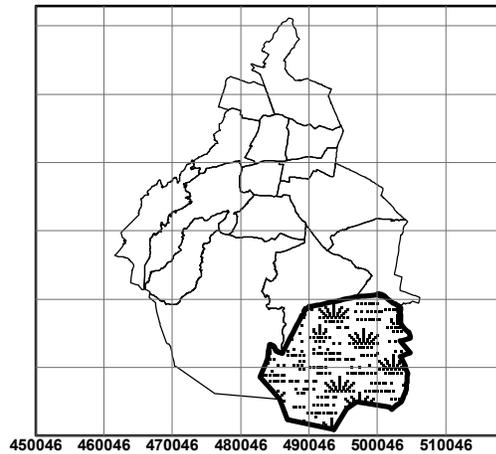
ESCALA 1:150,000



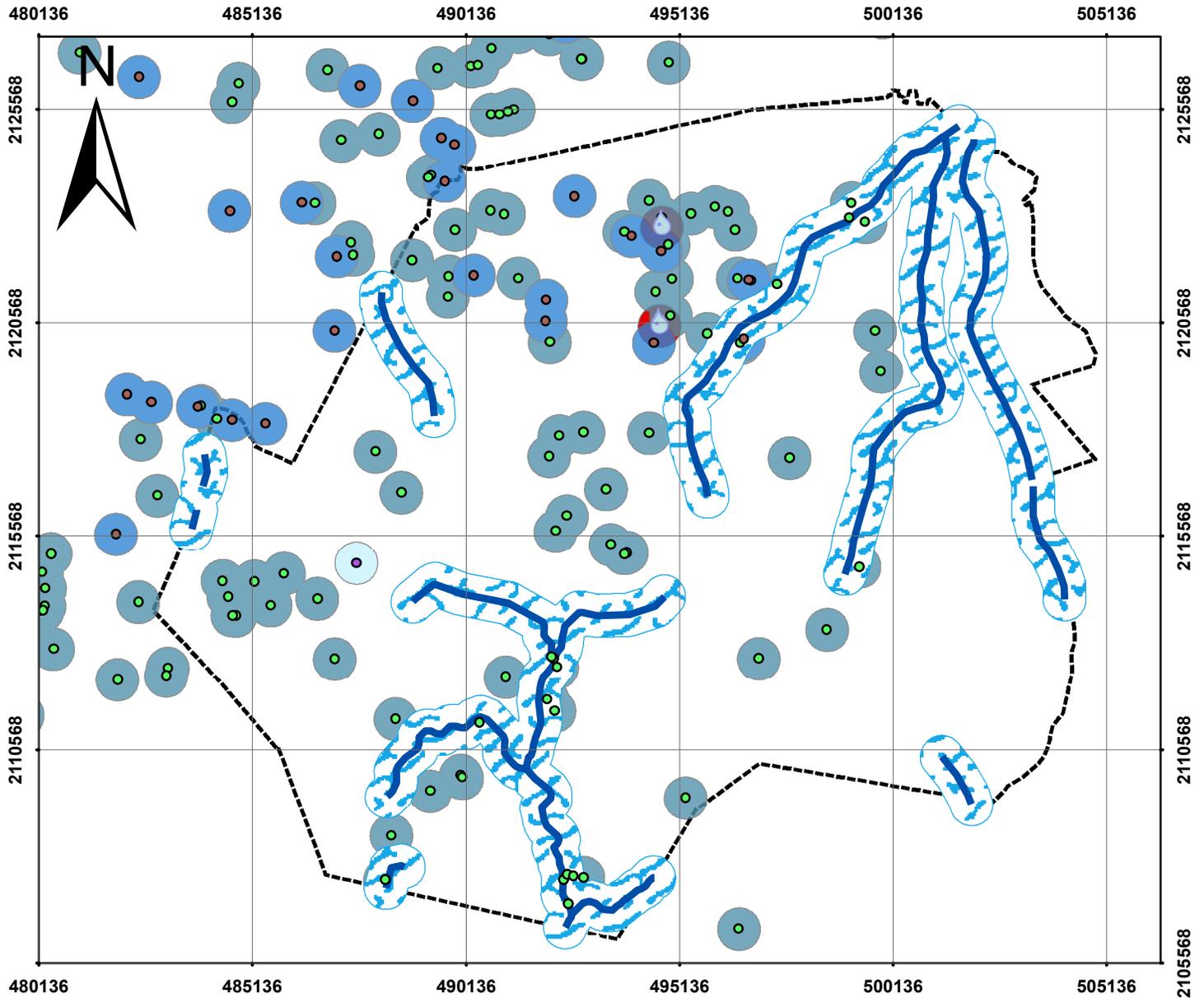
USO DE SUELO

- LÍMITE DELEGACIONAL
- AGRICULTURA DE RIEGO
- AGRICULTURA DE TEMPORAL
- ZONA URBANA
- ZONA ECOLÓGICA

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



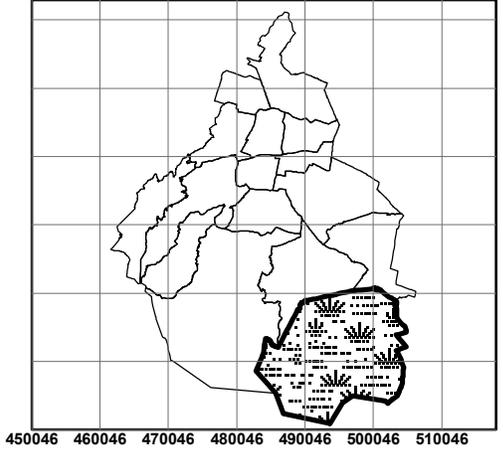
DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:150,000



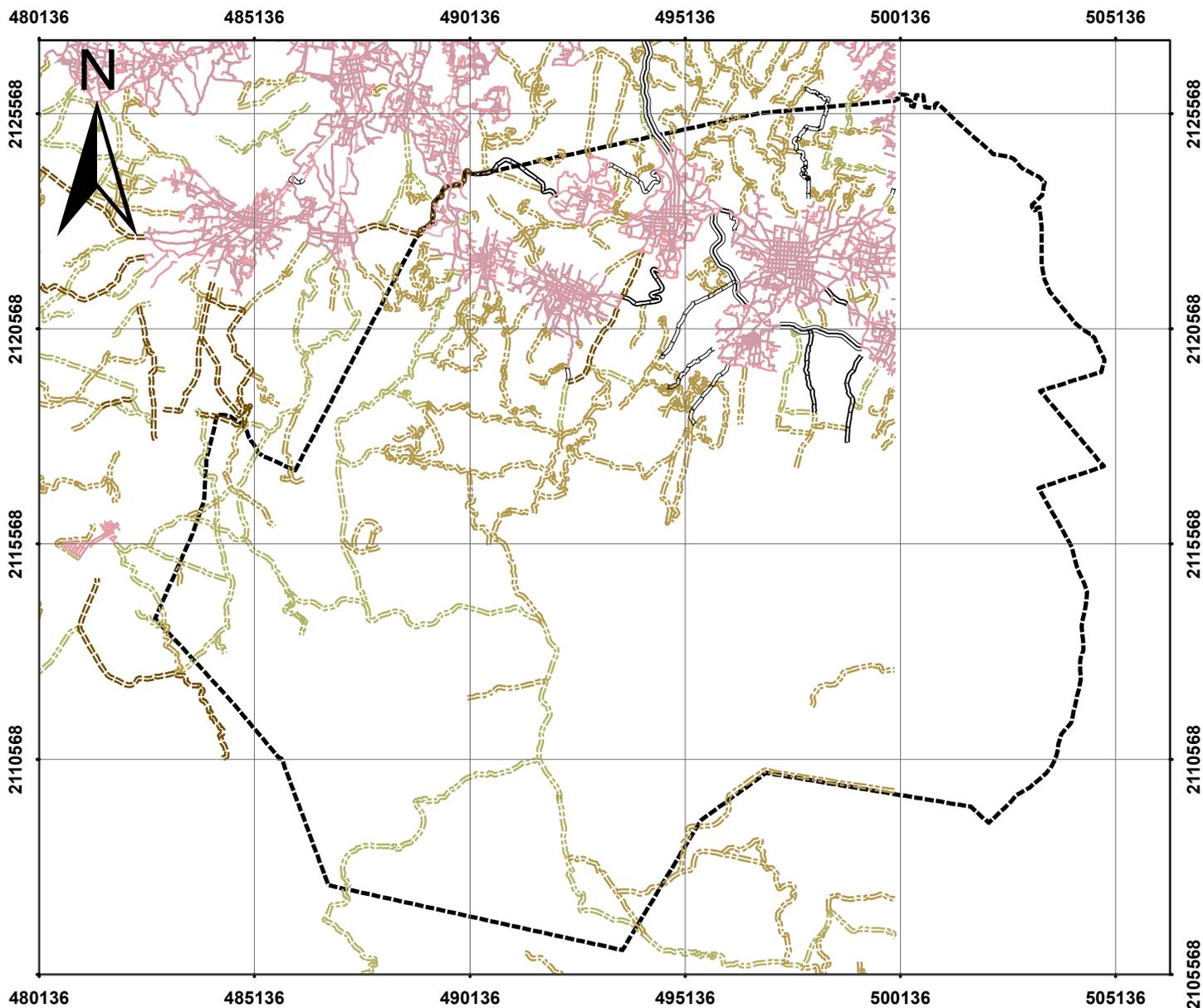
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



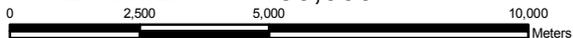
- ZONAS HIDROLÓGICAS CON RESTRICCIONES PARA UBICAR EL CAR**
- LÍMITE DELEGACIONAL
 - RÍO PRINCIPAL
 - CORRIENTE QUE DESAPARECE
 - MANANTIAL
 - TANQUE DE AGUA
 - POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA
 - DE CERO A 500 METROS DE LOS RÍOS
 - DE CERO A 500 METROS DE LAS CORRIENTES QUE DESAPARECEN
 - DE CERO A 500 METROS DE LOS MANANTIALES
 - DE CERO A 500 METROS DE LOS TANQUES DE AGUA
 - DE CERO A 500 METROS DE LOS POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA

PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

DELEGACIÓN MILPA ALTA



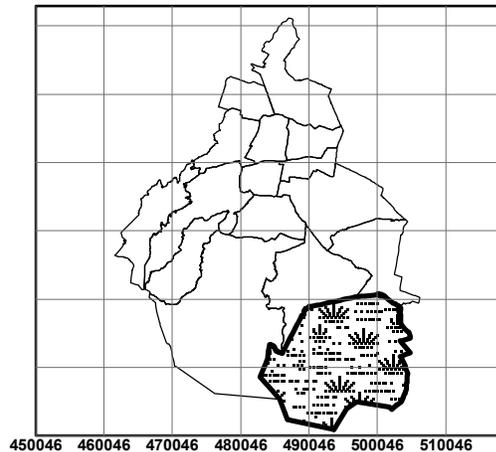
ESCALA 1:150,000



ZONAS SIN RESTRICCIONES PARA UBICAR EL CAR

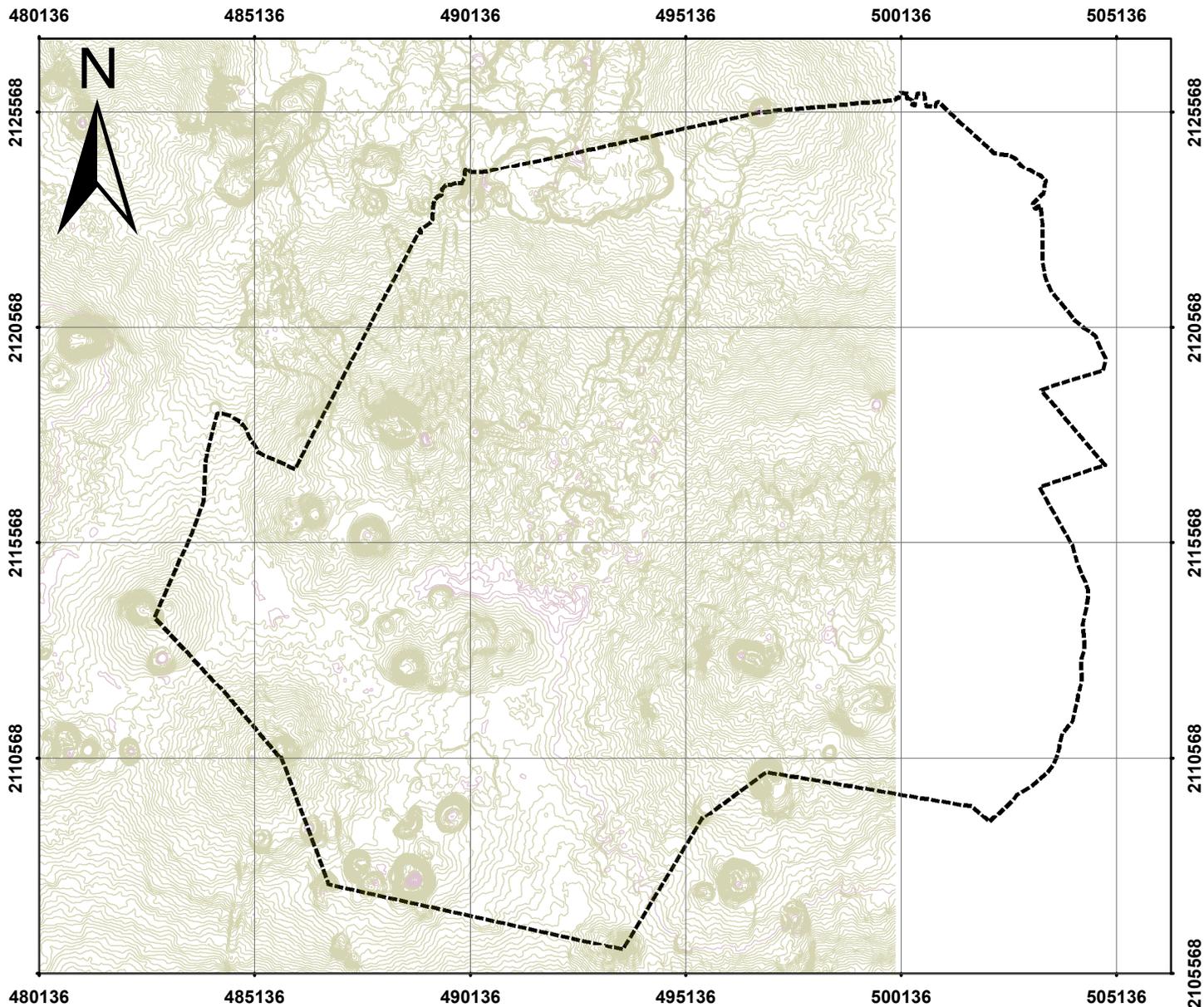
- LÍMITE DELEGACIONAL
- VIALIDADES**
- CALLES
- BRECHAS
- VEREDAS
- CARRETERAS DE TERRACERIA DOS CARRILES
- CARRETERAS ESTATAL REVESTIDA
- CARRETERAS ESTATAL DOS CARRILES NO DIVIDIDA
- CARRETERA FEDERAL NUM. 113

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

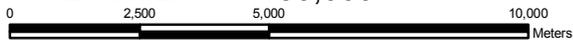


PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

DELEGACIÓN MILPA ALTA

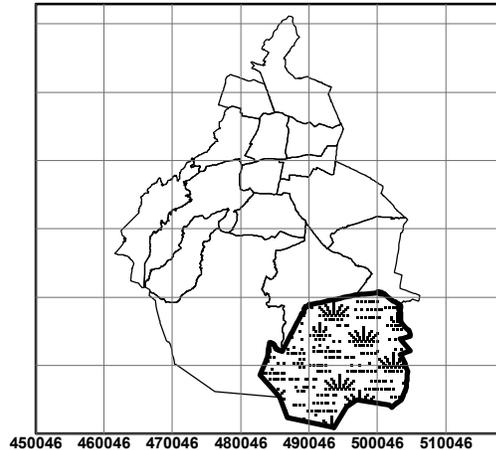


ESCALA 1:150,000

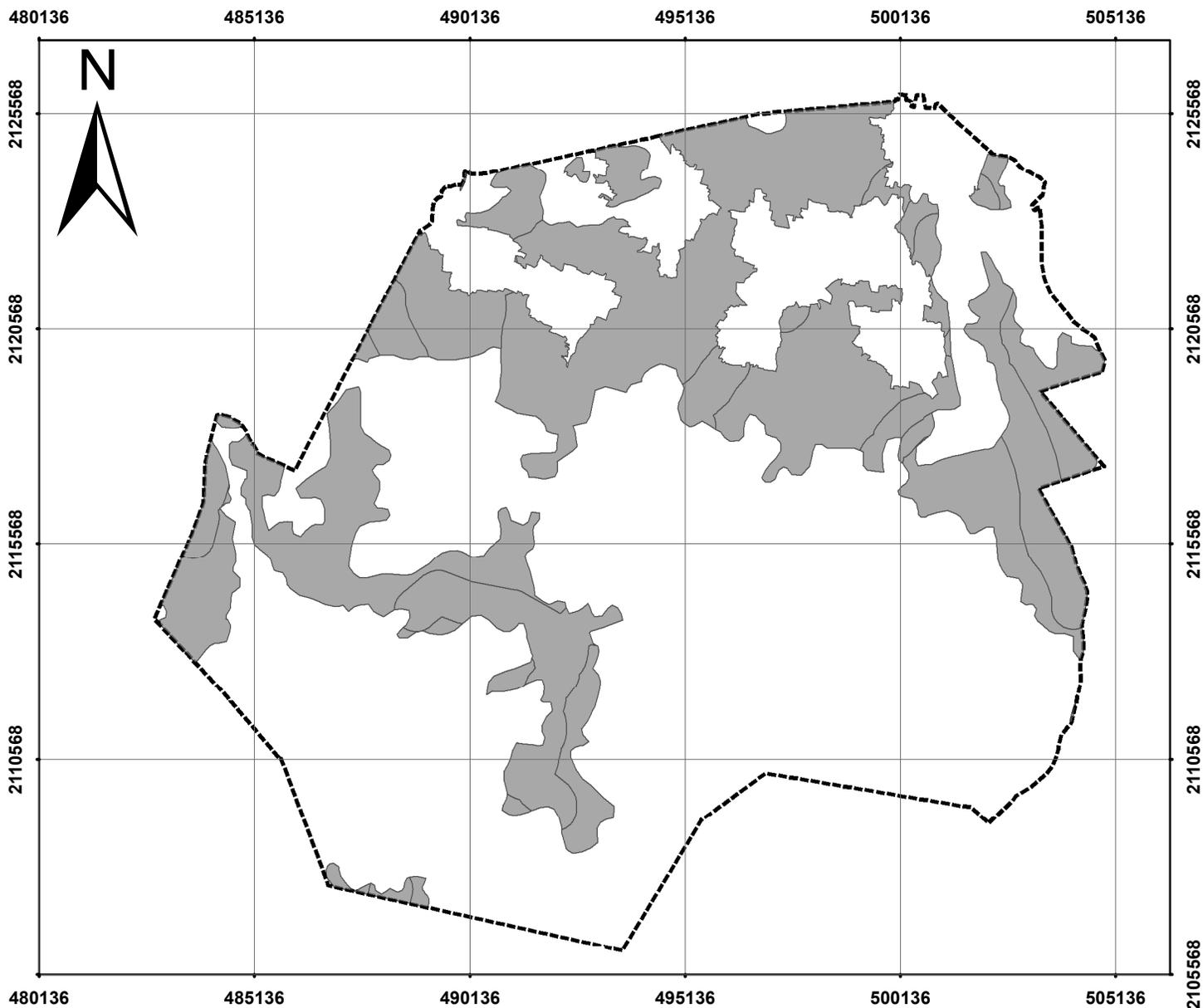


- CURVAS DE NIVEL**
CON DISTANCIAS UNIFORMES ENTRE ELLAS DE 10 METROS
- DEPRESIÓN
- ELEVACIONES
- LÍMITE DELEGACIONAL

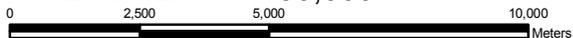
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



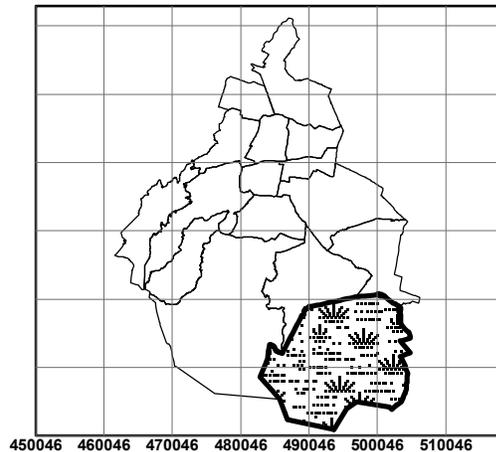
DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:150,000



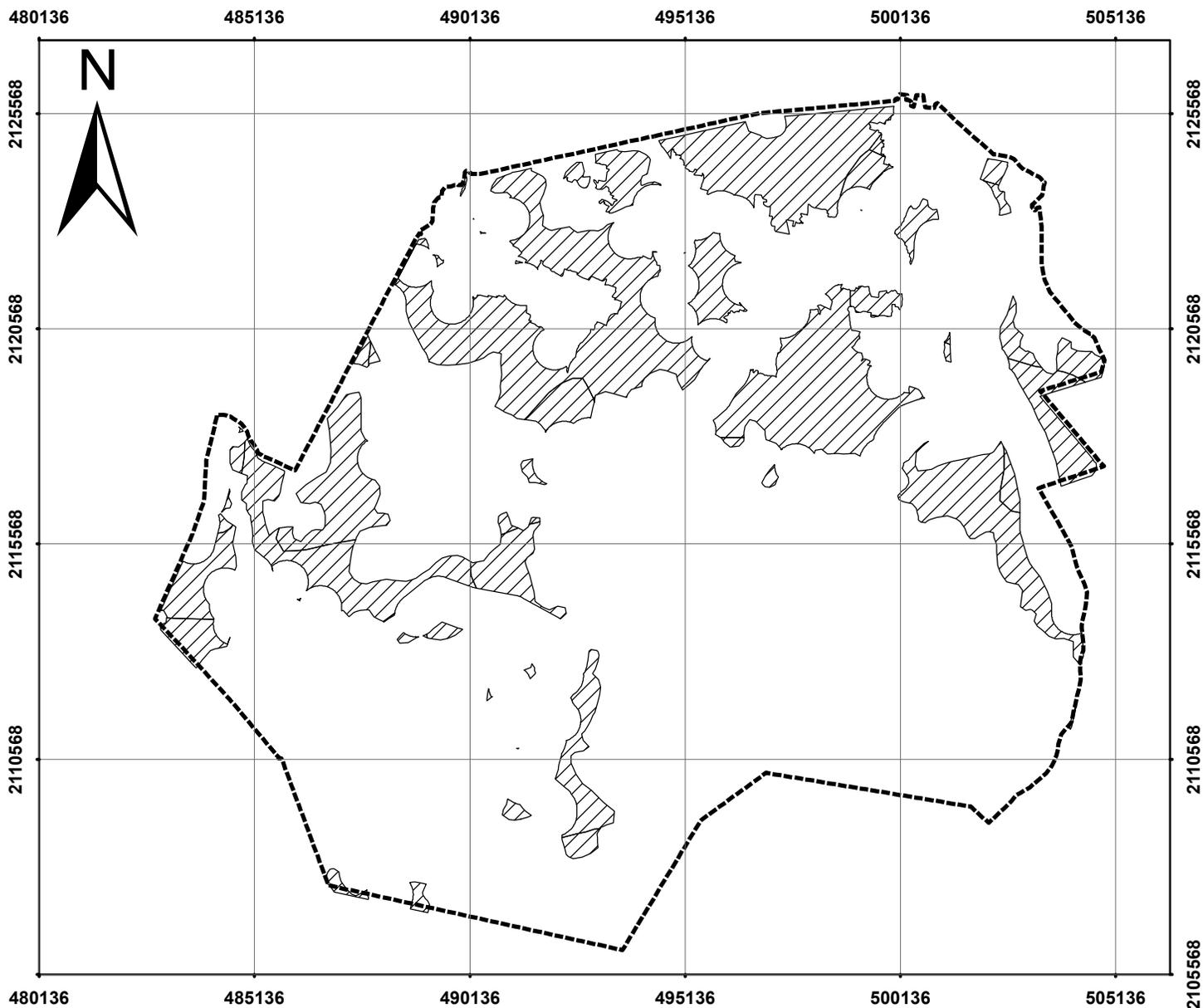
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



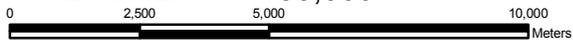
ZONAS FACTIBLES PARA UBICAR EL CAR

-  LÍMITE DELEGACIONAL
-  EN CUANTO A TRAZA URBANA Y RESERVA ECOLÓGICA

DELEGACIÓN MILPA ALTA



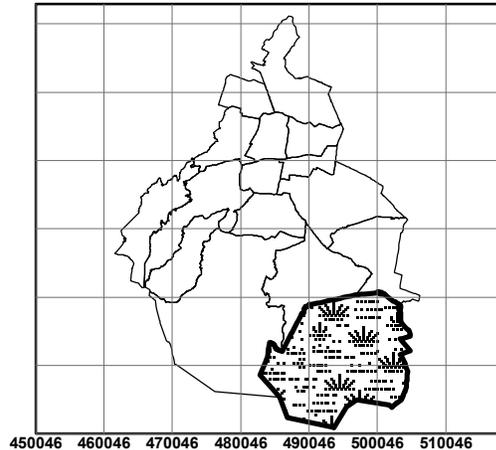
ESCALA 1:150,000



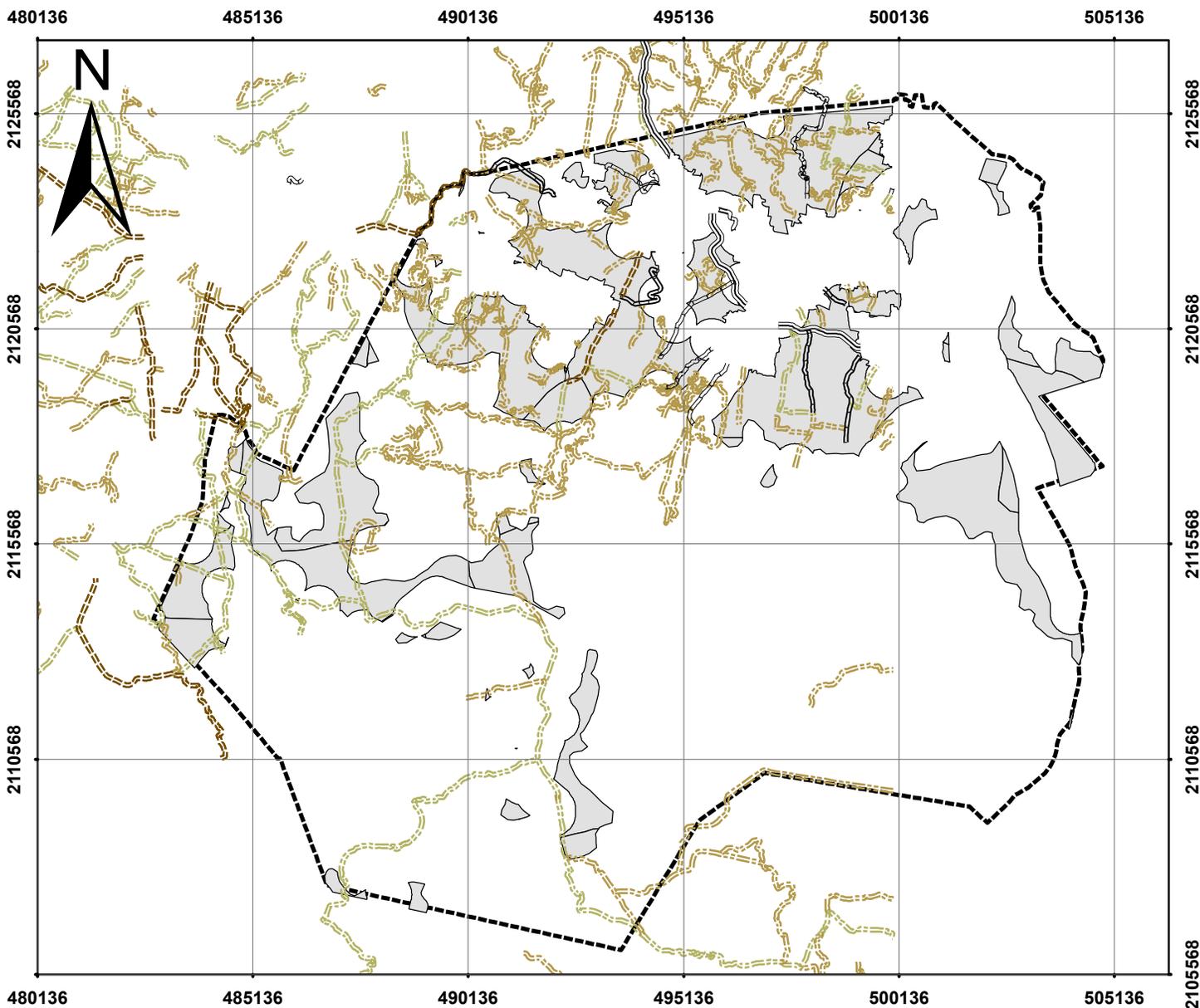
ZONAS FACTIBLES PARA UBICAR EL CAR

- LÍMITE DELEGACIONAL
 - RESERVA ECOLÓGICA Y CUERPOS DE AGUA
- EN CUANTO A TRAZA URBANA,

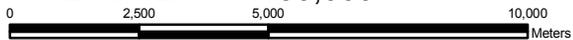
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:150,000



ZONAS FACTIBLES PARA UBICAR EL CAR

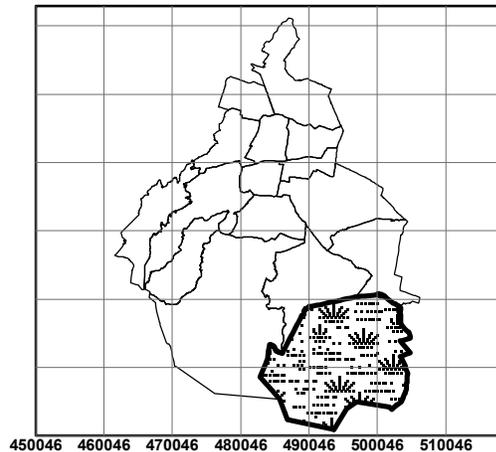
EN CUANTO A TRAZA URBANA,

- RESERVA ECOLÓGICA Y CUERPOS DE AGUA
- LÍMITE DELEGACIONAL

VIALIDADES

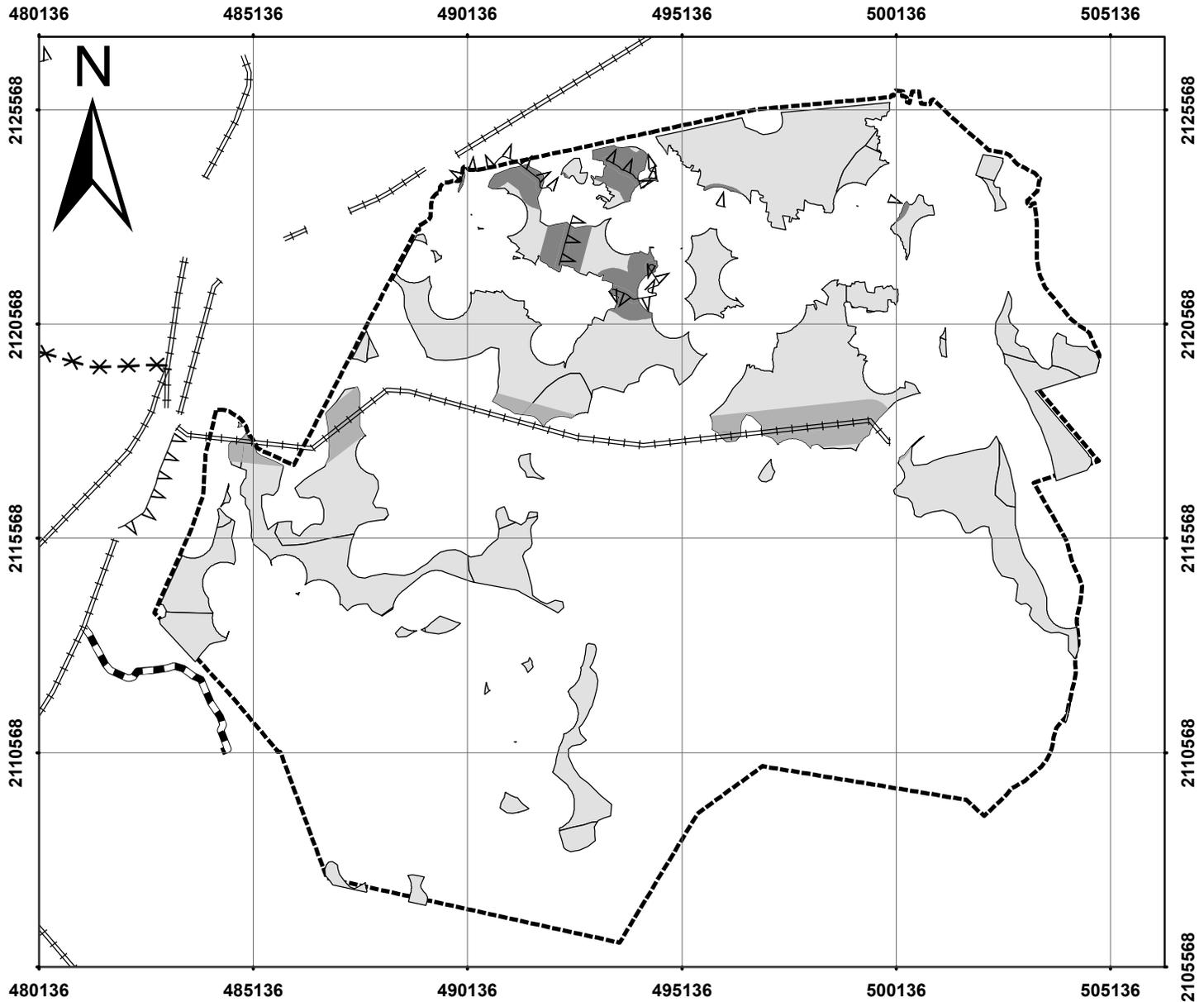
- BRECHAS
- VEREDAS
- CARRETERAS DE TERRACERIA DOS CARRILES
- CARRETERAS ESTATAL REVESTIDA
- CARRETERAS ESTATAL DOS CARRILES NO DIVIDIDA
- CARRETERA FEDERAL NUM. 113

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:150,000



ZONAS FACTIBLES PARA UBICAR EL CAR RESPECTO A LAS RESTRICCIONES ELÉCTRICAS

EN CUANTO A TRAZA URBANA,

- RESERVA ECOLÓGICA Y CUERPOS DE AGUA

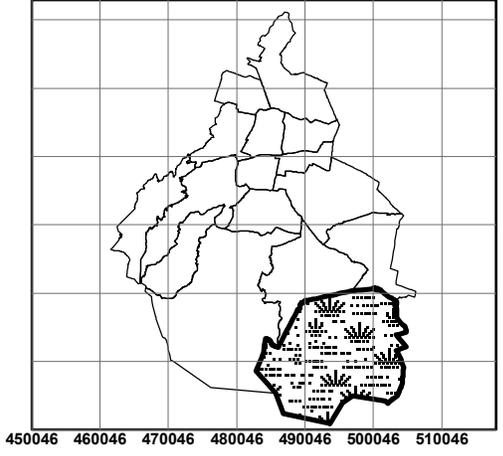
INSTALACIONES ELÉCTRICAS

- UNA LINEA DE TORRES
- MAS DE DOS LINEAS DE TORRES
- UNA LINEA DE POSTERIA SENCILLA
- DOS LINEAS DE POSTERIA SENCILLA

DISTANCIAS

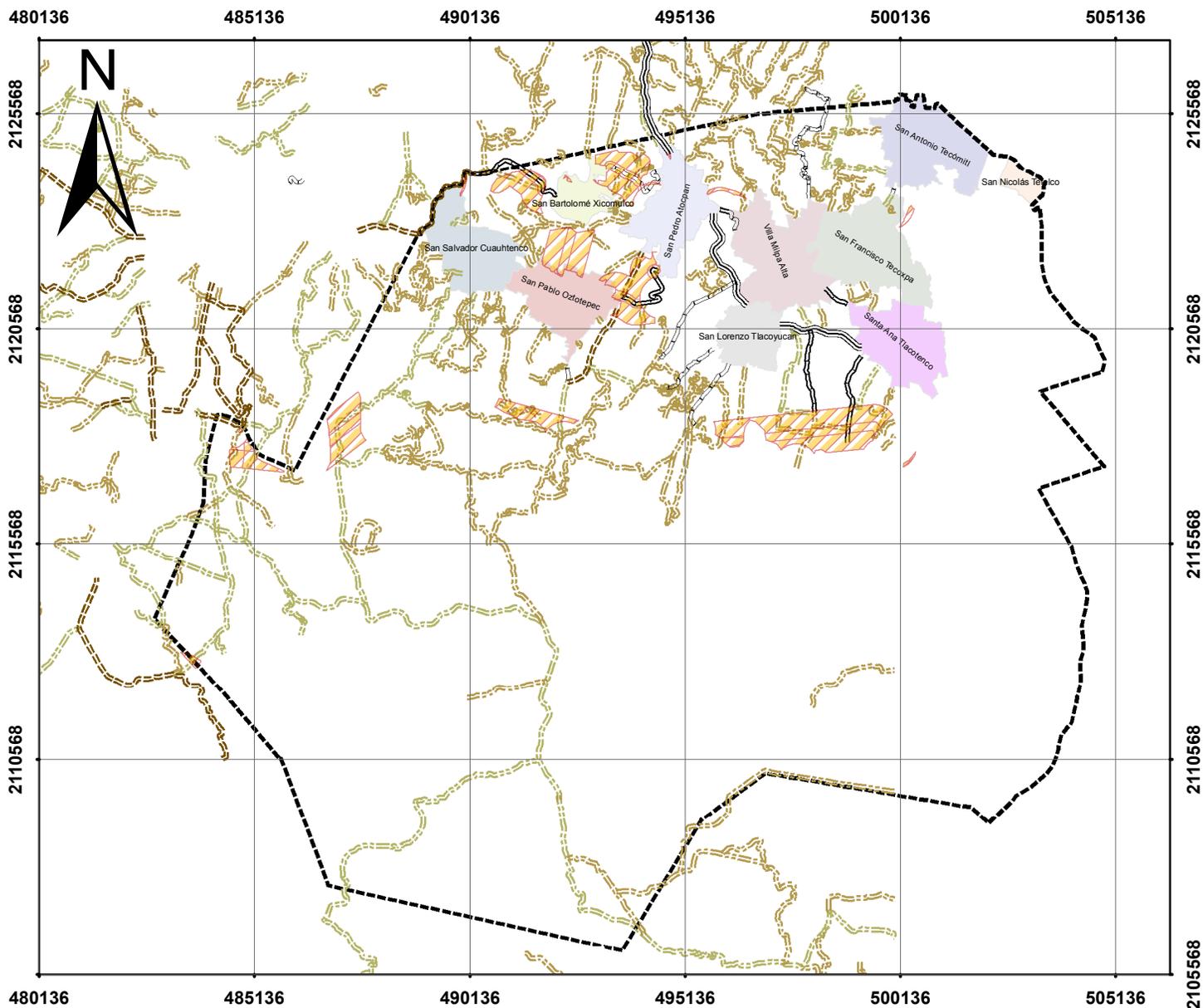
- DE CERO A 500 METROS DE UNA LINEA DE POSTERIA
- DE CERO A 500 METROS DE DOS LINEAS DE POSTERIA
- LÍMITE DELEGACIONAL

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

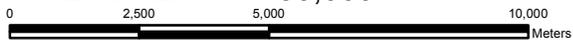


PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:150,000



ZONAS FACTIBLES PARA UBICAR EL CAR

EN CUANTO A TRAZA URBANA, RESERVA

ECOLÓGICA, CUERPOS DE AGUA Y ELECTRICIDAD

LÍMITE DELEGACIONAL

VIALIDADES

BRECHA

VEREDA

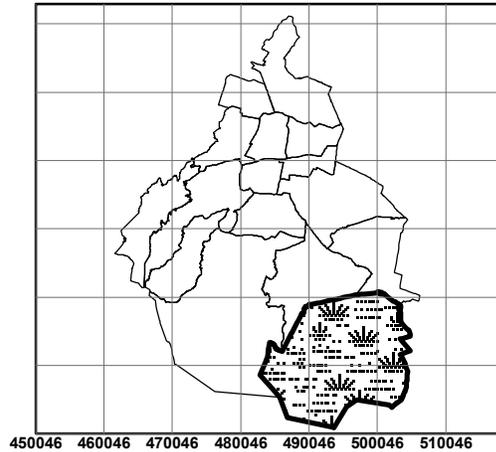
CARRETERA DE TERRACERIA DOS CARRILES

CARRETERA ESTATAL REVESTIDA

CARRETERA ESTATAL DOS CARRILES NO DIVIDIDA

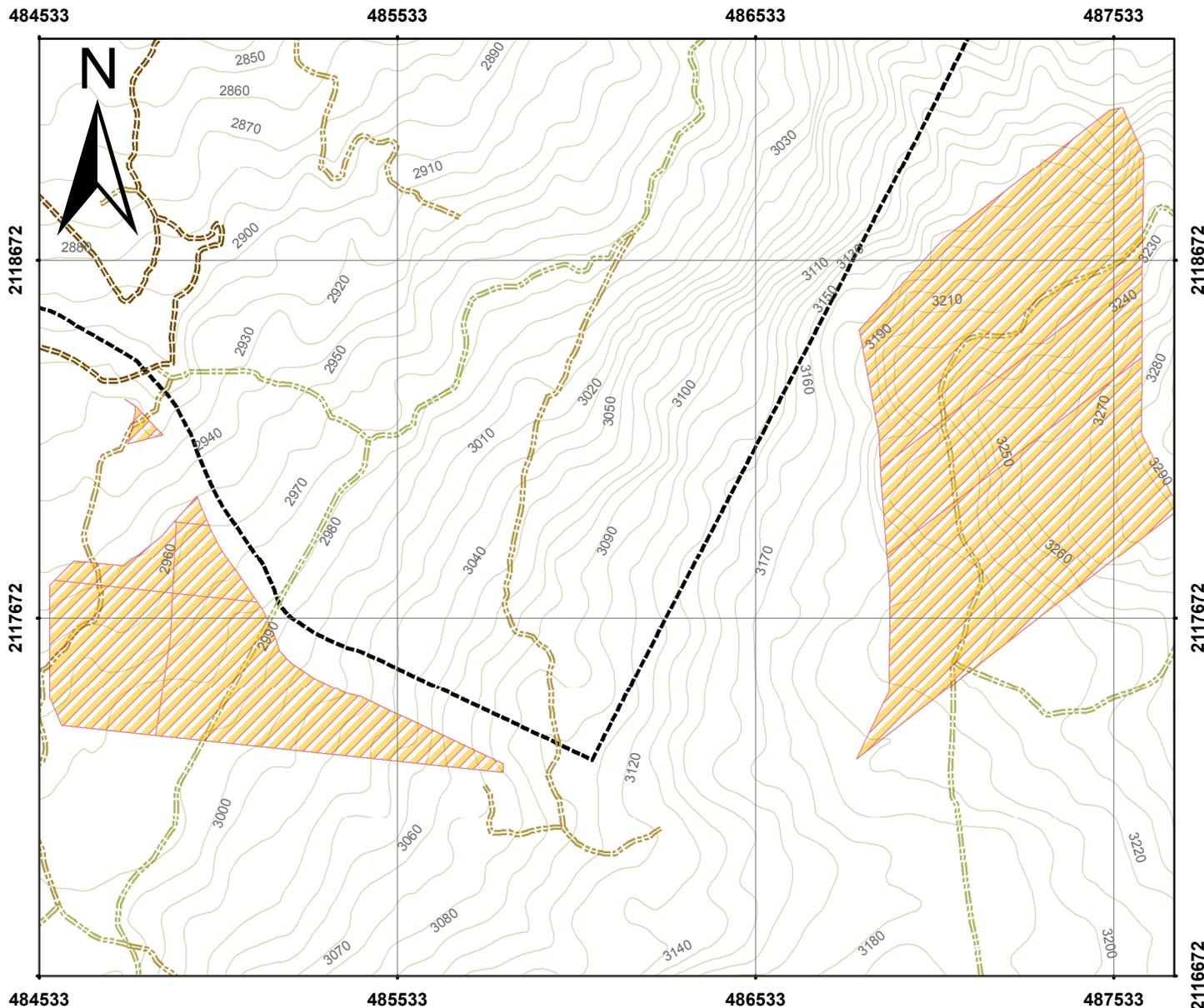
CARRETERA FEDERAL NUM. 113

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

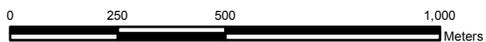


PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

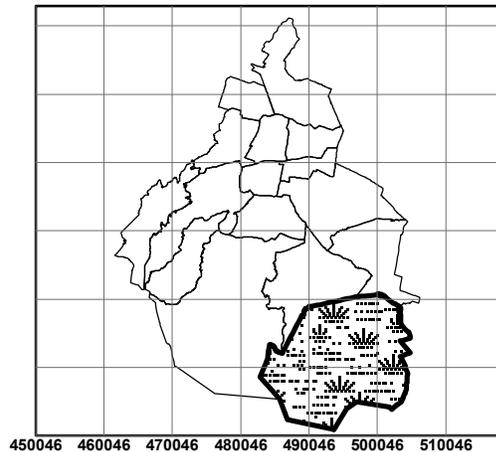
DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:18,000



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



ZONA UNO CON POSIBILIDAD DE SELECCIÓN
 EN CUANTO A TRAZA URBANA, RESERVA
 ECOLÓGICA, CUERPOS DE AGUA Y ELECTRICIDAD

ZONA UNO CON POSIBILIDAD DE SELECCIÓN

LÍMITE DELEGACIONAL

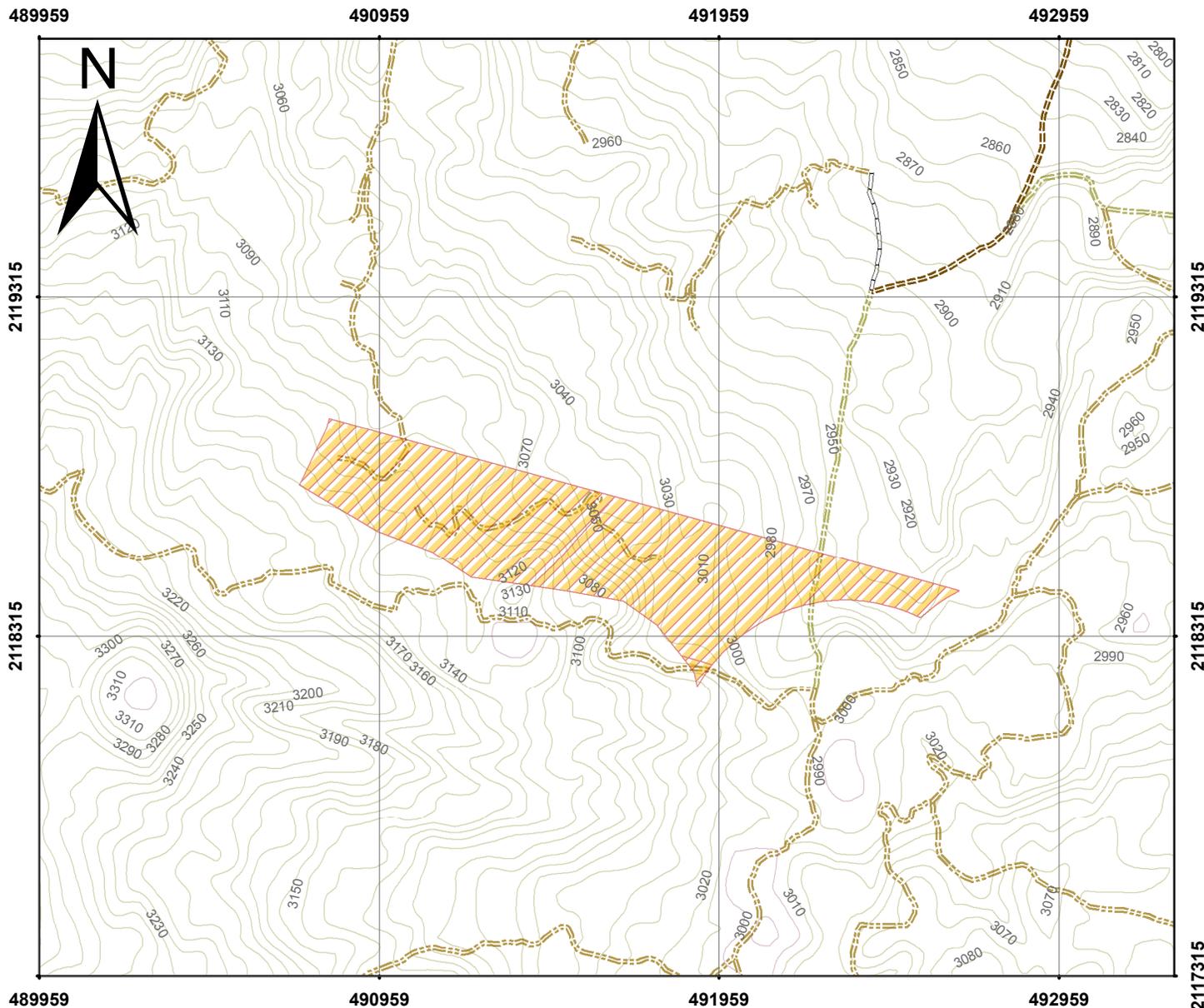
VIALIDADES

- BRECHA
- VEREDA
- CARRETERA DE TERRACERIA DOS CARRILES
- CARRETERA ESTATAL REVESTIDA
- CARRETERA ESTATAL DOS CARRILES NO DIVIDIDA
- CARRETERA FEDERAL NUM. 113

CURVAS DE NIVEL

- CON DISTANCIAS UNIFORMES ENTRE ELLAS DE 10 M
- DEPRESIÓN
- ELEVACIONES

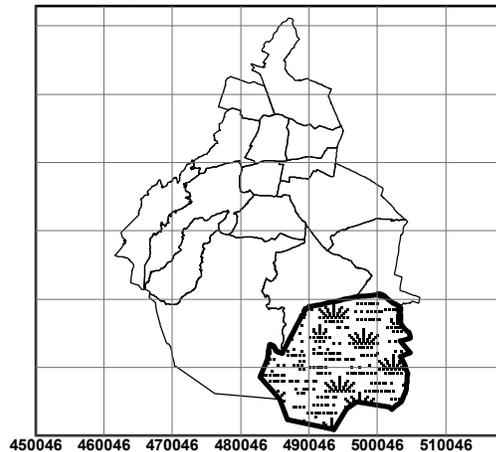
DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:18,000



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



450046 460046 470046 480046 490046 500046 510046

ZONA DOS CON POSIBILIDAD DE SELECCIÓN
 EN CUANTO A TRAZA URBANA, RESERVA ECOLÓGICA, CUERPOS DE AGUA Y ELECTRICIDAD

ZONA DOS CON POSIBILIDAD DE SELECCIÓN

LÍMITE DELEGACIONAL

VIALIDADES

- BRECHA
- VEREDA
- CARRETERA DE TERRACERIA DOS CARRILES
- CARRETERA ESTATAL REVESTIDA
- CARRETERA ESTATAL DOS CARRILES NO DIVIDIDA
- CARRETERA FEDERAL NUM. 113

CURVAS DE NIVEL

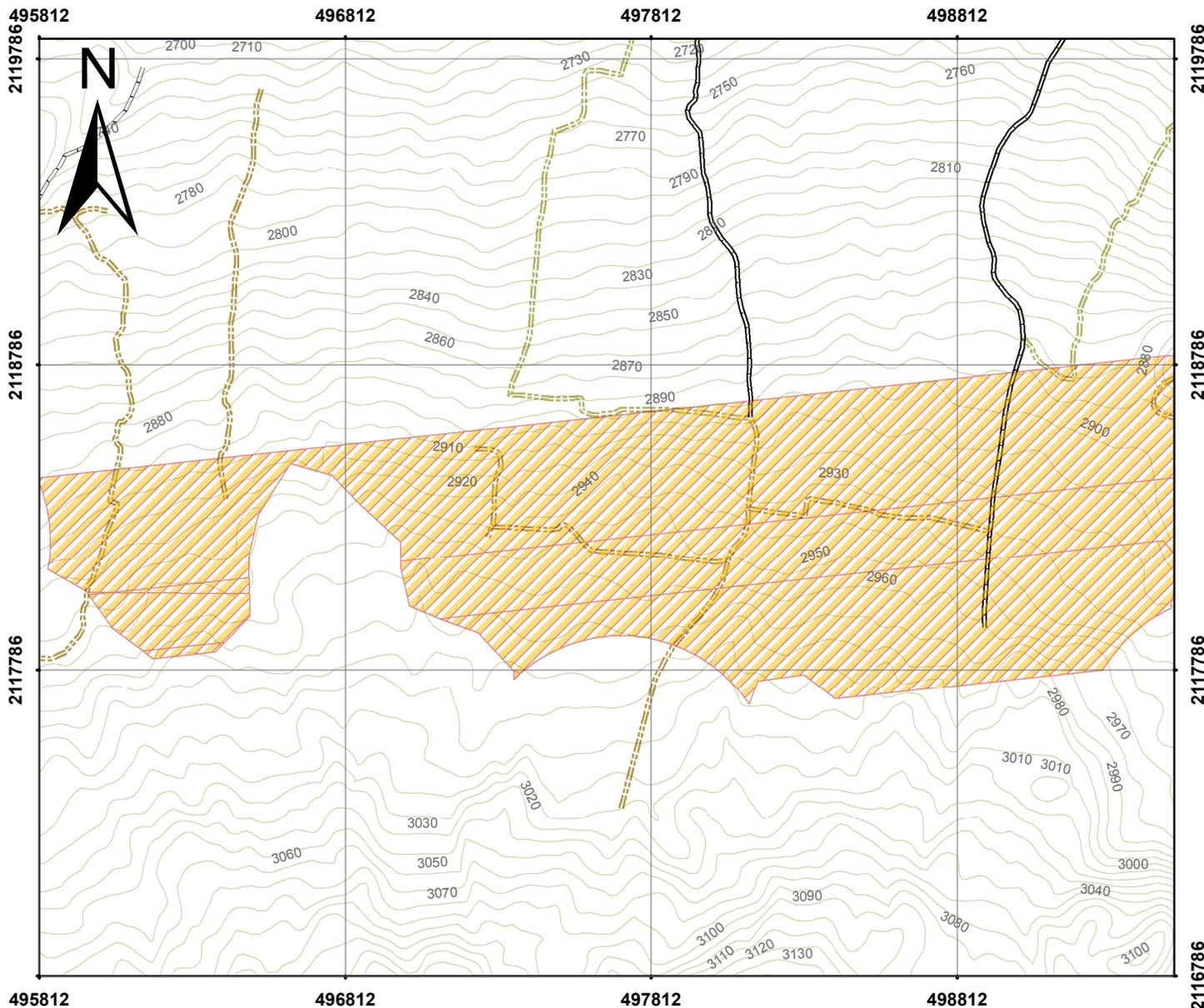
- CON DISTANCIAS UNIFORMES ENTRE ELLAS DE 10 M
- DEPRESIÓN
- ELEVACIONES

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

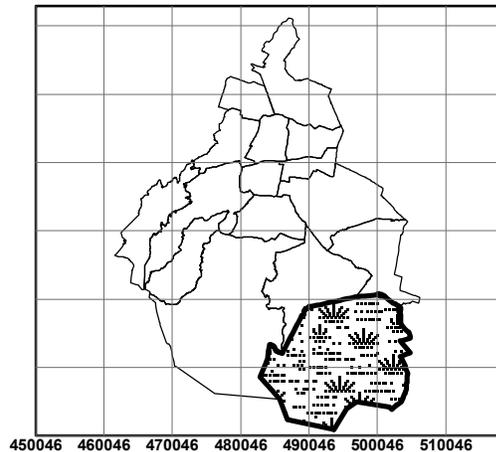
DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:20,000



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



ZONA TRES CON POSIBILIDAD DE SELECCIÓN
 EN CUANTO A TRAZA URBANA, RESERVA ECOLÓGICA, CUERPOS DE AGUA Y ELECTRICIDAD

ZONA TRES CON POSIBILIDAD DE SELECCIÓN

LÍMITE DELEGACIONAL

VIALIDADES

- BRECHA
- VEREDA
- CARRETERA DE TERRACERIA DOS CARRILES
- CARRETERA ESTATAL REVESTIDA
- CARRETERA ESTATAL DOS CARRILES NO DIVIDIDA
- CARRETERA FEDERAL NUM. 113

CURVAS DE NIVEL

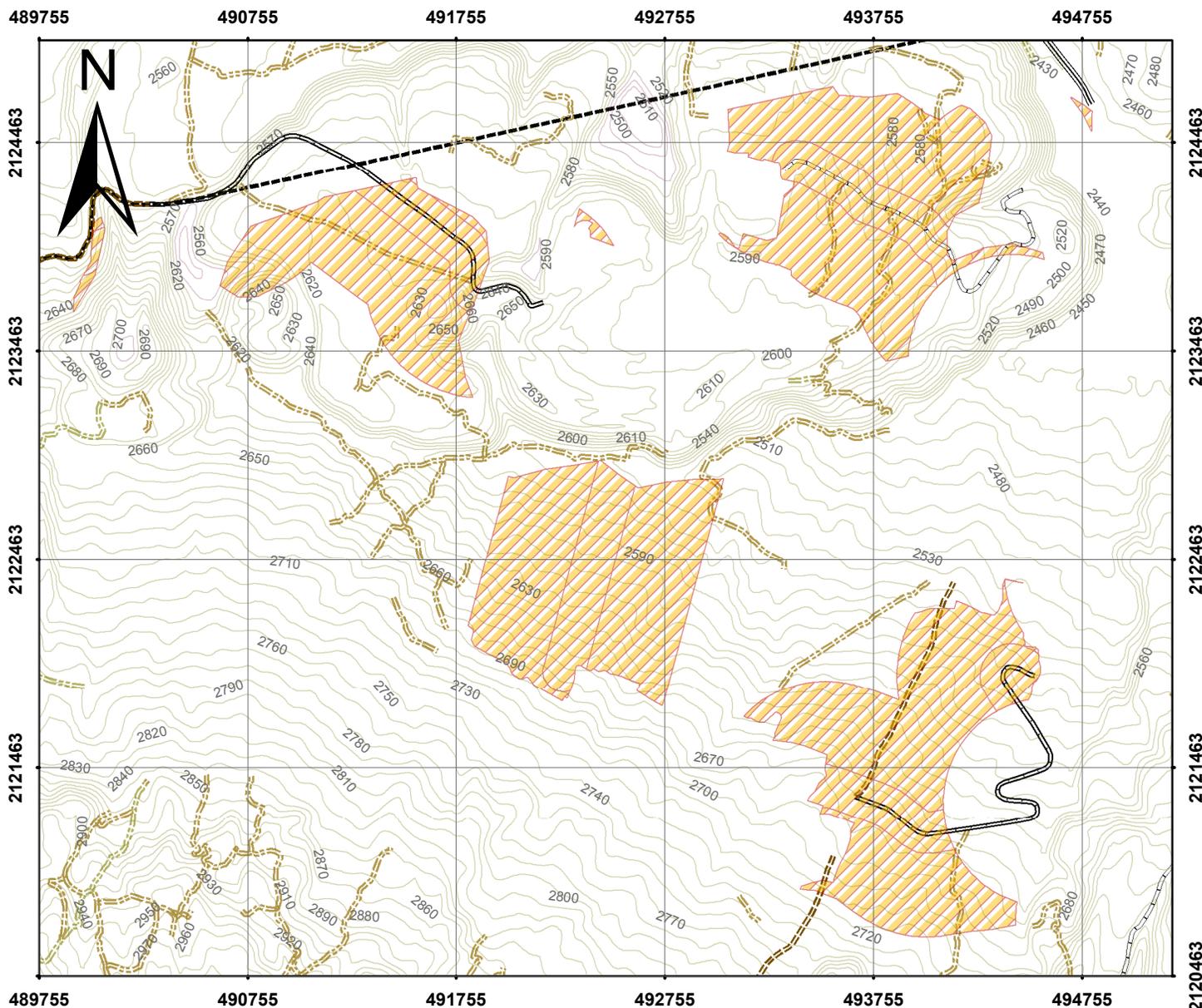
- CON DISTANCIAS UNIFORMES ENTRE ELLAS DE 10 M
- DEPRESIÓN
- ELEVACIONES

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

DELEGACIÓN MILPA ALTA



ESCALA 1:30,000



ZONA CUATRO CON POSIBILIDAD DE SELECCIÓN

EN CUANTO A TRAZA URBANA, RESERVA ECOLÓGICA, CUERPOS DE AGUA Y ELECTRICIDAD



LÍMITE DELEGACIONAL



VIALIDADES



BRECHA



VEREDA



CARRETERA DE TERRACERIA DOS CARRILES



CARRETERA ESTATAL REVESTIDA



CARRETERA ESTATAL DOS CARRILES NO DIVIDIDA



CARRETERA FEDERAL NUM. 113

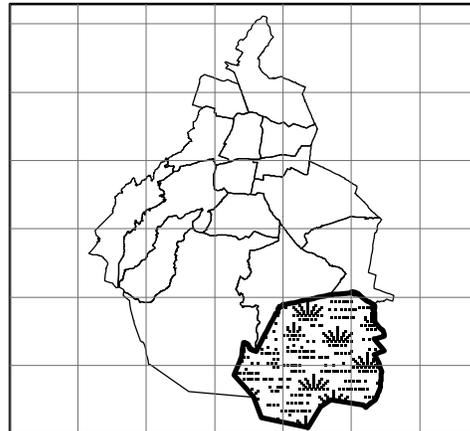
CURVAS DE NIVEL

CON DISTANCIAS UNIFORMES ENTRE ELLAS DE 10 M

DEPRESIÓN

ELEVACIONES

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



450046 460046 470046 480046 490046 500046 510046

PROPUESTA DE UN CENTRO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

ANEXO H. Análisis de costos

H.1. Análisis de costos para el CAR con planta de selección mecanizada

Tabla H1.1. Inversiones Fijas.

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL (miles de \$)
INVERSIONES FIJAS				<u>36,505.87</u>
TERRENO	-	-	-	<u>7,500.00</u>
Planta de composta	m ²	2,920	1,500.00	4,380.00
Planta de selección	m ²	2,080	1,500.00	3,120.00
OBRA CIVIL	-	-	-	<u>3,681.05</u>
Planta de composta				2,332.01
Pesaje	m ²	40	3,578.70	143.15
Oficinas	m ²	92	2,260.70	207.98
Almacén	m ²	900.00	627.45	564.71
Patio de descargas	m ²	150.00	750.00	112.50
Estacionamiento	m ²	88.00	751.92	66.17
Patio de trabajo	m ²	1,650.00	750.00	1,237.50
Planta de separación				<u>1,349.04</u>
Patio de descargas y trabajo	m ²	312.00	750.00	234.00
Almacén	m ²	1,762.00	627.45	1,105.57
Caseta de vigilancia	m ²	6.00	1,578.70	9.47
MAQUINARIA Y EQUIPO	-	-	-	<u>25,075.97</u>
Planta de composta				<u>11,944.12</u>
Trituradora de mandíbula	PZA	1	1,600,000.00	1,600.00
Trituradora de rodillos	PZA	1	1,600,000.00	1,600.00
Cargador frontal	PZA	3	1,562,500.00	4,687.50
Mezcladora	PZA	1	898,275.00	898.28
Cribadora	PZA	1	350,000.00	350.00
Ensacadora	PZA	6	434,724.50	2,608.35
Elevador de cangilones	PZA	1	200,000.00	200.00
Planta de separación				<u>13,131.84</u>
Banda transportadora	PZA	3	116,484.00	349.45
Separador magnético	PZA	1	2,000,000.00	2,000.00
Placas separadoras de metales no ferrosos	PZA	1	300,000.00	300.00
Separadores neumáticos	PZA	4	1,000,000.00	4,000.00
Mesa vibratoria	PZA	1	400,000.00	400.00
Separador óptico	PZA	1	2,900,000.00	2,900.00
Compactadora	PZA	1	140,000.00	140.00
Montacargas	PZA	1	439,567.50	439.57
Elevador de cangilones	PZA	1	200,000.00	200.00
Ensacadora	PZA	1	434,724.50	434.72
Cargador frontal	PZA	1	1,562,500.00	1,562.50
Báscula	PZA	1	405,600.00	405.60

Tabla H1.1 Continuación... Inversiones Fijas.

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL (miles de \$)
EQUIPO DE OFICINA	-	-	-	248.85
Equipo de cómputo de escritorio	LOTE	1	13,855.00	13.86
Equipo de impresión y fotocopiado	LOTE	1	10,125.00	10.13
Radios de comunicación interna	LOTE	6	3,730.00	22.38
Mobiliario equipo para oficina	LOTE	1	159,863.00	159.86
Mobiliario y equipo servicios médicos	LOTE	1	42,630.00	42.63

Tabla H1.2. Inversiones Diferidas.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (miles de \$)
INVERSIONES DIFERIDAS			1,460.23
LICENCIAS Y PERMISOS			912.65
Documentación y asuntos administrativos	1	912.65	912.65
IMPREVISTOS			547.59
Permiso de uso de suelo, etc.	1	547.59	547.59

Fuente: Salarios obtenidos de la Comisión Nacional de Salarios Mínimos CONASAMI. *
Turno completo (8hrs)

Tabla H1.3. Capital de trabajo (miles de pesos).

MANO DE OBRA					
PERSONAL	TURNOS/DÍA *	CANTIDAD	SALARIO UNITARIO	SALARIO MENSUAL (miles de pesos)	TOTAL ANUAL (miles de pesos)
DIRECTA		-	-	119.00	
<u>Planta de selección</u>					
Supervisor de planta	1	1	5,000.00	5.00	
Operador de maquinaria	1	2	3,500.00	7.00	
Operador de bandas (manuales)	1	14	3,500.00	49.00	
SUMA	3	17	<u>12,000.00</u>	<u>61.00</u>	
<u>Planta de composta</u>					
Supervisor de planta	1	1	5,000.00	5.00	
Operador de maquinaria	1	10	3,500.00	35.00	
SUMA	2	11	<u>8,500.00</u>	<u>40.00</u>	
Mecánico	1	2	4,000.00	8.00	
Ayudante en general	1	2	2,000.00	4.00	
Ayudante de mecanico	1	2	3,000.00	6.00	
SUMA	3	6	<u>9,000.00</u>	<u>18.00</u>	
SUBTOTAL				119.00	
2% sobre nómina				2.38	
2.5 IMSS				2.98	
5% INFONAVIT				5.95	
Total (incluye impuestos, IMSS, Infonavit)			-	130.31	1,563.66

Fuente: Salarios obtenidos de la Comisión Nacional de Salarios Mínimos CONASAMI

* Turno completo (8hrs)

Tabla H1.3. Continuación... Capital de trabajo (miles de pesos).

MANO DE OBRA					
PERSONAL	TURNOS/DÍA *	CANTIDA D	SALARIO UNITARIO	SALARIO MENSUAL (miles de pesos)	TOTAL ANUAL (miles de pesos)
INDIRECTA			-	19.70	
Jefe administrativo	1	1	10,000.00	10.00	
Secretaria	1	1	3,700.00	3.70	
Vigilante	3	1	2,000.00	6.00	
SUMA	5	3	-	-	
SUBTOTAL				19.70	
2% sobre nómina				0.39	
2.5 IMSS				0.49	
5% INFONAVIT				0.99	
Total (incluye impuestos, IMSS, Infonavit)			-	21.57	258.858

Fuente: Salarios obtenidos de la Comisión Nacional de Salarios Mínimos CONASAMI

* Turno completo (8hrs)

Tabla H1.4. Resumen de Inversiones.

CONCEPTO	IMPORTE (miles de \$)
INVERSIONES TOTALES	62,369.01
INVERSIONES FIJAS	36,505.87
Terreno	7,500.00
Obra civil	3,681.05
Maquinaria y equipo	25,075.97
Equipo de oficina	248.85
INVERSIONES DIFERIDAS	1,460.23
Licencias y permisos	912.65
Imprevistos	547.59
CAPITAL DE TRABAJO	24,402.91
M.O. Directa	1,563.66
M.O. Indirecta	258.86
Insumos	22,535.14
Otros	45.25

Tabla H1.5. Depreciaciones y amortizaciones

Concepto	Valor	Vida útil (años)	%	Total
DEPRECIACIONES				<u>3,277.31</u>
<u>MAQUINARIA Y EQUIPO</u>				<u>3,227.54</u>
Planta de composta				<u>1,209.41</u>
Trituradora de mandíbula	1,600.00	10	10%	160.00
Trituradora de rodillos	1,600.00	10	10%	160.00
Cargador frontal	4,687.50	10	10%	468.75
Mezcladora	898.28	10	10%	89.83
Cribadora	350.00	5	20%	70.00
Ensayadora	2,608.35	10	10%	260.83
Elevador de cangilones	200.00			
Planta de separación				<u>2,018.13</u>
Banda transportadora	349.45	5	20%	69.89
Separador magnético	2,000.00	5	20%	400.00
Placas separadoras de metales no ferrosos	300.00	5	20%	60.00
Separadores neumáticos	4,000.00	5	20%	800.00
Mesa vibratoria	400.00	5	20%	80.00
Separador óptico	2,900.00	10	10%	290.00
Compactadora	140.00	10	10%	14.00
Montacargas	439.57	10	10%	43.96
Elevador de cangilones	200.00	10	10%	20.00
Ensayadora	434.72	10	10%	43.47
Cargador frontal	1,562.50	10	10%	156.25
Báscula	405.60	10	10%	40.56
<u>EQUIPO DE OFICINA</u>				<u>49.77</u>
Equipo de cómputo de escritorio	13.86	5	20%	2.77
Equipo de impresión y fotocopiado	10.13	5	20%	2.03
Radios de comunicación interna	22.38	5	20%	4.48
Mobiliario equipo para oficina	159.86	5	20%	31.97
Mobiliario y equipo servicios médicos	42.63	5	20%	8.53
<u>AMORTIZACIONES</u>				<u>73.01</u>
Licencias y permisos	912.65	0	2%	18.25
Imprevistos	547.59	0	10%	54.76

Tabla H1.6. Presupuesto de Ingresos – Egresos. (miles de pesos)

CONCEPTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ingresos	34,785.71	36,322.37	37,895.01	39,509.99	41,166.28	42,928.31	44,595.13	46,365.86	48,179.61	50,032.28
Egresos	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85
Saldo	12,141.86	13,678.52	15,251.16	16,866.14	18,522.43	20,284.46	21,951.28	23,722.01	25,535.76	27,388.43
CONCEPTO	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
Ingresos	51,921.43	53,848.28	55,809.58	57,811.20	59,845.20	61,914.67	64,016.22	66,150.87	67,717.34	70,510.60

Egresos	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85
Saldo	29,277.58	31,204.43	33,165.73	35,167.36	37,201.35	39,270.82	41,372.37	43,507.02	45,073.49	47,866.75	

Tabla H1.7. Gastos Financieros.

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversiones totales	62,369.01										
Credito BANCARIO	24,947.61	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38
Tasa de interés anual	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13		0.13	0.13
intereses o carga financiera anual		162.16	162.16	162.16	162.16	162.16	162.16	162.16	0.00	162.16	162.16
Monto + interés a pagar anual		1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,247.38	1,409.54	1,409.54
CONCEPTO	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20	TOTAL
Inversiones totales											
Credito BANCARIO	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	1,247.38	
Tasa de interés anual	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	
intereses o carga financiera anual	162.16	162.16	162.16	162.16	162.16	162.16	162.16	162.16	162.16	162.16	3,081.03
Monto + interés a pagar anual	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	28,028.63

Tabla H1.8. Flujo Neto Efectivo.

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversión Inicial	62,369.01										
Ingresos por ventas		34,785.71	36,322.37	37,895.01	39,509.99	41,166.28	42,928.31	44,595.13	46,365.86	48,179.61	50,032.28
Egresos		22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85
Utilidad Bruta		12,141.86	13,678.52	15,251.16	16,866.14	18,522.43	20,284.46	21,951.28	23,722.01	25,535.76	27,388.43
Gastos administrativos		258.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad de operación		11,883.01	13,678.52	15,251.16	16,866.14	18,522.43	20,284.46	21,951.28	23,722.01	25,535.76	27,388.43
Gastos financieros		1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,247.38	1,409.54	1,409.54
Amortización		73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01
Depreciación		3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31
Utilidades antes de impuestos		7,123.14	8,918.66	10,491.29	12,106.28	13,762.57	15,524.60	17,191.41	19,124.30	20,775.90	22,628.57
ISR (30%)		2,136.94	2,675.60	3,147.39	3,631.88	4,128.77	4,657.38	5,157.42	5,737.29	6,232.77	6,788.57
PTU (10%)		712.31	891.87	1,049.13	1,210.63	1,376.26	1,552.46	1,719.14	1,912.43	2,077.59	2,262.86
Utilidad neta		4,273.88	5,351.19	6,294.78	7,263.77	8,257.54	9,314.76	10,314.85	11,474.58	12,465.54	13,577.14
Depreciación		3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31
Amortización		73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01
Flujo Neto de Efectivo		7,624.21	8,701.52	9,645.10	10,614.09	11,607.86	12,665.08	13,665.17	14,824.91	15,815.86	16,927.47

Tabla H1.8. Continuación... Flujo Neto Efectivo.

CONCEPTO	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
Inversión Inicial										
Ingresos por ventas	51,921.43	53,848.28	55,809.58	57,811.20	59,845.20	61,914.67	64,016.22	66,150.87	67,717.34	70,510.60
Egresos	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85	22,643.85
Utilidad Bruta	29,277.58	31,204.43	33,165.73	35,167.36	37,201.35	39,270.82	41,372.37	43,507.02	45,073.49	47,866.75
Gastos administrativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad de operación	29,277.58	31,204.43	33,165.73	35,167.36	37,201.35	39,270.82	41,372.37	43,507.02	45,073.49	47,866.75
Gastos financieros	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54	1,409.54
Amortización	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01
Depreciación	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31
Utilidades antes de impuestos	24,517.72	26,444.57	28,405.87	30,407.49	32,441.49	34,510.96	36,612.51	38,747.16	40,313.63	43,106.89
ISR (30%)	7,355.32	7,933.37	8,521.76	9,122.25	9,732.45	10,353.29	10,983.75	11,624.15	12,094.09	12,932.07
PTU (10%)	2,451.77	2,644.46	2,840.59	3,040.75	3,244.15	3,451.10	3,661.25	3,874.72	4,031.36	4,310.69
Utilidad neta	14,710.63	15,866.74	17,043.52	18,244.49	19,464.89	20,706.58	21,967.51	23,248.30	24,188.18	25,864.13
Depreciación	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31	3,277.31
Amortización	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01	73.01
Flujo Neto de Efectivo	18,060.96	19,217.07	20,393.84	21,594.82	22,815.22	24,056.90	25,317.83	26,598.62	27,538.50	29,214.46

H.2. Análisis de costos para el CAR con planta de selección manual

Tabla H2.1. Inversiones Fijas.

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL
INVERSIONES FIJAS				23,065.14
TERRENO				7,500.00
Planta de composta	m2	2,920	1,500.00	4,380.00
Planta de selección	m2	2,080	1,500.00	3,120.00
OBRA CIVIL				3,681.05
Planta de composta	-	-	-	2,332.01
Pesaje	m2	40	3,578.70	143.15
Oficinas	m2	92	2,260.70	207.98
Almacén	m2	900.00	627.45	564.71
Patio de descargas	m2	150.00	750.00	112.50
Estacionamiento	m2	88.00	751.92	66.17
Patio de trabajo	m2	1,650.00	750.00	1,237.50
Planta de separación	-	-	-	1,349.04
Patio de descargas y trabajo	m2	312.00	750.00	234.00
Almacén	m2	1,762.00	627.45	1,105.57
Caseta de vigilancia	m2	6.00	1,578.70	9.47
MAQUINARIA Y EQUIPO				11,635.23
Planta de composta				7,573.28
Trituradora de mandíbula	PZA	1	1,600,000.00	1,600.00
Trituradora de rodillos	PZA	1	1,600,000.00	1,600.00
Cargador frontal	PZA	2	1,562,500.00	3,125.00
Mezcladora	PZA	1	898,275.00	898.28
Cribadora	PZA	1	350,000.00	350.00
Planta de separación				4,061.96
Banda transportadora	PZA	13	116,484.00	1,514.29
Compactadora	PZA	1	140,000.00	140.00
Montacargas	PZA	1	439,567.50	439.57
Cargador frontal	PZA	1	1,562,500.00	1,562.50
Báscula	PZA	1	405,600.00	405.60
EQUIPO DE OFICINA				248.85
Equipo de cómputo de escritorio	LOTE	1	13,855.00	13.86
Equipo de impresión y fotocopiado	LOTE	1	10,125.00	10.13
Radíos de comunicación interna	LOTE	6	3,730.00	22.38
Mobiliario equipo para oficina	LOTE	1	159,863.00	159.86
Mobiliario y equipo servicios médicos	LOTE	1	42,630.00	42.63

Tabla H2.2. Inversiones Diferidas.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
INVERSIONES DIFERIDAS			<u>922.61</u>
LICENCIAS Y PERMISOS			<u>576.63</u>
Documentación y asuntos administrativos	1	576.63	<u>576.63</u>
IMPREVISTOS			<u>345.98</u>
Permiso de uso de suelo, etc.	1	345.98	<u>345.98</u>

Tabla H2.3. Capital de trabajo (miles de pesos).

MANO DE OBRA					
PERSONAL	TURNOS/DÍA*	CANTIDAD	SALARIO UNITARIO	SALARIO MENSUAL	TOTAL ANUAL
DIRECTA		-	-	<u>941.00</u>	
Planta de selección					
Supervisor de planta	1	1	5,000.00	5.00	
Operador de maquinaria	1	2	3,500.00	7.00	
Operador de bandas (manuales)	1	254	3,500.00	889.00	
SUMA	3	257	<u>12,000.00</u>	<u>901.00</u>	
Planta de composta					
Supervisor de planta	1	1	5,000.00	5.00	
Operador de bandas (manuales)	1	6	3,500.00	21.00	
SUMA	2	7	<u>8,500.00</u>	<u>26.00</u>	
Mecánico	1	2	3,500.00	7.00	
Ayudante en general	1	2	2,000.00	4.00	
Ayudante de mecanico	1	1	3,000.00	3.00	
SUMA	3	5	<u>8,500.00</u>	<u>14.00</u>	
SUBTOTAL				941.00	
2% sobre nómina				18.82	
2.5 IMSS				23.53	
5% INFONAVIT				47.05	
Total (incluye impuestos, IMSS, Infonavit)			-	<u>1,030.40</u>	<u>12,364.74</u>
INDIRECTA			-	<u>12.70</u>	
Jefe administrativo	1	1	5,000.00	5.00	
Secretaria	1	1	3,700.00	3.70	
Vigilante	2	1	2,000.00	4.00	
SUMA	4	3	-	-	
SUBTOTAL				12.70	
2% sobre nómina				0.25	
2.5 IMSS				0.32	
5% INFONAVIT				0.64	
Total (incluye impuestos, IMSS, Infonavit)			-	<u>13.91</u>	<u>166.878</u>

Fuente: Salarios obtenidos de la Comisión Nacional de Salarios Mínimos CONASAMI

* Turno completo (8hrs)

Tabla H2.3. Continuación... Capital de trabajo (miles de pesos).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD (anual)	PRECIO UNITARIO(\$)	TOTAL (miles de \$)
INSUMOS				<u>19,913.64</u>
Combustible				<u>352.90</u>
Planta de composta				<u>187.24</u>
Cargador frontal (2)	LT (diesel)	19,353.60	8.56	165.67
Mezcladora (1)	LT (diesel)	2,520.00	8.56	21.57
Planta de separación				<u>165.67</u>
Montacargas (1)	LT (diesel)	9,676.80	8.56	82.83
Cargador frontal (1)	LT (diesel)	9,676.80	8.56	82.83
Energía eléctrica				<u>626.27</u>
Planta de composta				<u>437.25</u>
Trituradora de mandíbula (1)	KW	34,560.00	2.58	89.23
Trituradora de rodillos (1)	KW	129,600.00	2.58	334.63
Cribadora (1)	KW	5,184.00	2.58	13.39
Planta de separación				<u>189.02</u>
Banda transportadora (13)	KW	44,928.00	2.58	116.00
Compactadora (1)	KW	25,820.00	2.58	66.67
Placas separadoras de metales no ferrosos (1)	KW	2,304.00	2.58	5.95
Báscula (1)	KW	155.42	2.58	0.40
Teléfono		12.00	1,000.00	<u>12.00</u>
Consumo de agua		1.00	18,912,863	<u>18,912.86</u>
Papelería y artículos de limpieza		12.00	800.00	<u>9.60</u>
OTROS				<u>45.25</u>
Uniformes M.O.		41.00	150.00	6.15
Capacitación		1.00	15,000.00	15.00
Mantenimiento de instalaciones		1.00	2,500.00	2.50
Seguro de vida		48.00	450.00	21.60

Fuente: Salarios obtenidos de la Comisión Nacional de Salarios Mínimos CONASAMI

* Turno completo (8hrs)

Tabla H2.4. Resumen de Inversiones.

CONCEPTO	IMPORTE
INVERSIONES TOTALES	<u>56,478.24</u>
INVERSIONES FIJAS	<u>23,065.14</u>
Terreno	7,500.00
Obra civil	3,681.05
Maquinaria y equipo	11,635.23
Equipo de oficina	248.85
INVERSIONES DIFERIDAS	<u>922.61</u>
Licencias y permisos	576.63
Imprevistos	345.98
CAPITAL DE TRABAJO	<u>32,490.50</u>
M.O. Directa	12,364.74
M.O. Indirecta	166.88
Insumos	19,913.64
Otros	45.25

Tabla H2.5. Depreciaciones y amortizaciones

Concepto	Valor	Vida útil (años)	%	Total
DEPRECIACIONES				<u>1,399.72</u>
MAQUINARIA Y EQUIPO				<u>1,349.95</u>
Planta de composta				<u>792.33</u>
Trituradora de mandíbula	1,600.00	10	10%	160.00
Trituradora de rodillos	1,600.00	10	10%	160.00
Cargador frontal	3,125.00	10	10%	312.50
Mezcladora	898.28	10	10%	89.83
Cribadora	350.00	5	20%	70.00
Planta de separación				<u>557.63</u>
Banda transportadora	1,514.29	5	20%	302.86
Compactadora	140.00	10	10%	14.00
Montacargas	439.57	10	10%	43.96
Cargador frontal	1,562.50	10	10%	156.25
Báscula	405.60	10	10%	40.56
EQUIPO DE OFICINA				<u>49.77</u>
Equipo de cómputo de escritorio	13.86	5	20%	2.77
Equipo de impresión y fotocopiado	10.13	5	20%	2.03
Radios de comunicación interna	22.38	5	20%	4.48
Mobiliario equipo para oficina	159.86	5	20%	31.97
Mobiliario y equipo servicios médicos	42.63	5	20%	8.53
AMORTIZACIONES				<u>46.13</u>
Licencias y permisos	576.63	0	2%	11.53
Imprevistos	345.98	0	10%	34.60

Tabla H2.6. Presupuesto de Ingresos – Egresos. (miles de pesos)

Tabla H2.7. Gastos Financieros.

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversiones totales	56,478.24										
Credito BANCARIO	22,591.30	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56
Tasa de interés anual	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13		0.13	0.13
intereses o carga financiera anual		146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	0.00	146.84	146.84
Monto + interés a pagar anual		1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,129.56	1,276.41	1,276.41
CONCEPTO	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20	TOTAL
Inversiones totales											
Credito BANCARIO	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	1,129.56	
Tasa de interés anual	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	
intereses o carga financiera anual	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	146.84	2,790.03
Monto + interés a pagar anual	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	25,381.32

Tabla H2.8. Flujo Neto Efectivo.

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversión Inicial	56,478.24										
Ingresos por ventas		49,843.94	52,044.78	54,299.61	56,613.51	58,986.12	61,473.59	63,898.41	66,437.04	69,035.33	71,689.06
Egresos		32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78
Utilidad Bruta		17,587.17	19,788.00	22,042.83	24,356.73	26,729.35	29,216.82	31,641.63	34,180.26	36,778.55	39,432.29
Gastos administrativos		166.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad de operación		17,420.29	19,788.00	22,042.83	24,356.73	26,729.35	29,216.82	31,641.63	34,180.26	36,778.55	39,432.29
Gastos financieros		1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,129.56	1,276.41	1,276.41
Amortización		46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13
Depreciación		1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72
Utilidades antes de impuestos		14,698.03	17,065.74	19,320.57	21,634.47	24,007.09	26,494.55	28,919.37	31,604.84	34,056.29	36,710.03
ISR (30%)		4,409.41	5,119.72	5,796.17	6,490.34	7,202.13	7,948.37	8,675.81	9,481.45	10,216.89	11,013.01
PTU (10%)		1,469.80	1,706.57	1,932.06	2,163.45	2,400.71	2,649.46	2,891.94	3,160.48	3,405.63	3,671.00
Utilidad neta		8,818.82	10,239.44	11,592.34	12,980.68	14,404.25	15,896.73	17,351.62	18,962.91	20,433.77	22,026.02
Depreciación		1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72
Amortización		46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13
Flujo Neto de Efectivo		10,264.67	11,685.30	13,038.20	14,426.54	15,850.11	17,342.59	18,797.48	20,408.76	21,879.63	23,471.87

Tabla H2.8. Continuación... Flujo Neto Efectivo.

CONCEPTO	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
Inversión Inicial										
Ingresos por ventas	74,396.03	77,157.32	79,968.88	82,835.93	85,750.79	88,715.65	91,726.86	94,785.35	97,355.45	101,033.28
Egresos	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78	32,256.78
Utilidad Bruta	42,139.25	44,900.54	47,712.10	50,579.15	53,494.01	56,458.87	59,470.09	62,528.58	65,098.67	68,776.50
Gastos administrativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad de operación	42,139.25	44,900.54	47,712.10	50,579.15	53,494.01	56,458.87	59,470.09	62,528.58	65,098.67	68,776.50
Gastos financieros	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41	1,276.41
Amortización	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13
Depreciación	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72
Utilidades antes de impuestos	39,416.99	42,178.28	44,989.84	47,856.89	50,771.75	53,736.61	56,747.82	59,806.32	62,376.41	66,054.24
ISR (30%)	11,825.10	12,653.48	13,496.95	14,357.07	15,231.53	16,120.98	17,024.35	17,941.89	18,712.92	19,816.27
PTU (10%)	3,941.70	4,217.83	4,498.98	4,785.69	5,077.18	5,373.66	5,674.78	5,980.63	6,237.64	6,605.42
Utilidad neta	23,650.20	25,306.97	26,993.91	28,714.13	30,463.05	32,241.97	34,048.69	35,883.79	37,425.85	39,632.54
Depreciación	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72	1,399.72
Amortización	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13	46.13
Flujo Neto de Efectivo	25,096.05	26,752.82	28,439.76	30,159.99	31,908.91	33,687.82	35,494.55	37,329.64	38,871.70	41,078.40