



RESUMEN EJECUTIVO

CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN – RCD QUE INGRESAN A LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA CARRERA 50 DE LA CIUDAD DE CALI E IDENTIFICACIÓN DE SU POTENCIAL DE TRANSFORMACIÓN EN ECO-PRODUCTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

CONVENIO CON:

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
-ACODAL-SECCIONAL OCCIDENTE

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES
UAESPM

ALEJANDRO ARIAS PEREZ
DIRECTOR TÉCNICO

SANTIAGO DE CALI, VALLE DEL CAUCA



INTRODUCCIÓN

El presente proyecto realizado en convenio entre la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos Municipales - UAESPM con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental -ACODAL- Seccional Occidente se refiere a la caracterización exhaustiva de los RCD de la Estación De Transferencia ubicada en la carrera 50 de la ciudad de Cali, e identificar su potencial de transformación en eco-productos para la construcción de edificación e infraestructura; con el propósito fundamental de implementar el documento técnico del Esquema de Aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición – RCD para el municipio de Santiago de Cali.

Así mismo el proyecto implementado en el Esquema de Aprovechamiento de los RCD servirá como lineamientos para los pequeños y grandes generadores en la reducción de los altos volúmenes y la reincorporación de los residuos al ciclo productivo.

JUSTIFICACIÓN

El municipio de Santiago de Cali viene siendo afectado por la alta generación de los RCD debido al aumento en las construcciones, reparaciones de edificaciones y reformas, entre otros; convirtiéndose en una problemática ambiental por la alta disposición de estos residuos, donde no se les da un uso productivo generando altas acumulaciones de residuos como: tierras, rocas, triturados, arena, ladrillos, madera, tejas, concretos, morteros, porcelana sanitaria, metales, etc.

El proyecto permitirá reconocer el potencial de transformación de los productos RCD en eco-productos para la construcción de edificaciones e infraestructura, con el fin de utilizar los residuos aprovechables y minimizar los desechos generados por el creciente desarrollo de construcciones en la ciudad.

OBJETIVO DEL PROYECTO

Realizar la caracterización exhaustiva de los RCD de la Estación De Transferencia y reconocer su potencial de transformación en eco-productos para la construcción de edificación e infraestructura, buscando estudiar los residuos para transformarlos en productos útiles para el sector de la construcción como para otros sectores.



DESARROLLO DEL PROYECTO

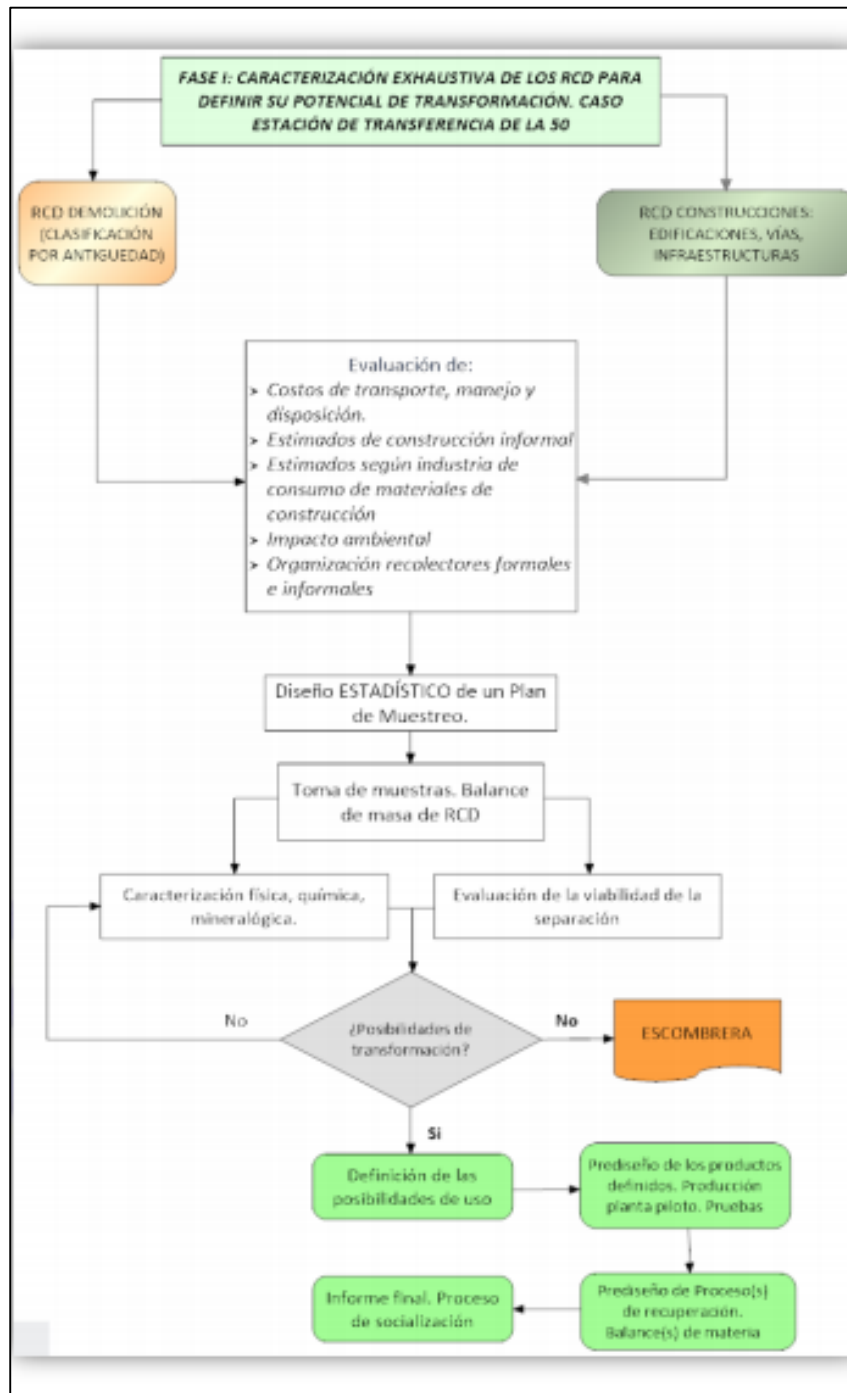
ACODAL construyó el diagrama metodológico en el cual se describieron las actividades a ejecutar y a partir de ello se definió el cronograma de ejecución, el recurso humano (personal administrativo y técnico), recursos físicos, logísticos y económicos para ejecutar la propuesta.

La metodología para ejecutar el proyecto es la siguiente:

- Identificar las fases mineralógicas presentes en los residuos y reconocer cuales de ellas están asociadas como agentes potenciales de desarrollo. Se identificará que los RCD de la EDT tengan óxido de silicio (SiO_2) y óxido de calcio (CaO) las cuales poseen poco o ningún valor cementante pero que en reacción con humedad e hidróxido de cal forman compuestos de propiedad cementante. El uso de estos materiales silico-calcáreos permite la fabricación de elementos de mampostería, como ladrillo limpio.
- Implantar un proceso de estabilización y solidificación para mitigar peligrosidad de algunos residuos y fabricar ladrillos silicocalcáreos de alta calidad de materias primas como arcillas calcinadas, puzolanas naturales o artificiales y residuos de cerámica roja o blanca.
- Se elabora un plan de trabajo para guiar la toma de muestras para realizar la etapa de caracterización, ejecutar varios análisis para conocer cada uno de los minerales presentes en los RCD, con el fin de vislumbrar la aptitud potencial de uso del residuo. Caracterizado el material, algunas de estas pruebas podrían constituirse en periódicas, con el fin de administrar los resultados y asociarlos a un sistema de control de calidad y de variabilidad de procesos.



Metodología del Proyecto





Consideraciones tenidas en cuenta para la ejecución del proyecto:

- a) Obras Informales: ubicación y disposición de escombros en Cali. De acuerdo con el censo realizado en el municipio en el año 2016 sobre los puntos críticos de residuos sólidos, en las comunas 1, 3, 13, 14, 15 y 20, se encuentra el 55.5 % de los sitios de disposición, los barrios que cuentan con estos sitios son:

Barrios donde se encuentran el 55% de sitios de disposición

Barrio (comuna)	Cantidad de sitios
Siloé (comuna 20)	13
Ciudad córdoba (comuna 15)	6
Mojica (comuna 15)	5
Manuela Beltrán (comuna 14)	5
Terrón Colorado (comuna 1)	5
Cristóbal Colón (comuna 10)	4
El calvario (comuna 3)	4
Sucre (comuna 9)	3
Número de sitios en estos barrios	45

Cuantificación de los escombros: la empresa EMAS, se informó que con la asociación de volqueteros (140 volquetas) recogen y transportan 2.700 m³/día de residuos en general, 400m³/día provenientes de empresas constructoras y 200 m³ de residuos ordinarios que son depositados en el municipio de candelaria.

Información del PGIRS de Cali

Características	Pequeños generadores	Obras públicas comunes urbanas	Grandes generadores
Cantidad Escombros (ton/año)	241.092	233.081	570.000
Volumen (m ³ /día)	579	560	1.369
Total, RCD generados en Cali (m³/día)	2.508		

Residencial recolectados y transportados por las empresas, vigencia 2011-2014

EMPRESAS RECOLECTORAS	m ³ /año
CIUDAD LIMPIA	4.700
EMAS	16.270
PROMOCALI	11.613
PROMOVALLE	4.711
Total	37.294



El costeo de disposición, manejo y transporte de los RCD: se obtiene de dos fuentes, la UAESPM y la empresa Emprendimiento Ambiental.

Actividades	UAESPM +	Emprendimiento Ambiental ++	Observaciones
	\$/m ³	\$/m ³	Costos Promedio
Transporte Cali a Candelaria	20.000	30.000 *	* Incluye cargue
Transporte Cali a Puerto Tejada		33.000 *	
Cargue	4.600		
Disposición	6.400	3.500	

Costo que paga la UAESPM en el contrato con la empresa de servicios públicos de Candelaria CANDEASEO
Costo reportado por servicio de transporte, incluido el cargue, por Emprendimiento Ambiental

Valor que se puede manejar en una media de \$32.000/m³ dispuesto.

En su momento, el generador paga por que le recojan un valor que fluctúa entre \$18.000/m³ cuando el volumen es superior a 6 m³ y hasta \$ 50.000/viaje de Chana (hasta 1,3 m³).

Tipología de RCD generados en la EDT

Según residuos observados, los RCD de la EDT son de tipo sistema de Mampostería confinada – Pórticos, los materiales que son usados en este tipo de sistema constructivo son: agregados triturados, arena de río, cemento gris, roca muerta – tierra excavación, cerámica cocida, acero, madera, teja fibrocemento, PVC, cobre, cemento blanco, pinturas. Los 6 materiales primeros suman el 99% del consumo total. Datos tomados de un estudio del año 2011. Para la ejecución del proyecto se identificarán los RCD provenientes de edificaciones como “RCD E”, y los provenientes de infraestructura como “RCD I”.

Plan de muestreo estadístico: se identificaron tres grupos de RCD: polímeros, metales y los cerámicos que son los de mayor interés en el trabajo estadístico donde se estimará la proporción de material cerámico que ingresa como RCD a la EDT.

De acuerdo al flujo constante de RCD se diseñó un muestreo de tipo probabilístico para lo cual es necesario definir una población objeto de estudio y el tipo de muestreo probabilístico a realizar.

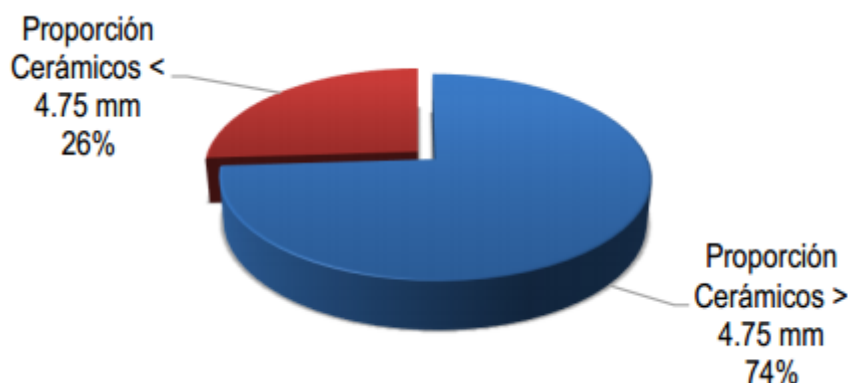
Resultados muestreo piloto: muestreo de 11 viajes por tipo de vehículo (6 vehículos Changan, 2 carretillas, 2 vehículos Chery, 1 vehículo Hafei), el proceso de pesaje, clasificación y almacenamiento se realizó en la planta de ECOINGENIERÍA. Se muestran las proporciones globales de todos los materiales clasificados:



Proporción por tipo de material

Material	Proporción
Cerámicos	96,94%
Madera	0,82%
Plástico	0,42%
Metales	0,20%
Papel y cartón	0,74%
Orgánicos	0,88%
Total	100,00%

Proporción de Cerámicos con respecto a su tamaño



El muestreo piloto fue exitoso y permitió vislumbrar posibilidad de transformar los RCD y realizar un pre-diseño de un proceso de transformación primario.

Observaciones del muestreo final: -Los materiales cerámicos encontrados podrían transformarse en diferentes productos de uso en el sector de la construcción (adoquines, plaquetas, eco-pavimentos, ladrillos, arenas, materiales ligeros para mejorar propiedades térmicas, acústicas y de peso en las edificaciones), sea que se trabaje con RCD provenientes de materiales cerámicos procesados o con RCD producto de cerámicos sin procesar como la tierra de excavación.

-Con los RCD disponibles en la planta de ECOINGENIERIA reconocidos como cerámicos, se iniciará la preparación y manejo para realizar los procesos de cuarteo, que definirán las muestras a enviar a los diferentes laboratorios (pruebas físicas, químicas y



mineralógicas). Igualmente se obtendrán materiales para iniciar el desarrollo de productos y la definición del proceso a seguir.

CARACTERIZACIÓN EXHAUSTIVA

Preparación de los productos, envío de muestras al laboratorio y elaboración de productos: se realizó preparación y adecuación de las muestras, cadena de custodia, envío de muestras a pruebas de laboratorio (químicas, micro estructural y físicas) : el muestreo enviado a Ecoingeniería fue de 11.671,5 kg, para separar y enviar las muestras al laboratorio se definió el peso volumétrico suelto y compacto con cuyos resultados se puede establecer potencialidades de transformación de los residuos como MCS (materiales cementicios suplementarios activos o inertes) o su transformación como rellenos - agregados con características de gravas, arenas, fillers y microfillers.

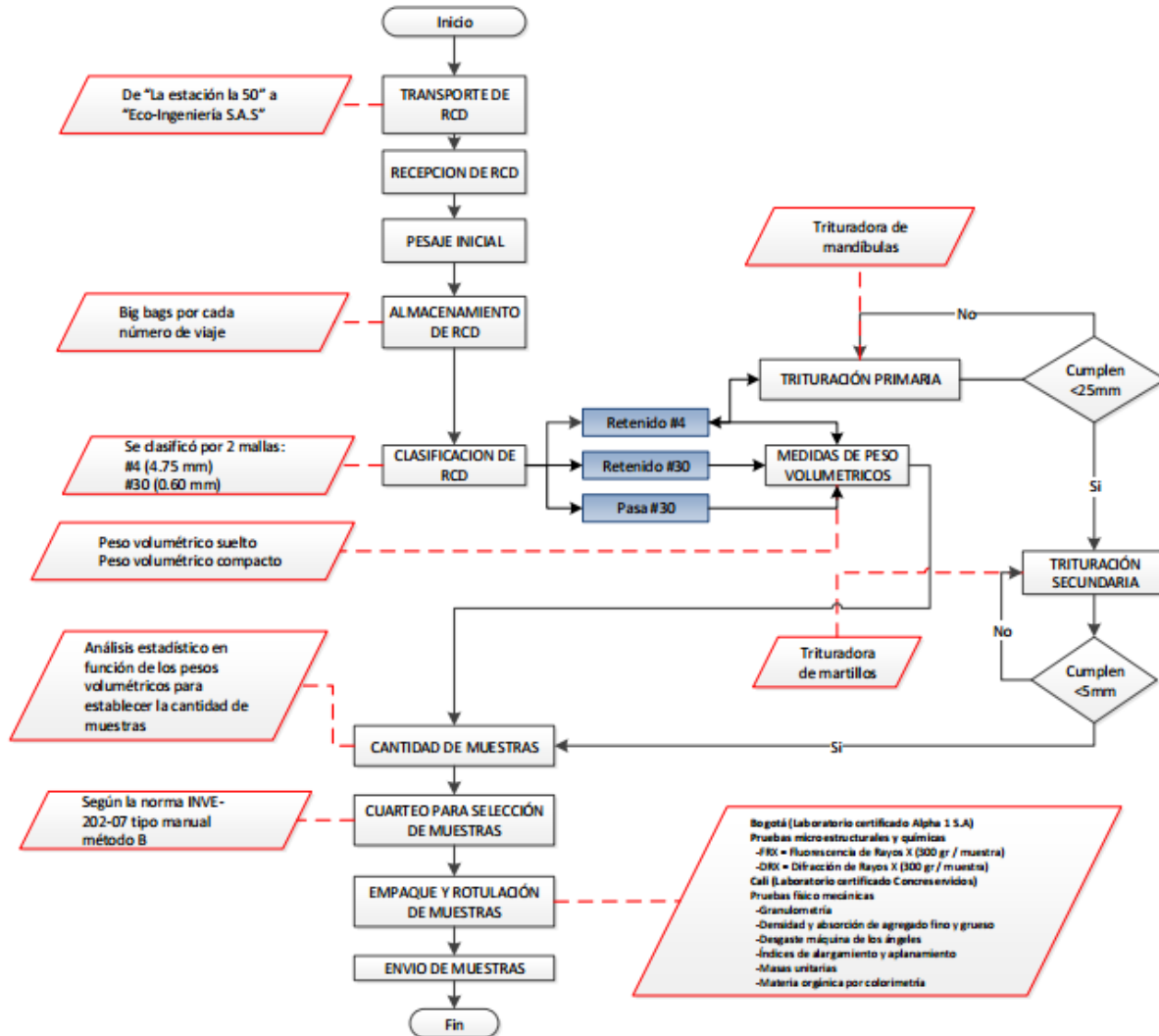
-Caracterización química fue por fluorescencia de rayos X (FRx).

-Caracterización microestructural y mineralógica de los RCD se obtuvo en un difractómetro de rayos X.

-Caracterización física de los RCD: pruebas de densidad, absorción, abrasión por desgaste.



PREPARACION Y ADECUACION DE MUESTRAS





Desarrollo e investigación de materiales

Es la etapa en que se caracteriza un residuo y se reconoce su microestructura y con ello el potencial de uso. Se realizó la separación de la materia prima para el diseño técnico de productos (material particulado a partir de RCD, material cementicio, cemento portland, Geopolimerizante (solución alcalina), grava de $\frac{3}{4}$ ", aditivo superplastificante para concreto.

Diseño de mezclas para la fabricación de productos: los productos elaborados hasta el momento fueron ladrillos y adoquines, mezclas de concretos, pavimentos para andenes, senderos y parques. Los resultados de las pruebas mecánicas a compresión de los concretos elaborados con RCD muestran resistencias aptas para emplearse en la construcción de andenes, senderos, pisos para parques, adoquines, bloques de concreto, ladrillos de concreto; con la arena es posible producir morteros de mampostería (pega de ladrillos, bloques, morteros de nivelación, morteros para revoques y repellos, mortero de relleno para dovelas).

Elaboración de Eco-Productos

Equipo para elaborar ladrillos: Prensa manual





Ladrillo hueco de concreto con RCD. Adoquín hueco de concreto con RCD



Resultados de resistencia a compresión para el diseño de mezcla 1

Fecha ensayo	Código	Días de curado	Peso del concreto (kg/m³)	Carga (KN)	f'c MPa	f' c (media) MPa	Coef. Var (%)	% Resistencia (MPa)
7-nov	Mezcla 1 (RCD)	4	2142	60,0	7,4	7,2	2,0%	34,2%
		4	2159	58,7	7,1			
		4	2137	58,5	7,1			
10-nov		7	2249	75,5	9,4	9,2	2,1%	43,9%
		7	2260	73,5	9,2			
		7	2262	72,4	9,0			
29-nov		26	2239	121,8	15,4	15,8	2,6%	75,4%
		26	2207	126,1	15,8			
		26	2235	128,9	16,2			



Resultados de resistencia a compresión para el diseño de mezcla 2

Fecha ensayo	Código	Días de curado	Peso del concreto (kg/m³)	Carga (KN)	f'c MPa	f'c (media) MPa	Coef. Var (%)	% Resistencia (MPa)
15-nov	Mezcla 2 (RCD)	1	2440	23,3	3,29	3,5	4,8%	16,5%
		1	2519	25,3	3,62			
		1	2461	24,6	3,47			
17-nov		3	2418	57,3	7,3	7,4	2,8%	35,2%
		3	2402	59,9	7,63			
		3	2408	56,9	7,24			
21-nov		7	2474	90,3	11,4	12,2	5,9%	60,2%
		7	2468	102,0	12,9			
		7	2496	98,5	12,4			
29-nov		14	2582	119,6	14,6	15,2	3,7%	72,5%
		14	2554	129,7	15,8			
		14	2570	123,9	15,3			

Evaluación de resultados obtenidos en los laboratorios

Es posible fabricar concretos de comportamiento aceptable para ser empleados en: elaboración de solados, andenes, senderos, ciclo vías, elementos prefabricados tipo bloques de concreto, tejas, adoquines, tabletas, bordillo, bolardos. Son concretos más livianos y ofrecerían mejores propiedades de aislamiento térmico y acústico.

Se realiza un pre-diseño de proceso para desarrollar la transformación de los RCD a través de las siguientes operaciones:

- Sistema de separación de residuos diferentes a los materiales cerámicos.
- Clasificación y trituración de los materiales cerámicos: Tierra, pedazos de concreto, morteros de mampostería, muros de ladrillo, cerámica de pisos y de baños, muebles sanitarios, panel yeso, arenas y gravas, vidrios. Todos los materiales pasan por el horno.
- Los materiales secos y clasificados podrán tomar dos rutas, la de los agregados o la producción de MSC A o I, según sea el caso de origen.
- En ambas etapas es necesario contar con un laboratorio de control de calidad y proceso que permita en tiempo real definir la ruta de producción y la calidad de



productos a elaborar. Este laboratorio deberá contar con equipos básicos para realizar pruebas físicas, mineralógicas y químicas.

CONCLUSION DEL PROYECTO DE CARACTERIZACION DE RCD DE LA EDT DE LA CRA 50

- Se logró demostrar la viabilidad de la transformación de los RCD.
- Las pruebas químicas (FRx) mostraron que los RCD son muy uniformes en su composición, por lo cual son útiles para utilizarlos como materias primas en múltiples procesos industriales y en obras de construcción.
- Las pruebas mineralógicas – microestructurales – permitieron identificar entes minerales similares en todos los distintos residuos probados, El resultado permite plantear la necesidad de avanzar en el trabajo de elaborar MCS y confrontar su comportamiento frente a otros materiales similares en el mercado. Lo importante es que el país requiere de estos MCS (Material cementicio suplementario) en volúmenes apreciables. La zona o región podría demandar más de 10.000 ton mensuales de estos productos.
- Las pruebas físicas permiten analizar que son materiales con los cuales se podrían producir agregados especiales que provean propiedades particulares a los elementos u obras que los contienen. La reducción de la huella de carbono en el ámbito de la edificación pasaría muy fuertemente por el uso de estos materiales o agregados especiales.
- Fue posible elaborar: concretos, morteros de mampostería para pega, grautin y revoques, ladrillos, eco-pavimentos y adoquines, donde todos los productos lograron parecerse a los convencionales y en algunos casos superarlos ampliamente.
- Se planteó el pre-diseño de un proceso de beneficio de estos RCD y con ello se hizo un ejercicio de un balance de masa y energía que estableció las capacidades básicas de los equipos de esa planta.
- Muy importante que este esfuerzo no se quede detenido en el tiempo y ojalá el grupo de profesionales que integran la UAESPM busquen y consigan la formación complementaria necesaria para que esta iniciativa continúe hasta resolver esta necesidad sentida de la ciudad y por qué no del país.