

*Primer Foro Binacional de Economía Circular,  
Juárez Industrial City.  
"Hacia una Hoja de Ruta Circular"*

***Utilización Sustentable de Biosólidos Mediante  
Composteo en Ciudad Juárez, Chih***

**Dr. Juan Pedro Flores Márquez**  
(Universidad Autónoma de Ciudad Juárez)  
juflores@uacj.mx

**Colaboradores:**

**Biol. Francisco J. Núñez Sánchez (JMAS)**

**Biol. Jose Francisco López Morales**

**M.C. María Zulema Poncio Acosta**

(Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS))

**M.C. Luz del Carmen Agüero Reyes**

(Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UACJ-IIT)

**Ing. Edmundo Urrutia Beall**

(Dirección de Parques y jardines, Municipio de Juárez)

Ciudad Juárez, 29 de Octubre de 2024.



# Lodos Residuales

El Programa Frontera 2020 de los Estados Unidos de Norteamérica en su meta 3 estableció “promover la gestión integral de materiales y residuos y la limpieza de sitios” (BDAN, 2020).



Lodos residuales: 69,350 t/año  
Ciudad Juárez, Chih.

## II. Objetivos

- a) Instrumentar un programa de composteo de biosólidos para su utilización sustentable que permita evitar el confinamiento de grandes volúmenes y menor impacto al ambiente.
- b) Desarrollar capacidades técnicas y operativas del personal que participará en el programa de composteo de biosólidos.
- c) Promover la aplicación de compostas de biosólidos en mejoras de los suelos de parques y jardines urbanos y rurales, así como en suelos agrícolas productivos.



Localización del área de disposición de lodos residuales o biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua, México.



# Recolección, muestreo y análisis de materiales para el compostaje



Los lodos residuales ubicados en el área de disposición fueron clasificados en tres clases: frescos (< 1 mes), medios (1 a 12 meses) y viejos (> a 12 meses). Estos fueron considerados en las combinaciones al formar las pilas de compostas y diseñar los tratamientos que consistieron en relaciones lodo:vegetal de 1:1, 1:2 y 1:3. Los materiales complementarios para el composteo fueron residuos de podas (trozos de tallos, podas de pasto, ramas y hojas) aportadas por la Dirección de parques y jardines de la ciudad en su área de transferencia localizada en el Chamizal.

## Transporte de materiales, trituración, mezclado, riego,....



compostas y su manejo, aireación, riegos, entre otros, con la maquinaria adquirida por la JMAS para este proyecto (minicargador, revolvedora, trituradora, pipa de riego, etc.).



### 3.7. Compostaje

Las pilas de compostaje fueron irrigadas y aireadas mediante volteos a diferentes intervalos de tiempo, una a dos veces por semana según el contenido de humedad, clima y maduración de la composta. A lo largo del proceso se registró la temperatura y humedad de cada pila de composta, así como el pH, la conductividad eléctrica, nitrógeno total y carbono orgánico. Al final, se realizó un análisis microbiológico para confirmar la calidad de la composta producida ya sea tipo de clase A o B. Se elaboraron gráficas para relacionar la temperatura, humedad y tiempo en las pilas de compostas.



# Análisis físicos de las muestras de lodos y compostas

- ▶ Densidad aparente
- ▶ Contenido de Humedad
- ▶ Temperatura
- ▶ Oxígeno



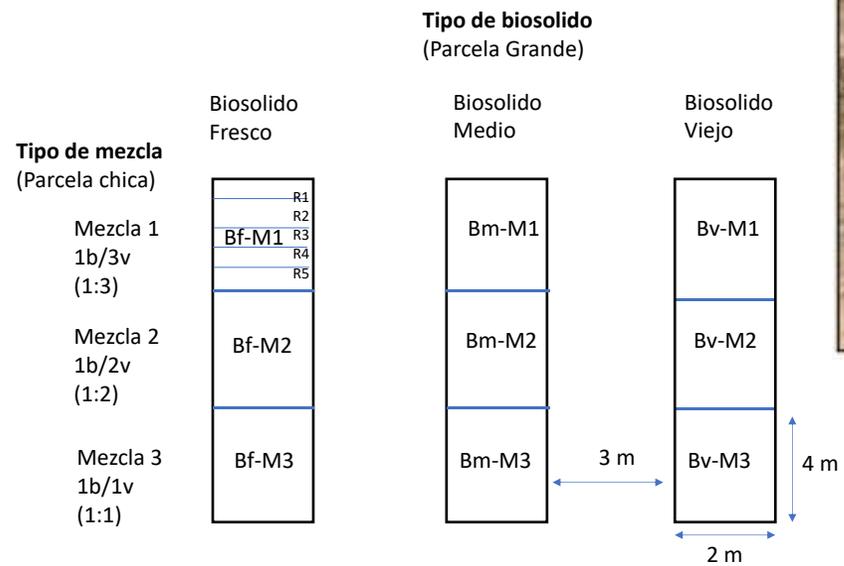
## Análisis químicos de las muestras de lodos y compostas

- ▶ Alcalinidad (pH)
- ▶ Salinidad (C.E:)
- ▶ Nitrógeno total Kjeldahl
- ▶ Nitrógeno inorgánico
- ▶ Materia orgánica, Carbono orgánico
- ▶ C/N
- ▶ Fosforo
- ▶ Metales pesados (Cd, Cr, Ni, Pb, Zn)



## Primer Etapa:

Esquema de la distribución de tratamientos para el compostaje en campo.







### 3.5. Análisis microbiológicos de las muestras de lodos y compostas

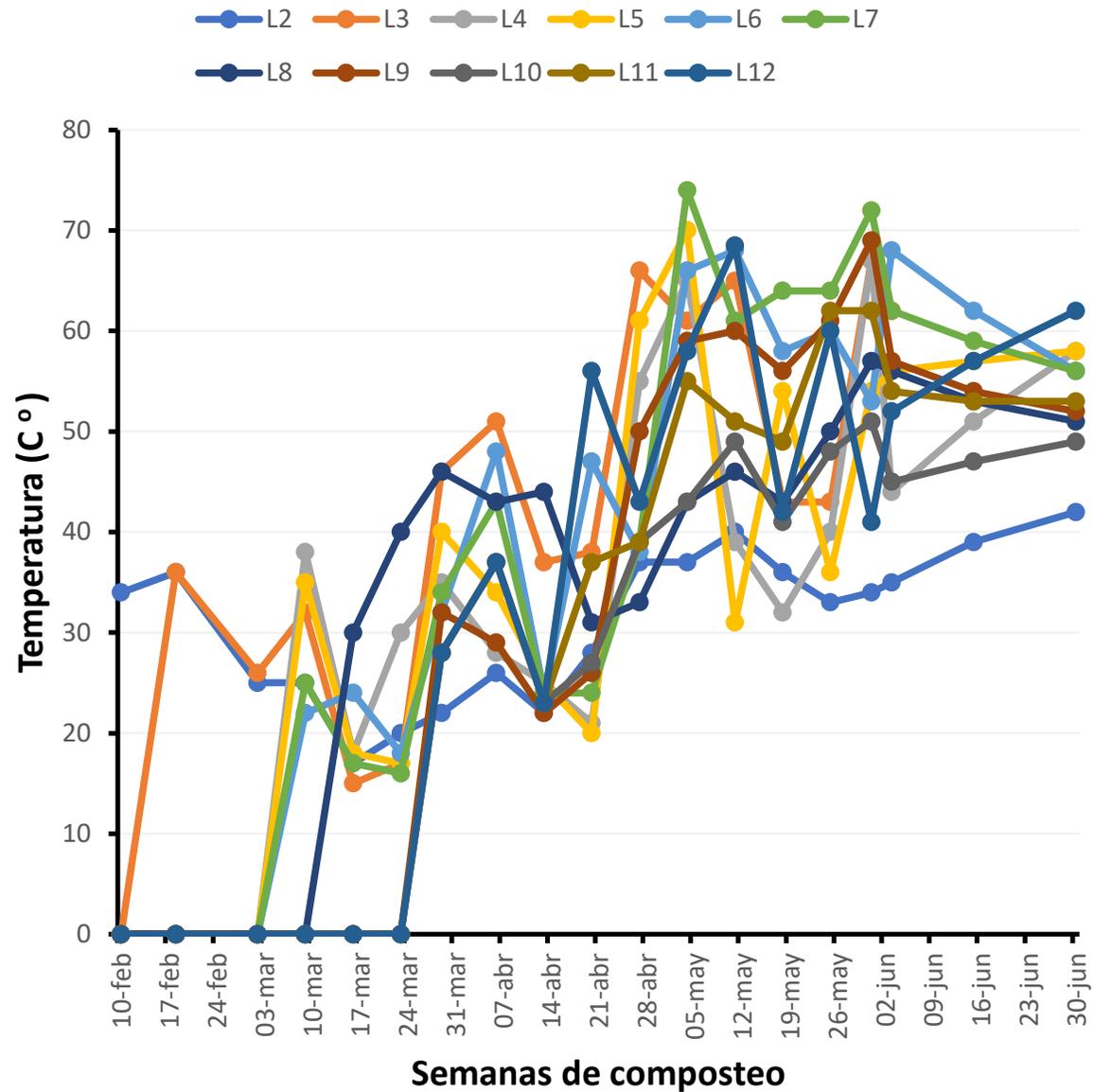
- a) Coliformes fecales. La cuantificación de estos patógenos fue con lo descrito en la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002.
- b) *Salmonella* spp. El análisis de Salmonella fue mediante la técnica de tubos múltiples o número más probable (NMP) en lodos y biosólidos, (NOM-004-SEMARNAT-2002).
- c) Huevos de Helmintos. La técnica para la detección, enumeración, determinación y de la viabilidad de huevos de helmintos en muestras de lodos residuales fue la indicada por la Norma (NOM-004-SEMARNAT-2002).



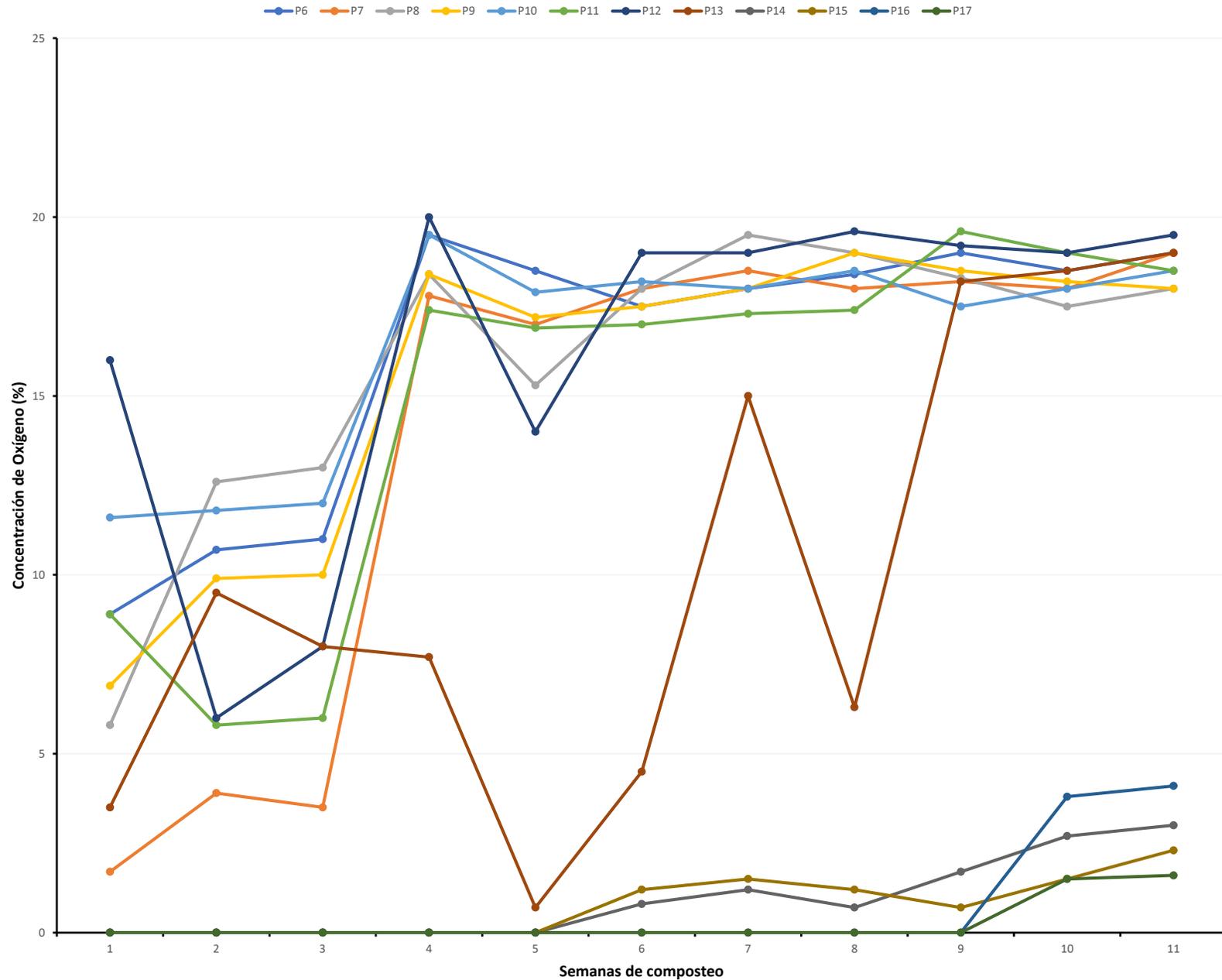
Cuadro 1. Tamaño y composición de las pilas en proceso de composteo con lodos residuales, registros al 6 de abril de 2021.

Lote	Tamaño de pila			Volumen(m <sup>3</sup> )	Fecha inicio	al 6 abril		Vegetal utilizado
	ancho(m)	altura(m)	Longitud(m)			Tiempo( semanas)	Relacion:	
1 Exp.	1.5	0.5	5.9	2.21	02-feb	10	1:1, 1:2, 1:3	se movio a explanad
2a solar	1.5	0.6	20	9.00	05-feb	9	. 1:1	inicio 29 marzo
2b normal	1.5	0.6	20	9.00	05-feb	9	. 1:1	Hojas/zacate
3 explanada	1.8	0.7	14	<b>8.82</b>	12-feb	8	. 1:1	Trozos/hojas/zacate
4 explanada	1.2	0.7	14	5.88	25-feb	6	. 1:2	Trozos/hojas/zacate
5 explan	1.8	0.7	13	8.19	26-feb	6	. 1:2	Trozos/zacate
6 explan	2.2	0.9	34	33.66	08-mar	5	. 1:2	Trozos/hojas/zacate
7 explan	1.8	0.9	34	27.54	10-mar	5	. 1:2	Trozos/zacate
8 explan	2.1	0.75	34	26.78	12-mar	4	. 1:2	Hojas/zacate
9 explan	1.2	0.9	34	18.36	23-mar	2	. 1:2	Trozos/zacate
10 explan	1.2	0.9	34	18.36	23-mar	2	. 1:1	Trozos/hojas/zacate
11 explan	1.5	0.9	62	41.85	31-mar	1	. 1:2	Hojas/zacate
			suma	<b>209.65</b>				

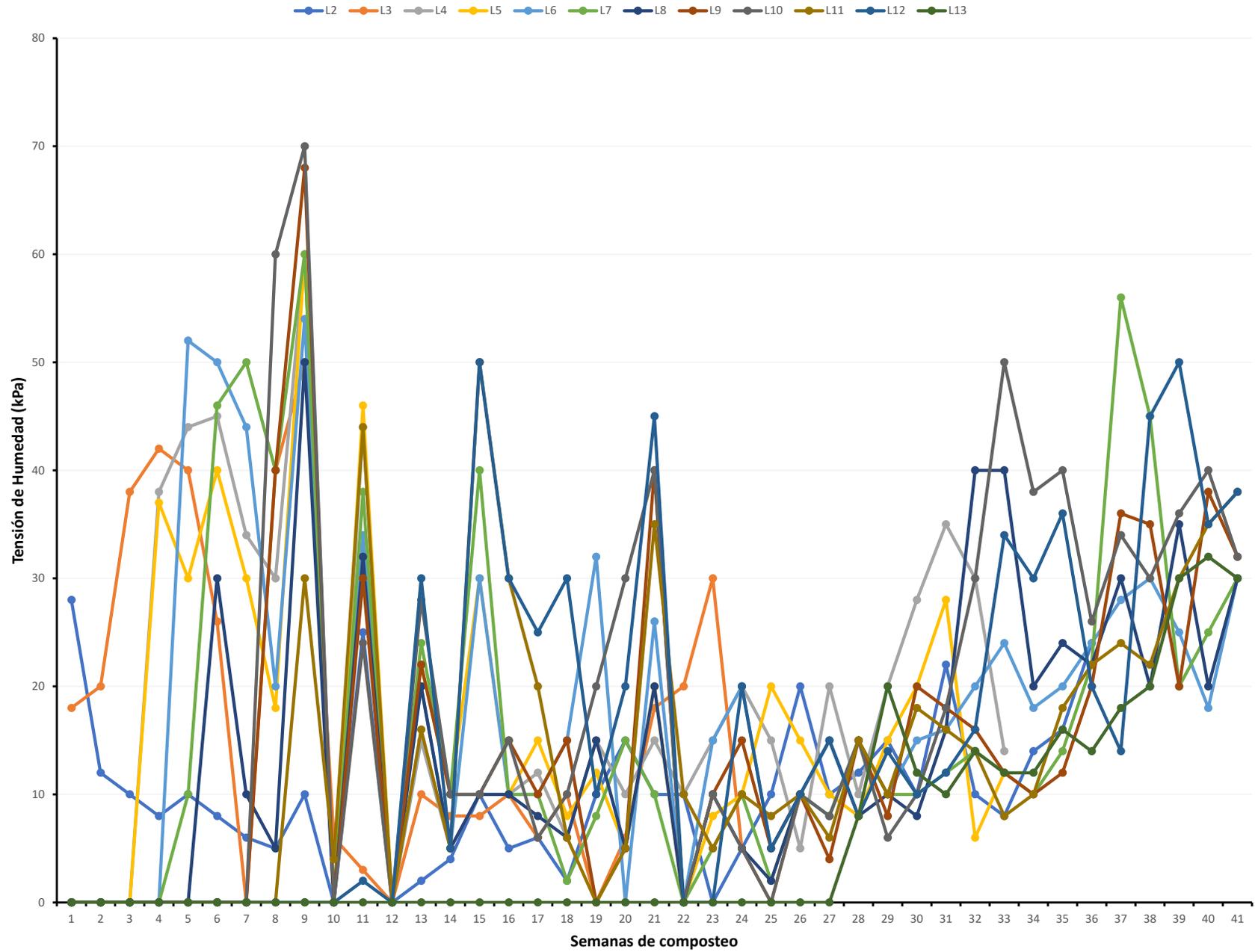
# Temperatura registrada en las pilas tipo experimental en proceso de composteo con lodos residuales y material vegetal (pasto/hojas)



# Medición de la Concentración de Oxígeno en las pilas de compostaje



# Tensión de humedad en las compostas.



Clase A para 13 pilas de composta por la ausencia de coliformes fecales (NOM-004-SEMARNAT-2002), temperaturas de las pilas mayor a 55 °C son suficientes para la eliminación de estos patógenos.

*Salmonella spp.*, el resultado muestra que 26 pilas tuvieron clasificación de calidad como Clase A por no detección de este patógeno.

14 pilas no tuvieron presencia de huevos de helminto, clasificadas por su calidad como Clase A

Muestra	Fecha	Coliformes Fecales			Salmonella			Huevos de Helminto		
		Resultado	Unidad	Clase	Resultado	Unidad	Clase	Resultado	Unidad	Clase
Lodo nuevo	2021-06-15	24000	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	7	HH/g B.S	B
Lodo medio	2021-06-15	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
Lodo viejo	2021-06-15	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
Pila 3	2021-06-15	4300	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
Pila 6	2021-06-15	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	<1	HH/g B.S	A
Pila 7	2021-06-15	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	<1	HH/g B.S	A
exp. Lodo nuevo pila 1	2021-06-21	9300	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	<1	HH/g B.S	A
exp.Lodo medio pila 1	2021-06-21	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
exp.Lodo viejo pila 1	2021-06-21	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	2	HH/g B.S	B
Pila 4	2021-06-21	150000	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
Pila 5	2021-06-21	2100	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	<1	HH/g B.S	A
Pila 8	2021-06-21	2300	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	<1	HH/g B.S	A
Pila 2	2021-07-05	240000	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	2	HH/g B.S	B
Pila 10	2021-07-05	460000	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	<1	HH/g B.S	A
Pila 11	2021-07-05	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	<1	HH/g B.S	A
Pila 12	2021-07-05	4300	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
Nuevo Pila Nueva 1:1	2021-07-05	20000	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
Nuevo Pila Vieja 1:1	2021-07-05	46000	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
EXP Nuevo. V-1:2	2021-07-12	2300	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
EXP Nuevo. N-1:2	2021-07-12	1,100,000	NMP/g B.S	C	9,300	NMP/g B.S	C	1	HH/g B.S	B
EXP Viejo. V-1:1	2021-07-12	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	<1	HH/g B.S	A
EXP Viejo. N-1:1	2021-07-12	400	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A
Pila 6	2021-07-12	46000	NMP/g B.S	C	610	NMP/g B.S	C	<1	HH/g B.S	A
EXP Viejo. M-1:1	2021-07-12	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
Lodo Fresco	2021-07-19	24000000	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	2	HH/g B.S	B
Lodo Viejo	2021-07-19	24,000	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A
EXP N. N-1:25	2021-07-19	21000	NMP/g B.S	C	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A
EXP N. V-1:25	2021-07-19	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	1	HH/g B.S	B
Pila 11	2021-07-19	ND	NMP/g B.S	A	300	NMP/g B.S	C	ND	HH/g B.S	A
Pila 8	2021-07-19	ND	NMP/g B.S	A	300	NMP/g B.S	C	< 1	HH/g B.S	A
Pila 8	2021-10-26	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A
Pila 9	2021-10-26	ND	NMP/g B.S	A	400	NMP/g B.S	C	ND	HH/g B.S	A
Pila 10	2021-10-26	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	n.a.	HH/g B.S	n.a.
Pila 11	2021-10-26	400	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A
Pila 12	2021-10-26	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	n.a.	HH/g B.S	n.a.
Pila 13	2021-10-26	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A
Pila 9	2021-11-09	400	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A
Pila 13	2021-11-09	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A
Pila 14	2021-11-09	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A
Pila 15	2021-11-09	ND	NMP/g B.S	A	n.a.	NMP/g B.S	n.a.	< 1	HH/g B.S	A
Pila 15 DUP	2021-11-09	4,300	NMP/g B.S	C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
EXP. N 1:1	2021-11-09	21,000	NMP/g B.S	C	n.a.	n.a.	n.a.	ND	HH/g B.S	A
EXP. V 1:1	2021-11-09	ND	NMP/g B.S	A	ND	NMP/g B.S	A	ND	HH/g B.S	A

## NOM-004-SEMARNAT-2002:

La clase A es tipo excelente y se puede aprovechar en usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación,

La Clase B clasificado como de tipo bueno, es aprovechable en usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación, y

La clase C para usos forestales, mejoramiento de suelos y usos agrícolas. Así también, los biosólidos de las clases A y B se pueden aprovechar en los demás usos de la clase C.

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
		Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

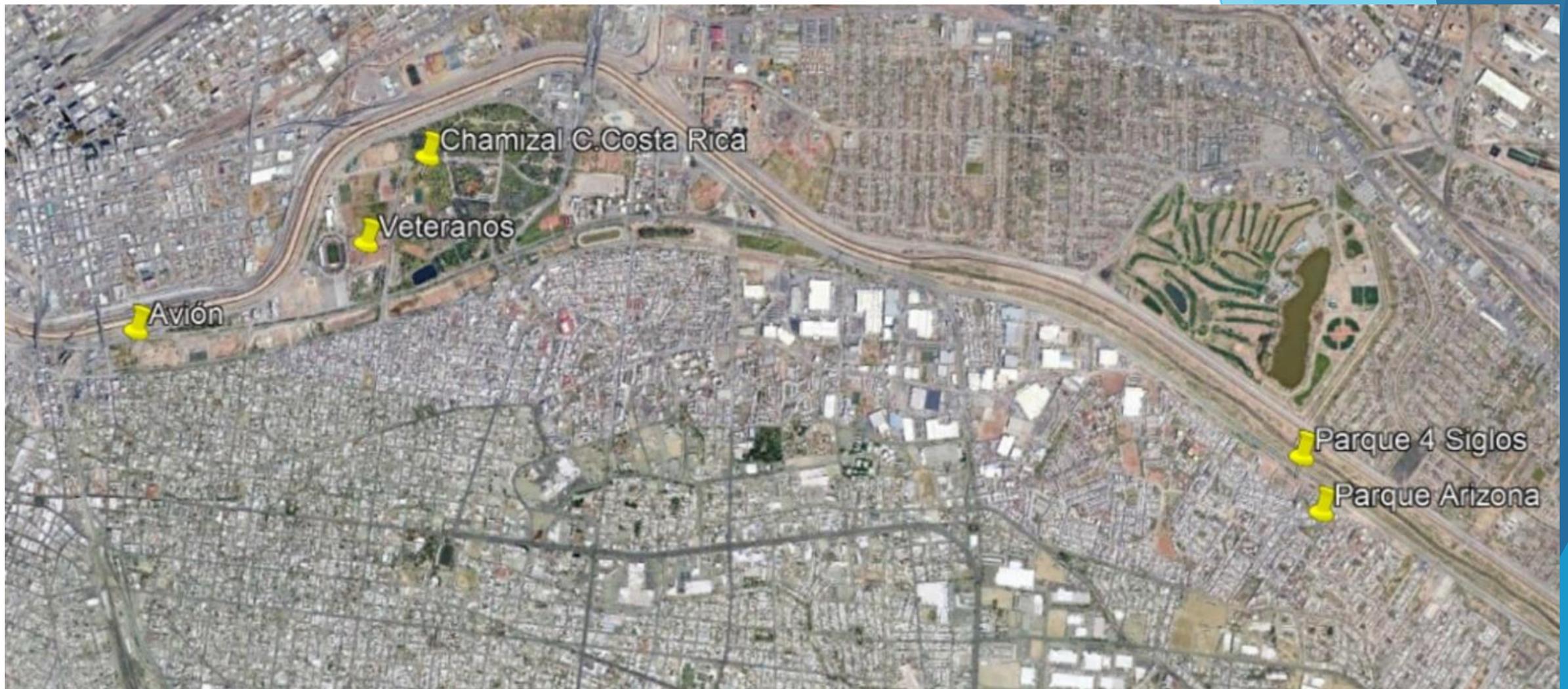
APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none"><li>Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación</li><li>Los establecidos para clase B y C</li></ul>
EXCELENTE O BUENO	B	<ul style="list-style-type: none"><li>Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación</li><li>Los establecidos para clase C</li></ul>
EXCELENTE O BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"><li>Usos forestales</li><li>Mejoramientos de suelos</li><li>Usos agrícolas</li></ul>

Muestra	Humedad	Cenizas %/g muestra	Materia	Carbono	N Total	Relación C/N
	(%) x 100		Orgánica %/g muestra	Orgánico %/g muestra	Kjeldahl %	
<b>Pila 2</b>	0.041	62.867	37.133	21.539	1.342	16.045
<b>Pila 3</b>	0.051	52.627	47.373	27.479	2.649	10.375
<b>Pila 4</b>	0.069	43.018	56.982	33.052	2.555	12.936
<b>Pila 5</b>	0.053	36.603	63.397	36.773	2.510	14.652
<b>Pila 6</b>	0.023	49.454	50.546	29.319	2.116	13.858
<b>Pila 7</b>	0.029	50.878	49.122	28.493	2.222	12.823
<b>Pila 8</b>	0.052	50.141	49.859	28.921	2.140	13.517
<b>Pila 9</b>	0.025	52.969	47.031	27.280	2.075	13.150
<b>Pila10</b>	0.027	49.117	50.883	29.514	2.380	12.403
<b>Pila 11</b>	0.044	60.468	39.532	22.931	2.232	10.275
<b>Pila 12</b>	0.042	41.861	58.139	33.723	3.704	9.106
mínimo	0.023	36.603	37.133	21.539	1.342	9.106
máximo	0.069	62.867	63.397	36.773	3.704	16.045
Promedio	0.041	50.000	50.000	29.002	2.357	12.649
Varianza	0.000	58.721	58.721	19.757	0.321	4.155
Error estándar	0.004	2.310	2.310	1.340	0.171	0.615

## Etiqueta descriptiva por Pila de compostaje

Pila 5	Unidad	Resultado	Interpretación
Volumen	m <sup>3</sup>	2.36	Inicio con 8.19 m <sup>3</sup>
Relación (lodo/veg.)	lodo/vegetal	1.2	lodo medio
Materiales	m <sup>3</sup>	2	trozos madera, podas pastos
Fecha inicio	dia-mes	26-feb	
Fecha a fase termofílica	dia-mes	04-may	67 días, temp. max...65 °C
Densidad aparente	t/m <sup>3</sup>	0.509	
Coliformes fecales	NMP/g M.S.	2100	Clase C
Salmonella	NMP/g M.S.	ND	Clase A
Huevos de Helminto	NMP/g M.S.	< 1	Clase A
Cadmio	mg/kg	1.07	< 39 tipo excelente
Cobre	mg/kg	334.3	< 1500 tipo excelente
Cromo total	mg/kg	938.5	< 1200 tipo excelente
Niquel	mg/kg	74.9	< 420 tipo excelente
Plomo	mg/kg	70.4	< 300 tipo excelente
Zinc	mg/kg	1587.5	< 2800 tipo excelente
<b>Conclusion</b>	<b>Uso urbano sin contacto público directo durante su aplicación</b>		
pH		6.21	
Conductividad eléctrica	mS/cm	16.69	
Nitrógeno total Kjeldhal	%	2.51	
Amonio	mg/kg	4208	
Nitratos	mg/kg	723	
Calcio	mg/kg	788	
Fósforo total	mg/kg	399	
Sodio	mg/kg	1820	
Cenizas	%	36.6	
Materia Orgánica	%	63.39	
Carbono orgánico	%	36.77	
Relacion C/N		14.65	



Localización de los cinco sitios de parques al norte de Ciudad Juárez, Chih., donde se muestreo el suelo para la aplicación de compostas (julio 2021).



ejemplo, para un suelo que tenga 1% de materia orgánica y se desea aumentar a 2.5% deberán aplicarse 5 kg de composta por árbol, de los cuales se sugiere que 2.5 kg sean mezclados con el suelo de fondo antes de plantar y los restantes 2.5 kg sean mezclados con el suelo superficial rellenarse el pozo donde se plantará.



# Acciones de Difusión Del Proyecto



# Conclusiones

- ▶ Con la información generada será posible atender la problemática planteada en este proyecto dada por la nula utilización de los biosólidos (**150,000 metros cúbicos** en lecho de secado y 200 toneladas generados por día), así como los materiales vegetales provenientes de podas de árboles y jardines compuestas por una diversidad de residuos (**6 toneladas por día**), los cuales hacen que la combinación de ambos factores mediante el proceso de composteo pueda obtenerse un abono orgánico rico en nutrientes y útil para los suelos de áreas verdes de la ciudad.
- ▶ Con estas acciones benéficas ambientales se aprovechan recursos naturales y se reduce considerablemente el **impacto ambiental de la región fronteriza**. Además, se apoya considerablemente a los actores involucrados en el proyecto como son los habitantes de la ciudad, los trabajadores de parques y jardines, de la junta municipal de agua y saneamiento, las escuelas a todos niveles, dependencias estatales y federales, entre otros.

# Bibliografía

- Acosta, Y., A. Zarraga, L. Rodriguez y M. El Zauahre. 2012. Cambio en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. *Multiciencias*, 12:18-24.
- BDAN (2020). Banco de Desarrollo de America del Norte.  
<https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/frontera2020.pdf>
- Coutiño, R.V., K. Wrobel, K. Wrobel, R. Navarro, L.A. Dodinez, M. Teutli-Leon, and F. Rodriguez. 2013. Evaluation of the composting process in digested sewage sludge from a municipal wastewater treatment plant in the city of San Miguel de Allende, Central Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29(sup.3):89-97.
- Kamal, A., K. Wichuk, D. McCartney, K. Londry, and C. Felske. 2017. Effect of treated wood on biosolids composting. *Compost Science & Utilization.* 25(3):178-193.
- Mahon, R., C. Gomez-Silvan, G.L. Andersen, C. Calvo, and E. Aranda. 2020. Assesment of bacterial and fungal communities in a full-scale thermophilic sewage sludges composting pile under a semipermeable cover. *Bioresource Technology.* 298:12250.
- NOM-NMX-AA-180-SCFI-2018. Norma oficial mexicana que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Secretaria de Economía, Gobierno de México, 52 p.
- Román, P., María M. Martínez y Alberto Pantoja. 2013. Manual del Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. FAO. Santiago de Chile. 106 p.
- SEMARNAT (2002). *Nom-004-Semarnat-2002: norma oficial mexicana, protección ambiental. - lodos y Biosólidos.- especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.* SEMARNAT. Norma oficial Mexicana.
- Vera-Reza, A. M., Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, M. L., Peña-Camacho, J. L., & Ortega-Silva, M. M. (2017). Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje. *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*, 1, 1-11.
- Ucaroglu, S., and U. Alkan. 2016. Composting of wastewater treatments sludge with different bulking agents. *Journal of the air & waste management association.* 66(3):288-295.
- U.S.EPA, 2002. Land application of biosolids. Chapter 2, A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. 56 p.  
[http://water.epa.gov/scitech/wastetech/biosolids/503pe\\_index.cfm.](http://water.epa.gov/scitech/wastetech/biosolids/503pe_index.cfm)

# Agradecimientos

A la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, laboratorio de análisis de agua: MC Zulema Poncio Acosta, Dr. Sergio Calderón, Carlos García y Nancy Romero.

A todos los trabajadores de campo, a los estudiantes que realizaron tesis de licenciatura en química y biología.

Al Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN) por el financiamiento del proyecto de compostaje de lodos residuales.

**Muchas Gracias por su amable atención**



*Primer Foro Binacional de Economía Circular,  
Juárez Industrial City.  
"Hacia una Hoja de Ruta Circular"*

***Utilización Sustentable de Biosólidos Mediante  
Composteo en Ciudad Juárez, Chih***

**Dr. Juan Pedro Flores Márquez**  
(Universidad Autónoma de Ciudad Juárez)  
juflores@uacj.mx

**Colaboradores:**

**Biol. Francisco J. Núñez Sánchez (JMAS)**

**Biol. Jose Francisco López Morales**

**M.C. María Zulema Poncio Acosta**

(Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS))

**M.C. Luz del Carmen Agüero Reyes**

(Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UACJ-IIT)

**Ing. Edmundo Urrutia Beall (+)**

(Dirección de Parques y jardines, Municipio de Juárez)

Ciudad Juárez, 29 de Octubre de 2024.

