



# Caracterización y Toxicidad de Lixiviados

# Caracterização e Toxicidade de Chorume

Patricia Torres-Lozada. Ing. Sanitaria, PhD.

Luz Edith Barba-Ho. Química, MSc.

Luis Fernando Marmolejo-Rebellón. Ing. Sanitario, PhD.

Grupo Investigación Estudio y Control de la Contaminación Ambiental - ECCA

Universidad del Valle

Cali - Colombia

2013

# INTRODUCCIÓN



Cantidad residuos generados por la sociedad: ligada estrechamente con nivel económico; la mayoría de éstos son el resultado de los productos usados que, luego de cumplir la función para la que fueron adquiridos, se convierten en desechos denominados **Residuos Sólidos Municipales** – RSM (Shekdar, 2009).

# INTRODUCCIÓN



Botadero clausurado (Cali, Colombia). Fuente: cali.gov.co

## Impacto ambiental rellenos sanitarios:

Principalmente emisión de GEI ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ ) y lixiviados.

## Lixiviados:

Producidos como consecuencia de la percolación de las aguas lluvias a través de la masa de residuos, las reacciones químicas y biológicas ocurridas en las celdas que contienen los residuos y su propio contenido de agua

(Christensen *et al.*, 1994; Weitz *et al.*, 2002; Boumechhour *et al.*, 2013).



# GENERALIDADES



## Lixiviados:

Contienen sustancias químicas y biológicas altamente tóxicas que pueden generar perjuicios en la salud humana y el ambiente.

Su mayor impacto ambiental se relaciona con la contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea.



Piscinas de lixiviados Relleno Presidente  
Valle del Cauca, Colombia  
Cortesía: Proactiva de servicios S.A. ESP

(Pablos *et al.*, 2011; Raco *et al.*, 2013).



# GENERALIDADES



## Tipos de contaminantes presentes en los lixiviados:

- i)* Materia orgánica disuelta (DQO, COT, AGV, ácidos húmicos y fúlvicos)
- ii)* Macrocomponentes inorgánicos (Ca, Mg, Na, K,  $\text{NH}_4^+$ , Fe, Mn; Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3^-$ )
- iii)* Metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn)
- iv)* Compuestos xenobióticos (hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos clorados, pesticidas, plastificantes)
- v)* Otros compuestos (boratos, sulfuros, arsenato, selenato, Ba, Li, Hg, Co) pueden estar presentes pero en concentraciones muy bajas.



# GENERALIDADES



## Composición de los lixiviados:

**Variable** entre diferentes rellenos sanitarios, **dependiendo** principalmente de factores como la **composición** y **etapa de degradación de los RSM** y la **tecnología o tipología de relleno** (Kjeldsen et al., 2002).

## Clasificación de los lixiviados

Tres grupos de acuerdo con **tiempo de operación** del relleno sanitario y de la celda de la cual provengan:

JÓVENES < 5 años

INTERMEDIOS 5-10 años

MADUROS > 10 años

## Grado de biodegradabilidad:

Inversamente proporcional a su edad, siendo más biodegradables los jóvenes y menos los maduros

(Kang et al., 2002; Kulikowska & Klimiuk, 2008; Renou et al., 2008; Shouliang et al., 2008; Fátima et al. 2012; Ramírez – Sosa et al. 2013)



# GENERALIDADES



## Ensayos de toxicidad:

Para determinar adecuadamente la toxicidad de cualquier lixiviado, se deben realizar caracterizaciones químicas y toxicológicas (Lambolez *et al.*, 1994).

Aspectos críticos (Thomas *et al.* (2009); Baderna *et al.* (2011) y Gajski *et al.* (2012)):

- i) Falta de conocimiento de las características ambientales, ecotoxicológicas y toxicológicas de la mayoría de los contaminantes contenidos en lixiviados
- ii) Importancia de entender su composición y
- iii) Necesidad de crear estrategias integradas para la evaluación de riesgos y hacer proyecciones sobre los efectos a largo plazo de un relleno sanitario.

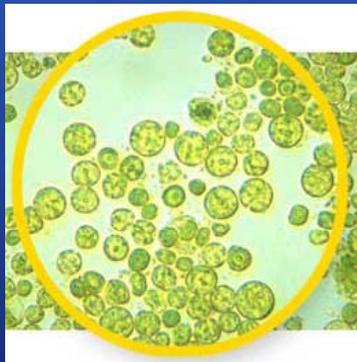


# GENERALIDADES



## Ensayos de toxicidad:

Manera confiable de evaluar el potencial tóxico de un contaminante, utilizando especies pertenecientes a los 3 niveles tróficos de la cadena alimenticia: productores (microalgas), consumidores (rotíferos, crustáceos: *Daphnia*.) y decompositores (protozoarios e bacterias luminescentes).



Para evaluar la toxicidad de mezclas de elementos químicos en aguas superficiales, normalmente se utilizan organismos acuáticos como *Daphnia magna* y *Daphnia pulex* (Gaete & Paredes, 1996, Barata *et al.*, 2006) por su alta tasa de reproducción, fácil manipulación y sensibilidad a los contaminantes (Silva *et al.*, 2003).



# OBJETIVO



Evaluación influencia tiempo operación sobre las características físicoquímicas y la toxicidad de los lixiviados generados en las celdas de dos rellenos sanitarios activos y un vertedero clausurado (operado durante 51 años) en Colombia.





# METODOLOGÍA



## 1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

### VARIABLES

- Materia orgánica
- Macrocomponentes inorgánicos
- Metales pesados y
- Compuestos xenobióticos (APHA *et al.*, 2005)
  
- Manejo de resultados:
  - Estadística descriptiva
  - Análisis de Correlaciones
  - Análisis De Componentes Principales (**ACP**)



# METODOLOGÍA

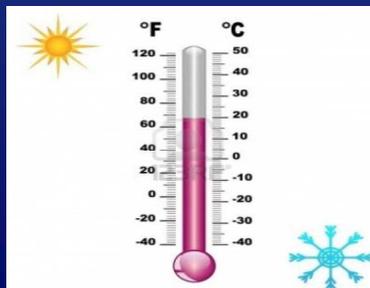
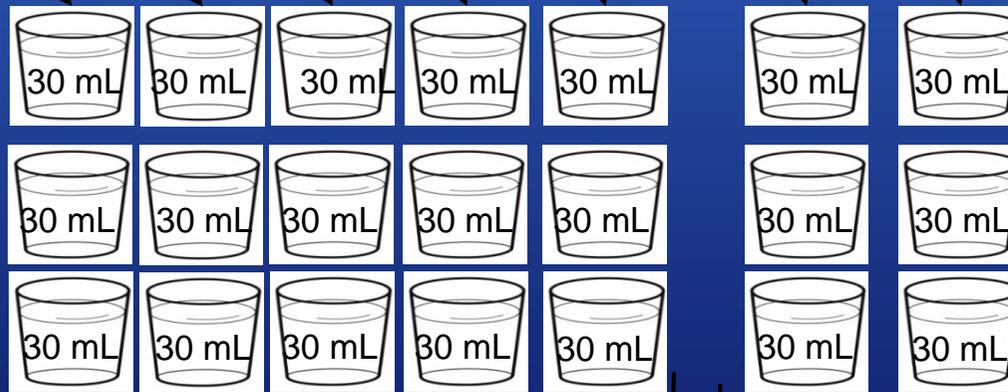


## 2. PRUEBAS ECOTOXICOLÓGICAS (*Daphnia pulex*)

- Establecimiento relaciones de concentración - respuesta bajo parámetros ambientales controlados (APHA *et al.*, 2005) para cada uno de los lixiviados colectados.
- Parámetro de evaluación:  $LC_{50}$  (UT: Unidades Tóxicas)

10 organismos/Vaso

Daphnias < 24h nacidas



$20 \pm 2$  °C



600 – 1000 Lux/ 48h



# RESULTADOS



## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

Parámetros	Unidades	LJ		LI		LM	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min
pH	Unidades	8,26	7,77	8,5	7,6	9,58	8,18
CE	mS/cm	36,7	27,1	23,5	16,2	20,6	11,6
AGV	meq/L	295	70	100	50	62,5	45
AT	mg CaCO <sub>3</sub> /L	36300	12400	10746	7344	8694	1689
DT	mg CaCO <sub>3</sub> /L	4324	1251	1863	866	2700	400
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	13391	1171	1594	496	165	78
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	25455	9181	6638	3673	2197	1105
COT	mg COT/L	7840	3531	3025	1240	999	415
ST	mg/L	33796	17673	17950	10596	9345	5472
SDT	mg/L	33703	17041	17775	10473	8877	5382
NTK	mg N-NTK/L	2492	2184	2072	1204	1095	9,2
NH <sub>3</sub> Libre	mg NH <sub>3</sub>	1090	187	787	237	257	4,1
N Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	2184	1050	1848	1008	956	9,2
Cl <sup>-</sup>	mg Cl/L	4200	2121	3099	1398	2420	800



# RESULTADOS



## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

- pH: aumentó con edad del lixiviado debido a reducción AGV. En rellenos sanitarios jóvenes (fase acidogénica) se liberan grandes cantidades de AGV; en los maduros (fase metanogénica) los AGV se transforman en  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  (Tchobanoglous *et al.* 1994; Kurniawan *et al.* 2006; Renou *et al.* 2008; Kheradmand *et al.* 2010).
- Nitrógeno (total y amoniacal) disminuyó con edad del lixiviado. En rellenos sanitarios jóvenes ocurre desaminación de los aminoácidos y destrucción de compuestos orgánicos (Kulikowska & Klimiuk, 2008).
- Indicadores de Materia Orgánica: tendencia inversamente proporcional a la edad del lixiviado (Relación **DBO/DQO** disminuye con edad de la celda: **LJ: 0.53; LI: 0.16; LM: 0.09** ) (Kang *et al.* 2002; Kulikowska & Klimiuk, 2008; Renou *et al.* 2008; Shouliang *et al.* 2008)



# RESULTADOS



## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

- *No se observó presencia* cuantificable de contaminantes como **HAP's** y **BTEX**, debido probablemente a: Procedencia urbana de los RSM; Cambios bioquímicos y procesos físicoquímicos (disolución, adsorción, precipitación, dilución, volatilización, entre otros) que influyen en la calidad del lixiviado (Kulikouska & Klimuiuk, 2008).
- Características generales:

**LJ: JOVEN CON < 5 AÑOS**

**LI: INTERMEDIO CON UN PERIODO DE 5 A 10 AÑOS**

**LM: MADURO CON PERIODOS MAYORES A 10 AÑOS**



# RESULTADOS



## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

Elementos de importancia derivados de la caracterización de los lixiviados y su relación con el tratamiento de los mismos:

- Los elevados valores de nitrógeno sugieren la demanda por sistemas de tratamiento que permitan su remoción. La principal forma de nitrógeno presente es amoniacal.
- La elevada concentración de cloruros puede interferir en el tratamiento de los lixiviados, tanto en la etapa de remoción de la materia orgánica como en la remoción del nitrógeno por procesos biológicos.
- La mayor fracción de los sólidos presentes en los lixiviados es la de los sólidos disueltos.



# RESULTADOS



## Matriz de correlaciones (Correlación fuerte: >0,85)

	pH	DBO	DQO	COT	ST	SDT	CE	AT	AGV	N Am	N To	D	Cl <sup>-</sup>
pH	1,00												
DBO	-0,35	1,00											
DQO	-0,41	<u>0,96</u>	1,00										
COT	-0,37	<u>0,94</u>	<u>0,89</u>	1,00									
ST	-0,52	<u>0,88</u>	<u>0,91</u>	<u>0,88</u>	1,00								
SDT	-0,51	<u>0,87</u>	<u>0,90</u>	<u>0,87</u>	<u>0,97</u>	1,00							
CE	-0,44	0,78	0,83	<u>0,86</u>	<u>0,88</u>	<u>0,88</u>	1,00						
AT	-0,33	0,77	0,83	0,74	0,67	0,67	0,74	1,00					
AGV	-0,35	<u>0,89</u>	<u>0,88</u>	<u>0,88</u>	0,80	0,81	0,76	0,63	1,00				
N Am	-0,47	0,48	0,58	0,57	0,74	0,73	0,74	0,58	0,36	1,00			
N To	-0,46	0,65	0,71	0,76	0,82	0,81	<u>0,85</u>	0,65	0,62	0,93	1,00		
D	-0,32	0,77	0,68	0,78	0,71	0,69	0,61	0,47	0,63	0,53	0,64	1,00	
Cl <sup>-</sup>	-0,06	0,47	0,51	0,54	0,59	0,67	0,65	0,41	0,48	0,55	0,58	0,22	1,00

- Correlaciones altas entre variables asociadas a MO (DBO, DQO, COT y AGV).
- SDT: fuerte relación con mayor número de variables (DBO, DQO, COT y ST)



# RESULTADOS



## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

### Correlación gráfica entre variables e individuos

- Mayoría de mediciones realizadas al LJ: relacionadas con los ST y SDT y los indicadores de MO. Significa que este lixiviado se puede caracterizar de manera representativa mediante estas variables.
- No se observa relación entre las mediciones de LI y LM con las variables fisicoquímicas. Esto indica que a medida que transcurre el tiempo de operación de los RS, las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos medidos en los lixiviados disminuyen y es recomendable medir un mayor número de parámetros.

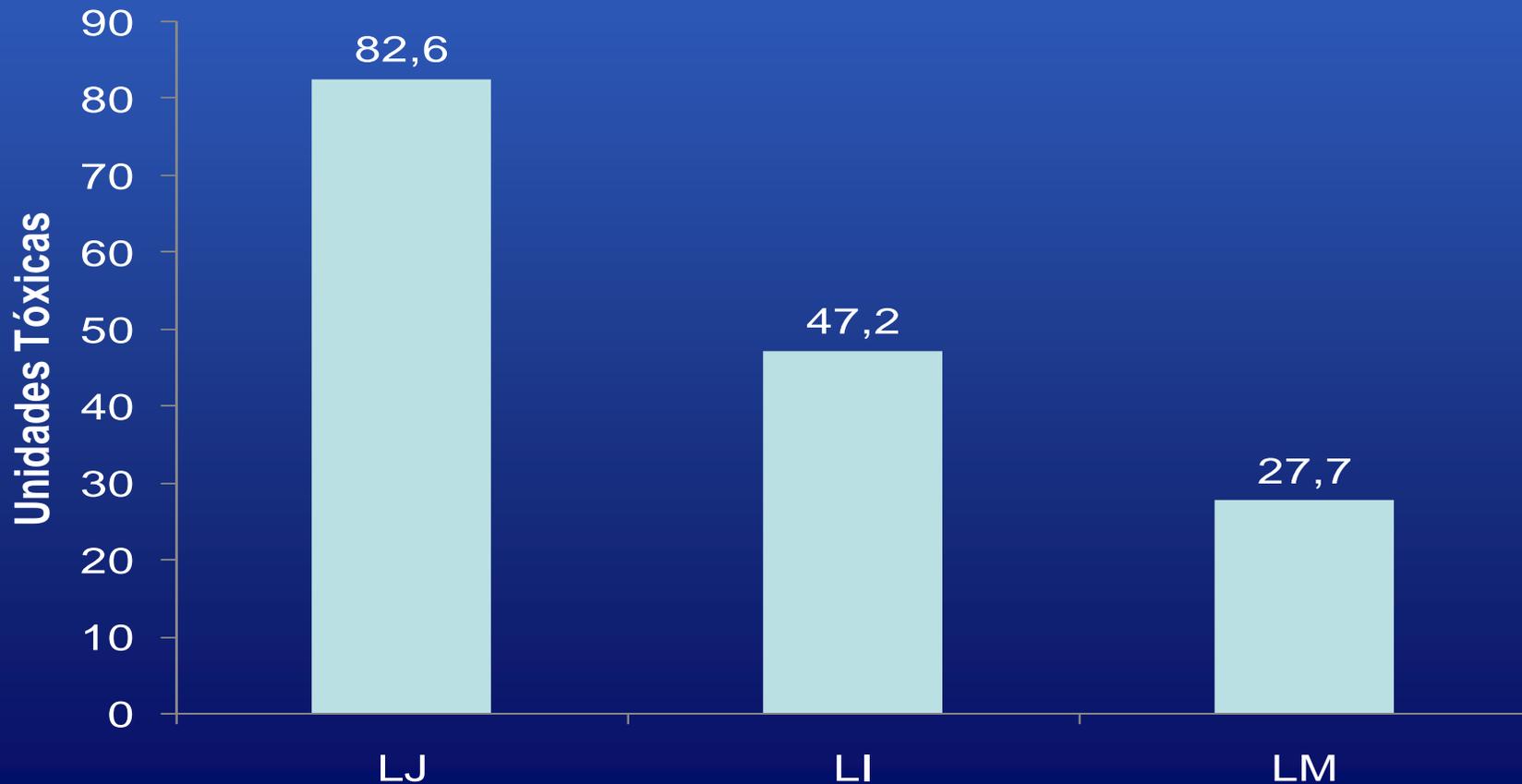


# RESULTADOS



## PRUEBAS ECOTOXICOLÓGICAS (*Daphnia pulex*)

### Toxicidad de los lixiviados





# RESULTADOS



## PRUEBAS ECOTOXICOLÓGICAS (*Daphnia pulex*)

La  $LC_{50}$  y las UT presentan un comportamiento inversamente proporcional respecto de la edad del lixiviado, que puede relacionarse con los niveles de materia orgánica, dureza, conductividad, alcalinidad y cloruros.

Los lixiviados presentaron cantidades significativas de nitrógeno, que se considera uno de los contaminantes más importantes en estos desechos.

(Isidori *et al.*, 2003; Alonso, 2006).



# CONCLUSIONES

- La composición de los lixiviados depende del tiempo de funcionamiento de los rellenos sanitarios y particularmente de la edad de la celda en los cuales se originan.
- En general, se presentaron mayores concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados más jóvenes.
- Lixiviado joven: mayoría de mediciones asociadas con variables indicadoras de materia orgánica (DBO, DQO, AGV's) y sólidos (ST, SDT)
- En lixiviados de mayor edad, las concentraciones medidas disminuyen y la relación entre las variables no es tan fuerte, siendo necesario caracterizar un mayor número de variables.



# CONCLUSIONES



- Ensayos de toxicidad aguda con *Daphnia pulex*: la edad del lixiviado y la toxicidad guardan una relación inversamente proporcional.
- Los valores de  $LC_{50}$  promedio, el límite de confianza (95%) y el valor de UT para cada uno los lixiviados evaluados, ratifican la importancia de caracterizar cuidadosamente cada tipo de lixiviado debido a la variación en sus características y realizar pruebas ecotoxicológicas para determinar su potencial efecto tóxico.



# CONCLUSIONES



- La caracterización de los lixiviados y los ensayos de toxicidad muestran la necesidad de realizar tratamiento a los mismos para prevenir problemas de contaminación de suelos y cuerpos de agua superficiales o subterráneos y su potencial riesgo a la salud.
- Cuanto mayor conocimiento se tenga de las características de los lixiviados, más acertada será la selección del tipo o tecnología de tratamiento
- Dependiendo del tipo de tecnología de tratamiento de lixiviados seleccionada, es recomendable realizar pruebas complementarias de toxicidad (Ej: aerobia o anaerobia) para definir el tipo de acondicionamiento o pretratamiento previo al tratamiento



# AGRADECIMIENTOS

Universidad del Valle: Financiación proyecto  
***“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA  
EDAD DE RELLENOS SANITARIOS  
MUNICIPALES SOBRE LA COMPOSICIÓN  
Y TOXICIDAD DE LOS LIXIVIADOS”***



**!!!MUCHAS GRACIAS!!!**

**!!!Muito Obrigada!!!**

