

Revista

epm[®]

No. 4 Enero - Junio 2011

Evaluación de los riesgos agronómico, ambiental y sanitario derivados de la aplicación directa de biosólidos para el cultivo de pastos en un agroecosistema de vocación lechera del Norte de Antioquia

Eficiencia en estaciones de bombeo

El uso de los biosólidos como una aproximación al cierre de los ciclos biogeoquímicos

Mapas de zonas críticas en la vinculación de clientes al sistema de acueducto y alcantarillado. Una aproximación desde el análisis de factibilidades

Imágenes de una "Antioquia iluminada"



Revista

epm®

Revista EPM No.4
Enero - Junio 2011

ISSN: 2145-1524

Grupo Directivo EPM

Federico Restrepo Posada
Gerente General
Jesús Arturo Aristizábal Guevara
Director de Energía
Francisco Javier Piedrahíta Díaz
Director de Aguas
Adriana María Palau Ángel
Directora de Planeación Institucional
Eduardo Esteban Cadavid Restrepo
Director de Servicios Institucionales
Hernán Darío Vergara Castro
Director de Control Interno
Patricia Duque García
Secretaría General
Paula Restrepo Duque
Directora de Responsabilidad Empresarial
Óscar Herrera Restrepo
Director de Finanzas Institucionales
Gloria Haidee Isaza Velásquez
Directora de Gestión Humana y Organizacional
Gabriel Jaime Betancourt Mesa
Director de Crecimiento Internacional
Ana Cristina Navarro Posada
Jefe Unidad de Comunicaciones

Grupo de Publicaciones EPM

Ana Cristina Navarro Posada
Jefe Unidad de Comunicaciones

Carlos Mario Montoya Díaz
Jefe Unidad de Aprendizaje Organizacional

Paola Andrea Valencia V.
Profesional Subdirección Identidad Empresarial

John Jairo Sossa Martínez
Profesional Unidad de Comunicaciones

Luz Beatriz Rodas Guerrero
Profesional Unidad de Aprendizaje Organizacional

Coordinación de diseño: Subdirección Identidad Empresarial
Revisión de textos: Unidad de Comunicaciones

Fotografía de portada: Vivero Poblado EPM (Propagación de árboles
y arbustos urbanos para las diferentes instalaciones de EPM)

Periodicidad: semestral

Solicitud de Canje:
Biblioteca EPM
Carrera 54 No.44-48 Plaza de Cisneros
Teléfono: 3807500
Bibliotecaepm@epm.com.co
Medellín – Colombia

Empresas Públicas de Medellín E.S.P.
Carrera 58 No. 42 – 125 Apartado 940
E-mail: epm@epm.com.co Tel: 3808080
Medellín – Colombia
www.epm.com.co

© Copyright: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. No está permitida su reproducción por ningún medio impreso, fotostático, electrónico o similar, sin la previa autorización escrita del titular de los derechos reservados.

Las opiniones expresadas por los autores en este número corresponden a su posición personal.



energía | gas natural | aguas

Revista

epm[®]

8

Evaluación de los riesgos agronómico, ambiental y sanitario

derivados de la aplicación directa de biosólidos para el cultivo de pastos en un agroecosistema de vocación lechera del Norte de Antioquia

38

Eficiencia en estaciones de bombeo

48

Mapas de zonas críticas en la vinculación de clientes al sistema de acueducto y alcantarillado.

Una aproximación desde el análisis de factibilidades



64

El diálogo con Grupos de Interés como constructor de capital cívico



78

El uso de los biosólidos como una aproximación al cierre de los ciclos biogeoquímicos



90

Imágenes de una Antioquia Iluminada







Detrás de la descripción de EPM como una empresa que presta los servicios públicos de aguas y energía, y que además es la matriz de un grupo empresarial con presencia en Colombia y en otros países de América Latina, se esconde todo un universo de conocimientos y de experiencias que son, en síntesis, uno de los aportes más valiosos de esta organización al conjunto de la sociedad.

Santa Ana, Valparaiso



Así es como EPM ha logrado estructurar un lenguaje propio que la identifica ante el mundo, granjeándose el respeto y la confianza de la gente, de las empresas y de las instituciones, en una dinámica que se deriva en reputación, en respaldo y en capacidad para acometer grandes obras como el complejo hidroeléctrico Pescadero Ituango, integrar el mercado de energía en Antioquia, rescatar al río Medellín de una larga historia de contaminación, poner en práctica el modelo de regionalización de los sistemas de aguas y emprender así mismo, dentro de la lógica que señalan su evolución natural y las metas trazadas en su ordenamiento estratégico, un importante proceso de internacionalización que hoy consolida a esta empresa antioqueña en el mercado centroamericano de energía.

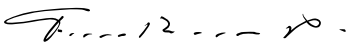
Pero lo más importante de todo esto es que está sucediendo en el marco de una dinámica de responsabilidad social y de respeto por el medio ambiente, factores claves en la estrategia de una empresa que concibe la sostenibilidad como el propósito que guía todas sus actuaciones.

Ese ánimo de generar conocimiento y convertirlo en un aporte para el desarrollo de la sociedad, se confirma en este nuevo número de la Revista EPM con la presentación de temas como la metodología para la identificación de zonas críticas en el proceso de vinculación de clientes al sistema de acueducto y alcantarillado, al cual se suman los trabajos sobre la eficiencia en las estaciones de bombeo, en este caso desde la perspectiva técnica y regulatoria; al tiempo que otros autores abordan en dos artículos el análisis de los biosólidos, de un lado a partir de la evaluación de tres ciclos productivos de un agroecosistema del Norte de Antioquia empleado en la explotación lechera y, de otro lado, como fuente de biomasa y energía, considerando las implicaciones sanitarias, agronómicas y ambientales de su uso.

El relacionamiento es también uno de los temas importantes de este número, con un texto que analiza la actividad empresarial de hoy frente a los grupos de interés, poniendo en primer plano los beneficios que ofrece en términos de la construcción de capital cívico y la potenciación de la capacidad de aprendizaje y de innovación de las empresas.

Finalmente, la publicación ofrece un recorrido visual, que también convoca a la literatura, a través de las imágenes, los momentos, los paisajes y la gente del programa Antioquia Iluminada, una iniciativa liderada por EPM que cuenta con el concurso de distintas instituciones locales e internacionales para dotar del servicio de energía a miles de hogares campesinos de Antioquia.

Son textos que, en su diversidad, reflejan un concepto único de empresa que quiere crecer de una manera armónica con el entorno. Las materias que aquí se exponen, no obstante su concepción técnica y a veces compleja, reflejan con claridad la cultura de una organización que hace del conocimiento una de sus más grandes fortalezas para crecer, para participar, para construir calidad de vida.



FEDERICO RESTREPO POSADA
Gerente General

Evaluación de los riesgos agronómico, ambiental y sanitario derivados de la aplicación directa de biosólidos para el cultivo de pastos en un agroecosistema de vocación lechera del Norte de Antioquia.

Equipo de trabajo

Sub-proyecto I

Universidad Nacional Sede Medellín

Escuela de Geociencias

Coordinador: Raúl Zapata H.

*Co-investigadores: Nelson Osorio, Claudia Berrío V.,
Adriana Sotelo M.*

rdzapatah@unal.edu.co

Sub-proyecto II

Universidad de Antioquia

Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM)

Coordinador: Carlos Peláez J.

*Co-investigadores: Liliana Acevedo, Alejandro Hurtado,
Amilvia Ortiz, Gonzalo Vélez*

directorgiem@gmail.com

Sub-proyecto III

Universidad Pontificia Javeriana

Departamento de Microbiología

Coordinadora: Claudia Campos

*Co-investigadores: Nancy Fuentes, Luz Karime Medina
campos@javeriana.edu.co*

Resumen

En el siguiente trabajo se presentan los resultados de la evaluación de tres ciclos productivos de un agroecosistema del Norte de Antioquia empleado en la explotación lechera a lo largo del año 2009, donde el material orgánico (biosólido) actuó como fertilizante y enmienda.

El ensayo, denominado tratamiento, fue realizado en un predio con aplicación constante de biosólidos por más de cuatro años, lo que garantiza que los resultados de acumulación están ubicados en el percentil superior.

Este fue el resultado de amplias discusiones realizadas en la mesa de trabajo ambiental, auspiciada por la Procuraduría Agraria y Am-

biental de Antioquia, cuyo objetivo fue el de dar alternativas a la problemática de los biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando.

Las universidades de Antioquia, Nacional de Colombia sede Medellín y Pontificia Javeriana, de común acuerdo con EPM, presentaron una propuesta para desarrollar este programa de investigación, con el que se buscaba tener claridad respecto de los impactos sanitario, ambiental y agronómico que se derivan de la aplicación directa de biosólidos sobre los agroecosistemas.

Palabras claves

Biosólidos, suelos, materia orgánica, evaluación, parcela.

Introducción

El biosólido es definido como un subproducto sólido de carácter orgánico generado por los procesos de tratamiento de las aguas residuales municipales (EPA 2002). Como producto, los biosólidos contienen nutrientes, contaminantes orgánicos e inorgánicos y patógenos. En cuanto a los contaminantes inorgánicos cabe resaltar los metales pesados, los cuales juegan un papel indispensable, negativo o nulo, en los procesos vitales según las características y concentraciones en las que se encuentren en el ambiente, debido a que tienden a acumularse a lo largo de la cadena alimentaria, dado que no se degradan y son poco móviles. (ADAME, 2001).

En cuanto a los nutrientes, los biosólidos poseen elementos favorables para la vida vegetal como: calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn), los cuales son considerados indispensables para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, algunos se encuentran en concentraciones que pueden llegar a ser perjudiciales por su potencial de eutrofización.

Los nutrientes más importantes son el nitrógeno (N) y el fósforo (P). El nitrógeno puede estar presente en los biosólidos en forma orgánica (proteína, aminoácidos etc.), y en forma inorgánica (amonio y nitratos). El contenido de nitrógeno y fósforo en los biosólidos varía dependiendo del tipo de agua

residual y del proceso de tratamiento; sin embargo, la concentración de estos elementos generalmente es alta. Ellos hacen parte de la materia orgánica, la cual debe ser mineralizada por los microorganismos para que los nutrientes estén disponibles para las plantas (Rutgers Cooperative Extensión, 2003).

El contenido de materia orgánica en los biosólidos mejora las propiedades estructurales del suelo. El beneficio consiste en la unión de las partículas de los suelos en agregados estables, produciendo una estructura que facilita la permeabilidad de agua y aire reduciendo así la escorrentía y los riesgos de erosión. En contraste, si la cantidad de materia orgánica es baja, los agregados del suelo son menos estables con el agua y fácilmente dispersables (EPA, 2003).

Entre los cuatro grupos principales de microorganismos patógenos para los humanos se encuentran: las bacterias, virus, protozoos y helmintos. Los niveles presentes en un lodo residual tratado, dependen de los residuos obtenidos durante el proceso de tratamiento de agua y de lodo.

Los biosólidos se pueden clasificar con base en su contenido de patógenos en Clase A y Clase B. Para obtener los biosólidos clase A, el residuo debe someterse a un tratamiento más extenso que para obtener biosólidos de clase B, dado que ello reduce los agentes patógenos, incluyendo bacterias, virus entéricos y huevos de helmintos viables, por debajo de una cantidad detectable. Una vez logrados estos objetivos, los biosólidos de clase A pueden ser aplicados al suelo sin ningún tipo de restricción.

Las principales características de ambos tipos de biosólidos son las siguientes:

Biosólido Clase A: es aquel sometido a diferentes procesos, con el objetivo de reducir la carga de patógenos por debajo de los límites que signifiquen riesgo para la salud de las personas que tienen contacto con ellos. Los coliformes fecales deben estar en un valor $< 1 \times 10^3$ NMP o UFC/g de ST, *Salmonella* sp. < 3 NMP por 4 g de ST, los virus entéricos < 1 PFP por 4 g de ST y huevos de helminto < 1 HH viable 4 g de ST. Adicionalmente, la carga de contaminación química, visualizada por la presencia de elementos tóxicos, debe estar por debajo de un valor límite establecido por las normatividades nacionales.

Biosólido Clase B: es aquel que a pesar de tener una reducción significativa de microorganismos patógenos, no los elimina completamente. En el caso de los coliformes fecales, se encuentran en una concentración de $< 2.0 \times 10^6$ NMP/g ST, y se pueden encontrar niveles detectables de *Salmonella*, virus entéricos y huevos de helminto. Estos pueden ser aplicados en suelos, pero se deben tener en cuenta ciertas restricciones para utilizarlos. Dichas restricciones tienen que ver con el tiempo que se debe esperar antes de sembrar los cultivos, para que la concentración de microorganismos se reduzca hasta niveles aceptables. Este tiempo va de 1 a 38 meses y varía dependiendo del tipo de cultivo y del contacto o no de la parte comestible del alimento con el biosólido. El sitio de aplicación no debe estar cercano a fuentes de agua superficiales o subterráneas y se debe aplicar en épocas secas (EPA, 1999, EPA, 2003).

Finalmente, es importante resaltar que estudios realizados durante 20 años en la Universidad de Arizona, concluyen que la aplicación al suelo de biosólidos Clase B es sostenible. El riesgo microbiológico se puede disminuir dependiendo de la aplicación y las restricciones que se tengan. La diversidad microbiana del suelo no se ve afectada, aumentan sus micronutrientes y el incremento de metales pesados es muy bajo. Los estudios realizados en suelos áridos, mientras tanto, si bien muestran los beneficios de la aplicación, recomiendan evaluar estas variables en otros tipos de suelo (Pepper et al., 2008).

En referencia a la parte química, de acuerdo con lo planteado por Bohn en 1993, debe tenerse en cuenta que todos los iones micronutrientes son tóxicos en concentraciones superiores a las consideradas normales para los suelos. De otro lado, son poco frecuentes las concentraciones altas de elementos tóxicos que se presentan en forma natural, por lo tanto, la contaminación del suelo con elementos tóxicos, en general, es un resultado conexo a las actividades humanas.

Este es el caso que se aborda en el presente proyecto con relación a los denominados metales pesados, aquí nombrados como elementos tóxicos, dado que no todos se enmarcan en el concepto químico de metales pesados y cuya presencia es atribuida a la aplicación del biosólido como enmienda y fertilizante. El análisis de los niveles de elementos tóxicos en el suelo se debe afrontar teniendo en cuenta las concentraciones naturales. Puesto que en Colombia no se tiene referencia del contenido de los metales pesados en los suelos, los resultados encontrados en el experimento se compararán con los valores reseñados en la literatura internacional.

Las concentraciones naturales - y al parecer seguras - en suelos de elementos tóxicos, según Bohn, son para el cromo (Cr) de 20 ppm como valor típico, oscilando en un intervalo entre 5-1000 ppm. Epstein en 2002, realizó un estudio de los rangos de varios de los metales pesados en suelos de Estados Unidos, tanto para suelos "naturales" como agrícolas, reportando para el caso del cromo un dato mucho más alto que los reportados por Bohn y que fluctúan entre 23-15,000 ppm.

Aunque no dispone de los valores del Cr para suelos agrícolas, también establece que los rangos encontrados en fertilizantes están entre 1.3 y 338.9 ppm, destacando que son concentraciones mucho más bajas que las referenciadas para suelos. Bolt en 1976 ya había establecido que el cromo se encuentra en cantidades limitadas en suelos y que de cualquier modo, una muy baja porción del cromo total es soluble (0.006-0.28%) por lo que es fuertemente restringida su disponibilidad para las plantas. McBride en 1994 relaciona un valor promedio mundial en suelos de 7 a 221 ppm de Cr, en tanto que para los Estados Unidos el valor es de 20 a 85 ppm, el más bajo de los niveles reportados por los otros autores.

Carga máxima permitida de elementos tóxicos en el suelo					Concentraciones de riesgo
Regulaciones internacionales (ppm)					Holanda (ppm)
Elemento	EE.UU.	Alemania	Holanda	Canadá	
Cromo	1000	400	1000	420	3200
Cadmio	10	12	20	3,2	80
Plomo	1000	400	600	180	2400
Níquel	100	200	400	64	2000
Mercurio	-	8	8	1.6	40
Arsénico	-	-	120	28	200

Tabla 1. Concentraciones de elementos tóxicos en suelos según las regulaciones internacionales. Máximos permitidos y concentraciones que representan amenaza para el ambiente.

En la tabla 1 elaborada por McBride en 1995, se referencia la carga máxima permitida de elementos tóxicos en el suelo en (ppm) establecida por diferentes regulaciones internacionales y se indican las concentraciones que representan una seria amenaza para el ambiente, según la normativa holandesa.

Metodología

Materiales y métodos

Para lograr los productos de esta investigación se hicieron las siguientes actividades:

1. Selección de dos sitios en la finca La Pradera, vereda Pío XII, del municipio de Entreríos, Antioquia. En uno se ubicó la parcela Experimental, con aplicación de biosólidos, y en el otro la parcela Testigo o Control, donde únicamente se emplearon fertilizantes de síntesis. Estas parcelas estaban sembradas con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Rochts) y se les daba el mismo manejo en cuanto a tiempo de pastoreo y carga animal.
2. Instalación de lisímetros, piezómetros y parcelas de escorrentía para toma de muestras de agua en ambas parcelas.
3. Toma de muestras foliares, suelo y agua en las parcelas Experimental y Control.
4. Cálculo de la dosis aplicada de biosólidos por área en la parcela Experimental.

5. Determinación de la dosis de aplicación de biosólidos al suelo seleccionado mediante una prueba de incubación.

Cada semana, después de la instalación del ensayo, se visitó el predio para revisar los equipos instalados y tomar muestras.

Selección de las parcelas

Después de recorrer la finca La Pradera, se seleccionó la parcela Experimental (con biosólido) y la parcela Testigo (sin biosólido), teniendo en cuenta que ambas tuvieran los mismos componentes fisiográficos en cuanto a pendiente, suelo y fuentes de agua.

Los suelos de las parcelas están desarrollados sobre ceniza volcánica retrabada, tienen un horizonte Ap con un grosor que varía entre 10 y 30 cm, dependiendo del grado de erosión que se tenga. Es más profundo en la parte plana y delgado en la vertiente. Las parcelas Experimental y Testigo se dividieron en cuatro lotes (L#E y L#T), teniendo en cuenta la morfología de la vertiente: una en la parte superior, pendiente de 5% aproximadamente; dos parcelas en la parte media de la vertiente, con pendientes entre 15 y 25%, y un lote a la vaguada, con pendiente entre 5 y 8 %. Al final de este lote se tiene una corriente de agua libre en superficie.

La parcela Experimental está sembrada con pasto kikuyo. Desde hace más de cuatro años se le aplica biosólido cada 45 días aproximadamente, como única fuente de fertilización. Tiene un área de 1.4 hectáreas. Al final de los 45 días, se somete a pastoreo con una carga animal variable por un periodo no mayor de seis días, según el manejo que dispone el administrador de la finca.

En la parcela Testigo, igualmente cultivada con pasto kikuyo, no se realizan aplicaciones con biosólido sino con urea y DAP, con una frecuencia de mes y medio. Dosis aplicada: 100 kg de urea más 50 kg de DAP. Tiene un área de 0.5 hectáreas. Esta parcela se sometió a la misma carga animal que la Experimental.

Figura 1. División de la parcela Experimental.

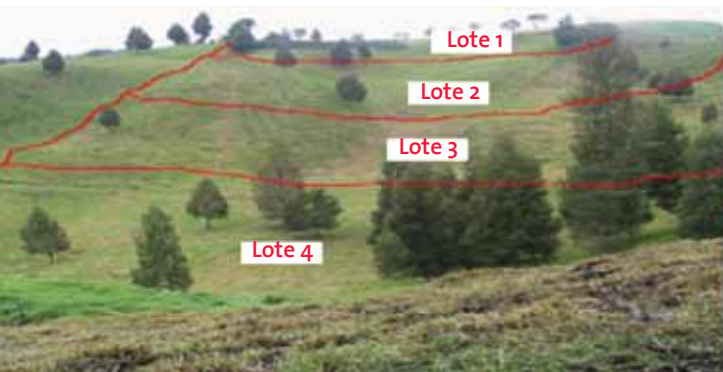


Figura 1. División de la parcela Testigo



Muestreo de suelo y pasto

Antes de la aplicación de biosólidos en la parcela Experimental y de fertilizante de síntesis a la parcela Control, se tomaron cuatro muestras en cada uno de los cuatro lotes. Las muestras estaban formadas por 10 submuestras en cada lote, con profundidad de 0-10 cm. y de 10-20 cm. Se procuró recorrer todo el lote para la toma de las submuestras. Las muestras se llevaron a los respectivos laboratorios para realizar los análisis fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos.

De manera aleatoria se tomaron 15 submuestras de pasto kikuyo para análisis foliar, a través de cada uno de los lotes de las parcelas.

Los muestreos de suelo y foliares se hicieron una semana después de cada aplicación de biosólidos. Las muestras de agua de los lisímetros, piezómetros y parcelas de escorrentía estaban condicionadas a la situación climática de lluvia.

Instalación de instrumentos para toma de agua

Después del análisis de la fisiografía de las parcelas, se tomó la decisión de instalar los diferentes métodos de recolección de aguas superficiales y de infiltración a varias profundidades de la manera siguiente: 1). Parcela Experimental: se instalaron 4 lisímetros, 5 parcelas de escorrentía y 3 piezómetros. Parcela Testigo: se instalaron 4 lisímetros, 3 parcelas de escorrentía y 2 piezómetros.

Las profundidades a las cuales se instalaron los piezómetros fueron: en la parte media de la vertiente a 1.0 m, y en la parte baja, vaguada, a 0.5 m. Los lisímetros se instalaron inmediatamente debajo del horizonte Ap, por lo cual su profundidad podía variar.

Aplicación de biosólidos

En total se hicieron cuatro aplicaciones de biosólidos en la forma que se venía haciendo en la finca. El material que llegaba de la Planta San Fernando era diluido y aplicado a la parcela manualmente mediante mangueras. Para determinar con exactitud la cantidad de biosólidos aplicada, se instalaron mantas, cada una con un área de 0.52 m². Después de haber recibido la aplicación las mantas se empaquetaron en bolsas plásticas y se pesaron en húmedo, luego de secarlas al aire, para determinar el volumen y la masa de biosólido aplicado. Las cantidades y los contenidos de N, P y K aportados en cada aplicación, se presentan en el cuadro 1. En el cuadro 2 se muestran las cantidades de cationes tóxicos aplicados con el biosólido y la concentración promedio de estos cationes.

Cuadro 1. Cantidades de biosólidos en base seca y de N, P y K aplicados (*) a la parcela Experimental.

Aplicación	Cantidad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
(kg/ha)				
Primera (t= 0)	3 012	54.2	28.0	9.0
Segunda (t= 2 meses)	3 546	63.8	33.0	10.6
Tercera (t=5 meses)	1 895	34.1	17.6	5.7
Cuarta (t= 7 meses)	2 721	49.0	25.3	8.2
Total	11 174	201.1	103.9	33.5

(*) Las cantidades de N, P y K se calcularon según el análisis de los biosólidos recolectados el día de la aplicación.

Cuadro 2. Contenidos promedio de elementos tóxicos en biosólido de la planta San Fernando de Medellín y cantidades totales aportadas a la parcela Experimental durante cuatro aplicaciones.

Catión	Contenido (mg/Kg)	Cantidad aplicada (g/ha)
Cadmio	1.8	20.1
Cromo	317.6 *	3548.9
Níquel	70.5	787.8
Plomo	21.4	239.1

* Este contenido bajó significativamente al final de las aplicaciones dado que con el control de vertimiento se logró disminuir en un 70% la presencia de este metal en el biosólido.

Muestreos

Primera fase

Los muestreos se realizaron de la siguiente forma:

- Al iniciar el estudio se recogieron muestras de suelo y aguas superficiales de las dos parcelas. Por aguas superficiales se entienden las encontradas al finalizar la pendiente de cada una de las parcelas de escorrentía instaladas para tal fin, y por aguas subterráneas las recolectadas en los piezómetros y lisímetros. Las muestras de suelo fueron recolectadas por medio de un barreno a 10 cm de profundidad. Las muestras de agua subterránea fueron procesadas para coliformes fecales y Salmonella, 48 horas después, y para fagos somáticos 72 horas después de recolectadas. Finalmente, se recolectaron muestras del biosólido que llega de la planta San Fernando y después de diluido para aplicación. Estas muestras fueron procesadas cuatro días después de su recolección.

Las parcelas estaban divididas en cuatro lotes (1, 2, 3 y 4). De allí se recogían cuatro muestras individuales para obtener una muestra compuesta representativa de toda la extensión de la parcela.

Las siguientes figuras muestran la forma de aplicación del biosólido y los sitios de muestreo de aguas superficiales, subterráneas y de pastos en las dos parcelas, en donde se observa la diferencia en su crecimiento.

Figura 3. Aplicación de biosólido a la parcela Experimental.



Figura 4. Toma de muestra de suelos



Figura 5. Agua superficial.



Figura 6. Toma de muestra de lisímetros.



Figura 7. Toma de muestra de parcelas de escorrentía



Figura 8. Toma de muestras de piezómetro.



Figura 9. Toma de muestras de pastos en la parcela Experimental.



Segunda fase

- En el segundo mes del cronograma se inició el siguiente ciclo de aplicación. Las muestras de suelo se recolectaron en los lotes A, B y C a 25 cm de profundidad, en donde ya se había realizado la aplicación. En la parcela Testigo se recogieron las muestras de suelo a 25 cm de profundidad y de agua superficial. Se recolectaron muestras de biosólido sin diluir y del biosólido diluido a partir de la manguera de aplicación.
- A los tres meses: se recogieron muestras de suelo y de agua superficial y subterránea de la parcela Experimental y de lisímetros de la parcela Control.
- A los cuatro meses: se recogieron muestras de suelo, agua subterránea y pastos de la parcela Experimental. En la parcela Control se recogieron muestras de suelo y pastos. No se encontró suficiente volumen para recoger muestra de agua superficial y subterránea.

Tercera fase

- A los cinco meses: se realizó una nueva aplicación de biosólido. Se recogieron muestras de suelo de la parcela Experimental y de la de Control a 10 cm de profundidad. Se tomó muestra de agua superficial. La parcela Control se encontró en el mismo estado del muestreo anterior y se tomaron las muestras de agua para poder continuar con los análisis correspondientes. Se tomaron muestras de suelo así como de agua superficial y subterránea de la parcela Experimental.
- A los seis meses: se recogieron muestras de suelo, pasto, agua superficial y subterránea en ambas parcelas.

Análisis realizados

En el apéndice 1 se enumeran los ensayos biológicos realizados.

En el apéndice 2 se enumeran los ensayos fisicoquímicos.

Resultados

Los resultados se presentan en dos bloques. En el primero, se muestran los subproyectos I y II. En el segundo, los resultados correspondientes al impacto sanitario.

Sub-proyectos I y II: Evaluación de los impactos ambiental y agronómico.

Efectos de los biosólidos en la fertilidad del suelo

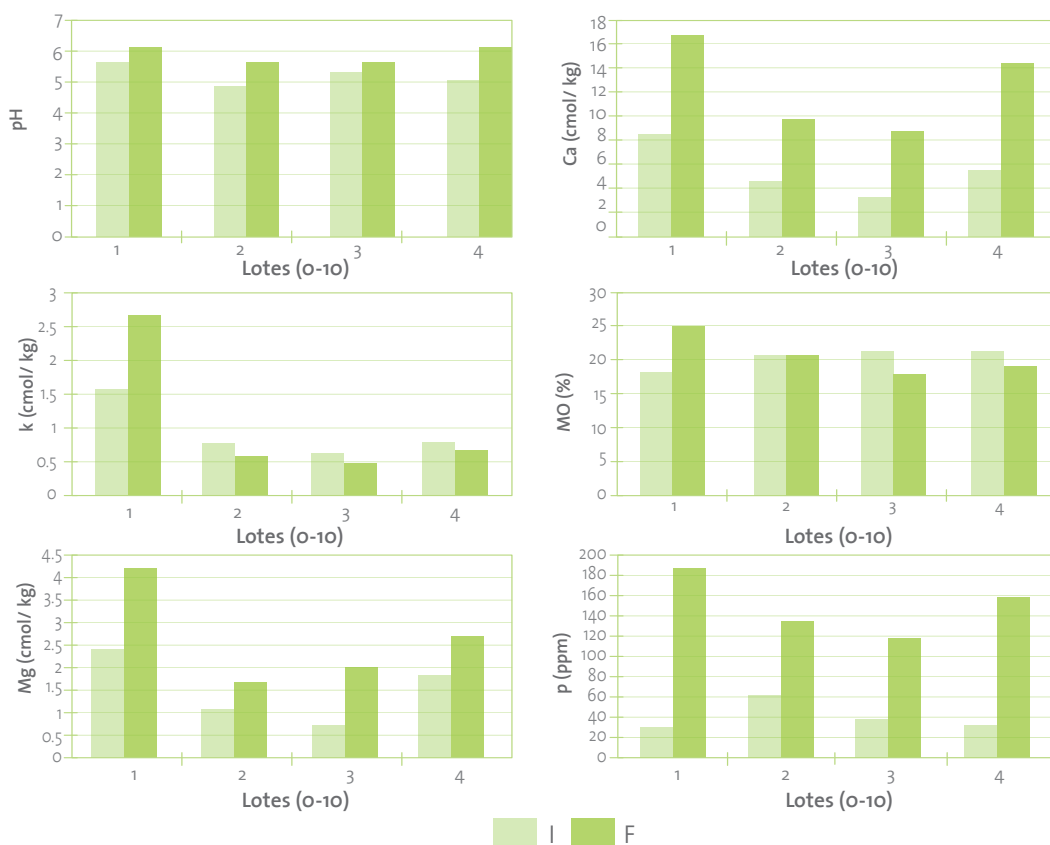
En la figura 10 se presentan las comparaciones de algunas propiedades químicas de los lotes de las dos parcelas, al inicio y al final de las 11 toneladas de biosólido aplicadas en cuatro momentos. El efecto más marcado sobre el incremento de nutrientes se observó en P, donde el contenido en mg kg⁻¹ pasó de 29 a 187 en el lote 1, de 62 a 134 en el lote 2, de 37 a 118 en el lote 3 y de 33 a 158 en el lote 4. Esta situación se logró con la aplicación de 104 kg/ha de P₂O₅ presentes en el biosólido. Este contenido de P en el suelo supera los requerimientos de los pastos, y aún es alto para cultivos muy exigentes en P como la papa.

Estos contenidos de P sólo se observan en cultivos de flores en Antioquia. Las concentraciones altas de este nutriente, en estos suelos de propiedades ándicas, son un índice de fertilidad.

El contenido de calcio y magnesio en el suelo se incrementó con la aplicación de biosólido. Se observó un efecto encalante, dado que en el tiempo se presentaron valores de pH más altos que los iniciales y el potasio sólo fue más alto en el lote 1. Los contenidos de bases de cambio son altos y cubren las necesidades del pasto por encima de sus requerimientos. Por los contenidos de estos nutrientes se puede indicar que el suelo está sobre fertilizado.

El contenido de materia orgánica pasó de 18 a 25 % en el lote 1, y en los demás lotes fue constante con la aplicación de 11 ton/ha de materia orgánica (biosólido), lo que indica que se mineralizó gran parte de este tipo de materia orgánica. El hecho se confirmó con los incrementos de los nutrientes en el suelo.

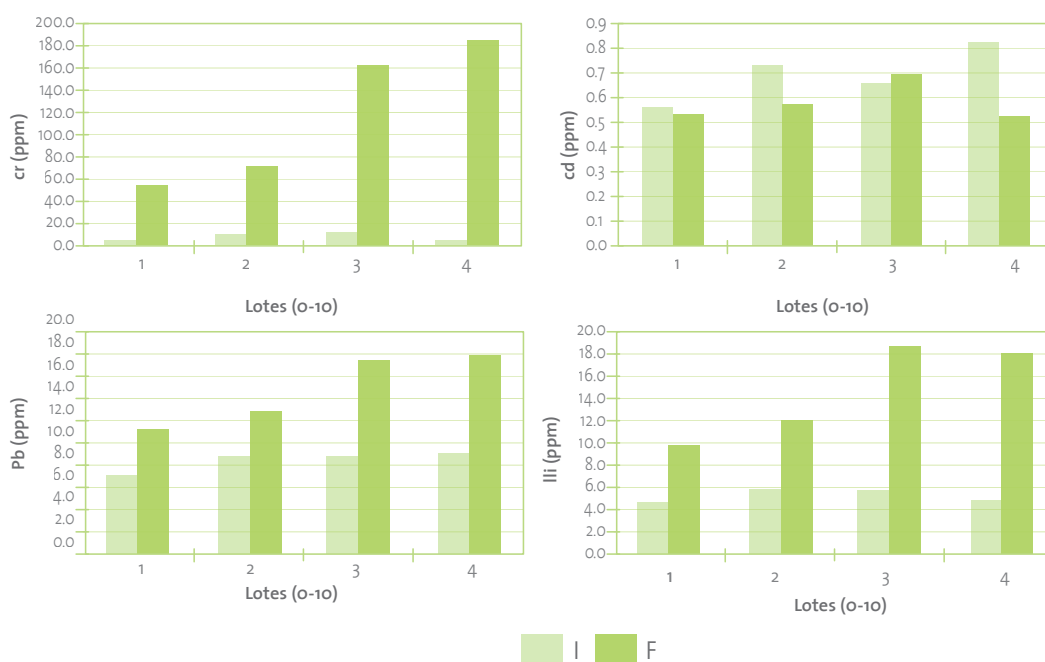
Figura 10. Comparación de algunas propiedades químicas en los lotes de la parcela Experimental antes (I) y después (F) de recibir más de 11 ton ha⁻¹ de biosólidos.



Efectos de los biosólidos sobre el contenido de elementos tóxicos en el suelo

En la figura 11 se presentan los contenidos de los elementos tóxicos en el suelo de los lotes de la parcela Testigo y Experimental, antes de la aplicación de biosólidos de esta investigación.

Figura 11. Contenidos de elementos tóxicos en las parcelas Testigo (T) y Experimental (E) antes de la aplicación de biosólidos.



Es interesante observar en la figura 11 que el suelo de la parcela Testigo, que nunca recibió biosólidos, tiene algunos contenidos de elementos tóxicos. Estas concentraciones pueden deberse a fenómenos naturales como los procesos de meteorización de sus materiales de origen del suelo que liberan progresivamente distintos elementos (Porta, 1999) y también a la aplicación de fertilizantes, especialmente fosforados, que aportan una cantidad importante de Cd y plaguicidas como sales de Zn y arsenatos de Cu y Pb (Tiller, 1989 y Peris, 2006).

Al comparar las condiciones iniciales de las dos parcelas, se observó que la parcela Experimental tiene mayor contenido de metales tóxicos que la parcela Testigo, debido a la aplicación previa de biosólidos.

En los lotes 2, 3 y 4 de la parcela Experimental, los contenidos se incrementaron en la dirección de la pendiente de la vertiente ubicados en la parte media y baja. Esta tendencia puede estar asociada a la escorrentía superficial de biosólidos después de su aplicación.

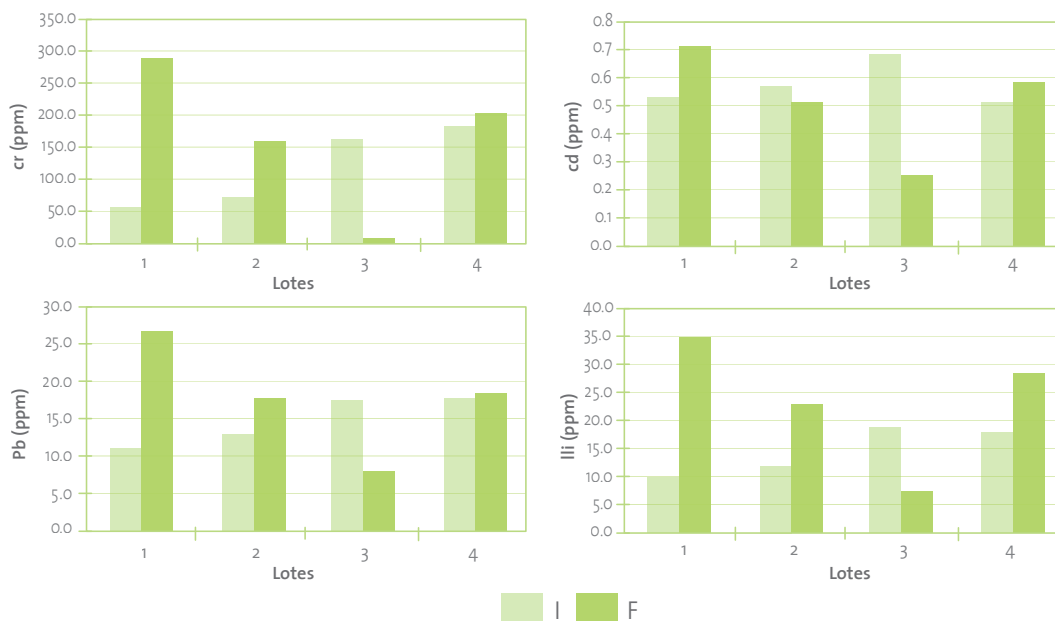
Los suelos presentan compactación por el continuo pisoteo de los animales durante el pastoreo, lo que conlleva a la erosión laminar. El Cd fue el único de los metales que no se incrementó después de la aplicación del biosólido, posiblemente por su baja cantidad aplicada. Los valores se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Contenidos promedio de elementos tóxicos en biosólido de la planta San Fernando de Medellín y cantidades totales aportadas a la parcela Experimental durante cuatro aplicaciones.

Catión	Contenido	Cantidad aplicada (g/ha)
Cadmio	1.8	20.1
Cromo	317.6 *	3548.9
Níquel	70.5	787.8
Plomo	21.4	239.1

*Este valor disminuyó después que se controló su vertido.

Figura 12. Contenidos de elementos tóxicos en el suelo de los lotes de la parcela Experimental al inicio (I) y al final (F) de la aplicación de biosólidos.



En la figura 12 se compara la concentración de elementos tóxicos en la parcela Experimental al inicio y al final de la investigación y después de aplicar más de 11 ton/ha de materia seca de biosólidos.

Se observó que los biosólidos aportan cationes al suelo y que su acumulación está asociada con la fisiografía del terreno. En las partes planas se acumulan más (lote 1), y menos en la pendiente de la vertiente, aunque en la parte baja de ésta se incrementa un poco, indicando la poca movilidad en forma soluble de estos cationes en el suelo.

El Cr tiene una mayor concentración en el suelo, situación que se explica por su alta concentración en el biosólido y por la continua aplicación durante tres años. Seguido por él está el Ni con el mismo comportamiento del Cr en cuanto a su distribución en la vertiente del terreno.

El contenido de Pb es menor que los anteriores cationes, pero en los lotes 2 y 3 es mayor al final después de la aplicación del biosólido. Posiblemente se tiene un efecto de dilución de este catión por la baja cantidad que se aplica con el biosólido (ver cuadro 3).

Efectos del biosólido en el *Pennisetum clandestinum*, R.

En los cuadros 4 y 5, en muestras tomadas en las parcelas Testigo y Experimental, al inicio de la investigación, se presentan los contenidos de nutrientes de *Pennisetum clandestinum*. Se encontró que tanto la fertilización química como la aplicación de biosólido cumplen con los requerimientos del cultivo.

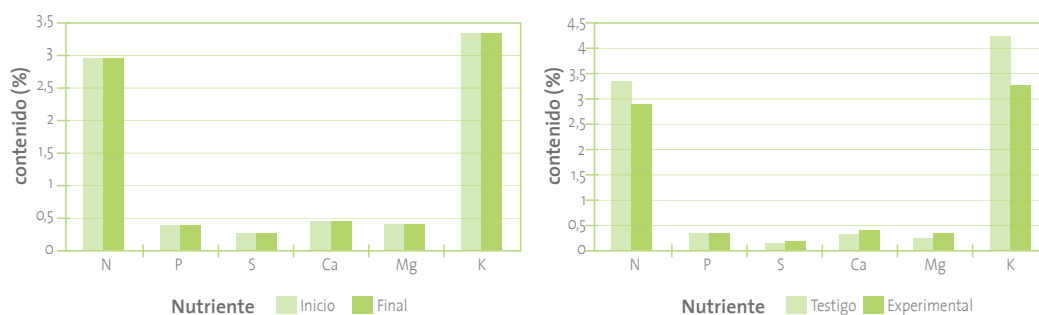
Cuadro 4. Análisis de macronutrientes en muestras foliares al inicio de la investigación en las dos parcelas.

Parcelas	N	P	S	Ca	Mg	K
	%					
Testigo	3,39	0,37	0,20	0,35	0,30	4,27
Experimental	2,92	0,37	0,26	0,45	0,40	3,30

Cuadro 5 Análisis de micronutrientes en muestras foliares al inicio de la investigación en las dos parcelas.

Parcelas	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	g g ⁻¹				
Testigo	371	128	7	57	11,5
Experimental	181	67	6	74	9,03

Figura 13. Contenidos foliares de nutrientes al inicio y después de la aplicación del total de biosólidos en las dos parcelas.

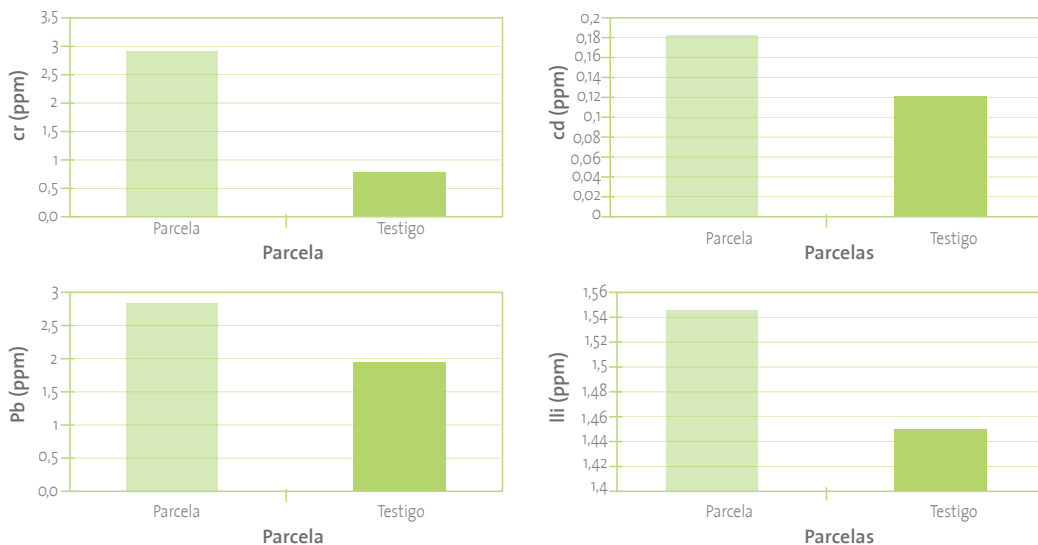


En la figura 13 se comparan los contenidos foliares del pasto inicial y después de la aplicación de más 11 ton/ha de biosólidos, y los contenidos de las dos parcelas al inicio de la investigación.

El análisis foliar tomado al inicio de la investigación y después de la aplicación de 11 t ha⁻¹ de biosólido, no mostró diferencias significativas. Este mismo comportamiento se observó en los suelos, lo que implica que la fertilidad de esta parcela generada por la aplicación previa de biosólido fue tan alta al inicio de la investigación, que futuras aplicaciones no incrementaron dicha fertilidad.

Cuando se compararon las dos parcelas, al inicio de la investigación, se observó que el contenido de potasio y nitrógeno foliar es más alto en la parcela Testigo, fertilizada con urea y DAP. Igualmente, los contenidos son altos en las dos parcelas. Los elevados contenidos de potasio encontrados también son aportados por las plagioclasas de la cuarzodiorita del batolito antioqueño.

Figura 14. Comparación entre los contenidos foliares de elementos tóxicos en pasto kikuyo al inicio de la investigación y en las dos parcelas.



En la figura 14 se comparan los contenidos foliares de los cationes tóxicos para las dos parcelas al inicio de la investigación. Los contenidos de Cr son más altos en la parcela Experimental producto de la aplicación previa de biosólidos, lo cual refleja la problemática que se tiene con este metal. Se espera que con las acciones que se han llevado a cabo contra el posible generador de este catión, los biosólidos disminuyan su contenido, y tanto el aporte al suelo como a los pastos, sea menor.

El comportamiento de los cuatro cationes tóxicos en el pasto (ver cuadro 6) fue diferente. El cromo (Cr) disminuyó en los cuatro lotes respecto de los contenidos encontrados en posteriores análisis; el cadmio (Cd) incrementó en el tiempo, mientras que el contenido de plomo (Pb) y de níquel (Ni) llegó a niveles no detectables.

Cuadro 6. Contenidos foliares de elementos tóxicos en la parcela Experimental en dos fechas de muestreo.

Foliales	Cr	Cd	Pb	Ni
Ppm				
6 de abril de 2009				
Lote 1	25.93	0.22	3.97	10.50
Lote 2	8.42	0.15	3.23	6.08
Lote 3	48.40	0.42	6.49	11.28
Lote 4	1.82	0.11	2.08	3.38
12 de mayo de 2009				
Lote 1	3.7	0.72	< 0.1	< 1.0
Lote 2	3.0	0.7	< 0.1	< 1.0
Lote 3	6.5	0.55	< 0.1	< 1.0
Lote 4	7.1	0.54	< 0.1	< 1.0

Cuadro 7. Coeficientes de transferencia de metales pesados del sistema suelo-planta en la parcela experimental

Lote	Coeficientes de transferencia			
	Cr	Cd	Pb	Ni
1	0,496	0,371	0,353	1,056
2	0,119	0,184	0,250	0,499
3	0,176	0,603	0,369	0,603
4	0,010	0,124	0,116	0,186
Promedio	0,200	0,321	0,272	0,586

El cuadro 7 presenta valores de coeficiente de transferencia. Este coeficiente indica qué cantidad del catión disponible en el suelo es capaz de acumularse en la planta y lo hace útil para desarrollar prácticas adecuadas en la aplicación de biosólidos al suelo.

Los valores promedio de los coeficientes de transferencia para Cr, Cd, Pb y Ni fueron de 20, 32, 27 y 59 % respectivamente, siendo el Ni el catión que más se transfiere del suelo a la planta. Es importante anotar que su contenido en el suelo está a nivel de traza.

El valor más alto del coeficiente se encontró en el lote 1, sitio donde se tiene la mayor concentración de Cr. Parece indicar que este coeficiente es dependiente de la concentración en el suelo.

Para observar la cantidad de metal tóxico que se acumularía en el animal, se cuantificó la concentración de estos cationes en las heces. Para las dos parcelas los datos se presentan en el cuadro 8. Si se supone que en la orina no se excretan cantidades muy altas de cationes tóxicos, es posible suponer que las cantidades que tienen los suelos, por fertilización química, condición natural o por aplicación de biosólidos y que pasan al pasto, están siendo acumulados por el animal, porque en el estiércol es poco lo que se elimina.

Cuadro 8. Contenido de metales pesados en muestras de estiércol de vaca recogidas en las parcelas Testigo y Experimental.

Muestra	Cr	Cd	Pb	Ni
	Ppm			
Parcela T	ND	0,024	ND	0,021
Parcela E	ND	0,022	ND	0,025

ND: no se detectó.

Efecto del biosólido en las aguas

La alta concentración de nutrientes aportados por el biosólido al suelo se encontró en las aguas de percolación. En los cuadros 9, 10 y 11 se presenta la concentración de nutrientes en las aguas colectadas por los diferentes métodos de recolección.

El agua que colectan los lisímetros es la retenida a capacidad de campo y el exceso es lixiviado a través del perfil del suelo. En las muestras de agua se presentaron altos contenidos de fósforo, siendo este un anión que es fijado fuertemente por los sólidos del suelo, evidenciándose así la sobre fertilización generada por la aplicación de biosólido.

Al encontrarse iones de poca movilidad como el fósforo en aguas subterráneas, es posible encontrar concentraciones de otros nutrientes de mayor movilidad en el suelo.

La cantidad de nutrientes en la solución del suelo es un problema asociado a la sobre fertilización que se hace con los biosólidos. Estos contenidos son similares a los encontrados en soluciones nutritivas utilizadas para suplir los requerimientos de las plantas.

Cuadro 9. Cantidades de nutrientes presentes en la solución del suelo, colectados en los diferentes lisímetros y que percolan por debajo del horizonte Ap en la parcela Experimental entre el segundo y tercer mes de la aplicación.

Lisímetro	Ca	Mg	K	Na	NO ₃	NH ₄	P
	meq/L			ppm			
Lote 1	1.06	0.58	2.48	0.44	25.8	2.74	2.0
Lote 2	0.84	0.30	0.86	0.14	6.0	2.10	2.3
Lote 3	1.29	0.72	1.88	0.59	8.7	2.20	2.0
Lote 4	1.16	0.51	1.81	0.27	3.4	2.03	2.7

Se encontraron concentraciones importantes de nutrientes en las aguas de los piezómetros. Ver cuadro 10. Estos colectan el agua que se mueve libremente en el perfil del suelo y es drenada a los cuerpos de agua. Las altas concentraciones de nutrientes encontradas en las aguas subterráneas, pueden generar en el tiempo problemas de eutroficación.

Cuadro 10. Cantidades de nutrientes presentes en la solución del suelo colectados en los diferentes piezómetros y que percolan a diferentes profundidades en la parcela Experimental entre el segundo y tercer mes de la aplicación. (0.5) y (1.0) es la profundidad en metros a la que se encuentran los piezómetros.

Piezómetros	Ca	Mg	K	Na	NO ₃	NH ₄	P
m	meq/L			ppm			
0.5 (Lote2)	0,32	0,04	0,04	0,06	2,1	2,0	0,3
1.0(Lote3)	0,48	0,06	0,03	0,11	1,2	0,9	0,2

Cuando los suelos se compactan por efecto del pisoteo de los animales, el agua lluvia no se infiltra y se tiene alta escorrentía superficial. Con las parcelas de escorrentía se colectaron muestras para conocer la cantidad de nutrientes que llegan a los cuerpos de agua por este medio. El cuadro 11 muestra las concentraciones de nutrientes en las aguas colectas de los lisímetros y piezómetros.

Cuadro 11. Cantidades de nutrientes presentes en el agua de escorrentía colectadas en las diferentes parcelas de escorrentía en la parcela Experimental entre el segundo y tercer mes de la aplicación.

Parcela	Ca	Mg	K	Na	NO ₃	NH ₄	P
	meq/L			ppm			
1	0.42	0.15	0.28	5.08	20.3	1.6	2.5
2	1.32	0.41	0.72	0.15	10.3	2.5	1.5
3	0.66	0.20	0.73	0.13	32.9	2.3	2.2
4	0.54	0.11	0.79	17.4	167.6	0.9	1.7
5	0.47	0.09	0.09	2.54	11.8	1.3	0.7

La sobrefertilización que presentan las aguas y los suelos se logra por las continuas aplicaciones de biosólido al suelo (parcela Experimental). En cuanto a los cationes tóxicos, aun cuando éstos están en el suelo, no se presentan en los distintos tipos de aguas colectadas. En los cuadros 12, 13 y 14 se muestran los contenidos de estos cationes en los lisímetros, piezómetros y parcelas de escorrentía para las muestras tomadas en los meses de mayor precipitación del año.

Cuadro 12. *Contenidos de metales tóxicos en agua de los piezómetros colectada durante el segundo y tercer mes de la aplicación en las parcelas Testigo y Experimental.*

Piezómetros	Cr	Cd	Pb	Ni
	Ppm			
Lote 2 T	0,052	<0,028	<0,45	0,085
Lote 3 E	< 0,042	<0,028	<0,45	0,032

Los valores encontrados indican que los cationes tóxicos aportados con el biosólido no están contaminando las aguas de este sitio. La mayoría de las concentraciones son muy bajas o no se detectaron.

La presencia de los cationes en la parte foliar de *Pennisetum clandestinum*, R., se puede favorecer porque las gramineas producen exudados de ácidos orgánicos de cadena corta que tienen una gran capacidad quelatante, mecanismo que les permite tomar cationes e incorporarlos a los tejidos vegetales. Esto indica que este pasto tiene la capacidad de extraer los cationes del sólido del suelo y no de la solución.

Cuadro 13. *Cantidades de metales tóxicos presentes en la solución del suelo, colectados en los diferentes lisímetros y que percolan por debajo del horizonte Ap en las parcelas Testigo y Experimental entre el segundo y tercer mes de la aplicación.*

Muestra	Cr	Cd.	Pb	Ni
	Ppm			
Lote 2 T	N.D	<0.028	N.D	0.033
Lote 3 T	N.D	<0.028	N.D	0.017
Lote 1 B	< 0.042	<0.028	<0.45	0.043
Lote 2 E	0.043	<0.028	<0.45	0.038
Lote 2 E	< 0.042	<0.028	<0.45	0.027
Lote 4 E	< 0.042	<0.028	<0.45	0.047

Cuadro 14. Cantidades de elementos tóxicos presentes en el agua colectadas en las diferentes parcelas de escorrentía en las parcelas Testigo y Experimental entre el segundo y tercer mes de la aplicación.

Muestra	Cr	Cd	Pb	Ni
	Ppm			
Parcela1T	< 0.042	<0.028	<0.45	0.034
Parcela2T	< 0.042	<0.028	N.D	0.014
Parcela3T	< 0.042	<0.028	<0.45	0.023
Parcela1E	< 0.042	<0.028	<0.45	0.037
Parcela2E	0.0472	<0.028	<0.45	0.056
Parcela3E	< 0.042	<0.028	N.D	0.020
Parcela4E	0.428	<0.028	<0.45	0.170
Parcela5E	0.248	<0.028	<0.45	0.083

Energía de retención de elementos tóxicos

La capacidad de los suelos para retener y liberar metales puede ser un factor importante para predecir el impacto ambiental del uso de los biosólidos. Teniendo en cuenta esta situación, se estudiaron los fenómenos de adsorción y desorción de los cationes tóxicos Cr, Cd, Pb y Ni, en suelo sin biosólido y en suelo con biosólido, para lo cual se utilizaron las isotermas de Lagmuir que permitieron tener dos parámetros para caracterizar el fenómeno.

Uno de ellos es la energía de retención (K) y la cantidad máxima que puede retener el suelo (b) para el caso de la adsorción. Este modelo se puede utilizar igualmente para evaluar la desorción, por lo cual se miden los mismos parámetros, pero con significados diferentes.

En la desorción se tienen la facilidad de liberación y la cantidad liberada del catión. Estos parámetros se presentan en el cuadro 15.

Cuadro 15. Parámetros de las isotermas de adsorción-desorción utilizando los modelos de Langmuir en suelo sin aplicación de biosólido. b: máxima capacidad de adsorción (mg/g suelo),

Adsorción			Desorción		
Metal	K	B	Metal	K	B
Cr	0,183	0,412	Cr	0,040	0,110
Cd	0,209	0,373	Cd	0,056	0,083
Ni	0,196	0,393	Ni	0,048	0,097
Pb	0,067	0,588	Pb	0,857	0,024

K: constante de energía de enlace. (Energía de adsorción).

Los parámetros de las isothermas que indican la energía de retención de los elementos tóxicos por el suelo de las parcelas, son mayores que la energía de desorción para Cr, Cd y Ni. Esto indica la capacidad que tienen estos suelos para retener estos cationes y no liberarlos fácilmente. El caso del Pb es lo contrario. Este catión es fácilmente liberado por el suelo.

Lo anterior concuerda con lo observado en las cantidades de estos cationes presentes en el suelo y en las aguas de los lisímetros, piezómetros y parcelas de escorrentía, donde las cantidades de cationes son muy bajas o no detectables.

Con la finalidad de estudiar si la aplicación de biosólidos tiene efecto sobre la capacidad que ha mostrado el suelo de retener cationes, se aplicaron cantidades crecientes de biosólidos y se determinaron los parámetros que caracterizan este fenómeno. Los resultados se presentan en el cuadro 16.

Cuadro 16. Parámetros de las isothermas de adsorción- desorción utilizando los modelos de Langmuir en suelo con aplicación de dosis creciente de biosólido. *b*: máxima capacidad de adsorción (mg/g suelo), *K*: constante de energía de enlace. (Energía de adsorción).

Metal	Dosis	Adsorción		Desorción	
	Ton/ha	K	b	K	B
Cr	0	0,183	0,412	0,040	0,110
	3	0,112	0,474	0,699	0,004
	6	0,106	0,482	0,376	0,019
	9	0,082	0,540	0,086	0,063
Cd	0	0,209	0,373	0,056	0,083
	3	0,095	0,499	0,442	0,011
	6	0,083	0,542	0,076	0,054
	9	0,053	0,635	0,061	0,061
Pb	0	0,067	0,588	0,857	0,024
	3	0,064	0,607	0,822	0,029
	6	0,057	0,629	0,091	0,040
	9	0,052	0,556	0,052	0,053
Ni	0	0,196	0,393	0,048	0,097
	3	0,104	0,536	0,114	0,042
	6	0,101	0,553	0,074	0,051
	9	0,087	0,567	0,069	0,053

En cuanto a la energía de retención de estos cationes se observa que va disminuyendo en la medida que se incrementa la cantidad de biosólido aplicada al suelo, situación que se debe tener en cuenta al recomendar la dosis de biosólido para un cultivo, teniendo como referencia sus necesidades y no mirando la capacidad de retener cationes tóxicos por el suelo.

Efecto del biosólido sobre la materia orgánica nativa del suelo

Tradicionalmente las propiedades químicas y físicas de los suelos han sido utilizadas como una forma de evaluar su productividad. Sin embargo, en los últimos tiempos han aumentado las evidencias que indican que determinados parámetros biológicos del suelo, son eficientes indicadores tempranos y muy sensibles para evaluar el proceso de degradación de suelos manejados o recuperados.

Entre estos parámetros se destacan: la biomasa microbiana, la mineralización de la materia orgánica (MO) determinada como CO₂ (respiración del suelo) y diversas enzimas producidas por los organismos presentes en ellos.

Se realizó un análisis de la cinética que sigue la reacción de producción de CO₂ a diferentes niveles de aplicación. Con los resultados en el tiempo se determinó, mediante regresión, el mejor modelo cinético representado por el orden de reacción. Se encontró que los datos se ajustan a un modelo de reacción de orden cero. El orden cero de esta reacción indica que la velocidad es independiente de la concentración, lo que permite evaluar cómo se afecta la materia orgánica nativa con la aplicación de biosólidos.

Después de determinar la ecuación de reacción que se ajusta al orden cero, se tomó la concentración de CO₂ a tiempo cero, lo que es igual al intercepto de la curva. El resultado de las cinéticas (velocidad y mg CO₂ t=0) de las diferentes dosis de biosólido aplicado al suelo, es el promedio de seis repeticiones. Las velocidades y la cantidad de CO₂ producido durante la respiración del suelo y para cada una de las dosis aplicadas, se muestran en el cuadro 17.

Cuadro 17. Respiración del suelo medido como la velocidad de reacción y cantidad de CO₂ producido a tiempo cero para un orden de reacción cero con diferentes dosis de biosólido aplicado.

Dosis (t ha ⁻¹)	Velocidad de reacción	mg CO ₂ t=0
0	0,339	0,270
3	0,229	0,774
5	0,372	1,474
7	0,383	1,589
10	0,356	1,859
12	0,354	2,429

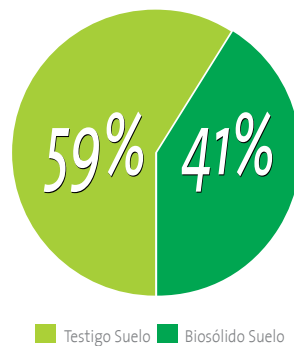
Los datos del cuadro 17 muestran que la velocidad de descomposición de la MO inicial del suelo se incrementa con la aplicación de biosólidos, así como las cantidades de CO₂ producidas en la respiración del suelo. Este carbono de la respiración hace parte del carbono nativo del suelo.

Esta es la explicación de por qué después de la aplicación de más de 11 ton/ha de biosólidos, el contenido de MO del suelo no se incrementa significativamente en la parcela Experimental y por qué no se tiene una correlación entre la dosis de biosólido y el contenido de MO en el ensayo de incubación. Este hecho refleja la capacidad fertilizante de estos biosólidos, ya que el proceso predominante es el de mineralización.

Actividad enzimática

La actividad enzimática, que en este caso es evaluada mediante la actividad fosfatasa, es otro de los parámetros que da cuenta de la vitalidad de la rizosfera. El resultado que se presenta en la figura 15 es complementario con lo observado para el caso de la respirometría, pues nuevamente se encontró que la actividad en el suelo fertilizado con biosólidos es superior a lo reportado para el caso del suelo testigo.

Figura 15. Comparación de la actividad enzimática en suelos lecheros del norte de Antioquia



De nuevo este resultado sustenta el hecho de que este tipo de sustrato orgánico actúa como enmienda y como fertilizante. Al actuar como enmienda, fortalece las propiedades del suelo, mientras que al actuar como fertilizante actúa sobre las plantas.

Presencia de elementos tóxicos en leche y pelo

La parte final del proyecto evaluó la concentración de elementos en leche y pelo, obtenidos de hembras de bovinos en plena producción. Los hatos lecheros incluidos en programas de fertilización que contienen la aplicación de biosólidos, fueron contrastados con predios que no incluyen en sus programas de fertilización el uso de biosólidos. En la tabla siguiente se describen los resultados de los análisis de elementos tóxicos.

Cuadro 18. Evaluación de elementos tóxicos en leche.

Descripción de la muestra	Cromo	Cadmio	Plomo	Níquel	Mercurio	Arsénico
	(ppm)					
Leche entera sin aplicación de biosólidos	1,33±0.08	0,1313±0.01	< 0,01	< 0,003	< 0,05 ppb	< 0,1 ppb
Leche entera con aplicación de biosólidos	1,25±0.02	0,16±0.01	< 0,01	< 0,003	0,0083	< 0,1 ppb
Grasa extraída de leche sin aplicación de biosólidos	8,98±0.01	1,79±0.01	< 0,01	< 0,003	-	-
Grasa extraída de leche con aplicación de biosólidos	4,60±0.01	1,72± 0.01	< 0,01	< 0,003	-	-
Proteína extraída leche sin aplicación de biosólidos	9,68±1.3	1,69±0.2	< 0,01	< 0,003	-	-
Proteína extraída de leche con aplicación de biosólidos	6,72±1.45	1,39±0.01	< 0,01	< 0,003	-	-

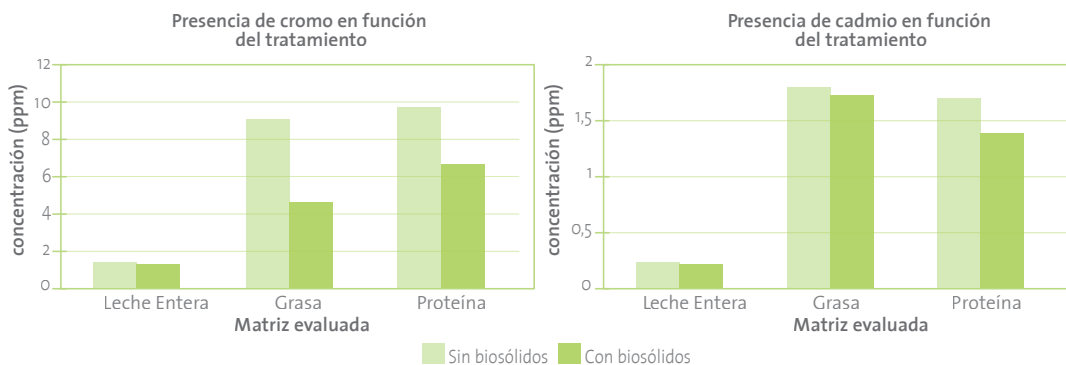
Al considerar con detenimiento los resultados del cuadro 18, se tiene que los valores observados para todos los casos son bajos en relación con los reportados como valores límite para alimentos.

Para la mayoría de los casos, los valores están por debajo de los límites de detección de la técnica.

Un hecho significativamente importante está referido a que las concentraciones de cromo son menores en el tratamiento que incluye la aplicación de biosólidos frente al tratamiento que no considera su uso.

Tal y como se describe en los gráficos siguientes, las concentraciones observadas para el material que incluye la aplicación de biosólidos, es menor que la observada en el tratamiento control:

Figura 16. Comparación de la presencia de cromo en leche en las parcelas tratamiento y control



El pelo se ha constituido en una matriz que por sus características fisio-morfológicas se considera óptima para el estudio de la presión ambiental de elementos tóxicos (Srogi 2006). En el Cuadro 19 se presenta la evaluación de la presencia de elementos tóxicos en pelo de bovinos con y sin uso de biosólidos.

Cuadro 19. Evaluación de elementos tóxicos en pelo de bovinos.

Tratamiento	Descripción	Cromo	Cadmio	Plomo	Níquel	Mercurio	Arsénico
		(ppm)					
Predio con biosólido	animal 5042	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	0,51
	animal 6113	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	0,08
	animal 7023	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	< 0,1 ppb
	animal 7071	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	0,47
	animal 7094	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	1,65
Predio sin biosólido	animal 421	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	0,53
	animal 429	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	0,67
	animal 437	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	0,92
	animal 591	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	< 0,1 ppb
	animal 621	< 0,02	< 0,003	< 0,01	< 0,003	< 0,01	0,21

Los valores observados para todos los casos son significativamente bajos, siendo sólo cuantificables para el caso del arsénico.

Sub-proyecto III: evaluación de impacto sanitario

Los resultados del análisis microbiológico en suelos, aguas y pastos de la parcela Experimental se observan en los cuadros 20 a 22. Los obtenidos en la parcela Control se observan en los cuadros 23 a 25.

Cuadro 20. Resultados promedio de coliformes fecales (CF), Salmonella, fagos somáticos (FS) y huevos de helminto (HH) en el suelo de la parcela Experimental.

Sub-parcela	CF UFC		/g ST		Salmon NMP/4g ST		FS PFP /4g ST		HH /4g ST	
	To	T45	To	T45	To	T45	To	T45	To	T45
1	1.7 x 10 ³	4.6 x 10 ²	< 0.54	< 0.43	2.2. x 10 ²	1.3 x 10 ²	3-3	1.2		
2	6.3 x 10 ³	1.6 x 10 ²	< 0.51	< 0.44	1.9 x 10 ²	1.1 x 10 ²	2.0	1.3		
3	2.1 x 10 ⁴	7.4 x 10 ²	< 0.52	< 0.42	3.4 x 10 ²	1.1 x 10 ²	2.0	1.7		
4	5.7 x 10 ⁴	2.1 x 10 ²	< 0.46	< 0.41	4.9 x 10 ²	1.1. x 10 ²	2.4	1.7		

CF UFC: Coliformes fecales en Unidades Formadoras de Colonias por gramo

Salmon NMP: Salmonella en Número Más Probable por 4 gramos

FS PFP: Fagos somáticos en Partículas Formadoras de Placa por 4 gramos

HH: Huevos de helminto por 4 gramos

ST: Sólidos Totales

To: 24 horas después de aplicado el biosólido

T45: 45 días después de aplicado el biosólido

<: Menor al límite de cuantificación de la técnica

La concentración promedio de coliformes fecales encontrada en los biosólidos fue de 2.8×10^5 UFC/g, Salmonella 0.56 NMP/4 g, fagos somáticos 4.5×10^3 PFP/g y 2.4 huevos de helminto/4 g de ST. En el lodo diluido la concentración promedio fue de 8.4×10^6 UFC/g para coliformes fecales, <0.6 NMP/4g, Salmonella, 6.9×10^3 PFP/ g fagos somáticos y 3.6 huevos de helminto/4 g de ST.

Como se observa en el cuadro 20, a las 24 horas (To) después de la aplicación del biosólido diluido, se presenta una reducción de entre 2 y 3 unidades logarítmicas (UL) de coliformes fecales y 45 días después 4 UL con una concentración final entre 1.6×10^2 y 7.4×10^2 . En el caso de Salmonella al tiempo 0 y 45 días después, la concentración estuvo por debajo del límite de cuantificación de la técnica. Los fagos somáticos presentaron una reducción de 1 UL al tiempo 0, sin variaciones importantes a lo largo de los 45 días. Finalmente, los huevos de helminto presentaron reducción en todos los casos.

Cuadro 21. Resultados promedio del análisis de coliformes fecales (CF), Salmonella, fagos somáticos (FS) y huevos de helminto (HH) en aguas superficiales y subterráneas.

Muestra	CF (UFC/100 mL)	Salmonella (NMP/100 mL)	FS (PFP/100 mL)	HH/L
Agua superficial	2.1×10^2	< 1.8	9.0×10^1	< 0.1
Piezómetro 1*	2.5×10^1	< 1.8	1.6×10^3	-
Piezómetro 2*	1.7×10^2	< 1.8	1.3×10^1	-

*=No se obtuvo suficiente volumen para analizar huevos de helminto.

El cuadro 21 muestra los valores encontrados en el agua superficial con valores para Salmonella y huevos de helminto por debajo del límite de cuantificación y concentraciones bajas pero significativas para CF y FS. El agua subterránea presenta concentraciones promedio entre 1.7×10^2 y 2.5×10^1 UFC/100mL para coliformes fecales, bajo el límite de cuantificación para Salmonella y entre 101 y 103 PFP/100mL de FS.

Cuadro 22. Resultados promedio del análisis de coliformes fecales (CF), Salmonella, fagos somáticos (FS) y huevos de helminto (HH) en el pasto de la parcela Experimental.

Subparcela	CF UFC/30 g PF	Salmonella NMP/g PF	FS /25 g PF	HH/30g PF
1	3.5×10^2	< 0.06	2.0×10^2	1.3
2	2.3×10^1	< 0.06	1.0×10^2	1.6
3	1.2×10^2	< 0.06	1.7×10^1	1.2
4	5.0×10^2	< 0.06	9.4×10^1	1.9

PF: Peso Fresco

La concentración de microorganismos antes de entrar el ganado a pastar estuvo entre $10^1 - 10^2$ para CF y FS; por debajo del límite de cuantificación para Salmonella y entre 1.2 y 1.9 para huevos de helminto.

Los resultados obtenidos en la parcela Control se presentan en las siguientes tablas:

Cuadro 23. Resultados promedio del análisis de coliformes fecales (CF), Salmonella, fagos somáticos (FS) y huevos de helminto (HH) en el suelo de la parcela Control.

Sub-parcela	CF UFC		/g ST		Salmon	NMP/4g ST	FS PFP		/4g ST		HH	/4g ST
	To	T45	To	T45	To	T45	To	T45	To	T45	To	T45
1	2.1 x 10 ³	1.9 x 10 ²	< 0.42	< 0.39	6.6 x 10 ¹	6.2 x 10 ¹	0.6	1.0				
2	2.0 x 10 ²	2.9 x 10 ²	< 0.45	< 0.38	7.2 x 10 ¹	6.2 x 10 ¹	0.5	0.4				
3	3.6 x 10 ²	6.6 x 10 ¹	< 0.50	< 0.43	7.8 x 10 ¹	6.7 x 10 ¹	0.4	0.8				
4	3.4 x 10 ¹	2.3 x 10 ¹	< 0.48	< 0.40	7.4 x 10 ¹	6.3 x 10 ¹	< 0.4	0.5				

La concentración inicial de CF estuvo entre 10¹- 10³ UFC/g. Se observó una disminución de 1 UL después de 45 días. Salmonella estuvo siempre por debajo del límite de cuantificación. Fagos somáticos con valores de 10¹ y HH con concentración final entre 0.5 y 1 HH/g de ST.

Cuadro 24. Resultados promedio del análisis de coliformes fecales (CF), Salmonella, fagos somáticos (FS) y huevos de helminto (HH) en aguas superficiales y subterráneas de la parcela Control.

Muestra	CF (UFC/100 mL)	Salmonella (NMP/100 mL)	FS (PFP/100 mL)	HH/L
Superficial	6.2 x 10 ¹	1.6 x 10 ¹	2.9 x 10 ¹	< 0.1
Piezómetro 1	4	N.D	< 1.2 x 10 ²	-
Piezómetro 2	4	2	< 1.0 x 10 ²	-

N.D: No Determinado

En el caso del agua superficial la concentración de bacterias y virus fue de 10¹ y < 0.1 HH. En el agua subterránea las concentraciones para bacterias están entre 2 y 4.0 x 10¹, por debajo del límite de cuantificación para FS. No se obtuvo suficiente volumen para procesar HH.

Cuadro 25. Resultados promedio del análisis de coliformes fecales (CF), Salmonella, fagos somáticos (FS) y huevos de helminto (HH) en pastos de la parcela Control.

Subparcela	CF UFC/30 g PF	Salmonella NMP/g PF	FS (PFP/25 gP)	HH/30g PF
1	< 1.0 x 10 ¹	< 0.06	< 1	< 1.2
2	< 1.0 x 10 ¹	< 0.06	< 1	< 1.2
3	< 1.0 x 10 ¹	< 0.06	< 1	< 0.4
4	< 1.0 x 10 ¹	< 0.06	< 1	< 1.2

Como se observa en el cuadro 25, la concentración de los microorganismos evaluados estuvo por debajo del límite de detección en todos los casos.

Los biosólidos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, se clasifican como biosólidos clase B por su concentración de coliformes fecales y huevos de helminto. Si bien no se evalúan los enterovirus, se utilizan en su lugar fagos somáticos, los cuales presentan un comportamiento similar y han demostrado ser buenos indicadores virales de contaminación de origen fecal (IAWPRC, 1991).

La dilución del biosólido produce algunos cambios no significativos en la concentración de los indicadores, por lo que la concentración de patógenos una vez llega al suelo, sigue siendo alta. Cuando se aplica al suelo, se observa una disminución significativa de coliformes fecales y fagos somáticos. Después de 45 días, la concentración de CF y Salmonella alcanza valores típicos de biosólidos clase A (CF: 1.0 x 10³/g ST y Salmonella < 3 NMP/4g). Sin embargo FS y huevos de helminto permanecen en concentraciones mayores (Enterovirus: < 1/4g ST y HH <1/4g ST). La disminución de las concentraciones en el caso de las bacterias, está relacionada con la acción de factores ambientales como la temperatura, la humedad y la competencia con flora nativa (EPA, 1995, Moss et al., 2002).

Los virus, por el contrario, son más resistentes a los mismos factores ambientales y pueden sobrevivir y permanecer infecciosos a bajas temperaturas por varios meses (Sinton et al., 1999). En este estudio, la temperatura del suelo fue de 14-21 °C. Los huevos de helminto son los microorganismos más resistentes, pues permanecen por años en el suelo ya que no se ven afectados por los rayos del sol y los cambios de humedad. La textura del suelo es otro factor que interviene en su permanencia junto con altos porcentajes de humedad (Storey y Phillips, 1985, Gaspard et al., 1997). El porcentaje de humedad durante el periodo de estudio varió entre 40 y 50%.

La concentración de microorganismos en el agua superficial es baja, y su origen puede estar relacionado con los periodos de lluvia, donde por escorrentía pueden llegar hasta la parte baja de la parcela. Las concentraciones encontradas en las aguas subterráneas son bajas pero significativas, ya que pueden alimentar fuentes de agua superficiales utilizadas para consumo. De otra parte, muestra que debido a la aplicación prolongada del material se presenta filtración de los microorganismos. Ho et al (1991) encontraron que los microorganismos presentes en el suelo, pueden alcanzar el agua subterránea y verse afectados por factores como la temperatura, los predadores, la composición química del agua, la materia orgánica y fenómenos de adsorción-desorción.

En el caso del pasto, las concentraciones de CF y FS no superan 10^2 , Salmonella se encuentra por debajo del límite de detección y la mayor concentración de HH fue de 1.9/30 g de PF. Estudios realizados por Ogden et al., (2002) muestran que la sobrevivencia de CF en pastos puede estar cercana a las 11 semanas y hasta seis meses en época de invierno.

La permanencia de los microorganismos puede ser más prolongada en suelos que en plantas, debido al efecto de los rayos del sol, la desecación y la temperatura. A su vez, las plantas pueden producir enzimas y compuestos antimicrobianos a través de sus raíces (ADEME, 2001). Si bien no se tienen establecidos límites de patógenos en pastos para consumo de ganado, cuando se comparan estas concentraciones con las permitidas para vegetales de consumo humano, se puede concluir que el riesgo es bajo.

De igual forma, es importante tener en cuenta que no todos los patógenos de origen humano afectan la salud de los animales y que en tres años de experiencia los ganaderos no reportaron enfermedad en los animales alimentados con estos pastos.

Los resultados hallados en la parcela Control, muestran cómo en ausencia de biosólidos se puede encontrar presencia de microorganismos, aunque en menores concentraciones. Estos microorganismos provienen del estiércol de animales, pero disminuye con el tiempo por el efecto de diversos factores ambientales. Es importante destacar que la aplicación de biosólidos no es la única fuente de contaminación de origen fecal y que la aplicación de gallinaza o porquinaza, como ocurre en algunos casos, también es fuente de contaminación. Tales prácticas son comúnmente usadas por agricultores de la región.

Conclusiones

Biológicas

Parcela Experimental (suelos)

- La concentración de coliformes fecales, Salmonella, fagos somáticos y huevos de helminto en el biosólido de la planta San Fernando lo clasifica como un biosólido clase B, con lo cual su aplicación al terreno se debe hacer con restricción.
- La concentración de coliformes fecales, Salmonella, fagos somáticos y huevos de helminto en el biosólido diluido es un poco más alta que en el biosólido. Estos resultados pueden estar relacionados con el mayor porcentaje de recuperación de microorganismos en las matrices líquidas.
- Al momento de la aplicación de los biosólidos al terreno se presenta disminución y en algunos casos aumento en las concentraciones de microorganismos con disminución a los 15, 30 y 45 días. A los 45 días se encuentran concentraciones de 10^2 UFC/g de ST de coliformes fecales, no se detecta Salmonella en 4g/ST, 102 PFP/4 g de ST de fagos somáticos y 3.6 huevos de helminto viables/4g de ST. Estos resultados muestran que después de 45 días y antes de que entre el ganado a pastar no hay riesgo sanitario en el caso de coliformes fecales y Salmonella, pero se mantiene para virus y parásitos.

Parcela Experimental (aguas superficiales y subterráneas)

- En el caso de las aguas superficiales se encontraron bajas concentraciones de los microorganismos indicadores, pero se evidenció su presencia, lo cual indica una contaminación muy seguramente relacionada con procesos de escorrentía de la parcela.
- En los piezómetros se encontraron concentraciones de hasta 10^4 UFC/100 mL de coliformes fecales y no se detectó Salmonella y 10^3 PFP/100 mL de fagos somáticos. Estas concentraciones son importantes ya que muestran el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas relacionadas con la aplicación de biosólidos al terreno.
- En las parcelas de escorrentía se encontraron concentraciones de 10^5 UFC/100 mL de coliformes fecales y bajas o por debajo del límite de detección para Salmonella y fagos. En este caso el riesgo de contaminación es para las aguas superficiales.

- En los lisímetros se encontraron concentraciones de 10^5 UFC/100 mL de coliformes fecales y bajas concentraciones de Salmonella y fagos. Nuevamente estos valores implican un riesgo de contaminación de aguas subterráneas. En el caso de las aguas subterráneas, no fue posible obtener resultados de huevos de helminto ya que el volumen no era suficiente para el análisis.
- Estos resultados muestran concentraciones significativas de coliformes fecales y fagos somáticos tanto en el agua superficial como subterránea, por lo cual es importante tener en cuenta estos resultados en la aplicación del biosólido. Seguramente, aplicaciones menos frecuentes o de menor cantidad, disminuirían dicho riesgo a valores tolerables.

Ambientales y agronómicas

- Los biosólidos de la PTAR San Fernando son una fuente segura y eficiente de nutrientes al suelo estudiado.
- La situación estudiada muestra una sobredosis de biosólidos aplicada al suelo por los altos contenidos de nutrientes, especialmente P que se encuentra en niveles muy altos para la mayoría de los sistemas de clasificación de análisis de suelos. Los demás nutrientes se ubican en niveles medios y altos.
- Después de la aplicación de 11.3 ton/ha de biosólidos no se incrementa el contenido de MO del suelo. Predomina el fenómeno de mineralización sobre el de humificación.
- La aplicación de biosólidos de la PTAR San Fernando, no contamina las aguas con metales tóxicos con las dosis que se han aplicado en estos suelos con características ándicas.
- Las dosis altas de biosólidos aplicados, están contaminando con nutrientes las aguas con futuros problemas de eutricación de los embalses.
- El deterioro de las propiedades físicas del suelo incrementa la escorrentía superficial, debido más al pisoteo de los animales que a la pérdida de materia orgánica.
- La aplicación de biosólidos a estos suelos, ataca la materia orgánica inicial causando un Efecto Priming moderado.
- Se recomienda no pasar de la aplicación de 5 ton/ha de biosólidos de la PTAR San Fernando a estos tipos de suelo cada año.

Recomendaciones

- Los resultados, en términos de calidad y cantidad de pastos producto de la aplicación del biosólido, indican que debe ser aprovechado como una de las alternativas para la disposición de este material.
- El riesgo causado por la presencia de patógenos de origen fecal en los biosólidos se puede mitigar cambiando los tiempos y cantidad de biosólido aplicado al terreno. El factor limitante es la cantidad de nutrientes que se requieren para conservar una buena producción de pastos y es con estos valores con los que se debe decidir el esquema de aplicación. Al disminuir las aplicaciones, debería disminuir el riesgo sanitario por aplicación de un material rico en microorganismos.
- Una vez seleccionado el esquema más apropiado de aplicación de acuerdo con las variables agronómicas, se debería realizar un seguimiento de microorganismos en suelos, aguas superficiales, subterráneas y pastos de igual manera a como se ha realizado en este estudio, pero de manera más espaciada y sólo antes de la entrada del ganado a pastar. Esta es la única manera de tener seguridad en relación con los beneficios del cambio de gestión, la protección de la salud de los trabajadores y el riesgo de contaminación ambiental.
- Se debe insistir y tomar medidas drásticas, si es el caso, en lo relacionado con la protección de las personas que reciben, preparan y aplican el biosólido. Es urgente verificar los equipos de protección personal y el esquema de vacunación.

Bibliografía

- ADAME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'Énergie). 2001. Les boues D'épuration municipales. Los biosólidos del tratamiento de aguas residuales municipales y su utilización en la agricultura, publicado por la agencia del medio ambiente y de la energía de Francia. Traducción realizada por Bogotana de Aguas y Saneamiento
- BAS. 165p.
- Bohn, Hinrich L. (1993) Química del suelo. México [DF]: Limusa, Grupo Noriega Editores.
- Diario Oficial de la Unión Europea. Reglamento (CE) No 1881/2006 de la Comisión.
- Environmental Protection Agency (EPA) Nomination Guidance 2002 Biosolids Exemplary Management Awards Program For: Operating Projects, Technology Development, Research, and Public Acceptance.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2003. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA/625/R-92/103. United States. 74p.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2002. Biosolids applied to land: advancing standards and practices.
- Eliot Epstein. (2002) Land application of sewage sludge and biosolids. CRC/Lewis. 216 pp.
- Gómez Z.; J. (2000) Abonos orgánicos. ED. Feriva Colombia.
- G.H. Bolt. (1976) Soil chemistry. A: Basic elements. Elsevier Science Ltd, G. H. Bolt and M. G. M. Bruggenwert (Editors -- Krystyna Srogi (2006) Hair analysis for monitoring environmental pollution and the resulting human exposure to trace metals: An overview. Environnement, Risques & Santé Vol. 5, n° 5, septembre - octobre.
- J.A. Fiorino, R.A. Moffitt, A.L. Woodson, R.J. Gajan, G.E. Huskey and R.G. Sholz, J. AOAC 56, 1246. Determination of lead in Evaporated Milk by Atomic Absorption Spectrophotometry and Anodic Stripping Voltammetry: Collaborative study.
- McBride, M.B. Environmental Chemistry. New York, Oxford University Press, 1994.
- McBride, M.B. (1995) Toxic Metal Accumulation from Agricultural Use of Sludge: Are USEPA Regulations Protective? J. Environ. Qua. 24:5-18.
- Pepper, I., Zerzghi, H., Brooks, J. and Gerba, C. 2008. Sustainability of land application of class B biosolids. Journal of Environmental Quality. 37: 58-67.
- Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 13th ed., p. 398 (1980). "Atomic Absorption Method for Evaporated Milk-Official Final Action".
- Rutgers Cooperative Extension, 2003. Land Application of sewage sludge (Biosolids): Pathogens FS 951 -958. State University of New Jersey, United States. 32p.
- Simpson, K. (1991) Abonos y estiércoles. Ed. Acirbia.- AOAC 986.15- Arsenic, cadmiun, Lead, Selenium, and zinc in food.

APÉNDICE 1

Ensayos biológicos:

Coliformes fecales- aguas: APHA 9222D. 2005
Coliformes fecales-suelos: EPA 625/R-92/013.2003
Coliformes fecales pastos: APHA 922 D. 2000
Salmonella-aguas: APHA 9260-B. 2005
Salmonella-suelos: 1682EPA-821-R-06-014.2006
Salmonella-pastos: 1682EPA-821-R-06-014.2006
Fagos somáticos aguas: ISO 10705-2. 1999
Fagos somáticos-suelos: Lasobras.1999
Fagos somáticos-pastos: Dubois 2006, ISO 10705 – 2 (1999)
Huevos de helminto-aguas: NOM-004. 2002
Huevos de helminto-suelos: NOM-004. 2002
Huevos de helminto en pastos: Kozan.2005 y NOM-004.2002.

APÉNDICE 2

Ensayos fisicoquímicos

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma
Aluminio total	Al	E.C.	No aplica*
Cadmio total	Cd	A.A	SM 3111B
Calcio total	CaO	E.C.	No aplica*
Cromo total	Cr	A.A	SM 3111B
Magnesio total	MgO	E.C.	No aplica*
Magnesio soluble en agua	MgO**	E.C	No aplica*
Magnesio soluble en HCl	MgO***	E.C	No aplica*
Níquel total	Ni	A.A	SM 3111B
Plomo total	Pb	A.A	SM 3111B
Potasio total	K ₂ O	E.C.	No aplica*
Sodio total	Na	E.C.	No aplica*
Zinc total	Zn	E.C.	No aplica*
Mercurio	Hg	A.A vapor frío	SM 3112A
Arsénico	As	A.A generador de hidruros	SM 3114C
Cobre	Cu	A.A	SM 3111B
Hierro	Fe	A.A	SM 3111B
Manganeso	Mn	A.A	SM 3111B
Oro	Au	A.A	SM 3111B
Paladio	Pd	A.A	SM 3111B
Plata	Ag	A.A	SM 3111B
Silicio	Si	A.A	SM 3111D

*Método desarrollado por el GIEM.

**Tratamiento muestra bajo la norma ICONTEC 643

***Tratamiento muestra bajo la norma ICONTEC 588

Eficiencia en estaciones de bombeo

*Juan Camilo Torres Álvarez
Ingeniero Mecánico – Especialista
en Gerencia de Proyectos
Ingeniero Proyectos Acueducto
juan.torres@epm.com.co*

Resumen

Este artículo tiene como finalidad presentar la eficiencia de las estaciones de bombeo en instancias regulatorias y técnicas, identificando las variables que determinan dicho factor.

El desempeño operativo de un conjunto de bombeo se determina por la eficiencia en la manera como convierte la energía suministrada en energía hidráulica. Para las estaciones de bombeo, los costos operativos de consumo energético representados en un valor presente, normalmente superan la inversión de los equipos. Por esta razón, cualquier punto de eficiencia genera beneficios financieros significativos, tanto para la empresa prestadora de servicios públicos como para el usuario final.

La eficiencia de un sistema depende de la combinación de eficiencias de los subsistemas que lo componen. Como la mayoría de estos equipos son motivados por motores eléctricos, en este trabajo se detallará específicamente la eficiencia global con este tipo de motor.

Es importante entonces que el diseño, diagnóstico, mantenimiento y regulación de estaciones de bombeo se relacionen directa e indirectamente con esta variable operativa.

Palabras clave:

Eficiencia máxima esperada, eficiencia mínima esperada, estaciones de bombeo, consumo de energía, velocidad específica, máquinas hidráulicas, diseño, mantenimiento, diagnóstico.

1. Marco regulatorio.

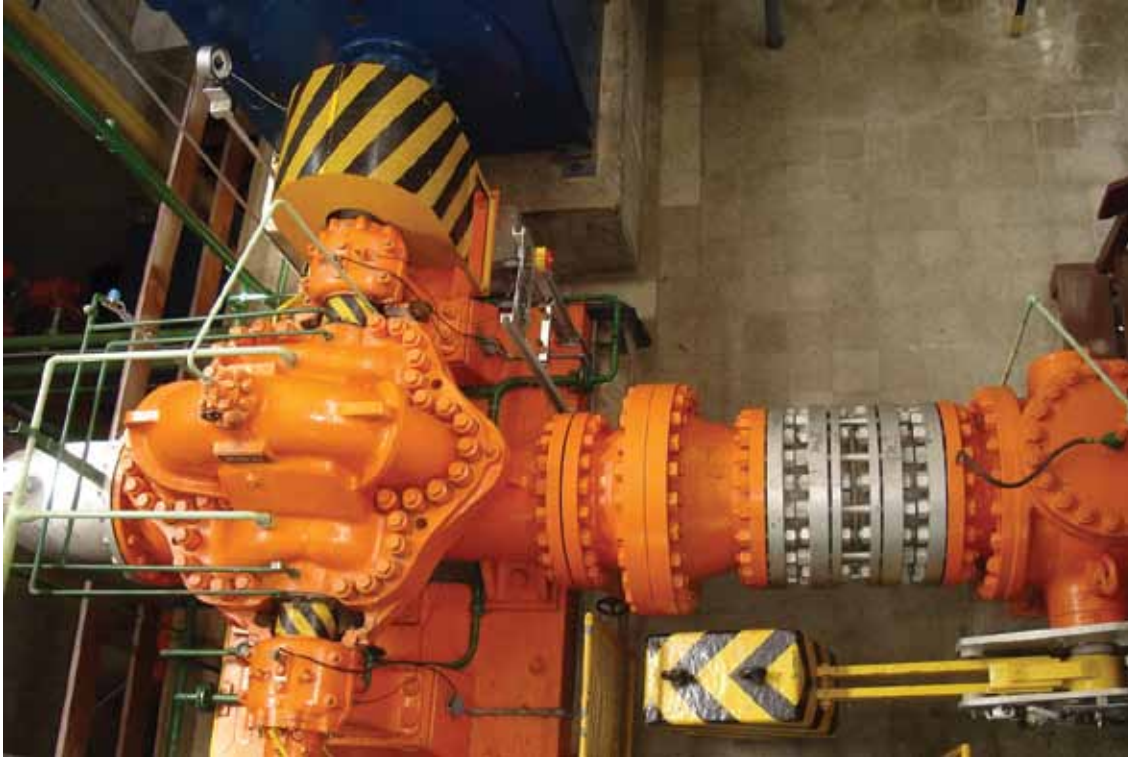
Para la definición de tarifas de los servicios de acueducto y alcantarillado, reglamentadas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA, el regulador garantiza la recuperación de los costos asociados al servicio, entre ellos los de la energía empleada en los procesos que conforman la cadena de valor.

No obstante, y de acuerdo con Ley 142 de 1994, la eficiencia debe ser un criterio para la definición de los marcos tarifarios. Por eso, vía tarifas se reconocen únicamente aquellos costos considerados eficientes, de tal manera que el usuario no se afecte por ineficiencias que puedan presentarse en las empresas prestadoras.

En tal sentido, el regulador fija un indicador económico para la energía consumida en las actividades de bombeo, partiendo de una eficiencia mínima del 60%, lo que quiere decir que vía tarifas no es posible trasladar los costos generados por bombeos con eficiencias inferiores a dicho porcentaje.

Por eso es tan importante promover en las empresas prestadoras de servicios públicos una selección adecuada de los equipos y un buen mantenimiento operativo.

Bomba de superficie tipo carcasa partida



Bomba tipo lapicero con motor sumergido (KSB).



Marco técnico

Un equipo de bombeo, frecuentemente referido como motobomba, tiene dos componentes: la bomba que es una máquina hidráulica que convierte un torque y una velocidad angular (velocidad de giro), en caudal y presión; y un motor que es una máquina eléctrica que transforma una corriente y un voltaje en torque y velocidad angular.

La eficiencia de bombeo, llamada eficiencia global, está compuesta por la ponderación de la eficiencia de cada una de estas máquinas, como lo muestra la ecuación 1. Debido a que el principio de funcionamiento en cada una es completamente diferente, la eficiencia depende de diversos factores, los cuales se mostrarán más adelante.

$$\eta_{global} = \eta_{bomba} * \eta_{motor} \quad (Ec.1)$$

1.1. Eficiencia de bombas centrífugas

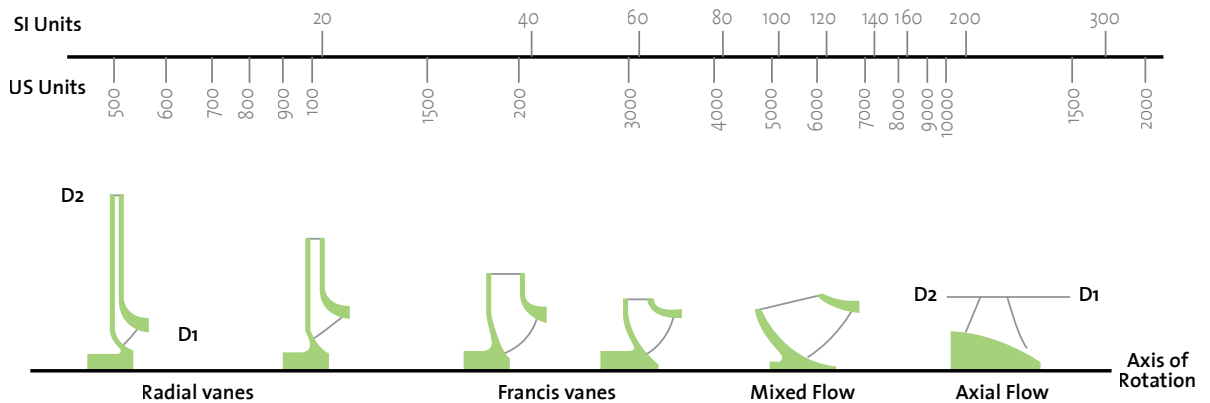
La máxima eficiencia de una bomba no sólo depende de una correcta definición del punto operativo, sino también del tipo, el cual se caracteriza por un número dimensional llamado velocidad específica, que resulta de la operación de tres variables. Para aclarar este concepto se realizará una breve descripción de lo que es la velocidad específica, y posteriormente cómo influye en la eficiencia.

• Velocidad específica

La velocidad específica es un número dimensional (N_s) que está en función del caudal (Q), de la cabeza de presión (H) y de la velocidad de giro (n) que tiene cada impulsor, la cual está normalizada por el Instituto de Hidráulica. En la Figura 1 se observa cómo varía la forma del impulsor respecto de la velocidad específica.



Figura 1. Forma de impulsor según Velocidad específica (1)



La ecuación para determinar la velocidad específica es:

$$N_s = \frac{n Q^{0.5}}{H^{0.75}} \quad (\text{Ec. 2})$$

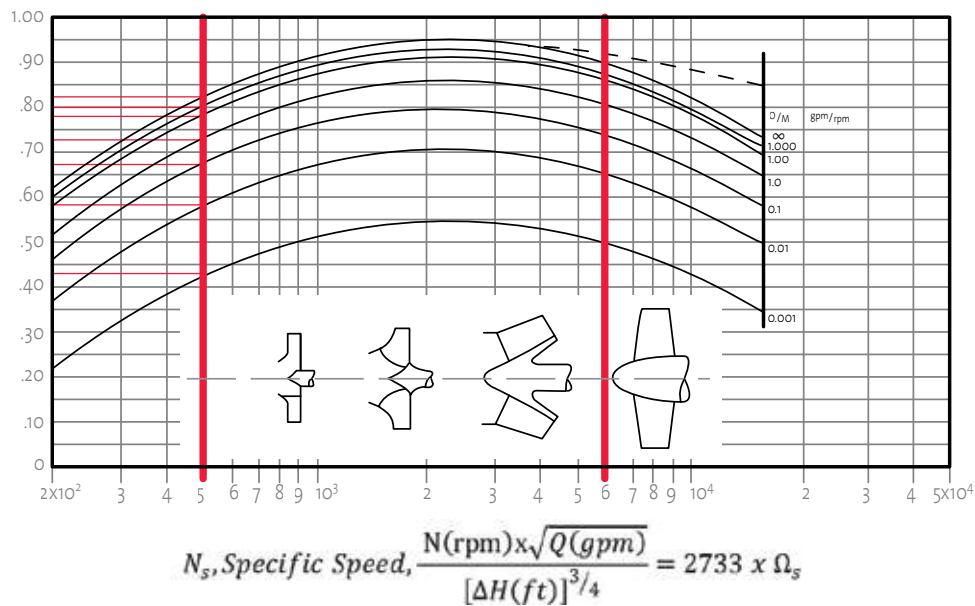
Las unidades de la velocidad para el sistema inglés y el sistema internacional respectivamente son: n en revoluciones por minuto (rpm) y en revoluciones por segundo (rps), Q en galones por minuto (gpm) y en metros cúbicos por segundo (m^3/s), por último H en pies (ft) y en metros (m). Para sistemas de bombeos urbanos el rango de velocidad específico aplicable está entre 500 (bombas de venas radiales) hasta 6000 (bombas de flujo mixto).

• Desempeño para una geometría óptima

El concepto de máxima eficiencia está en función de tres variables: velocidad específica, caudal y velocidad de giro. Dicha interdependencia se aprecia en la Figura 2, que se basa en un estudio extensivo en bombas comerciales realizadas por H.H. Anderson, evaluando el punto de máxima eficiencia (BEP). (Karassik)

(1) Gráfica ampliamente conocida en la teoría de bombas (Karassik, 1983), implementada en Normas internacionales (Hydraulic Institute) y referenciada por diversos fabricantes de bombas (Lawrence pumps).

Figura 2. Desempeño óptimo según BEP (Karassik, 2001)



De esta manera, bombas con menor velocidad de giro obtienen mayores eficiencias, así bombeen el mismo caudal. Esto se debe a que tienen menor desgaste de los componentes, menor conversión a energía acústica, y por lo tanto una mayor vida útil de los equipos con menor mantenimiento.

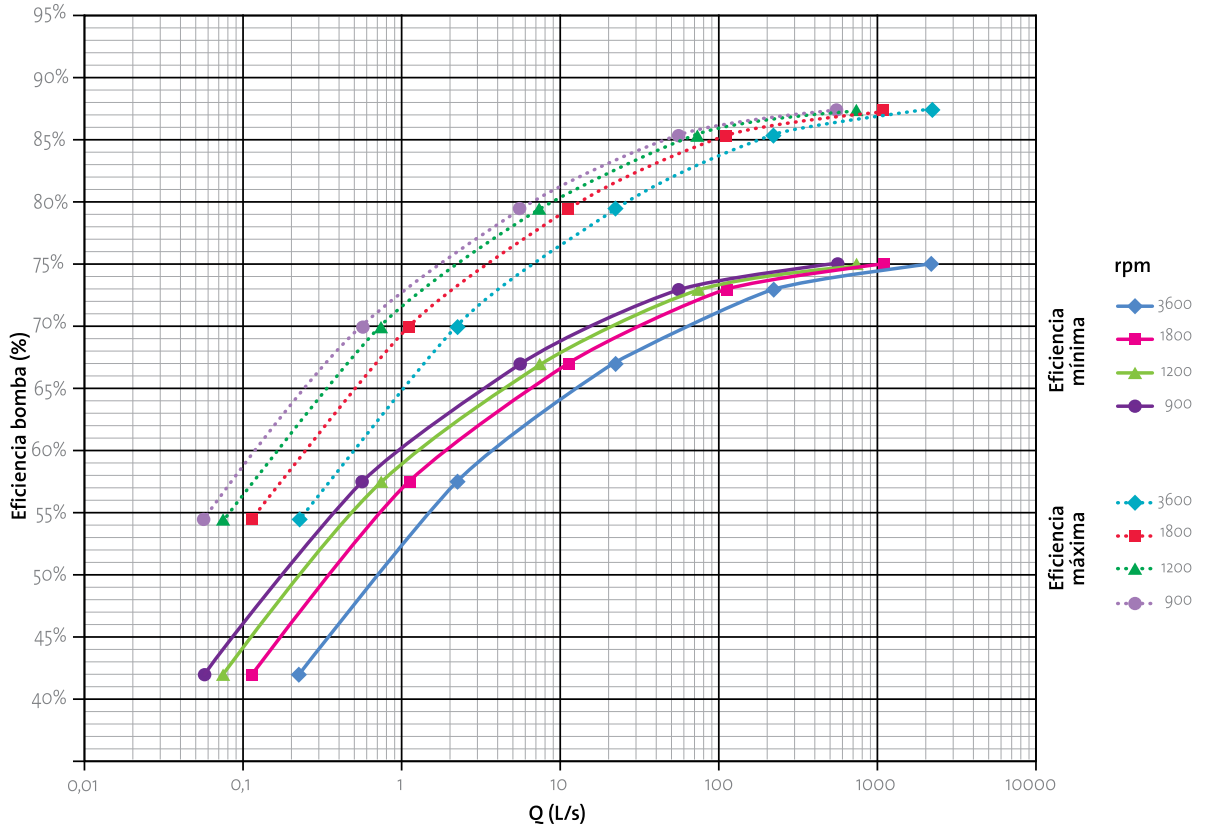
De esta manera, definir requerimientos regulatorios sobre la velocidad operativa de la motobomba puede generar grandes beneficios. Una buena especificación sería que para motores de superficie la velocidad sea menor o igual a 1800 rpm, que son muy frecuentes en la industria. Se concluye que la velocidad específica óptima es 2200, donde se presenta el máximo para cada curva de gpm/rpm.

• Banda de eficiencia

Como se mencionó anteriormente, la eficiencia depende de la velocidad de giro. Como hay diversas velocidades de giro para los motores eléctricos, deben existir dos curvas de eficiencia por cada una de ellas: una mínima y máxima, las cuales conforman la banda de eficiencia. Es aquí en donde se encuentra probablemente la eficiencia del grupo de bombeo.

En el rango establecido de velocidades específicas, la eficiencia mínima que se da para cada curva de gpm/rpm se presenta en un N_s igual a 500, y la máxima en N_s igual a 2200, 12.5% por encima de la mínima. Para construir la banda de eficiencia se identifica para cada curva de gpm/rpm la eficiencia mínima y máxima, luego se multiplica por la velocidad de giro para saber el caudal relacionado con esa eficiencia, enseguida se grafica cada conjunto de datos por velocidades y con esto se obtiene la Figura 3:

Figura 3. Banda de eficiencia según caudal y velocidad de giro



Con esta gráfica se simplifica el cálculo de la eficiencia esperada para bombas, ya que con el caudal y las rpm se ingresa para ver cuál es el valor de eficiencia mínimo y máximo esperado.

• Otras consideraciones técnicas

Selección y región operativa: el punto operativo del sistema casi nunca coincide con el de máxima eficiencia (Best Efficiency Point, BEP). Una apropiada selección se puede desfasar entre -15% y 5% de dicho punto, lo cual desfasaría más la eficiencia a valores inferiores. Existen normas que permiten que la región operativa preferida (Preferred Operation Region, POR) oscile entre 70% y 120% del BEP (para velocidades específicas menor o igual a 4500) o entre 80% y 115% del BEP (para velocidades específicas mayores a 4500).

Por fuera de estos rangos se pueden obtener inestabilidades hidráulicas o mecánicas. En cada caso se deben estudiar las limitaciones de la tecnología aplicada y las recomendaciones del fabricante, donde se determine la región operativa admisible (Allowable Operating Region, AOR).

Desgaste: en el caso de las motobombas, los componentes con movimiento relativo como los rodamientos, los cojinetes, los sellos mecánicos, los prensaestopas, los bujes de desgaste y los tazones e impulsores, son los que se deterioran. Esto se refleja en reducción de la eficiencia. Como este deterioro es algo inevitable, un valor tolerable de reducción de dicho parámetro es del orden de 3% respecto de su eficiencia inicial.

Tecnológicas:

- Reductores o amplificadores de velocidad: cuando sea posible se deben evitar, ya que castigan notablemente la eficiencia e incrementan el mantenimiento y los puntos de falla.
- Bujes intermedios: existen tipos de bombas que necesitan bujes intermedios para sostener extensos ejes, como lo son las bombas verticales tipo turbina con motor de superficie. Cada uno castiga la eficiencia entre 1.5% y 2%. Aquí son inevitables estos componentes debido al tipo de aplicación.

1.2. Eficiencia de motores eléctricos

La eficiencia de los motores varía según la potencia. A mayor potencia mayor eficiencia; sin embargo no oscila tanto como lo hace la potencia de las máquinas hidráulicas. Puede ir entre 70% hasta 96%, según la tecnología y potencia.

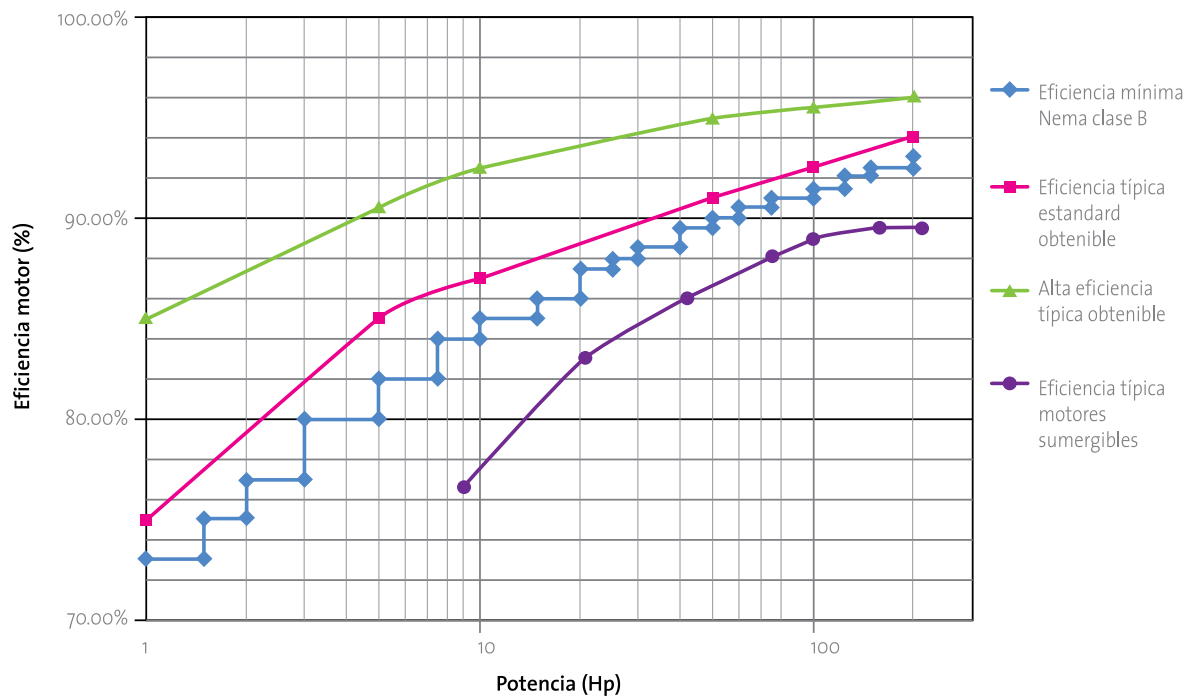
La Asociación Nacional Manufacturera Eléctrica (National Electric Manufacturers Association, NEMA), determina una escala de eficiencias mínimas según el rango de potencia, aplicable para motores clase B de 1200, 1800 y 3600 rpm, que sean abiertos a prueba de goteo (ODP) o totalmente cerrados con enfriamiento por ventilador (TECF), motores típicos para aplicación en equipos de bombeo.

Es importante observar que los fabricantes están por encima del mínimo requerido, tanto para los motores de eficiencia estándar como los de alta eficiencia. En la Figura 4 se observa el contraste entre la norma NEMA y las eficiencias típicas obtenidas por los fabricantes (E.Cowern).

Planta de tratamientos de aguas residuales San Fernando



Figura 4. Potencia nominal vs eficiencia del motor.



Los motores sumergibles no están bajo la norma NEMA clase B, y normalmente son de 3600 rpm. Como se mencionará más adelante, tienen beneficios en su aplicación, con los cuales no cuentan los motores de superficie, también definidos como de “alta eficiencia”.

Normalmente son a 1800 rpm, ya que es la velocidad donde los motores obtienen mayor eficiencia, incluso superior a la que se obtiene a 1200 y 900, pues entran en juego otros factores constructivos. (A.Emadi)

Con la Ilustración 6 se facilita el cálculo de la eficiencia esperada para un motor eléctrico. Con la potencia del equipo y el tipo de motor se puede leer el desempeño esperado de la máquina.

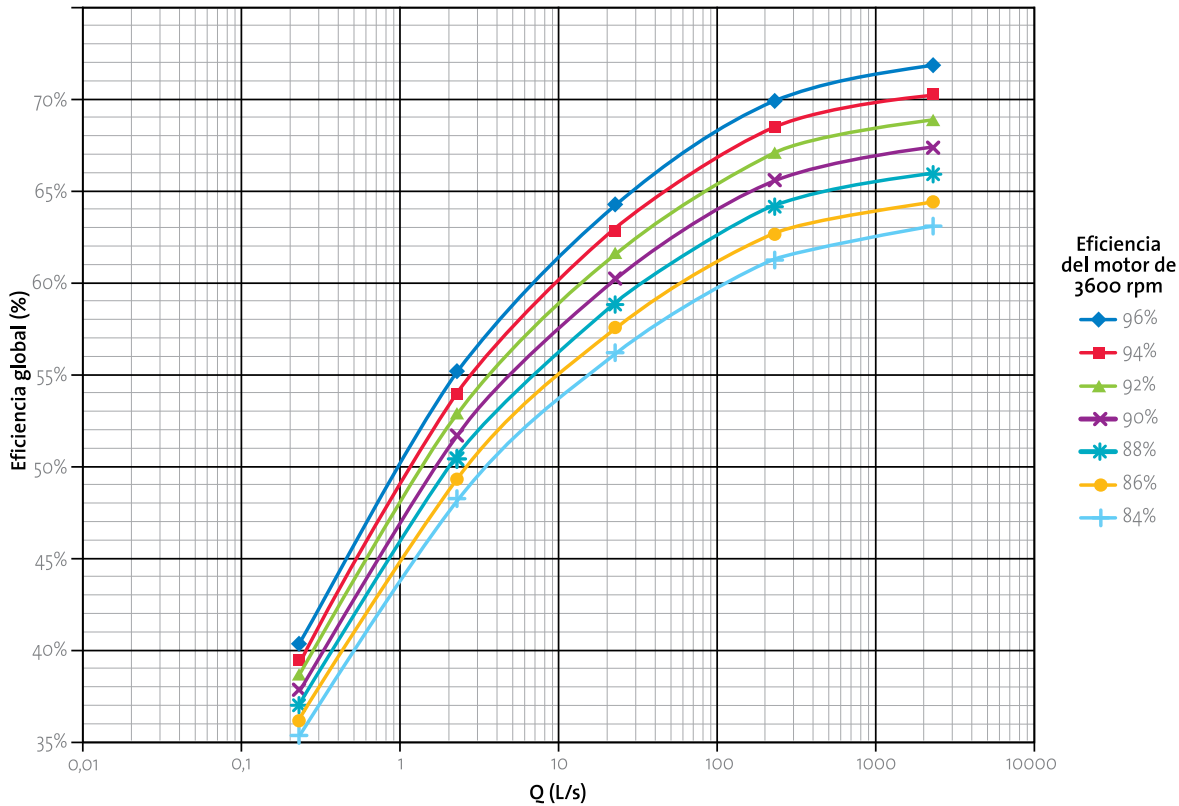
1.3. Eficiencia global

Teniendo claro qué eficiencias se obtienen, tanto para las bombas (Figura 3) como para los motores (Figura 4), se puede determinar qué eficiencia global se puede obtener utilizando la Ecuación 1.

• Eficiencia global mínima

Si se desea determinar la eficiencia global mínima, se toma la curva de eficiencia más baja de la Figura 3 (curva de 3600 rpm), se multiplica por diferentes eficiencias de motores y se obtiene la Figura 5.

Figura 5. Eficiencia global para motores de 3600 rpm con diferentes eficiencias



En esta gráfica se aprecia que para un bombeo de 300 L/s y un motor con eficiencia de 94% la mínima eficiencia debería ser 69%, por encima de la que exige el regulador. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, existen otros factores que castigan la eficiencia, los cuales se tienen que considerar.

• Otros consumos

La eficiencia real de bombeo debe involucrar todos los consumos necesarios para la operación. Esto significa que si el bombeo requiere de sistemas alternos para su funcionamiento, la energía de dicho sistema se debe involucrar en la eficiencia global. Por ejemplo: si se requiere de sistemas de ventilación o refrigeración, típico de estaciones de bombeo insonorizadas, el consumo energético del sistema alterno debería considerarse, ya que pueden existir dos estaciones de bombeo con el mismo punto operativo con y sin refrigeración, lo que implica que sistemas auxiliares necesarios para el funcionamiento de la estación hacen más ineficientes las estaciones de bombeo.

La ecuación para evaluar la eficiencia global es:

$$\eta_{bombeo} = \frac{E_{hidraulica}}{E_{consumo_motor} + P E_{consumo_sist.aux}} \quad (Ec. 3)$$

De la Ecuación 3 se deduce que minimizando el denominador se obtienen eficiencias mayores, lo que implica que en ciertos casos es mejor opción tener un motor un poco más ineficiente, pero que ahorre completamente el consumo del sistema auxiliar.

Por ejemplo, los motores sumergibles normalmente son cinco puntos más ineficientes; sin embargo, no necesitan de refrigeración por convección forzada con aire, como sería el caso del motor de superficie insonorizado.



Conclusiones

- Las gráficas presentadas en este artículo sirven como guía general de eficiencias obtenibles según la necesidad de la aplicación. Pueden existir máquinas más eficientes, tanto en las bombas como en los motores, ya que los materiales, procesos de manufactura y materiales se optimizan día a día. Sin embargo, eficiencias menores no se deberían aceptar. No se trata de llevar agua a determinado lugar sino de llevarla de manera eficiente.
- Evaluar todas las estaciones de bombeo con eficiencia global del 60% es muy general, ya que se observa que este valor está en función de diversas variables. El regulador debería asignar una eficiencia para cada rango de caudales, tal cual lo hace la asociación Nema para los motores, considerando el factor desgaste aceptable para dichos equipos. Se deben regular tanto eficiencias para estaciones de bombeo nuevas como para las que ya llevan un tiempo operando.
- Se determina que la eficiencia más alta para bombas se consigue con una velocidad específica cercana a 2200 rpm, y para los motores la eficiencia más alta se obtiene a 1800 rpm. No son reglas absolutas, pero sí son muy aproximadas y prácticas para tener en cuenta.
- Existen aplicaciones en las cuales el punto operativo se sale de BEP, por ejemplo, los bombeos a través de red o los bombeos directos a la red. Ninguno de los parámetros anteriores es válido, ya que el punto operativo varía por toda la curva de la bomba según la demanda. Eficiencias estimadas de estos bombeos pueden estar desde 20% a 50%, según su filosofía de control. En equipos con potencias altas no se recomienda dicha aplicación.
- La eficiencia debería ser considerada como factor de evaluación de propuestas de estaciones o equipos de bombeo, ya que financieramente puede tener mucho peso, el cual dependería de la demanda proyectada y de los costos energéticos.

Bibliografía

- Anderson H.H. “Prediction of Head, Quantity and Efficiency in Pumps- The area Ratio Principle”, ASME, 1980.
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento, Resolución CRA 287 de 2004, Bogotá.
- Cowern E. Baldor Motors, Drives & Generators, Editorial Baldor Electric Company, Fort Smith, Arizona.
- Emadi A. Energy – Efficient Electric Motors 3ra edición, Editorial Marcel Dekker, 2005, Nueva York.
- Karassik I.J. et al. Manual de bombas 1ra edición en español, Editorial Mc Graw Hill, 1983, México.
- Karassik I.J. et al. Pump Handbook 3ra edición, Editorial Mc Graw Hill, 2001, Nueva York, Nueva York.
- KSB, Manual “UPZ – Pump Power Fortop Performance Under The Toughest Conditions”, 2004.
- Lawrence pumps, www.lawrencepumps.com/newsletter/news_v04_i11_Nov07.html, 22/12/2010.
- Norma “American National Standard for Centrifugal Pumps for nomenclature and definitions”, ANSI/HI 1.1-1.2-2000, Hydraulic Institute, New Jersey, Parsippany.
- Norma “American National Standard for Centrifugal Pumps for allowable operating region”, ANSI/HI 9.6.3-1997, Hydraulic Institute, New Jersey, Parsippany.

Mapas de zonas críticas en la vinculación de clientes al sistema de acueducto y alcantarillado. Una aproximación desde el análisis de factibilidades.

John Jairo Posada España
Profesional Área Vinculación
Clientes Aguas
john.posada@epm.com.co

Resumen

Se presenta una metodología para la identificación de zonas críticas en el proceso de vinculación de clientes, por medio de la búsqueda de concentraciones geográficas en las respuestas a las solicitudes de factibilidad. Para la búsqueda se construyen mapas de agregación y de densidades, utilizando el análisis geográfico de las bases de datos de vinculación de clientes e información tomada en campo.

La elaboración y el análisis de los mapas se divide en cinco etapas: depuración de las solicitudes de factibilidad, creación de mapas generales o preliminares, construcción de mapas de análisis, análisis de las solicitudes negadas y análisis de las solicitudes factibles. Como producto final se obtienen mapas donde se jerarquizan dos tipos de zonas críticas en la vinculación: las que representan focos de solicitudes negadas y las de las solicitudes factibles. Las primeras corresponden a un mercado potencial y las segundas indican una posible sobresaturación futura de elementos del sistema de saneamiento. La metodología se aplica, como caso de estudio, al Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Palabras clave:

Zonas críticas, análisis geográfico, vinculación de clientes, solicitudes de factibilidad.

El mercadeo y la planeación de las empresas de acueducto y alcantarillado están evolucionando por la presión que ejerce la toma de conciencia del valor del agua y los planes de desarrollo urbano de cada municipio. Sin embargo, la naturaleza monopolista del mercado y la dinámica cambiante del crecimiento urbano complejizan la gestión del mercadeo y la planeación.

Las dificultades e inclusive las discrepancias entre la planeación y el mercadeo pueden entenderse si se tienen en cuenta factores como la presión legislativa y mediática sobre el manejo adecuado del recurso hídrico, una política difusa del uso del suelo, un mercado constructor atomizado y la cantidad de datos a tener en cuenta, tanto en el mercadeo como en la planeación. Cabe citar, por ejemplo, que EPM analiza aproximadamente 1700 solicitudes de factibilidad anualmente y cada análisis requiere considerar aproximadamente 25 variables.

Por todo esto, es categórica la comprensión y simplificación del problema y la creación de herramientas que permitan reconocer las exigencias del mercado e integrarlas a la planeación del negocio del saneamiento básico. En especial, es importante que el mercadeo pueda monitorear el comportamiento del mercado para retroalimentar la planeación de la construcción u operación del sistema de saneamiento.



A nivel mundial, la gestión de la planeación se ha basado en amplios análisis de la elasticidad del precio del agua (Chicoine y Ramamurthy, 1986; Taylor, 1975; Nordin 1976; Nieswiadomy y Molina, 1991). Como complementos a estos análisis se han estudiado variables como el nivel de ingresos (Howe y Linaweaver, 1967), el clima (Agthe and Billings, 1997), el impacto de la infraestructura vial (Durga Rao, 2005), las características de las viviendas (Nauges y Thomas, 2000) y la edad promedio (Howe and Linaweaver, 1967), entre otras.

A nivel nacional se ha recurrido al estudio del comportamiento histórico de la demanda (Eafit, 2010) y a la regulación urbana (Velásquez, 2009.) para pronosticar el comportamiento del mercado del saneamiento.

En conclusión, los estudios internacionales para la identificación de zonas críticas requieren un intenso esfuerzo de captura de datos. Por este motivo usualmente no son aplicables a países en vía de desarrollo. Por otra parte, los métodos utilizados en nuestro país pueden sobre-simplificar el problema al considerar el comportamiento histórico como explicativo del futuro o establecer horizontes de análisis demasiados largos por basarse en una política de regulación del suelo. Adicionalmente, estas metodologías dan poco margen a las empresas prestadoras de servicios para gestionar su mercado.

En este artículo se ilustra el desarrollo de una herramienta para la gestión del mercadeo y de la planeación, basado en las solicitudes de factibilidad como señales del mercado y que pueden ser susceptibles de gestionar.



1. Metodología

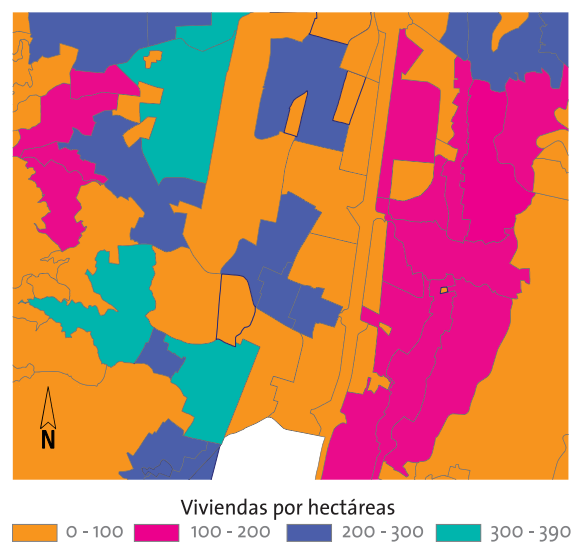
La metodología planteada se basa en la determinación de zonas críticas del sistema mediante la construcción de mapas de agregación y densidades de las solicitudes de factibilidad.

Una solicitud de factibilidad de prestación de servicios públicos es un proceso para conocer las condiciones en las que un proyecto puede acceder a los servicios de acueducto y alcantarillado; su presentación está a cargo de constructores, urbanizadores e industrias con consumo intensivo de agua.

La solicitud de factibilidad tiene una vigencia de dos años y puede tener una respuesta positiva o negativa, ya sea porque no existan redes secundarias, por problemas técnicos o porque se encuentra por fuera del área de cubrimiento del sistema.

Un mapa de densidad es una agrupación por regiones de elementos distribuidos espacialmente; por ejemplo, se puede agregar el número de viviendas dentro de cada barrio de la ciudad y utilizar una carta de colores para clasificar los barrios según la cantidad de viviendas, ver figura 1.

Figura 1. Distribución de barrios según el número de viviendas por hectárea. Tomado del POT de la ciudad de Medellín



La hipótesis fundamental de la metodología propuesta es que las respuestas a las solicitudes de factibilidad presentan concentraciones espaciales.

Las solicitudes negadas pueden revelar que el mercado indica focos del sistema donde es necesaria la ampliación del sistema, mientras que en el caso de las solicitudes factibles se muestran elementos del sistema que serán exigidos en el corto plazo.

A continuación se presenta el proceso de construcción de los mapas de densidades y agregación utilizados para identificar zonas críticas del sistema de saneamiento.

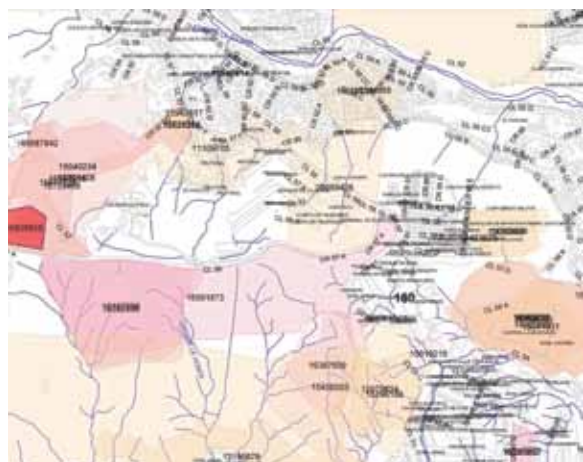
1.1 Proceso de construcción de los mapas de densidades de solicitud de factibilidad

Los mapas de densidades se elaboraron en cinco etapas: depuración de las solicitudes de factibilidad, creación de mapas generales o preliminares, construcción de mapas de análisis, análisis de las solicitudes negadas y análisis de las solicitudes factibles.

1.1.1 Etapa 1. Depuración de las solicitudes de factibilidad.

Las bases de datos de las solicitudes de factibilidad se depuraron para eliminar solicitudes del análisis que dupliquen datos del mismo evento o no sean de interés. Por ejemplo, existen solicitudes rechazadas por tener información incompleta o incoherente o porque un mismo proyecto puede presentar varias solicitudes de factibilidad, ver figura 2.

Figura 2. Zonas con factibilidades redundantes para un mismo proyecto.



1.1.2 Etapa 2. Creación de mapas generales o preliminares

Se agrupan las viviendas asociadas a las solicitudes de factibilidad por tipo de respuesta y por macro-unidades territoriales, como circuitos o cuencas sanitarias. Las solicitudes de factibilidad tienen diferente número de viviendas asociadas dependiendo del proyecto urbanístico. Como el interés del negocio está en la vinculación de clientes, el análisis se debe hacer con base en el número de viviendas y no con el número de solicitudes.

Con los mapas generales se debe evaluar la coherencia de los datos y validar la hipótesis de que la distribución de las solicitudes presenta concentraciones espaciales. En caso de que la hipótesis sea válida hay que determinar las unidades de análisis definitivas y precisar los aspectos a evaluar para identificar las zonas críticas del sistema.

1.1.3 Etapa 3. Construcción de mapas de análisis

Con base en la información de los mapas preliminares se realizan agrupaciones de las viviendas por tipo de respuesta, por unidades territoriales más detalladas y por tipo de análisis a realizar.

La agrupación de las solicitudes negadas por falta de redes debe hacerse a nivel de barrios, porque la cohesión social facilitará la ejecución de proyectos en caso de identificarse focos.

Para la operación y expansión del sistema es de interés evaluar el impacto de la vinculación de clientes nuevos sobre los circuitos hidráulicos y por cuencas sanitarias. Por esta razón, se recomienda que las solicitudes factibles se agrupen en estas unidades.

1.1.4 Etapa 4. Análisis de las solicitudes negadas

El análisis de las solicitudes negadas debe hacerse teniendo en cuenta la causa de la negación y el tipo de cliente potencial: residencial, comercial, institucional o industrial. Este análisis tiene dos evaluaciones relevantes, el estudio de las solicitudes negadas por falta de redes y el estudio de las solicitudes negadas por estar fuera del área de cubrimiento.

El análisis de las solicitudes negadas por falta de redes busca reconocer concentraciones de viviendas con solicitudes de factibilidad negadas por falta de redes pero con factibilidad técnica de construcción. Lo anterior permitiría proponer a los interesados planes de financiamiento para la construcción de redes que tendrían impacto social.

Para jerarquizar estas zonas se debe tener en cuenta la dificultad técnica para la construcción y el impacto sobre la comunidad de la construcción de las redes. En la figura 3 se muestra la matriz de priorización de las zonas. Se consideran tres niveles tanto para la dificultad técnica como para el impacto del proyecto: alto, moderado y bajo.

Figura 3. Matriz de priorización de las zonas.

Dificultad técnica	Alto	AB	AM	AA
	Mod	MB	MM	MA
	Bajo	BB	BM	BA
		Bajo	Mod	Alto
		Impacto del proyecto		
		Impacto del proyecto		

1.1.4.1 Dificultad técnica

Evalúa qué tan favorables son las características de la zona para la ejecución del proyecto. La dificultad técnica es explicada en términos de espacio disponible para las redes, dificultad en el alineamiento y necesidad de obras de protección (Posada, 2005).

1.1.4.2 Impacto del proyecto

El impacto de la construcción de las redes no es igual en todas las zonas (Grucon, IEH y Soprin, 1999). El número de personas vinculadas y el impacto ambiental varían en función de su ubicación y el tipo de sistema a construir, entre otros factores.

1.1.5 Etapa 5. Análisis de las solicitudes factibles

El análisis de las solicitudes factibles busca identificar elementos del sistema de saneamiento, cuya capacidad puede ser insuficiente para satisfacer la demanda de los clientes futuros en el corto plazo, y con los cuales ya existe un compromiso de prestar el servicio.

La desagregación espacial del análisis debe corresponder a zonas del sistema con dependencia hidráulica, por ejemplo: por cuencas sanitarias para el sistema de alcantarillado y por circuito hidráulico para el sistema de acueducto. Estas zonas deben ser definidas de acuerdo con los intereses de la operación, el mantenimiento y la planeación del sistema. Una vez se haya definido la unidad de análisis, se suman las viviendas con solicitud factible para cada unidad.

Como es necesario comparar el impacto de los nuevos usuarios frente a la capacidad del sistema, se debe normalizar el número de viviendas con base en una variable descriptiva de la capacidad de la unidad, por ejemplo: área, volumen de almacenamiento de los tanques o capacidad autodepurante del cuerpo receptor. En la ecuación 1 se muestra la definición del índice de impacto.

$$I_{imp} = \frac{\text{Número de viviendas por unidad}}{\text{Variable de capacidad de la unidad}}$$

2. Descripción del caso de estudio y resultados

Se ilustra la metodología propuesta aplicándola en el sistema de acueducto y alcantarillado del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primero se presenta una breve descripción del sistema, posteriormente se muestra el desarrollo de cada etapa de la metodología y, por último, se analizan los mapas de zonas críticas resultantes.

2.1 Descripción del sistema de acueducto y alcantarillado del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

El sistema de saneamiento del Área Metropolitana del Valle de Aburrá presta el servicio de manejo integral de abastecimiento y recolección de agua en los municipios de Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Envigado, Girardota, Itagüí, Medellín y Sabaneta, que representan aproximadamente una población de tres millones de personas, con lo cual se constituye, por su tamaño, en el segundo sistema del mercado colombiano.



Las principales características técnicas del sistema se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Características del sistema de saneamiento del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Características	
Clientes acueducto	900680
Clientes alcantarillado	866044
Longitud de redes sistema distribución secundaria (Km)	3190
Longitud de redes sistema recolección (Km)	4247
Tanques de almacenamiento de agua potable	107
Producción de agua potable (millones de metros cúbicos anuales)	310

Tomado del informe del Sistema Integrado de Gestión de EPM 2009.

2.2 Etapas de la construcción del mapa de densidades de solicitudes de servicio

A continuación se presentan las etapas de la metodología aplicada al sistema de acueducto y alcantarillado operado por EPM.

2.2.1 Etapa 1. Depuración de las solicitudes de factibilidad

Para el estudio se tomaron las solicitudes entre enero del 2007 y mayo del 2010. La base de datos contenía 4642 solicitudes. Todas las solicitudes contaban con información de número de viviendas asociadas, fecha del análisis, ubicación del área del proyecto, factibilidad de servicios y causa de negación en caso de ser negada.

En esta etapa del análisis se eliminaron 157 solicitudes de factibilidad rechazadas por tener información incompleta o inconsistente. Posteriormente se depuraron, mediante inspección visual, las solicitudes con más de 70 viviendas asociadas, identificando 33 proyectos con 110 solicitudes de factibilidad.

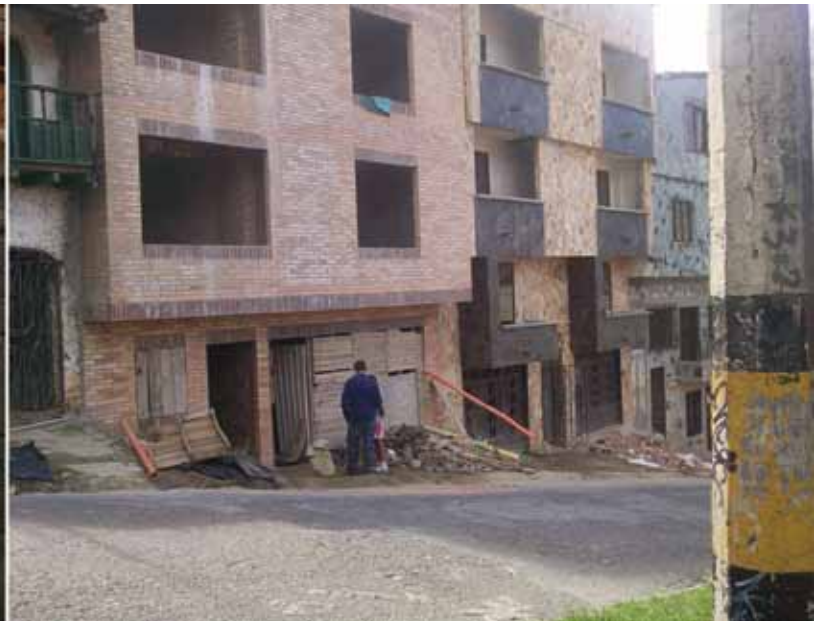
En la figura 4 se ilustran las solicitudes de factibilidad redundantes.

Figura 4. Plan Parcial Altos de Calasanz. Este proyecto presentó 5 solicitudes de factibilidad, cada una con aproximadamente 9000 viviendas asociadas.



Adicionalmente, y con el fin de poder realizar los análisis de agregación y de densidad, para las solicitudes depuradas (aproximadamente 3800) se obtuvieron los centroides de sus áreas. Ver figura 5.





Callejón sin redes de saneamiento

Figura 5. Centroides de las 3800 solicitudes de factibilidad depuradas.



2.2.2 Etapa 2. Creación de mapas generales o preliminares

En esta etapa del estudio se construyeron mapas de las solicitudes negadas y factibles agregadas por circuito hidráulico. En las figuras 6 y 7 se muestran los resultados obtenidos.

Figura 6. Mapa de densidades preliminar para las solicitudes factibles.

El mapa de densidades de las viviendas con solicitud factible indica que existen concentraciones en las zonas Centro y Sur del sistema de saneamiento del Valle de Aburrá.

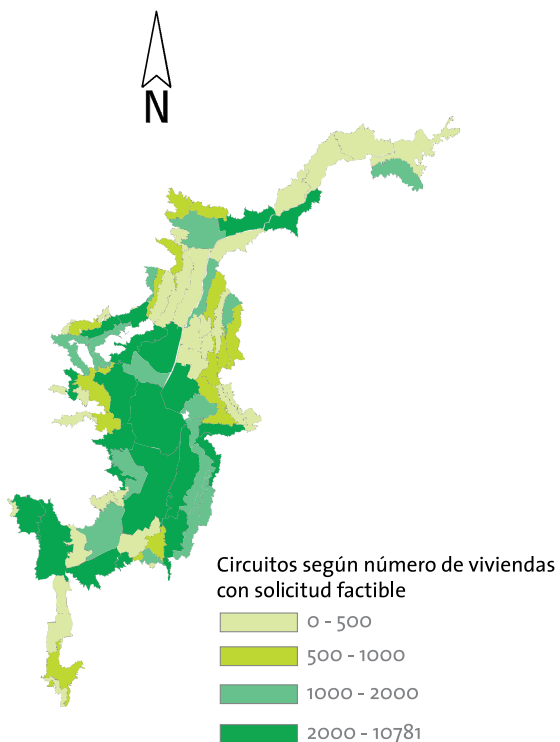
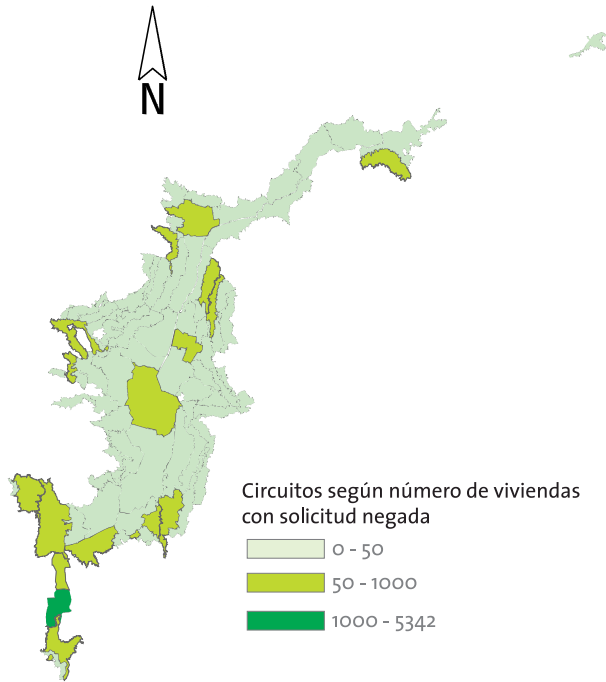


Figura 7. Mapa de densidades preliminar para las solicitudes negadas.



En el mapa de agregación de viviendas con solicitudes negadas se muestra que existen focos en la zona Sur de la ciudad y en sus áreas periféricas.

En ambos mapas se prueba que la distribución de las solicitudes no es uniforme en el sistema de saneamiento. Por lo tanto, la hipótesis de la metodología se cumple y se continúa con los análisis especializados.

2.2.3 Etapa 3. Creación de mapas definitivos

La construcción de los mapas definitivos fue un proceso iterativo que dependió del desarrollo de los distintos análisis. Se crearon mapas por tipo de cliente, por tipo de respuesta, por causa de negación y por los siguientes niveles de agregación: barrios, circuitos, cuencas, subcircuitos y manzanas.

2.2.4 Etapa 4. Análisis de las solicitudes negadas

El análisis de las solicitudes negadas busca zonas del sistema operado por EPM donde la inversión en infraestructura tendría un mayor impacto en la vinculación de clientes. Este análisis se dividió en un análisis descriptivo de la geografía de las solicitudes negadas y en la determinación de las zonas críticas. Las zonas críticas se dividieron por el tipo de acciones a emprender para vincular los clientes potenciales dentro y fuera del área de cubrimiento.

2.2.4.1 Geografía de las solicitudes negadas

Para reconocer patrones de las solicitudes de factibilidad negadas se crearon mapas por causa de negación y por tipo de cliente.

La distribución de las solicitudes negadas por causa se muestra en la figura 8

Figura 8. Mapa de solicitudes negadas por causa de negación.



Las solicitudes negadas se encuentran predominantemente en la periferia del Área Metropolitana. Los cordones de pobreza y la presión de los constructores para urbanizar las áreas de expansión dan explicación de esta distribución, pues se trata de zonas que aún no cuentan con infraestructura de saneamiento para satisfacer la demanda potencial.

Las solicitudes de factibilidades negadas por estar fuera del área de cubrimiento se alejan del patrón general y son predominantes en el Sur y en el Noroeste del Área Metropolitana, demostrando que existe interés en la expansión del sistema de saneamiento en direcciones definidas.

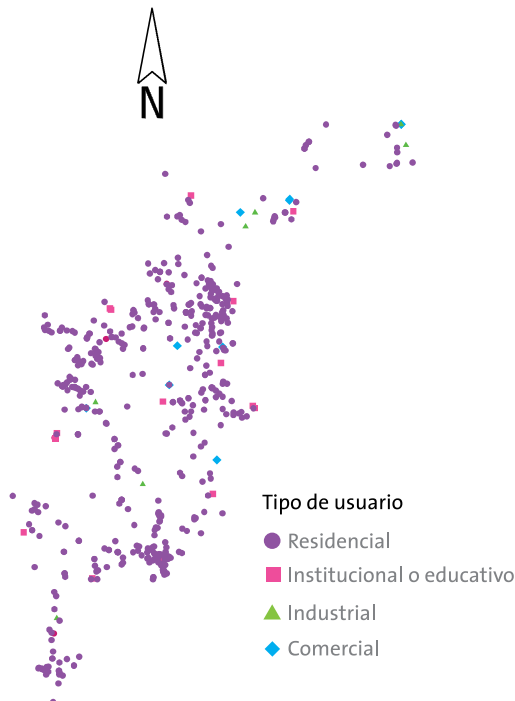
Las solicitudes de factibilidad negadas por no tener redes siguen el patrón general pero se encuentran concentradas en la zona Norte del Área Metropolitana. La negación se debe a que, por un urbanismo no planeado, las redes de saneamiento no pasan por el frente de todos los predios de interés.

Las solicitudes negadas por problemas técnicos se encuentran, fundamentalmente, hacia el Norte de la ciudad. Sin embargo, la dispersión espacial es muy grande y no hay un patrón dominante. El problema técnico predominante es la imposibilidad de drenar por gravedad al sistema de alcantarillado.



La distribución espacial de las solicitudes negadas por tipo de clientes se muestra en la figura 9.

Figura 9. Mapa de solicitudes negadas por tipo de usuario.



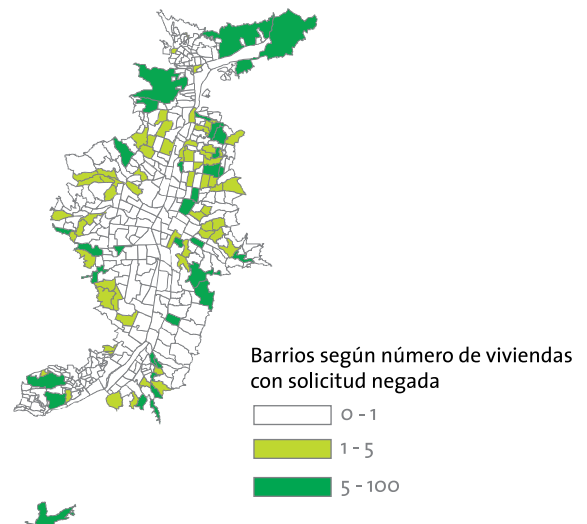
No existen patrones reconocibles para tipos de clientes distintos a los residenciales. Existen muy pocos casos de solicitudes negadas como para definir focos de problemas para los clientes potenciales industriales o comerciales.

2.2.4.2 Análisis de las solicitudes negadas dentro del área de cubrimiento

En esta etapa se analizó la distribución de las solicitudes negadas dentro del área de cubrimiento de EPM, con el objetivo de encontrar focos de clientes potenciales en zonas dotadas de infraestructura primaria de redes.

El problema predominante en las solicitudes negadas, dentro del área de cubrimiento, es la falta de redes secundarias que tienen un peso del 58 % de las solicitudes negadas de este tipo. De esta manera, la agrupación se realizó a nivel de barrios, toda vez que los lazos vecinales favorecen la construcción de redes mediante proyectos comunitarios, como es el caso del programa Habilitación Viviendas. En la figura 10 se muestra la clasificación de los barrios obtenida según el número de viviendas con solicitud negada.

Figura 10. Mapa de barrios según el número de viviendas con solicitud negada.



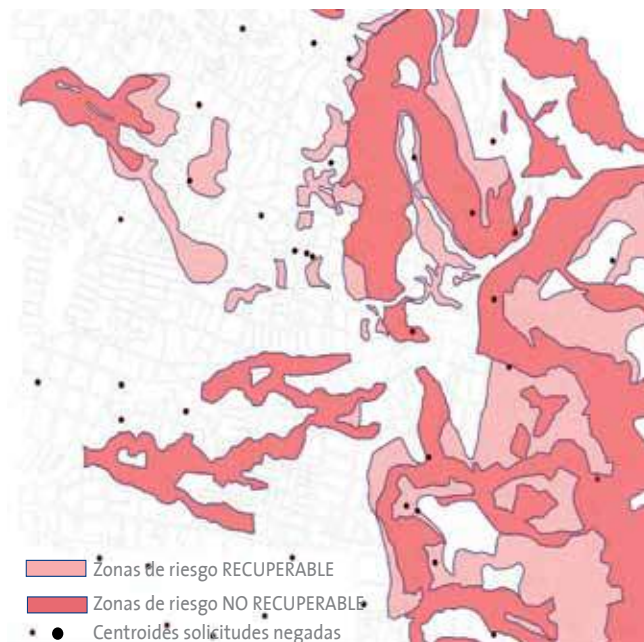


Los barrios o zonas con mayor número de viviendas con solicitud negada son: San Pablo (51), área de expansión de Bello (315), El Triunión (42), Caldas (21) y la zona Sur de Barbosa (22).

Con la finalidad de evaluar la posibilidad de vincular los clientes potenciales se depuraron y calificaron las solicitudes. La depuración se realizó eliminando las solicitudes de predios dentro de zonas de riesgo. La calificación evaluó la dificultad técnica y el impacto del proyecto.

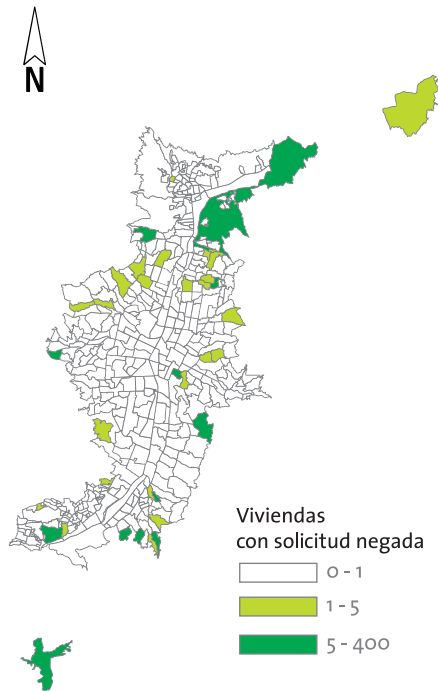
Para la depuración se utilizó el mapa de las zonas de riesgo y los centroides de las solicitudes negadas. Las factibilidades con centroides dentro de estas zonas se descartaron del análisis, puesto que allí la construcción de redes podría dar lugar a la consolidación urbana de áreas no seguras para la población. Se eliminaron 37 solicitudes y quedaron 234 para la clasificación de potencial de vinculación. Un detalle del análisis de superposición se muestra en la figura 11.

Figura 11. Análisis de traslapeo de solicitudes negadas con zonas de riesgo para la vinculación de clientes.



El análisis de superposición y agregación de las viviendas se realizó nuevamente con las solicitudes negadas y fuera de las zonas de riesgo. En la figura 12 se muestran los resultados obtenidos.

Figura 12. Barrios con potencial para la vinculación de clientes.



Los barrios o zonas con mayor número de viviendas con solicitud negada por falta de redes fueron: San Pablo (Medellín), La Playita (Caldas), zona de Bello sin desarrollar y zona Sur de Barbosa. Estas áreas se clasificaron de acuerdo con su factibilidad técnica y el impacto del proyecto, según lo establecido en la matriz de priorización de zonas explicada en la etapa 4 de la metodología.

Tabla 2. Evaluación del potencial de barrios para la vinculación de clientes

Barrio o zona	Viviendas	Solicitudes	Calificación
Zona de Bello sin desarrollar	317	2	AA
San Pablo	51	3	AM
La Playita	54	6	AB-BM
Zona Sur de Barbosa	16	10	BM

En este análisis se encontró que las zonas con concentraciones de viviendas dentro del área de cobertura no representan un número importante de clientes potenciales. Sin embargo, sí demuestra que la marginación de zonas por la falta de redes es un problema concentrado y que puede solucionarse con esfuerzos geográficamente definidos.

2.2.4.3 Análisis de las solicitudes negadas fuera del área de cubrimiento

En esta etapa se analizó si las solicitudes negadas por fuera del área de cubrimiento presentaban concentraciones espaciales. Las concentraciones de las solicitudes negadas por fuera del área de cubrimiento indican una presión del mercado en la expansión del sistema en una zona determinada, lo cual orientaría el esfuerzo en la expansión del sistema hacia zonas atractivas para el mercado, garantizando una rápida vinculación de clientes, principal factor de éxito financiero en la evaluación de proyectos de nuevos circuitos.

Se estudiaron 129 solicitudes por fuera del área de cubrimiento, que representan un mercado de 9900 clientes potenciales. Sin embargo, hay que tener en cuenta la voluntad del constructor o urbanizador, que puede ser limitada, por ejemplo, por la densidad máxima exigida por las leyes de ordenamiento territorial de cada municipio.

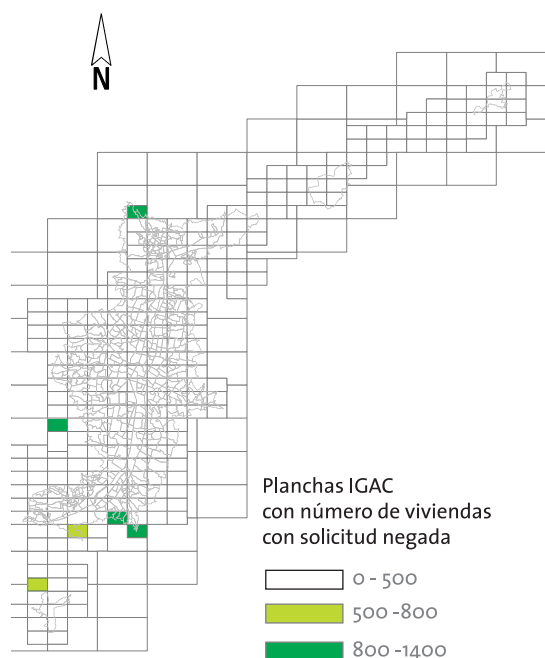
Para el análisis se creó un mapa de conteo de viviendas con solicitudes negadas, agregándolas por plancha geográfica lo que representa una cuadrícula de 1 Km x 1 Km. El resultado obtenido se muestra en la figura 13.

La figura 13 muestra que los constructores y urbanizadores tienen interés en la ampliación del sistema en zonas muy específicas.

En los 203 kilómetros del perímetro del Área Metropolitana sólo existen tres polos de interés. Noroccidental, Suroccidental y Suroriental.

La zona Suroriental es la más relevante por tener un mayor número de interesados (solicitudes presentadas por distintos urbanizadores) y el mayor número de usuarios potenciales (2700). Esta área presenta la mayor concentración de solicitudes negadas de toda el Área Metropolitana, por lo que se puede interpretar que el mercado tiene un fuerte interés en su desarrollo.

Figura 13. Zonas por fuera del área de cubrimiento con mayor potencial para la vinculación de clientes.



2.2.5 Etapa 4. Análisis de las solicitudes factibles

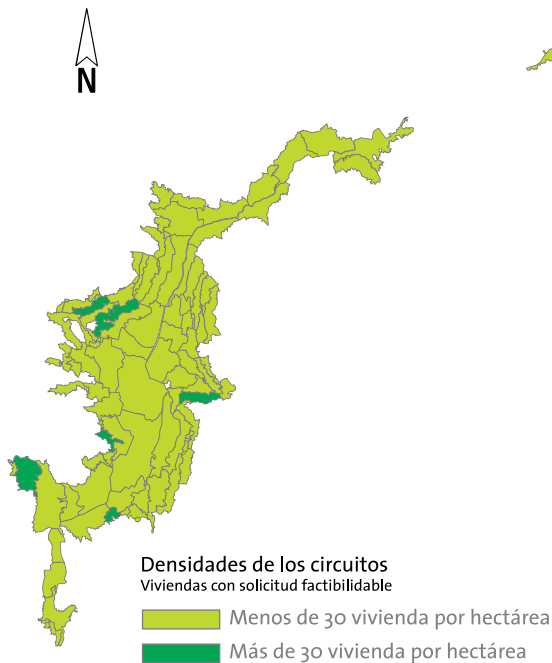
En este análisis se estudió la distribución espacial de las viviendas con solicitud factible de servicios de saneamiento, cuyas concentraciones señalan zonas con una mayor exigencia del mercado constructor, a las que EPM está comprometida a atender. Lo anterior orientaría la planeación del sistema, preparándolo para la magnitud y la distribución de la demanda potencial.

Para este análisis se estudiaron 3023 solicitudes que agrupan 141 000 usuarios potenciales, aproximadamente, número que se ve reducido por la capacidad del constructor y por la legislación de los toques de densidad determinada por cada municipio.

Para identificar las zonas con una mayor exigencia del mercado se utilizaron las divisiones hidráulicas e hidrológicas del sistema, es decir, los circuitos hidráulicos para la red de acueducto y las cuencas para la red de alcantarillado. Adicionalmente, para la jerarquización de las zonas se normalizó el número de viviendas por el área de cada circuito o cuenca, que guarda correspondencia directa con su capacidad

Los resultados se muestran en las figuras 14 y 15.

Figura 14. Mapa de las densidades de las viviendas con solicitudes factibles por circuito.

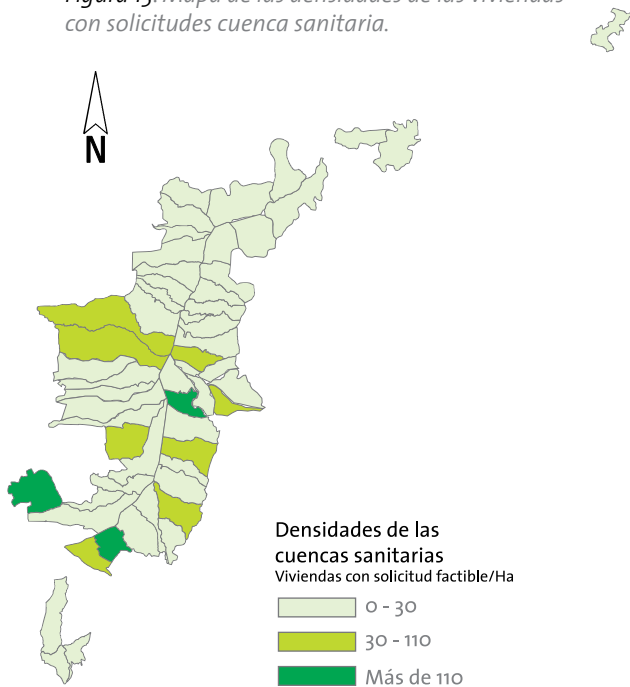


Los circuitos hidráulicos muestran una fuerte concentración de las viviendas con solicitud factible. Los circuitos considerados como de interés corresponden a Las Flores, San Antonio de Prado, Porvenir, Pajarito y San Rafael. Los tres primeros son críticos porque presentan limitaciones en su infraestructura primaria.

Equipo de solicitud de factibilidad de servicio de acueducto y alcantarillado



Figura 15. Mapa de las densidades de las viviendas con solicitudes cuenca sanitaria.



Las cuencas sanitarias tienen concentraciones muy diferentes de viviendas con solicitudes factibles. Las cuencas que tendrán una mayor exigencia del mercado serán San Antonio de Prado y Envigado.

Esta información debe ser tomada en cuenta en la planeación del manejo de la capacidad de los sistemas de alcantarillado, incluyendo la capacidad autodepurante del cuerpo receptor.

2.3 Resultados

Como resultado de aplicar la metodología, se obtuvieron mapas que jerarquizan zonas críticas en la vinculación de clientes. La primera jerarquización identifica focos de solicitudes negadas y que representan un mercado potencial. La segunda resalta la sobresaturación de algunos componentes del sistema. Estas zonas fueron validadas por personal de planeación y mercadeo de EPM.

Los focos de viviendas con solicitudes negadas son un insumo cuya aplicación en la planeación y en el mercadeo del negocio se está estudiando actualmente.

Los elementos del sistema con una saturación de viviendas con solicitud factible representan una alerta temprana en la planeación del negocio. En estas zonas se está gestionando una planeación integral de los diseños para la adecuada vinculación de los clientes.

3. Conclusiones

Las principales conclusiones que se obtuvieron en este trabajo son:

- Las exigencias del mercado del agua tienen una distribución heterogénea en términos espaciales. El interés del mercado presenta una serie de focos específicos.
- Las solicitudes de factibilidad son una herramienta para el monitoreo constante del comportamiento del mercado del agua, que puede retroalimentar la planeación de la construcción u operación del sistema de saneamiento.
- Los problemas en la vinculación de clientes están delimitados geográficamente y su solución tiene diferentes impactos sobre el número de clientes potenciales.
- La metodología de mapas de agregación y densidades determina zonas críticas en la vinculación de clientes por representar un mercado potencial o por futuras saturaciones de algunos elementos del sistema.
- Un estudio posterior deberá concentrarse en la determinación de probabilidades de que una vivienda con solicitud factible se convierta en un usuario del sistema.
- Las zonas con concentraciones de viviendas dentro del área de cobertura no constituyen un número importante de clientes potenciales. Sin embargo, sí demuestra que la marginación de zonas por la falta de redes es un problema concentrado y que puede solucionarse con proyectos puntuales.
- Las solicitudes negadas por fuera del área de cubrimiento presentaban concentraciones espaciales. Las concentraciones de las solicitudes negadas por fuera del área de cubrimiento indican una presión del mercado en la expansión del sistema en una zona determinada.

Referencias

- Agthe, D.E., Billings, R.B., 1997. Equity and conservation pricing policy for a government-run water utility. *Journal of Water Supply Research and Technology. AQUA* 46 (5), 252–260.
- Arbués, F. 2003 Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *Journal of Socio-Economics* 32 81–102.
- Alcaldía de Medellín, 2006. Acuerdo 63 de 2006. Ajuste al Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio de Medellín.
- Castellón, F. 2004. Consultoría para estudios y asesorías hidráulicas y sanitarias. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- Chicoine, D.L., Deller, S.C., Ramamurthy, G., 1986. Water demand estimation under block rate pricing: a simultaneous equation approach. *Water Resources Research* 22 (6), 859–863.
- Chicoine, D.L., Ramamurthy, G., 1986. Evidence on the specification of price in the study of domestic water demand. *Land Economics* 62 (1), 26–32.
- Durga Rao, 2005, Multi-criteria spatial decision analysis for forecasting urban water requirements: a case study of Dehradun city, India, *Landscape and Urban Planning* 71 163–174
- Eafit, 2010. Modelo para el pronóstico de la demanda de acueducto en el Valle de Aburrá: Consumo y Usuarios. Informe Final.
- EPM, 2009. Informe del Sistema integrado de Gestión.
- Grucon, IEH y Soprin. 1999. Estudio de rehabilitación del sistema de alcantarillado de la ciudad: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- Hahn, Margaret. 2000. The development and validation of a sewer inspection prioritization expert system. MS Thesis. University of Washington. p. 1 - 55.
- HMV. 2001. Estudio de actualización del plan maestro del alcantarillado de las cuencas de Salitre y Jaboque. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- Howe, C.W., Linaweaver, F.P., 1967. The impact of price on residential water demand and its relationship to system design and price structure. *Water Resources Research* 3 (1), 13–32.
- Nauges, C., Thomas, A., 2000. Privately-operated water utilities, municipal price negotiation, and estimation of residential water demand: the case of France. *Land Economics* 76 (1), 68–85.
- Nieswiadomy, M.L., Molina, D.J., 1991. A note on price perception in water demand models. *Land Economics* 67 (3), 352–359.
- Nordin, J.A., 1976. A proposed modification on Taylor's demand–supply analysis: comment. *The Bell Journal of Economics* 7 (2), 719–721.
- Posada, J., 2005. Modelo de priorización para la inspección de redes de alcantarillado. Universidad de Los Andes. Bogotá.
- Velásquez, J.S., 2009. Estimación de la demanda de agua urbana residencial: factores que la afectan, conservación del recurso y planteamiento metodológico desde el ordenamiento territorial y las medidas de conservación. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Vindas, J.C., 2003. Modelo para la cuantificación y desagregación de las pérdidas en sistemas de agua potable. *Revista Evolución*, Vol 3 No1.

El diálogo con Grupos de Interés como constructor de capital cívico

Mauricio Montoya Piedrahíta
Profesional de Relaciones Externas
mauricio.montoya@epm.com.co

Resumen

El relacionamiento, entendido como la comunicación simétrica y efectivamente bidireccional con las diferentes audiencias y en particular con los grupos de interés, es hoy un imperativo por la evolución en algunos conceptos -como Gobierno Corporativo o RSE-, por convicciones de carácter ético y por el auge de los nuevos medios de comunicación on line. En ese contexto, una empresa ya no es libre de relacionarse o no con sus grupos de interés; sencillamente está involucrada de hecho, pues estos son los tiempos de la transparencia y la rendición de cuentas. Dada esta condición, el relacionamiento con grupos de interés tiene al menos dos grandes utilidades para las empresas que este artículo explora. La primera tiene impacto principalmente hacia adentro y está en la potenciación de la capacidad de aprendizaje y de innovación de las empresas. La segunda se expresa sobre todo hacia afuera en la construcción de capital cívico, un asunto que concierne a todas las empresas, pero sobre todo a aquellas de propiedad pública.

Palabras clave

Relacionamiento, engagement, responsabilidad social empresarial, grupos de interés.

Uno

Los tiempos de la participación y la transparencia exigidas

En una compañía de generación de energía, la directora ambiental tuvo unas semanas de pesadilla en los días previos y posteriores a dos visitas de auditoría por parte de los banqueros internacionales, proveedores del capital para las obras civiles y los componentes electromecánicos más importantes. De manera recurrente ve en sueños cómo se desborda un río y arrastra a nueve pequeñas casas de campesinos que se ahogan con hijos, animales y enseres, sin que nadie haga nada. El caudal se va profundizando en un cañón de apocalipsis y el paisaje se copa todo por agua lodosa.

Además de la logística de las visitas, esta ejecutiva y su equipo han estado preparando la información que deben suministrar, haciendo contactos con las comunidades y grupos de oposición que los auditores han pedido ver; y también negociando porque saben que ellos quisieran una reunión privada que, a juicio de la compañía y de los propios auditores, no tiene sentido porque ya han acordado ventilar toda la información encima de la mesa.



Adicionalmente han tenido que lidiar con algunas protestas de estudiantes que consideran que una vía que pasa junto a una granja-escuela atenta contra la educación, mientras que un sindicato estatal quiere que algunas de las comunidades reemplacen los acuerdos hechos por otros, teniendo como base una indemnización económica.

Varios de estos asuntos están publicados en la prensa local y tienen eco en Internet. La comunicación oficial de la empresa no es suficiente para muchos de los involucrados y un buen número de decisiones son controvertidas en espacios públicos. No existe una única verdad con límites claramente trazados. Hay que gestionar versiones con fronteras difusas y traslapes, hacer acuerdos, explicar, escuchar, reinterpretar. Estrés. Pesadilla.

Es un hecho que el auge de los medios de comunicación on line, y en particular los que permiten un cierto grado de acción coordinada entre grupos de personas como son las redes sociales, están abriendo nuevas alternativas de participación de las personas y por lo tanto de capacidad de exigencia para las organizaciones empresariales y gubernamentales.

La verdad, esa entidad única e inequívoca, casi siempre idéntica y simétrica con las voces oficiales, en estos tiempos empieza a ser indexada entre muchas versiones, casi tantas como la cantidad de grupos existentes con capacidad de emitir una con coherencia y audiencia. Conceptos como “información reservada”, “comunicación estratégica” y “formas convenientes de presentación”, tan usados arquetípicamente en comunicaciones, empiezan por lo menos a reconfigurarse. “Nada hay oculto” parece ser un paradigma con mayor sentido estos tiempos, para bien y para mal.

Para mal, si se pone el punto de mira desde el derecho a la privacidad y a la existencia del secreto, una cuestión por lo demás recubierta de una complejidad por fuera del alcance de este escrito. Sin embargo, con el fin de preservar el hilo de la exposición de las ideas, sería suficiente con reconocer en lo fundamental ese derecho, aún para las personas públicas; y por supuesto para organizaciones con o sin ánimo de lucro que tienen en esa salvaguarda una de sus más importantes ventajas competitivas.

Hay quienes piensan que los medios de comunicación actuales, basados en la red y tecnologías wiki no ponen necesariamente en peligro esos derechos, pero sin duda presionan para que no nos sea ocultado lo que carece de motivos para estarlo, bien porque implica a otros o porque la información ha sido obtenida de manera ilegal.

La transparencia, ese ideal planteado por la arquitectura de la primera mitad del siglo XX -“la transparencia universal de los materiales constructivos, la penetración espacial y el ubicuo flujo de aire, luz y movimiento físico” que propone Le Corbusier, o “la continuidad espacial y visual entre el interior y el exterior” de que habla Sigfreid Giedion (1)-, parece encontrar en estos tiempos clara resonancia en la reinención de la relación entre lo público y lo privado, el punto de vista positivo del asunto. Es cierto que el conocimiento de los procesos no otorga control pleno sobre ellos, pero es innegable que les incorpora un elemento nuevo de control y de límites.

En la revista *Mercadeo y Publicidad.com*, Luciano Corbella señala que con el crecimiento e impacto crecientes de las redes sociales “los grupos de interés no esperan como antes pasivamente a que se les hable, sino que son más críticos y demandan participar en la creación de contenidos o productos, y tienen más canales de comunicación para interrelacionarse con sus pares, ejerciendo presión, la que puede ser positiva o negativa” (2). La posibilidad de denuncia, de convocatoria y de visibilidad de temas relevantes replantean la comunicación de las empresas. No son suficientes los medios unidireccionales y asimétricos convencionales, en los que las publicaciones impresas o incluso digitales colgadas en la web bastaban para mantener una relación basada en la información. Asistimos en cambio a un escenario en el que es necesario también recibir información, dialogar, acordar sentidos e incluso construcciones de nuevos mensajes.

Corbella concluye, tal vez un poco a la ligera, que las empresas deben usar, de acuerdo con la tendencia de las audiencias nuevas y de los grupos de interés, las redes sociales como medio de comunicación empresarial, y capitalizar así su poder viral, de inmediatez y de intercambio de ideas. “Si una empresa sabe utilizar adecuadamente la retroalimentación (buena o mala) de sus grupos de interés, contesta sus dudas y comentarios con honestidad, los resultados positivos se darán tarde o temprano”, apunta, pensamos que con toda razón pero sin el suficiente alcance, si tenemos en cuenta que el poder de estas redes no es absoluto, y aunque necesario resulta insuficiente para prácticas de relacionamiento organizado y responsable por parte de las empresas.

Una digresión ilustrativa acerca del poder relativo pero no desmesurado de las redes sociales aparece en un artículo del escritor inglés Malcom Gladwell, quien trata de poner en su sitio el supuesto del alcance de estas redes. Dice que ellas son apenas capaces de crear lazos débiles, lazos que son nuestra mayor fuente de ideas nuevas e información: “Internet nos permite sacar provecho de esas conexiones distantes con maravillosa eficiencia. Es magnífico para la difusión de la innovación, la colaboración interdisciplinaria, para relacionar continuamente a compradores y vendedores, y para las funciones logísticas del mundo de la citas. Pero los lazos informales rara vez remiten a un activismo de alto riesgo”, (3) es necesario para que realmente haya cambios estructurales, que por su parte requieren de verdadera adhesión, disposición a correr riesgos y sujeción a una estructura jerárquica organizada, aspectos que no tienen -y tal vez no tendrán- ni twitter ni facebook.

Pero no por ello debe desconocerse que estas redes ponen a grandes grupos sociales de toda índole en planos de interlocución, exigencia y, como contraparte, demandan un flujo de información social, política y económica de todas las instituciones, incluyendo las empresas, que las vuelvan más confiables y aceptadas. Legítimas.



Dos

Relacionamiento y diálogo con grupos de interés.

La identificación de esos adicionales al uso de las redes sociales que requiere el relacionamiento con los grupos de interés, necesitaría aclarar en principio a qué alude el concepto; una idea a la que puede llegarse desde la distinción entre el relacionamiento transaccional en el que las organizaciones han venido avanzando de manera importante desde los desarrollos del mercadeo y servicio al cliente, y el concepto de “Engagement” o diálogo con los grupos de interés, que emerge y sólo se entiende dentro de la noción de Responsabilidad Social Empresarial.

Lo transaccional se instrumenta desde dos direcciones, lo cual de algún modo se asemeja a una configuración de diálogo indirecto, aunque provisto sin duda de contacto en muchos de sus momentos, normalmente identificados como momentos de verdad. En la dirección exterior-interior se identifican, entre otras, prácticas de reconocimiento del mercado, de los públicos e incluso de los grupos de interés como estudios de mercado, de satisfacción, de reputación, monitoreos de entorno y de riesgos, programas de inteligencia competitiva y algunos otros etcéteras.

Las empresas suelen capitalizar esta información en respuestas al mercado que se traducen en modos de hacer la comunicación comercial y corporativa, así como en prácticas de contacto que suelen tener una muy saludable diversidad a la que contribuye el cada vez más creciente auge y vitalidad del BTL (4), los eventos de relaciones públicas, los contactos en atención al cliente, los buzones de sugerencias y los mecanismos de atención de quejas en las líneas más clásicas, así como la comunicación educativa, la gestión social o las mesas de diálogo con grupos específicos, en vertientes más de avanzada y que rebasan el esquema comunicacional basado en la emisión y el mensaje. Esta línea de relacionamiento no sólo agrega valor a las empresas en su dimensión de mercados, sino que con frecuencia facilita una operación inteligente de sus procesos.

A partir del surgimiento de la teoría de la agregación de valor para los stakeholders, y del reconocimiento explícito de la empresa como elemento interdependiente de los demás del sistema social, ambos base conceptual para el entendimiento de la Responsabilidad Social Empresarial, el relacionamiento avanza un interesante tramo al aceptarse que la actuación empresarial no es más unilateral y omnimoda y, por tanto reconoce la necesidad de modos específicos de concepción e instrumentación de diálogo con grupos de interés.

En una conferencia del V Encuentro Internacional de RSE realizado en Cali en 2010, Diana Chávez Varela, Directora del Centro Regional para América Latina y el Caribe en apoyo a Pacto Global, puntualiza la visión que tiene el Pacto Global sobre las características de este tipo de relacionamiento, al prescribir que se debe “pasar de lo estratégico a la honestidad, del monólogo al diálogo, de espectadores a hacedores”. Y además, “capitalizar el diálogo para hacer innovación, conocer los límites para no sustituir a otros actores, responsabilizarse de la gestión y establecer alianzas.” (5)

Esta visión coincide en sus elementos fundamentales con la de la ONG inglesa Accountability, desarrollada en extenso en una guía de relacionamiento con grupos de interés publicada en 2005 conjuntamente con el programa de medio ambiente de las Naciones Unidas -UNEP- y Stakeholders Research Associates, en la que se establecen la relevancia, la exhaustividad y la respuesta como bases y fundamentos del diálogo (6). La relevancia es el eje estructurador de las relaciones en torno a temas que sean de interés recíproco para los participantes, esto es, para empresa y grupos de interés, lo cual contribuye a encauzar y enfocar la relación dentro de marcos que apunten a un impacto real, dejando de lado lo espurio o que pudiera sustituir responsabilidades de otros.

La exhaustividad, por su parte, exige el análisis sistémico de las implicaciones de los temas relevantes, de manera que se incluyan todos sus posibles aspectos y los efectos que éstos o las intervenciones sobre los mismos tengan frente a otros temas, grupos de interés o actores sociales. Por último, la respuesta es no sólo la obligación adquirida por el diálogo de actuar sobre aquello que se ha identificado como relevante o de interés común y comunicarlo, sino que tales actuaciones sean proporcionales con las capacidades de la empresa.

Se registra como una tendencia mundial el crecimiento de este tipo de relacionamiento y diálogo, visible sobre todo en el crecimiento de los reportes bajo metodologías que las promueven, como la del Global Reporter Initiative -GRI-, tendencia que a su vez responde al reconocimiento cada vez más evidente de las oportunidades que aporta a las compañías. Chávez Varela registra algunas desde la perspectiva del Pacto Global: “Permite involucrar temas críticos y grupos de interés críticos con la estrategia; romper el temor al diálogo, participar en la formación de mercados y consumidores más conscientes y contribuir a la construcción de equidad social, una condición cada vez más imperativa para la viabilidad de las empresas”, dice.

Por su parte el Manual de Relacionamiento UNEP es aún más contundente; y en la misma línea que se expone al comienzo de este artículo, describe cómo el diálogo con los grupos de interés ha dejado de ser discrecional, para lo cual identifica tres generaciones, que más que eso son estadios de desarrollo del diálogo según la madurez y nivel de aprendizaje de las organizaciones.

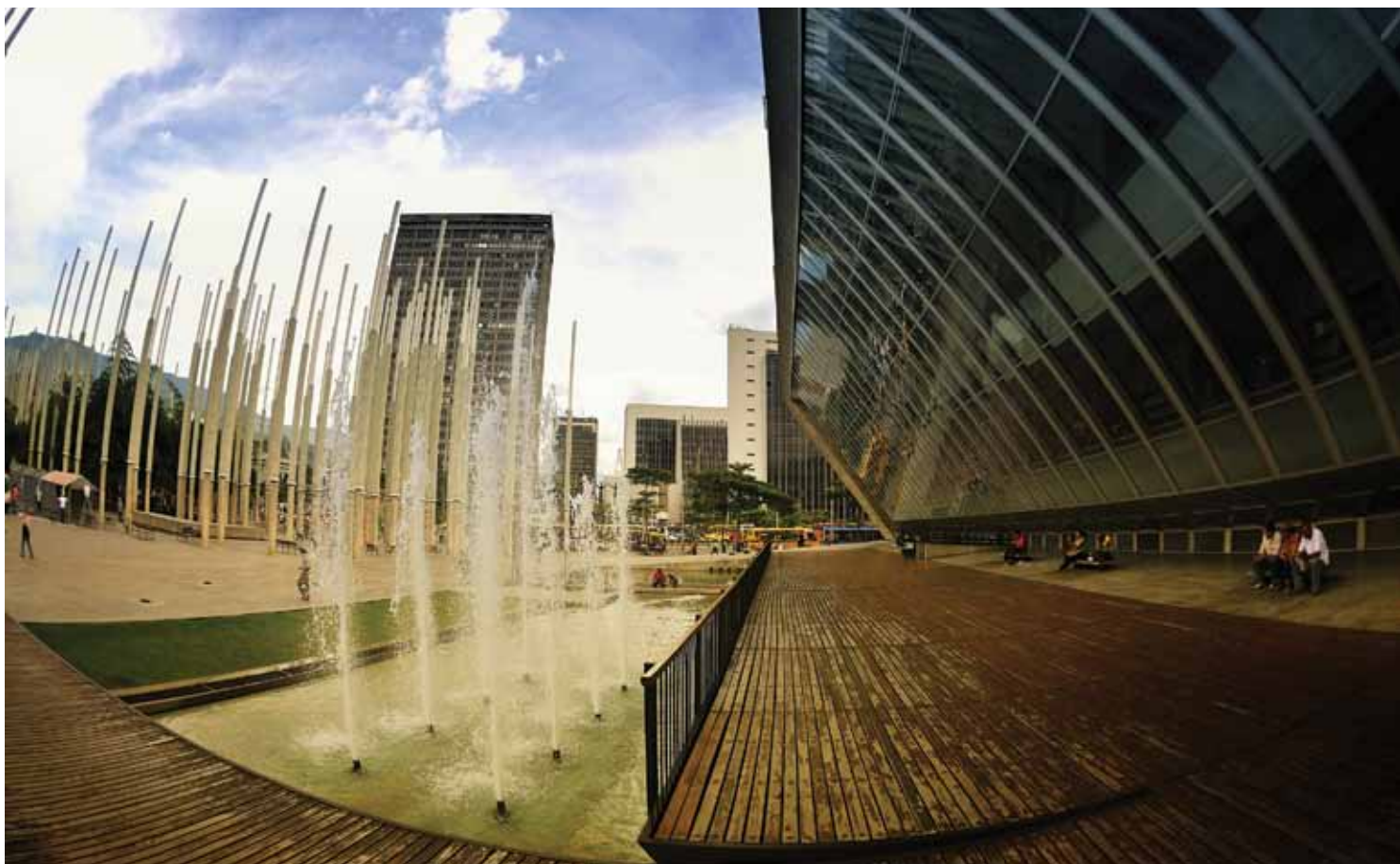
La primera generación o momento es reactivo y corresponde a la convocatoria bajo presión que la empresa debe hacer para mitigar impactos sobre asuntos focalizados, buscando por lo tanto los beneficios localizados y puntuales. En un segundo momento o generación, las empresas entienden que una relación sistemática, organizada y continua con los grupos de interés es un elemento importante de la gestión de riesgos y buscan capitalizarla a través de una comprensión más profunda de los grupos de interés.

Pero idealmente debe existir una tercera generación que, además de considerar la relación de manera integral y estratégica, busque en el diálogo con los grupos de interés la competitividad sostenible de la empresa (7), momento al que apunta el estado del arte en el relacionamiento con grupos de interés, tal como lo está haciendo EPM con su Modelo de Relacionamiento con Grupos de Interés, formulado entre 2009 y 2010, profundizando en elementos conceptuales de implementación o instrumentales y estratégicos.

Desde lo conceptual, este modelo instala en la noción de Ciudadanía Corporativa el centro de gravedad para la relación con los grupos de interés, a partir de una definición simple de este concepto formulada por el Instituto Argentino para la Responsabilidad Social Empresaria -IARSE-:

“En tanto la empresa constituye en sí misma una unidad o célula cada vez más trascendente del tejido social, es acertado comprenderla y orientarla desde los siguientes siete aprendizajes esenciales que configuran su ciudadanía:

- *Aprender a no afectar negativamente a otras organizaciones, instituciones, grupos sociales o personas*
- *Aprender a comunicarse*
- *Aprender a interactuar*
- *Aprender a decidir multilateralmente*
- *Aprender a cuidarse*
- *Aprender a cuidar el entorno y en él a su red social*
- *Aprender a valorar el saber social y el conocimiento”* (8)



En el modelo EPM, este centro articula los elementos que resuenan sobre todo a partir de la dimensión interna de la empresa, como son la sostenibilidad, el entendimiento de la empresa como parte de una red social, su responsabilidad y su compromiso, con otros claramente situados en el entorno como son el Estado Social de Derecho y el desarrollo social.

Mirado así en conjunto y contexto, el relacionamiento no es un tema menor sino una poderosa oportunidad para que una empresa construya sociedad y cimiente su propia sostenibilidad. De ahí que de acuerdo con los principios del relacionamiento en el modelo EPM, “el conocimiento y coherencia interna frente a la RSE deben proyectarse al medio contribuyendo a la construcción de un concepto público de sostenibilidad desde los temas de relacionamiento, y al desarrollo institucional desde la innovación en actuaciones colaborativas frente a dichos temas” (9).

A partir de estos principios -conocimiento y coherencia interna, contribución al interés público y desarrollo institucional- el relacionamiento se debe instrumentar desde una muy amplia gama de estrategias de contacto, de acuerdo con cada grupo de interés, su condiciones particulares en conocimiento, capacidades, conectividad, entre otros; y por supuesto alineados con el interés estratégico de la empresa, pues tales principios no riñen con el fuero propio para definir hasta dónde es conveniente y posible abordar la relación.

Adicionalmente requieren de un cierto nivel de organización de los propios grupos de interés, comenzando por una vocería legítima y calificada y pasando por posibilidades de participación y atributos de confianza.

Pero estos elementos no son necesariamente provistos eficazmente por las sociedades ni por los modelos democráticos, lo cual impone esfuerzos adicionales a las empresas, que por lo demás representarían una importante retribución pues es más eficaz la actuación empresarial en climas de confianza y con organizaciones sociales estables, que en medio del desorden. Construir democracia y capital cívico es al mismo tiempo un aporte y un rédito del relacionamiento con grupos de interés.

Tres

Las imperfecciones de la democracia

Edgar Morin invita a enseñar la democracia como uno de los saberes necesarios en la educación del futuro y a pensar en los desafíos que para lo social suponen sus imperfecciones. Son planteamientos que nos sirven para ilustrar la necesidad y conveniencia de la participación de los individuos y los grupos dentro de la organización social, lo mismo que para identificar, al menos en principio, los aspectos cruciales en los que habría que contribuir.

Dice Morin: “La democracia se funda en el control del aparato del poder por los controlados” y permite “la regeneración continua de un lazo complejo y retroactivo: los ciudadanos producen la democracia que produce los ciudadanos”. (10) En las sociedades democráticas las personas y las instituciones tienden a construir responsabilidad, pues pueden expresar sus deseos e intereses, y al mismo tiempo comprender y solidarizarse con los deseos e intereses de otros y del colectivo. Al omitir esta posibilidad, el totalitarismo exige también de esa responsabilidad, pues es el control el que asume el deseo y el interés del otro.

El autor nos alerta sobre los problemas de una concepción simplista de la democracia que a veces la aproxima al totalitarismo, sobre todo cuando se asume sin más que ésta es, sin más, la soberanía del pueblo, instrumentada desde unas reglas que otorgan el poder a la mayoría y que requieren consenso. Aunque este es el principio básico, la alerta se establece en la necesidad de ir más allá pues en las sociedades existen también las minorías y las divergencias, lo cual implica que la democracia “también necesita de la diversidad y de los antagonismos” (11), toda vez que en su esencia es clave el vínculo con lo diverso.

En los conflictos de ideas y opiniones las sociedades encuentran vitalidad y productividad; el signo de lo democrático es la admisión de lo herético, lo diverso, lo desviado de la media, una idea que Morin asimila a la biodiversidad, necesaria y valiosa para la biosfera, como también es necesaria y valiosa la otra para el progreso de las ideas y de las sociedades.

Lo particular de la democracia es que estos antagonismos están regulados y reglados y no se dirimen mediante luchas físicas, sino mediante debates y elecciones donde siempre hay un vencedor provisional que se compromete a aplicar estas ideas y a considerar las otras mientras hay nuevos debates y nueva contiendas.

Morin entiende la democracia como un sistema político complejo que vive de pluralidades, competencias y antagonismos preservando como base y condición la comunidad. Sin embargo tal condición no está uniformemente instaurada, pues asistimos, según Morin, a democracias incompletas o inacabadas.

La exclusión total o parcial de algunos grupos de población en cuanto a derechos, oportunidades o posibilidades de acceso al trabajo o a la vida pública; o las dificultades para instrumentar mecanismos de consulta lo cual hace que se tomen decisiones que implican a la gente, sin tenerla en cuenta; o incluso el traslado de la toma de decisiones a expertos y tecnócratas, con el argumento de que son ellos quienes tienen los elementos necesarios para determinar lo conveniente por encima del sentir de los implicados, serían apenas algunas de las evidencias de estos huecos en los sistemas democráticos. Todo esto configura una suerte de bucle pernicioso en el que estas imperfecciones refuerzan la apatía y la autoexclusión de los ciudadanos, lo cual destruye civilidad y confianza.

La reflexión que se impone es acerca de la resonancia que esto tiene sobre las organizaciones empresariales, que típicamente han basado su eficiencia en la obediencia y en relaciones de autoritarismo y jerarquía. Morin admite que por ello en la empresa lo democrático tiene limitaciones, pero también introduce una pregunta que se impone en los tiempos de los medios on line: tal vez dentro de la lógica empresarial se “puede lograr otra eficacia haciendo llamado a la iniciativa y a la responsabilidad de los individuos o de los grupos”. (12)

La hipótesis que plantea este artículo es que sí, que hay un potencial de generación y de protección de valor en el relacionamiento con los grupos de interés, en la incorporación del diálogo como práctica estratégica, y por lo tanto en la construcción o regeneración de democracia. Y es ésta una de las utilidades centrales del diálogo.

Cuatro

El relacionamiento para qué: aprendizaje organizacional y construcción de capital cívico

El modelo de relacionamiento que propone UNEP hace la siguiente relación de utilidades de las relaciones efectivas y estratégicamente alineadas con los grupos de interés:

- Facilitar una mejor gestión de riesgo y reputación
- Permitir que las empresas aprendan de sus stakeholders, lo que genera mejoras de productos y procesos
- Desarrollar la confianza entre una empresa y sus stakeholders
- Posibilitar la comprensión del contexto complejo de los negocios, incluso el desarrollo de mercados y la identificación de nuevas oportunidades estratégicas
- Informar, educar e influenciar a los stakeholders y al entorno empresarial para mejorar sus procesos de toma de decisiones y las acciones que afectan a las compañías y a la sociedad
- Conducir a un desarrollo social más equitativo y sostenible al brindar una oportunidad de participar en los procesos de toma de decisiones a quienes tienen derecho a ser escuchados
- Permitir la combinación de recursos (conocimiento, personas, dinero y tecnología) que resuelva los problemas y alcance objetivos que las organizaciones no pueden lograr de forma independiente (13)

Una mirada a esta enumeración nos indica claramente una perspectiva de aproximación transparente y de confianza de la empresa con sus grupos de interés, con el fin de gestionar con anticipación factores de riesgo, conseguir su lealtad y mantener cercanía. De hecho, la palabra riesgo aparece mencionada en este documento más de 60 veces.

Una segunda perspectiva observable es la del aprendizaje organizacional, no solamente como inductor de innovación para el desarrollo de ofertas que agreguen valor social y económico, sino además para la comprensión del entorno, el monitoreo de las estrategias y la construcción de escenarios futuros.

En estas dos perspectivas las empresas suelen contar con capacidades o líneas de fortalecimiento de estas capacidades para canalizarlas, procesarlas y convertirlas realmente en aprendizaje; esto es, para instalar la información obtenida como conocimiento en los grupos de trabajo, alimentar con ello los procesos y producir finalmente una mejora o un servicio o un producto nuevos, una decisión y una política empresarial que tenga capacidad de mejora para la empresa y para los interesados. Sin duda sería admisible la reflexión y la evaluación sobre las maneras más eficaces de capitalizar estos aprendizajes (14).

Y hay una tercera de perspectiva de utilidad en el relacionamiento con grupos de interés, sobre la que queremos hacer un despliegue un poco más en extenso, pues es una particularidad encontrada para EPM y que es extrapolable a otras empresas similares y de propiedad pública: la construcción de equidad y sostenibilidad.

En este caso, y de acuerdo con el hilo discursivo de este artículo, es central la construcción de institucionalidad y sociedad a través de la participación, noción que nos lleva al capital cívico, un componente del capital social, a su vez clave en la institucionalidad, el Estado de Derecho y, finalmente, el Desarrollo Humano Sostenible.

El entendimiento de este asunto implica comenzar por la comprensión de los términos. Renato Caporali Cordeiro, en “De la riqueza de las naciones a la ciencia de las riquezas”, identifica al capital social como un conjunto compuesto por conocimiento, infraestructura, medio ambiente, capital cívico o capacidad de organización y capital simbólico, o la manera como una sociedad es capaz de producir significados, de entender las cosas (15). Los modos como este capital se preserva, construye, circula y reproduce es un indicador de riqueza para un grupo social. Tal vez sean demasiado evidentes los primeros tres elementos, y no tanto los dos últimos.

Lo simbólico se refiere a cómo una sociedad profundiza sus modos de ser, sentir y actuar; cómo por ejemplo tolera o no las diferencias, cómo asume la injusticia, cómo resuelve los asuntos de inconformidad con el gobierno. Actitudes como la indolencia, la resistencia pacífica o la reacción violenta serían parte de la configuración de este elemento en una sociedad determinada.

De acuerdo con Caporali, el capital cívico comprende los mecanismos de organización y participación de la sociedad civil en la provisión de bienes y servicios públicos, y la organización del Estado para poner en práctica soluciones orientadas a garantizar el bienestar colectivo.

Sin embargo, otros autores como los que recopila Enrique Gil Calvo en “El eclipse del capital social” (16), son más taxativos en su identificación. Para Gil, existen dos tipos de capital social, el civil o asociativo y el cívico o participativo, ambos afines entre sí pero al tiempo con una alta autonomía relativa.

Básicamente se llama capital social a la existencia de redes civiles voluntarias en una sociedad; redes que comúnmente son identificadas como “tercer sector”, dado que median entre gobernantes y gobernados, y actúan de manera independiente de las leyes del mercado y el capital. Pero se necesita un algo más, pues la sola existencia de redes no es necesariamente riqueza social; de hecho, dice Gil, hay redes clientelares y mafiosas que destruyen valor social.



Ese algo más, ese catalizador que permite que las redes sociales funcionen y aporten al desarrollo colectivo, es la confianza, un elemento que al mismo tiempo incide sobre el éxito económico pues impulsa la acción empresarial y la calidad de la democracia, toda vez que atrae la participación y el involucramiento. Por lo tanto, concluye Gil, capital social es confianza más que asociatividad.

De ese modo estamos en el segundo componente, lo cívico o lo participativo. Cuando los ciudadanos se vinculan en relaciones de confianza entre sí y con sus autoridades, en una relación asimétrica o vertical, se produce el capital cívico, que propicia la participación ciudadana.

Por oposición, su principal problema es la existencia de una brecha entre la gente y las autoridades, de manera que ésta se desentiende de la cosa pública que les atañe. Limitarse a participar en elecciones, con tasas altas de abstencionismo, en la práctica una renuncia al derecho de participar, sería una evidencia de esta brecha que por demás, dice el autor, conviene a las autoridades, que de algún modo se benefician de esa renuncia y se instauran en un cierto “absolutismo incívico”.

Gil señala que prácticas como las de presupuesto participativo -creada en Porto Alegre, Brasil, e instrumentada en varias ciudades, entre ellas Medellín-, o centros cívicos de proximidad como parques o sitios de reunión y de cultura, buscan revitalizar el capital cívico, poniendo a los gobernantes en planos de igualdad con los ciudadanos.

Pero ello necesita empoderamiento por parte de los ciudadanos y capacidad del tejido social para asumir sus propias responsabilidades mediante el otorgamiento de poder a los ciudadanos, con el cuidado necesario para no caer en el paternalismo o sustitución de roles, en el clientelismo de mercado de manera que sea la ley de la oferta y la demanda la que regule toda participación, o en la asimetría de la información de tal forma que ésta se convierta en un factor de exclusión para algunos grupos.

En el mismo sentido que Morin, Gil constata, basado en Robert Putman y en Francis Fukuyama, que asistimos a un declive del capital social, lo cual es particularmente grave para sociedades como la nuestra, provenientes de la cultura latina en la que históricamente la cohesión, la confianza, los propósitos comunes, no han sido marcas culturales profundas.



Aunque no existe una metodología extendida y aceptada para medir capital social, fenómenos como los movimientos de contracultura que emergen desde los años 60 o el descrédito generalizado de la política, apoyarían esta hipótesis que, además presenta causas como la globalización que impregna cierto desarraigo en los ciudadanos y menor filiación con los estados, cada vez menos autónomos y más interdependientes. El ciudadano, se agrega, no se siente sujeto sino objeto de las leyes globales y de mercado.

Se mencionan también otras evidencias que se expresan en círculos de interacción más cerrados: las nuevas tecnologías que sustituyen la necesidad de las redes humanas y facilitan la individualidad (ya no es necesario, por ejemplo, coincidir con otros para ver un partido de fútbol porque puede grabarse y acomodarse al horario propio), la tercerización del trabajo y la movilidad laboral e incluso geográfica, con la cual se dificulta la construcción de vínculos y amigos duraderos que animen a relaciones y compromisos de grupo.

Lo paradójico es que existe correspondencia entre capital social y bienestar observable en los modelos existentes. Gil Calvo describe cuatro modelos de capital cívico que encajan con un alto nivel de correspondencia con el grado de desarrollo de las sociedades que en que se dan:

“De este modo tenemos cuatro modelos distintos (de capital social). Primero, el modelo nórdico, típico de Escandinavia y los Países Bajos, que presenta elevados niveles tanto del capital cívico como del capital civil. Después dos modelos opuestos, que exhiben elevados niveles de una forma de capital social y bajos niveles del otro; es lo que sucede con el modelo liberal o anglosajón, típico de Norteamérica y el Reino Unido, que es rico en capital civil y pobre en capital cívico; pero frente a ello tenemos el opuesto modelo burocrático o jacobino, típico de Francia o Alemania, rico en capital cívico y pobre en capital civil. Y finalmente está el modelo latino-mediterráneo, típico de Italia y España, que presenta bajos niveles tanto de capital cívico como de capital civil.” (17)

En consecuencia, se impondría para las sociedades el reto de la reconstrucción del capital social. Gil Calvo propone crear instituciones mediadoras capaces de tender puentes que salven las fisuras abiertas en el tejido civil del capital social, de tal modo que los ciudadanos multiculturales puedan cruzarlos en uno y otro sentido; instituciones que deben ser públicas, que cumplan funciones mediadoras con los ciudadanos, que sean festivas, como las promotores de deportes y cultura, y cívicas propiamente dichas como partidos políticos, sindicatos y entidades sociales.

Y también privadas, que por propia iniciativa ejerzan funciones de intermediación como podrían ser las agremiaciones, o incluso las mismas empresas que en tal caso podrían ser, de acuerdo con el autor, integradoras de varias dimensiones, según tipos de empresas y posibilidades. ¿Cómo hacerlo? Prácticas de relacionamiento continuas organizadas y estratégicas son al mismo tiempo un cómo y una fuente de ideas para otras prácticas.

¿Y por qué hacerlo? Una frase hecha con la que hace unos años se justificaba la Responsabilidad Social Empresarial podría ser suficiente: “no hay empresas exitosas en sociedades fallidas”; y se agrega: la institución empresa funciona mejor en alianza con una institucionalidad fuerte ejercida dentro del Estado de Derecho.

De ello existe al menos una evidencia, analizada por Jaime Millán en “Entre el Estado y el Mercado; tres décadas de reformas en el sector eléctrico de América Latina” (18). Para Millán, el éxito de algunas empresas estatales, como EPM en Medellín, ICE en Costa Rica y COPEL en el Estado de Paraná en Brasil, se explica por una eficiente explotación hecha de la riqueza hidroeléctrica a través de un recurso humano capaz.

Pero, señala, la gran diferencia se encuentra en la existencia de capital cívico en esos territorios que se evidencia en el ejercicio por parte de los ciudadanos de una forma de control de las empresas que ha impedido cooptación por parte de intereses particulares, políticos o privados. Ese control social hace que las empresas estatales sean eficientes; pero es también necesario para que haya un orden legal adecuado y suficiente y los agentes privados puedan actuar con orden.

Parece ser, en conclusión, que el capital social es un factor de riqueza para las sociedades en el que las empresas tienen un aporte decisivo para hacer desde el relacionamiento con los grupos de interés. Y a partir del cual pueden capturar y proteger valor.

Apéndice

Definición de algunos términos claves mencionados en este artículo

Relacionamiento:

La acción de generar un vínculo con los clientes, con el propósito de aumentar su lealtad, retención y, por último, su fidelidad con su marca, productos o servicios. Fuente: <http://www.es.masterbase.com/recursos/glosario.asp>

Engagement o diálogo con Grupos de Interés:

(Diálogo social). Negociación, consulta o simple intercambio de información entre o dentro de los representantes de gobiernos, empleadores y trabajadores, sobre temas de interés común relacionados con política económica y social.

NOTA: en esta Norma Internacional, el término “diálogo social” se utiliza sólo en el sentido aplicado por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) Fuente: Borrador ISO 26000, Pg.19

Gobierno Corporativo:

“El gobierno corporativo abarca un conjunto de relaciones entre la administración de la empresa, su consejo de administración, sus accionistas y otras partes interesadas. También proporciona la estructura a través de la que se fijan los objetivos de la compañía y se determinan los medios para alcanzar esos objetivos y supervisar el desempeño”. “En su sentido más amplio, el gobierno corporativo consiste en mantener el equilibrio entre los objetivos económicos y los sociales entre los objetivos individuales y los comunitarios. El marco de gobierno se establece con el fin de promover el uso eficiente de los recursos y, en igual medida, exigir que se rindan cuentas por la administración de esos recursos. Su propósito es lograr el mayor grado de coordinación posible entre los intereses de los individuos, las empresas y la sociedad. El incentivo que tienen las empresas y sus propietarios y administradores para adoptar las normas de gestión aceptadas a nivel internacional es que ellas los ayudarán a alcanzar sus metas y a atraer inversiones. En el caso de los Estados, el incentivo es que esas normas fortalecerán sus economías y fomentarán la probidad de las empresas” Fuente: La definición es tomada de Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, Principios de Gobierno Corporativo de la OECD, 2004, y esta citada en el borrador de la ISO 26000.

Transparencia:

1. La transparencia de la organización frente a sus partes interesadas (Stakeholders) consiste en la visibilidad de sus decisiones administrativas, transacciones y demás actividades que la organización desarrolle. GTC 180 Responsabilidad Social, Pg. 5

2. Apertura respecto a las decisiones y actividades que afectan a la sociedad, la economía y el medio ambiente (2.6), y voluntad de comunicarlas de manera clara, exacta, oportuna, honesta y completa. Fuente: Borrador ISO 26000, Pg.20

Desarrollo Humano Sostenible:

Concepto incluido en la carta de Naciones Unidas, que une el desarrollo sostenible y el desarrollo humano, de modo que no sólo genera conocimiento sino que distribuye sus beneficios equitativamente, regenera el medio ambiente en vez de destruirlo, potencia a las personas en vez de marginalizarlas, amplía las opciones y oportunidades de las personas y les permite su participación en las decisiones que afectan sus vidas. Fuente: SDS EPM, para el Foro de RSE. Por otro lado, este concepto se asocia al Índice de Desarrollo Humano, IDH, que mide esperanza de vida, acceso al saber y bienestar material.

Notas:

1. Le Corbusier fue un teórico de la arquitectura, arquitecto, diseñador y pintor suizo nacionalizado francés, considerado uno de los más claros exponentes del Movimiento Moderno en la arquitectura. Creía que la arquitectura era una manera de cambiar el mundo y las relaciones y, entre varios otros postulados, concebía transparencia en las edificaciones. Sigfried Giedion por su parte es un historiador de la arquitectura. Ambos aparecen citados en un blog anónimo que comentaba las filtraciones de WikiLeaks ocurridas a finales de 2010.

2. Mercadeo y publicidad.com
<http://mercadeoypublicidad.com/Secciones/GenteYopinion/DetalleGente.php?recordID=14981&PHPSESSID=21168e09fc7abbecbf613c031fab3c5e> - Consultado diciembre 27 - 2010.

3. Malcom Gladwell - Revista El Malpensante #114 - Noviembre 2010 Pp 15 a 23.

4. BTL es la sigla de Below The Line, un tecnicismo publicitario para distinguir el ATL, Above The Line, que se refiere a los medios clásicos de la publicidad, avisos de prensa, cuñas de radio, comerciales de televisión y vallas. El BTL agrupa todo tipo de acciones que por lo general implican contacto con las audiencias, como stands, eventos, obras de teatro y muchas otras.

5 Tomado de notas personales y de material ppt de una ponencia de Diana Chávez Varela - Directora del Centro Regional para América Latina y el Caribe en apoyo a PG, en el V Encuentro Internacional de RSE, ANDI, Cali, septiembre 23 de 2010.

6. UNEP, ACCOUNTABILITY, Stakeholders Research Associates: El compromiso con los Stakeholders: Manual para la práctica de las relaciones con los grupos de interés. Enero 2006.

7. Idem.

8. Modelo de diagnóstico y práctica de relaciones Grupos de interés de EPM - Proceso de Interacción, Informe de etapa 4 - Carlos Fernando Gómez Jaramillo; Claudia Elena Aristizábal Rendón, Angela María de los Ríos Osorio.

9. Idem p11.

10. Edgar Morin: Los siete saberes necesarios para la educación del futuro. UNESCO 1999. P64.

11 op cit.

12 op cit p 66.

13 UNEP, ACCOUNTABILITY, Stakeholders Research Associates: El compromiso con los stakeholders. P 13.

14. El Modelo de diagnóstico y práctica de relaciones Grupos de Interés de EPM reporta en el informe de la etapa 3 una propuesta de fortalecimiento de la capacidad de relación, basado en el modelo de competencias de EPM.

15. CAPORALI CORDEIRO, Renato. Da Riqueza das Nações a Ciência das Riquezas. Belo Horizonte: Edições Loyola, 1994. P.215.

16. Gil Calvo, Enrique. El Eclipse del Capital Social. <http://www.docstoc.com/docs/14919640/%E2%80%9CEl-capital-social-Enrique-GIL-CALVO> . Consultado diciembre 18 de 2010.

17. Idem.

18. Millán, Jaime: Entre el Estado y el Mercado; tres décadas de reformas en el sector eléctrico de América Latina. Banco Interamericano de Desarrollo, 2006.311 pp.

El uso de los biosólidos como una aproximación al cierre de los ciclos biogeoquímicos

*Liliana Acevedo y Carlos Peláez
Grupo Interdisciplinario de Estudios
Moleculares (GIEM) Instituto de Química
Universidad de Antioquia*

Introducción

Los biosólidos son residuos orgánicos obtenidos del tratamiento biológico de aguas residuales, cuya recuperación energética y material puede estar enmarcada en tres aspectos básicos: manejo a nivel ambiental por la aplicación en mercados de carbono, generación de combustibles alternativos por el significativo potencial energético, y su principal o más generalizada aplicación vinculada a programas del sector agrícola, como fertilizante o acondicionador de suelos.

En el presente artículo se analizan algunos aspectos básicos sobre la utilización de los biosólidos como fuente de biomasa y energía, considerando las implicaciones sanitarias, agronómicas y ambientales de su uso.

Palabras claves:

Biosólidos, contaminación, suelos, compost, bio-combustibles, metales pesados.

1. Valoración ambiental

Según Brown (2004) existen tres formas de incrementar las reservas globales de carbono (C) utilizando biosólidos, con lo que se logra la acumulación de créditos de C que suponen una contribución importante en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, además de su reciclaje: la restauración de suelos degradados, la participación en programas para el desarrollo de biocombustibles y la producción de compost.

El C inmovilizado en el suelo comprende una porción importante de la reserva total del C en la biosfera. Sin embargo, los depósitos en tierras tanto agrícolas como de otro uso se han ido reduciendo con el tiempo, pues una gran parte del CO₂ que llega a la atmósfera proviene de la mineralización del C presente en el suelo (Lal et al. 2004; Reicosky, 2008). Los factores responsables son la urbanización, los cambios en el uso de la tierra, prácticas agrícolas convencionales, la minería a cielo abierto y otras actividades degenerativas (Brown et al., 2004; Reicosky, 2009; La Scala et al., 2009). De esta manera, la utilización de biosólidos como fuente de C inmovilizado contribuye a mitigar dicha problemática.



1.1. Restauración de suelos

Para incrementar las reservas globales de C mediante la restauración de tierras, algunos autores sostienen que la evolución de suelos degradados a productivos se puede conseguir con la adición de materiales orgánicos como los biosólidos (Lal et al., 1998; Medina et al., 1999), toda vez que contienen un alto nivel de C y su aplicación tiene el potencial de aumentar el C fijo del suelo (Smith et al., 2000), a tal punto que se ha encontrado que con una sola aplicación las reservas de C son multiplicadas en varios porcentajes, ganando adicionalmente créditos de carbono.

Un estudio reportado por Brown en el 2003, estimó que el porcentaje de C en la superficie de un suelo tratado a lo largo de dos años con biosólidos fue del 13%, comparado con tan solo el 0.4% en un suelo no tratado. Es probable que los altos valores disminuyan con el tiempo a medida que los microorganismos descompongan una parte de la materia orgánica adicionada; no obstante, el C secuestrado tanto en suelo como en plantas es evidente. Los estudios han estimado que, cuando la aplicación de enmiendas para la restauración de suelos incrementa el contenido de C en un 2%, el crédito acumulado equivale a 40 Mg C/ha (Brown, 2004).

1.2. Desarrollo de biocombustibles

También se pueden incrementar las reservas globales de C y devengar créditos de emisiones usando biosólidos para el desarrollo de biocombustibles; específicamente como fuente fertilizante para el cultivo de plantas que se utilizan para la obtención de combustibles alternativos entre los que se incluyen metano, etanol y biodiesel.

Algunos autores han desarrollado procesos con la canola, cuya semilla es utilizada para la producción de biodiesel. Estos procesos usan biosólidos como enmienda fertilizante, estimándose que el cultivo de canola para biodiesel podría resultar en un crédito neto de CO₂ de 2.2 Mg C por acre, los cuales se sumarían al valor fertilizante de los biosólidos (Brown, 2004).

1.3. Producción de compost

Las reservas globales de C también se incrementan mediante la producción de compost. El compostaje estabiliza la materia orgánica del biosólido que se emplea, en gran medida, en jardinería y en restauración de carreteras. No es claro cómo se calcula el balance del C asociado con el compostaje, pero si se considera que el C en el compost es estable y por lo tanto no es mineralizado con el tiempo, es posible entonces relacionarlo con las concertaciones iniciales en los biosólidos inmaduros, para determinar los créditos de C.

Estos créditos son comparables a los que se adquieren por la acumulación de C fijo en el suelo. Los biosólidos por lo general son compostados con residuos ricos en carbono, los cuales se adicionan para fijar el nitrógeno en el biosólido inmaduro. Como resultado se obtiene un compost final con escaso valor fertilizante por lo que es utilizado principalmente como acondicionador de suelos; no obstante en compensación, se logra secuestrar importantes cantidades de N (Brown, 2004) que influyen en la reducción de las emisiones.

2. Valoración energética

Se pueden plantear dos alternativas para satisfacer la dependencia energética de la sociedad contemporánea. Se busca optimizar el paquete tecnológico de la industria petroquímica para maximizar la eficiencia energética y, así mismo, establecer un cambio radical de las fuentes de energía. Este segundo aspecto se refiere a los denominados combustibles alternativos donde juega un papel importante y directo el uso de los biosólidos.

El objetivo de la valoración energética de los residuos es disminuir la dependencia de las energías fósiles y minimizar los impactos ambientales (Castells, X., 2005).

El aprovechamiento energético de los residuos se da por varios mecanismos que pueden ser de carácter térmico o bioquímico, y según las condiciones de trabajo y de materias primas reciben los nombres de combustión directa, gasificación, pirólisis, fermentación etanólica o biogás; estos dos últimos son desarrollados principalmente por fuentes de degradación de materia orgánica (Arenas, 2011), y mientras que para la fermentación etanólica se necesitan ciertos requerimientos de carbohidratos, para la producción de biogás los biosólidos son una fuente inestimable de generación por las condiciones idóneas que ofrecen para procesos de fermentación anaerobia, toda vez que tienen altos contenidos de materia orgánica, nutrientes, poblaciones de microorganismos y humedad. En estos sistemas los gases formados son empleados para la producción de energía eléctrica.

El suministro de incentivos económicos a los sectores productivos que disminuyan sus emisiones, la búsqueda de energías alternativas, el desarrollo de tecnologías que sean más eficientes y la conciencia mundial de austeridad energética son las ideas fundamentales que soportan la necesidad imperante para recuperar los residuos y darles un valor agregado en forma de energía (Ballesteros, A., 2000, Garrigues, A., 2003), especialmente tratándose de los biosólidos que son un componente permanente e imprescindible de la sociedad contemporánea.

3. Valoración agronómica

Si bien los suelos son prioritarios en el desarrollo de la vida también pueden ser víctimas de diferentes intervenciones antropogénicas, en especial las técnicas tradicionales de cultivo que implican deforestación, arados, monocultivos, fertilizaciones, fumigaciones y demás actividades que causan un impacto directo sobre el sustrato y que conducen a un grave deterioro del mismo. La adición de biosólidos se ha ido convirtiendo en una de las alternativas de rectificación de suelos por ser fuente importante de nutrientes y de materia orgánica.

Cuando este tipo de materiales son desviados hacia rellenos sanitarios por su condición de residuos, se rompen los ciclos biogeoquímicos globales incidiendo directamente sobre la disponibilidad de bioelementos y por lo tanto sobre la producción primaria (Benzing, 2001). La sostenibilidad de un agroecosistema está, entonces, estrechamente relacionada con las reservas de materia orgánica; sin embargo, los asentamientos urbanos acumulan tal cantidad de residuos que hoy se han constituido en enormes sumideros de materia, con importantes desbalances suscitados en las redes agrícolas (Restrepo N. 2010, Peláez C., 2005).

Puesto que la sostenibilidad está relacionada con la reposición de la materia y ésta a su vez con los productos de la recuperación de los residuos orgánicos, se plantea la posibilidad de utilizar los biosólidos como fuente de dos productos básicos para la producción de alimentos: compost y fertilizante mineral-orgánico. En este último se estima cuál es el valor agregado de la incorporación de la materia orgánica a los minerales de síntesis utilizados en los programas tradicionales de fertilización. Para ello se evalúan los rendimientos de las cosechas y los costos de producción.

Un estudio de varias formulaciones órgano-minerales propuestas para la fertilización de maíz evaluó los aspectos señalados. Los rendimientos de producción resultaron ser la consecuencia de un efecto sinérgico entre materia orgánica y fertilizante mineral pues se potencializa la productividad; esto a pesar del mayor porcentaje de fertilizante químico utilizado en algunas formulaciones y que su aplicación significó un mayor aporte de nutrientes. Los costos de producción por hectárea indicaron mayor economía por la inclusión de materia orgánica en las mezclas; se verifica que la respuesta de las cosechas no se debe únicamente al efecto de la fertilización, sino también a la presencia de enmiendas orgánicas que actúan como acondicionadores de los suelos al mejorar la estructura, la capacidad para retener agua y nutrientes, la capacidad reguladora del pH y la carga microbiana benéfica y diversa (Acevedo, 2010).

No obstante los beneficios que aportan los biosólidos a los agroecosistemas, también se corren riesgos de contaminación por la posible presencia de agentes xenobióticos y por el contenido de materia orgánica no estabilizada. Prácticas como la fertilización de suelos de cultivo con biosólidos son un hecho; tales aplicaciones implican nuevos tipos de manejo y por ello se hace necesario determinar el impacto que generan estas nuevas metodologías. (Haynes, 2009).

3.1. Control de calidad de los biosólidos para uso agronómico

Respecto a los indicadores de contaminación en biosólidos, éstos se refieren básicamente a la presencia de patógenos y metales pesados. Los primeros son principalmente indicadores de contaminación fecal (Campos C., 2006) que se controlan mediante procesos de estabilización o compostaje, y los segundos son componentes químicos peligrosos dada su alta persistencia, los cuales se controlan únicamente en la fuente del vertido.



3.2. Los metales pesados (MP)

Ya que el empleo de biosólidos y compost como fuentes de materia orgánica y nutrientes es una práctica comúnmente utilizada para mejorar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, con el fin de reducir la necesidad de fertilizantes inorgánicos, la preocupación que se manifiesta en los diferentes sectores agrícolas es la acumulación de los MP (Baldwin y Shelton, 1999; Bernal et al, 2008; Hee et al, 2010).

En términos generales, las directrices oficiales para evaluar la calidad de los biosólidos se basan principalmente en el contenido total de los metales en los materiales (Smith, 2009); es el caso colombiano cuya regulación, avalada por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, establece unos valores límite para Pb, Cd, Ni, Cr, Hg y As (Resolución 150). Según Smith (2009) el contenido de los MP en biosólidos es significativo desde perspectivas que se contraponen al momento de establecer las normas ambientales, pues de un lado es necesario definir los criterios de calidad de los residuos y su reciclaje en abonos orgánicos, pero a su vez se requiere proteger la calidad del suelo previniendo la contaminación.

De esta manera, la presencia de MP representa un factor limitante para la calidad del biosólido y para su uso en la agricultura (Delgado et al, 2000; Cuevas, 2004; Smith, 2009). La medición de la concentración total de MP puede ser útil como un índice general de la contaminación, pero proporciona una información insuficiente acerca de su biodisponibilidad, movilidad o toxicidad cuando el residuo orgánico se aplica al suelo (Alvarenga et al, 2007; González, 2009; Pérez, 2005).

En este sentido, Roca-Pérez (2010) sostiene que el estudio de los contenidos de metales en los suelos agrícolas o contaminados, en comparación con los suelos naturales o no contaminados, es actualmente necesario para obtener valores de referencia y para evaluar la contaminación del suelo; pero, según Adamo y Zampella (2008), la simple determinación del contenido total o “pseudototal” de MP en el suelo, podría arrojar información que sirva para reducir al mínimo los riesgos para la biota y la salud humana si la transferencia de los contaminantes estuviera simplemente correlacionada con el nivel de contaminación.

Sin embargo, el escenario no es tan sencillo. Existen referentes en el monitoreo ambiental para la evaluación de riesgos, donde son necesarias propiedades como la movilidad de los metales y la biodisponibilidad hacia microorganismos, plantas, animales y seres humanos (Adamo y Zampella, 2008; Hee, 2010). Por lo tanto, algunos autores sostienen que pese a la importancia de conocer el contenido total de MP, las pruebas de transferencia, biomagnificación y ecotoxicológicas proporcionan una medida integral de la biodisponibilidad y de los efectos perjudiciales de los contaminantes en los ecosistemas (Alvarenga et al, 2007; Schultz et al, 2004). Existen muchas especies de plantas utilizadas para la remoción de metales en sustratos contaminados, lo que evidencia la capacidad que estas sustancias tienen de transferirse.



3.2.1. Presencia de los metales pesados en el suelo

Los MP han sido definidos de diferentes maneras de acuerdo con el papel que desempeñan en el medio. Según Holding el término se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad, que sea tóxico en concentraciones bajas y que no pueda ser degradado (Population information program, 2000).

Algunos ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd) arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), níquel (Ni) y plomo (Pb). Estos son absolutamente persistentes y las emisiones que ocurren a lo largo del tiempo ocasionan su acumulación en los ecosistemas (Querol, 2008). Como elementos traza, algunos MP como el cobre, selenio, zinc son esenciales para mantener el metabolismo de diversos organismos, incluido el hombre (Mahler, 2003); sin embargo, en concentraciones más altas o por exposición prolongada, pueden llevar al envenenamiento por contaminación del agua potable, por emisiones al aire de explotaciones mineras e industriales o por vía cadena alimenticia (Prieto, sf; Querol, 2008; Spain, 2003).

Sólo es posible referir la contaminación por MP en el suelo cuando el contenido en los mismos excede considerablemente los valores habituales en el tipo de suelo que se está considerando. Estas anomalías geoquímicas pueden alcanzar valores que suponen un grave peligro para las plantas y animales (Fernández, 2010).

En 1985, Bowie y Thornton ya habían establecido una serie de valores para suelos considerados “normales” y para los afectados por algún tipo de anomalía. Las evaluaciones reportadas en orden ascendente para los diferentes MP fueron $Cd < As < Ni < Pb$, cuyos rangos “normales” en mg/Kg oscilaban entre 1-150 dependiendo del metal, y los valores anormalmente elevados fluctuaban en rangos superiores a 30-10000 mg/Kg (Bowie y Thornton, 1985). Estos autores no aportaron información del Cr.

De otro lado, un estudio realizado en 2010 en algunos suelos del Mediterráneo, estableció valores de referencia en 14 suelos naturales, 14 suelos agrícolas y 4 suelos afectados por su ubicación en zonas industriales urbanas en el Oriente de España (Roca Pérez, 2010). Este estudio estableció las concentraciones de los elementos, así como la existencia de una relación entre los MP y las propiedades del suelo. Los niveles de referencia para los suelos naturales fueron en el siguiente orden: (mg/kg), Cd 0,97, Ni 50, Pb 137 y Cr 217. Estos valores confirman, a la luz de lo encontrado por Bowie y Thornton (op cit), que corresponden a suelos no contaminados.

Llama la atención la concordancia de los dos estudios pese a la diferencia en 25 años de los datos aportados, indicando que los suelos naturales o normales son más o menos inalterables en el tiempo. Las concentraciones de referencia encontradas en los suelos actuales se utilizaron como una primera aproximación para evaluar la contaminación en los otros tipos de suelos, demostrándose el impacto humano en el Cd, Cr, Ni y Pb, lo que los convierte en potencialmente peligrosos (Roca Pérez, 2010). Respecto a las concentraciones de metales pesados en suelos colombianos, Campos (2006) en un estudio sobre la evaluación del comportamiento de indicadores de contaminación en mezclas de biosólido y suelo, encontró que los niveles de MP no superaron los permitidos por la normativa USEPA 40 CFR 503, en muestras tomadas en el municipio de Cagua (Campos, op cit).



3.2.2. Presencia de los metales pesados en los biosólidos

En términos generales, los diferentes tipos de enmiendas orgánicas a partir de biosólidos, tienen mayor contenido de MP que las concentraciones basales presentes en el suelo y por lo tanto aumentan su presencia en el suelo tratado (Gervin, 2005; Smith, 2009; Utria Borges, 2008). Las directrices oficiales para evaluar la calidad del compost se basan, con frecuencia, en el contenido total de los metales en los materiales (Andrade, 1999; Domené, 2008). En Estados Unidos, tales criterios se encuentran recopilados en la Sección 503 de las regulaciones de la Environmental Protection Agency (EPA, 1999), la cual ha sido referenciada por la mayoría de las normas de otros países -España, Canadá, Francia, Alemania, etc.- (Berbel, 2004), criterios que también fueron adoptados por la normatividad colombiana para enmiendas del suelo, entre las que se encuentran los biosólidos (NTC, 2004). Estas regulaciones especifican los mínimos requerimientos para concentraciones permisibles de MP que se resumen así: (mg/Kg), Cd 39, Cr 3000, Hg 17, Ni 420, Pb 300, entre otros.

Para el caso del Reino Unido (UK), la entidad que informa sobre las concentraciones totales de MP en los compost de residuos de origen urbano es The British Composting Association (BCA), organismo encargado de definir los estándares de calidad para la industria del compostaje en UK (Smith, 2009).

La BCA reporta básicamente que los valores se encuentran típicamente por debajo de los límites establecidos y sitúan las concentraciones en niveles inferiores a los indicados, en función del riesgo de la protección de la salud humana. En la mayoría de los casos informados, ni los metales pesados ni los contaminantes orgánicos son estimados como un peligro considerable para el sistema suelo-planta. De hecho, se considera que el enmendar las tierras con biosólidos puede ser beneficioso para la producción agrícola, ya que suministra grandes cantidades de N, P, Ca, Mg, y materia orgánica que puede mejorar las propiedades físicas del suelo y estimular su actividad microbiana (Haynes, 2009).

No obstante los aparentes beneficios y la falta de información acerca del peligro que representa la presencia de estos contaminantes, no significa que no se esté afectando la comunidad microbiana del suelo (Mondero et al, 2004). Se ha reportado que los principales contaminantes en los residuos, principalmente si son de origen urbano, son los metales pesados, además de una gama de compuestos orgánicos sintéticos. Los metales provenientes de los residuos que son transmitidos al suelo tienen un comportamiento típico. Ellos pueden ser tóxicos para la microflora del suelo, lo que puede ocasionar una disminución en las actividades enzimáticas; pequeñas cantidades pueden filtrarse con la materia orgánica soluble, acumularse en las plantas y a veces transferirse a los animales de pastoreo (Burns, 1982; Haynes et al, 2009). La inocuidad de los MP en función de la baja concentración, tal y como lo plantea la BCA (Smith, 2009) es controvertible, pues se ha reportado que en lugares donde se ha regado con aguas residuales se da como consecuencia la acumulación de metales en los suelos.

En estos estudios la contaminación por MP en los vegetales estuvo por debajo del límite máximo permitido. Los autores especulan, sin embargo, que si tales aguas se utilizan continuamente para la irrigación a largo plazo, pueden llegar a tener un aumento en la contaminación metálica más allá del límite permitido máximo (Malla et al, 2007). Es pues un hecho que la adición de biosólidos en diferentes dosis incrementa la presencia de MP en los suelos, lo cual puede afectar negativamente la dinámica de sus funciones innatas (Kisilkaya y Bayrakli, 2005). No obstante, este comportamiento es objeto de estudio.

La disponibilidad de MP en el suelo depende de la naturaleza de la asociación química entre el metal con el residuo orgánico y la matriz suelo, el valor del pH del suelo, la concentración del elemento en el compost y el suelo, y la capacidad de la planta para regular la incorporación de un elemento en particular (Smith, 2009).



3.2.3. Influencia de la compostación en la disponibilidad de los metales pesados

En cuanto a la interacción con los residuos orgánicos, se ha encontrado que el biosólido bajo en metales se puede utilizar como un sumidero para la reducción de la biodisponibilidad a través de su efecto sobre la adsorción, complejación, reacciones redox y volatilización (Hee et al, 2010; Roca Pérez, 2010).

Existe evidencia experimental que demuestra la reducida biodisponibilidad de metales en los composts en comparación con otros residuos no compostados. Es posible inferir que los procesos de compostaje en general pueden contribuir a la reducción de la disponibilidad de metales en el suelo con respecto a otras técnicas de bioestabilización, lo cual se explica porque la matriz compost modula la disponibilidad del metal.

También hay un consenso general en la literatura científica en cuanto a que los procesos de compostaje aumentan la formación de complejos de metales pesados con la materia orgánica, y por lo tanto están fuertemente ligados a la matriz del abono orgánico en cuestión, lo que limita su solubilidad y biodisponibilidad potencial en el suelo (EPA, 2010).

El compost de residuos de origen urbano tiene una alta afinidad química por los MP. El Pb es el elemento más fuertemente ligado y el Ni es de los más débiles, mientras que Zn, Cu y Cd muestran características intermedias de absorción. Las propiedades que hacen que el metal tenga una fuerte absorción con la materia orgánica se refieren a la capacidad de formar ligandos complejos o enlaces covalentes, a diferencia de aquellos sistemas que experimentan simplemente atracciones electrostáticas, lo cual tiene importantes beneficios para el mejoramiento de suelos contaminados por metales (Smith, 2009; Rodríguez et al, 2006).

La evidencia científica indica, por lo tanto, que conservadores pero pragmáticos límites de MP en el biosólido se pueden establecer para fomentar el reciclado de los residuos en abono, que al mismo tiempo protegen al suelo y al medio ambiente de los impactos potencialmente negativos causados por acumulación a largo plazo (Smith, op cit). No hay evidencia de un aumento de las formas disponibles de metales una vez que las aplicaciones de compost han cesado (Smith, 2009).

Bibliografía

- Acevedo L (2010) Recuperación material de residuos. Capítulo de libro: Acciones remediadoras del deterioro ambiental. Reflexiones desde la academia. Cameselle Claudio, Vázquez Mario. Nova Galicia Edicións. ISBN 978-84-92590-63-6, Vigo, 117-132.
- Adamo P & Zampella M (2008). Chemical Speciation to assess Potentially Toxic Metals' (PTMs') Bioavailability and Geochemical Forms in Polluted Soils. En: B De Vivo; H E Belkin; nnamaria Lima; ScienceDirect (Online service), Environmental Geochemistry. (175-212), Amsterdam: Boston: Elsevier.
- Alvarenga P, et-al. (2007). Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land. Environment International 33:505-513.
- Andrade ML, et al. (1999). Composición de materia orgánica y determinación de metales en biosólidos para su uso potencial como enmendantes de suelo. Revista Información Tecnológica 10: 79-88.
- Arenas A (2011). Recuperación energética de residuos. Capítulo de libro: Acciones remediadoras del deterioro ambiental. Reflexiones desde la academia pp.117. Cameselle Claudio, Vázquez Mario. Nova Galicia Edicións. ISBN 978-84-92590-63-6, Vigo.
- Baldwin KR & Shelton JE (1999). Availability of heavy metals in compost-amended soil. Bioresour Technol. 69:1-14.
- Benzing A (2001) Agricultura. orgánica. Fundamentos. para la región andina. Villingen-Schwenningen DE, Neckar-Verlag 682.p.
- Berbel J (2004). Biosólidos y compostaje. Fundación Emaesa. Sevilla. España.
- Bernal MP, Albuquerque JA, Moral R (2008). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: a review. Bioresour Technol. 99:3372-3380.
- Bowie, S.H.U. & Thornton (1985). Environmental Geochemistry and Health. Kluwer Academic Publ., Hingham. MA.
- Brown S and Leonard P (2004). Building carbon credits with biosolids recycling. BioCycle 45 (9) 25.
- Burns RG (1982). Enzyme Activity in Soils: Location and a Possible Role in Microbial Ecology. Soil Biology and Biochemistry 14:423-427.
- Campos C, et-al (2006). Evaluación del comportamiento de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales, fagos somáticos y huevos de helminto) en mezclas de biosólido y suelo utilizadas para el cultivo de pasto RyeGrass. Proyecto de investigación para el Acueducto de Bogotá en el marco de la gestión ambiental PTAR El Salitre.
- Castells X (2000) Reciclaje de residuos industriales. España. 331p.
- Cuevas G (2004). Metales pesados en maíz (Zea mays, L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de composta de lodo residual. Rev. Int. Contam. Ambient. 20(2):59-68.
- Delgado M, et al. (2000). Empleo de compost de depuradora como fertilizante en cultivo de maíz. Vida Rural 109: 24-26.
- Domene X (2008). Ecological risk assessment of organic waste amendments using the species sensitivity distribution from a soil organisms test battery. Environmental Pollution 155:227-236.
- EPA (1999). Biosolids generation, use, and disposal in the United States. Washington, DC: Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, EPA530-R-99-009.
- EPA 530-f-97-042. Bioremediación y prevención de polución. Usos innovadores del compost. Traducido y resumido por bioagro. bioagro@multi.com.uy. <http://www.ecoport.net/content/view/full/15459> Octubre, 2010.



- Fernández L (2010). Gestión y conservación de suelos. Lección 4: Contaminación del suelo. Contaminantes específicos. Metales pesados. Universidad de Extremadura, - Facultad de Ciencias, área de Edafología y Química Agrícola. [http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL4CEMetalesPesados .htm](http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL4CEMetalesPesados.htm): Octubre, 2010.
- Garrigues A (2003). Manual para la gestión de residuos urbanos, Ecoiuris Ed. España. 912p.
- Gervin S (2005). Lo que usted necesita saber sobre biosólidos [online]. Washington: Washington Suburban Sanitary Comisión, s.f. [Citado en Diciembre de 2005] Disponible en <http://www.wsscwater.com>
- González E (2009). Concentración total y expectación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. Rev. Int. Contam. Ambient. 5:15-22.
- Haynes G, et-al. (2009). Chapter 4 Inorganic and Organic Constituents and - Contaminants of Biosolids: Implications for Land Application. Advances in Agronomy. Vol.104. Pag. 165-267.
- Hee J, et-al. (2010). Role of organic emendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. Journal of Hazardous Material, Article in Press, Available online.
- Kizilkaya R & Bayrakli B (2005). Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities. Applied soil Ecology. 30:192-202.
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123: 1-22.
- La Scala N, Lopes A, Spokas K, Archer D, Reicosky DC (2009). First-order decay models to describe soil C-CO₂ loss after rotary tiller. Scientia Agrícola, Piracicaba, 66:650-657.
- Mahdy A (2007). Cadmium, Copper, Nickel, and Lead Availability in Biosolids-amended Alkaline Soils, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 1: 354-363.
- Mahler RL (2003). General overview of nutrition for field and container crops. In: Riley, L. E.; Dumroese, R. K.; Landis, T. D. Tech Coords. National Proceeding: Forest and Conservation Nursery Associations. 2003 June 9-12; Coeur d`Alene, ID; and 2003 July 14-17; Springfield, IL. Proc. RMRS-P-33.
- Malla R, Tanaka Y & Mori KL (2007). Shortterm effect of Sewage Irrigation on Chemical Build Up in Soils and Vegetables. The Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal. Manuscript LW 07 006 Vol. IX.

- Manungufala TE, Chimuka L, Maswanganyi BX (2008). Evaluating the quality of communities made compost manure in South Africa: A case study of content and sources of metals in compost manure from Thulamela Municipality, Limpopo province. *Bioresource Technology* 99:1491-1496.
- Medina, G., P. Mena & C. Josse (Eds.). 1999. El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. Serie Páramo 1. GTP/Abya Yala. Quito.
- Mondero S, et-al. (2004). Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter. *Waste Management*. 24:325-332.
- NTC (2004). Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Bogotá, D.C: Norma Técnica Colombiana, NTC 5167, Icontec.
- Peláez C (2005) Uso de abonos orgánicos en la agricultura urbana y su implicación en la seguridad alimentaria. *EOLO Revista Ambiental*. 5 (10):51-53
- Pérez G (2005). Disponibilidad de metales tóxicos en sitios contaminados. Departamento de Química Unidad de Química Analítica. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Population Information Program.(2000) La contaminación y los riesgos para la salud. The Johns Hopkins University School of Public Health. Baltimore, Maryland, USA., 28, 3.
- Prieto J, et-al. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10:29-44.
- Reicosky DC 2008. Carbon sequestration and environmental benefits from no-till systems. In: Goddard, T. et al., editors. *No-till Farming Systems*. Special Publication No. 3. Bangkok, Thailand: World Association of Soil and Water Conservation. p. 43-58.
- Reicosky DC (2009). Gestión responsable del carbono en el suelo. *Phytoma Espana* 207:57-59.
- Restrepo-S NE et-al (2010). Ventajas del uso de los residuos sólidos urbanos generados en los corregimientos de Medellín en la producción de abonos orgánicos y riesgos asociados al contenido de metales pesados y su posible transferencia trófica. Panamericana formas e impresos S.A. ISBN 978-958-9076-34-7; Colombia 42p.
- Roca-Pérez L, et-al. (2010). Selenium and heavy metals content in some Mediterranean soils. *Journal of Geochemical Exploration*, Article in Press, Available online.
- Rodríguez O, et-al (2006). Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:239-245.
- Sancho J, Verdeja LF y Ballesteros A (2000) *Metalurgia extractiva*. Procesos de obtención, Editorial Síntesis S.A., Madrid.
- Sauerbeck DR (1991). Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. *Water, Air Soil Pollution* 58:227-237.

- Schultz E, et-al. (2004). Extractability of metals and ecotoxicity of soils from two old wood impregnation sites in Finland. *The Science of the Total Environment* 326:71-84.
- Shridhar, R, Arvind, A, Shantaram, V. 2008. In vitro and in vivo genotoxicity assessment of Cr(VI) using comet assay in earthworm coelomocytes. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 25:63-68
- Smith SR (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International* 35:142-56.
- Smith P. et-al 2000. Meeting the UK's Climate Change Commitments: Options for carbon mitigation on agricultural land. *Soil Use and Management* 16: 1-11.
- Spain A. (2003). Implications of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment. *Reviews In Undergraduate Research* 2:1-6.
- Utria-Borges E (2008). Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 33-39.
- Weng LP, et-al (2003). Phytotoxicity and bioavailability of nickel: chemical speciation and bioaccumulation. *Environmental Toxicology and Chemistry* 22:2180-2187.



Imágenes de una “Antioquia iluminada”

Introducción

A finales de 2007, cerca de 67 mil viviendas rurales de Antioquia carecían de energía eléctrica. Muchos campesinos de zonas como el Bajo Cauca, Urabá, Nordeste y Magdalena Medio no tenían acceso a este servicio, como si vivieran en otra época, teniendo que recurrir a las velas para iluminarse, a la leña para cocinar y a gastar mucho dinero en baterías para encender un radio.

Aislamiento, oscuridad y falta de oportunidades para el desarrollo es lo que significa la ausencia del servicio de energía eléctrica en una comunidad. Es una carencia que también está asociada a condiciones ambientales y de salubridad que afectan la calidad de vida: más deforestación y contaminación de las cuencas, y un almacenamiento inadecuado de alimentos.

Hoy, sobre esas imágenes en blanco y negro, casi en sepia, empieza a tomar forma una nueva realidad. Después de haber integrado el sistema de energía en Antioquia, EPM ha venido adelantando una serie de programas que buscan abrir espacios para que la gente de los municipios de Antioquia, aquellos que están más allá del Área Metropolitana de Medellín, tengan la oportunidad de ampliar sus horizontes, vivir al ritmo de los nuevos tiempos y, en síntesis, mejorar su calidad de vida.

Uno de estos programas es “Antioquia iluminada”, todo un esfuerzo humano y empresarial para llegar con la luz eléctrica a miles de hogares campesinos, y que se recoge en el libro editado por EPM, con textos del escritor antioqueño Juan Carlos Restrepo Rivas y la producción fotográfica del Laboratorio de Estudios Geográficos y Territoriales, adscrito a la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Este es un compendio de ese libro. Imágenes, historias, testimonios de que la Antioquia profunda está siendo iluminada.

Antioquia se llena de energía

Poco a poco, las viviendas más apartadas de nuestra geografía regional se van sumando al sueño de Antioquia iluminada. En el año 2009 empezaron a disfrutar el servicio los habitantes de 11.325 viviendas rurales. En 2010 otras 17.000 familias campesinas también iniciaron otra vida gracias al servicio de energía eléctrica de EPM, un suministro confiable, permanente, seguro y oportuno.

Antioquia iluminada es una suma de voluntades (EPM, Gobierno Nacional, Gobernación de Antioquia y Ministerio para la Cooperación del Desarrollo de los Países Bajos -MFE). Su objetivo es tener conectados, al final del año 2011, 42 mil hogares campesinos. Son, en total, alrededor de 210 mil habitantes del sector rural que aún no disfrutaban de los beneficios de la energía eléctrica en el departamento de Antioquia.

Este programa de electrificación rural se realiza con base en criterios de mínimo costo y baja cobertura en los municipios atendidos por EPM. Para lograrlo, se construyen redes de uso general, acometidas y redes domiciliarias.

Gracias a Antioquia iluminada, ya se han desarrollado programas en 84 municipios antioqueños, impactando de manera positiva en más de 500 veredas de la región.

Antioquia iluminada permitirá elevar el nivel de cobertura rural y contribuirá a que esta región de Colombia alcance la más alta disponibilidad del servicio.

Antioquia, con el liderazgo de EPM, es la región del país que mayores esfuerzos está haciendo en materia de electrificación rural.

Karamandú - Puerto Berrío (Foto Catalina Guerra)



Universalización del servicio

La tapia descascarada mostraba sus costillas de guadua y debajo del dintel de madera, mordido por candados y por el abrir y cerrar desgastado de una puerta medio colgada, apareció él.

La vida rural en esta vereda más arriba de Buenos Aires, un corregimiento del municipio de Andes, en el Suroeste antioqueño, se nota en el rostro macilento de este hombre. Tiene el pelo apretado y sudoroso, pegado al cráneo; se ve la marca de su sombrero, con una franja descolorida en la frente. Con las yemas se rasca una cicatriz en el cuero cabelludo y sobre las cejas pobladas enmarca sus ojos de asombro.

La penumbra tendida por un árbol de mangos a esas horas de la media mañana da en el corredor. Quienes levantaron esta casa supieron encontrar la mejor orientación frente al paisaje de la cordillera para sacarle buen provecho a la luz del sol. Otras casas similares se emplazaron allí, en la vereda empinada y a sus alrededores, aunque de otros colores diferentes, y otras gentes parecidas a don Gildardo las habitan. Están sin energía eléctrica aunque la experiencia vivida en el campo, durante generaciones, les da la mirada limpia para no dejarse vencer por la falta del alumbrado que los demás, de otros lados e iguales a ellos, sí tienen.





Los que aún siguen arraigados en este paraje tienen músculos de barranco, savia viva y huesos de guadua. Han estado ahí con sus sueños y sus trebejos durante años sin luz.

Don Gildardo mermó el volumen de la música del radio de pilas; sonaba rastrillado. Salió al corredor de tierra apisonada y de un barrido limpio para atender a los que llegaban.

El sonido de los trabajadores arrimando sus instrumentos de trabajo vino desde el empedrado de la entrada. Al fondo, la tierra labrada estaba dispuesta a recibir un baño de lluvia y un pequeño cultivo que se convertiría en su huerta de pancoger.

—Con permiso —y se arrimaron los que traían la luz.

Él vio cables, objetos y unos instrumentos que no conocía, para instalar la energía eléctrica. Supo que sus herramientas usadas a diario para trabajar el campo eran muy distintas a estas que traerían la tecnología de la luz.

Dijo que eso que descargaban los señores de casco amarillo y pantalones verdes ya lo tenía su primo Manuel Gómez en un solo aparato, cruzando la cordillera antes de bajar a Tâmesis. Que su primo era dueño de un motorcito de combustible que alcanzaba a dar fuerza eléctrica para un enfriador y unos pocos bombillos pegajosos que coronaban su casa.

—Por aquí se acaba la vereda para ir a Buenos Aires, ¡sí que está bien lejos!, cruzando el pastizal y los árboles, por allá —señaló detrás de un paisaje limpio.

Para llevar la electricidad hasta lugares tan apartados de esta geografía antioqueña difícil de enfrentar, se necesitan personas que literalmente carguen las redes y líneas de conducción en sus hombros hasta elevarlas a postes, gente que permita que la transmisión y distribución que recorre los campos abiertos, los caminos veredales, que trepan lomas y descienden cañadas, lleguen por fin a sitios como estos o como los de su primo Manuel, donde nunca tuvieron siquiera los servicios públicos básicos.

— ¡Adelante. Pónganos el alumbrado!



Getsemani (Foto de Isabel Restrepo)

Acompañados

Los trabajadores de las redes de energía llegaron a donde don Gildardo. Las mulas venían cargadas con unos postes en los arcos de los lomos, y al lado venían ellos, cansados del viaje y agujereados en los uniformes de trabajo por gotas tostadas de barro rojo en las piernas. El mes estaba gastado doce días y el año se venía envejeciendo.

Atravesaron senderos y caminos, superaron obstáculos geográficos y técnicos, por trayectos a veces empedrados, otros polvorientos o pantanosos que se podían recorrer sólo en mulas.

Mientras charlaban por el camino cerca de la casa, yendo hacia el lugar donde emplazarían un poste, el capataz levantó la mirada hacia las nubes.

—Ojalá no llueva.

Quería resbalarse una lluvia que acosó más el afán por hacer las cosas bien.

—Apúrele. Yo sé leer las nubes y están que se caen
—les dijo don Gildardo.

Un par de contratistas de los de camisa color arena salieron deslizándose entre la sombra de los otros que esperaban para comenzar la instalación.

Más allá del sitio donde abrían un hueco, se volteaba el paisaje verde hacia un barranco y resonaba un chorro de agua entre follajes y pedregones. Allá se veía el puente para la salida hacia un grupo de casas. En la cumbre, el monumento de un pequeño Salvador vigilaba a los habitantes de por allí y a los nuevos visitantes que traían la luz.

Antes de llegar este grupo de trabajadores, habían estado los gestores, que después de contemplar el sitio, hacían apuntes en sus papeles sobre la gente, las actividades que tenían en el campo y sus modos de vida, para ayudarles a dar un paso más hacia el progreso.

El agua por fin cayó a cuentagotas, sobre los hombros, y fue apenas un roce. Ellos se escamparon por si caía más fuerte, debajo de un pequeño alero de zinc. Después, la lluvia se quedó estancada detrás de los brazos abiertos del Salvador y se despejaron las horas cuando al borde de las montañas apareció un color curuba con el aroma fresco del medio día que se venía descolgando.

Los hombres se arriesgan en las alturas para tensar miles de metros de cables de transmisión que van por los aires, mientras en tierra los campesinos esperan con entusiasmo que llegue la magia de la luz eléctrica a sus casas y puedan disfrutar del servicio de energía eléctrica de EPM, con confianza y seguridad.

Don Gildardo esperaba entusiasmado. Una mesa con mantel florido que se recostaba contra la pared era su comedor. —Aquí llueve así, como de golpe— dijo el hombre—. Así como arranca, escampa, pero a veces dura. Mejor, porque se limpia la fresca. —Y preguntó:— ¿Es primera vez que ustedes vienen por aquí con esos alambres?

—Con redes eléctricas, sí, para instalar las acometidas.

En la esquina del fondo de su casa, el jefe vio un cuarto medio ahumado en donde crujía la leña. Al encuentro con el trabajador de EPM, una mujer asomó su silueta y mientras atizaba la leña, volteó su cara para saludar con un gesto de las cejas, sin palabras. Ella fritaba carnes saladas y buscaba en el revuelto un plátano maduro para, rebanado, ponerlo en un perol; el almuerzo de don Gildardo.

Quebradona - Zaragoza (Foto de Diego Mejía)



Universalización del servicio

—Sígase. ¿Se toma una aguapanela?

—Es Oliva, la señora. Adelante —le permitió el marido.

Oliva agitó brasas con la tapa de una olla y le ofreció aguapanela caliente. —¿Le provoca una taza?

Don Gildardo se arrimó hasta el fogón donde trepidaban los leños, para mirar a su mujer. Quitó la tapa de una olla y salió ese olor dulzón que recorrió las paredes y con la bebida hirviente llenó unos tazones de loza blanca con bordes de azul mariano. —Dígale a sus hombres que vengan, que lo caliente quita más la sed que lo frío.

A esa hora, parecía que don Gildardo quería almorzar mientras que los vecinos ordenaban algún jolgorio por tanto beneficio que recibirían con la llegada de la luz. Se notaba por el correteo de los niños y el volumen de las voces, afuera. Adentro, dos trabajadores del grupo se convirtieron en siluetas pegadas a los bordes de las cosas, de los pocos muebles, de una silla roja. Otro, devoto, se persignó frente a un Corazón de Jesús brillante por la luz de una veladora envuelta en celofán. Los trabajadores que ya casi encendían un bombillo que otro instaló, se tomaron la bebida caliente con agradecimiento.

Barrancas- Toledo (Laboratorio en Estudios Geográficos y Territoriales UN)





Y la esperada luz llegó.

Con la energía eléctrica, la sensación de vivir inmersos en un velo opaco había desaparecido y las formas que habitaban ya no se diluían; se ofrecían como nuevas. Don Gildardo y su familia ya no temen ir a tientas y se arriesgan a avanzar.

La silueta de Oliva no se anula por la oscuridad y la casa entera resplandece. No se borrarán los cuerpos en la noche y no tendrá más dificultades para anudarse los zapatos al amanecer, en la penumbra, para salir pronto a cumplir con las labores manuales que se hacían difíciles con la ausencia de la luz eléctrica. Ahora, además de encender una bombilla para ver sus gestos y sus objetos, Oliva podrá planchar, usar electrodomésticos que agilicen sus quehaceres y cocinar sin dificultades o peligros los alimentos que refrigere. Acompañarán las comidas con jugo frío y con hielo, se conservarán los lácteos, durarán más las frutas, las verduras tendrán un sabor fresco, y la carne y los alimentos ya preparados se guardarán sin temor a que se descompongan pronto.

Así como don Gildardo y su familia, muchos campesinos de la región también salen del límite de lo hogareño y modifican sus costumbres comunitarias: levantan los ojos, aguzan las miradas, enfocan y se deleitan mirando la televisión, escuchan las transmisiones de radio y no se pierden los programas que los divierten o les enseñan más del mundo. Construyen acueductos con motobombas y pueden recargar cómodamente sus teléfonos celulares para mantenerse en contacto con los demás. Además tienen ahora la posibilidad de practicar algún deporte o actividad recreativa en la noche.

Y el trabajo les rinde más, mejoran en el proceso de picar pasto y es veloz la despulpadora de café.

Los que caían en la confusión se levantan con la luz.

El viento arrastra páginas de otros tiempos sin luz. Han pasado unos meses desde que instalaron la energía eléctrica.

Don Gildardo ancla sus ojos sobre el cauce de luz de la vereda y desde una silla, cerca a la mesa del comedor, ya acostumbra leer el nuevo paisaje y en él alcanza a sentir que los sueños fluyen. Siente ese aire que adormece la tarde sobre los cables donde descansan los pájaros. Pronto aparece el arco del ocaso bostezando y la noche trae su propia luz.

Pasa debajo de la penca de sábila que cuelga detrás del umbral de la puerta, bordea la sala con pocos muebles y en un rincón ya iluminado por un televisor nuevo, doña Oliva ve un programa animado. Al fondo, una lamparita deja ver que tiene una nevera. Afuera, un bombillo encendido traerá el revoloteo de chapolas y la claridad.

Don Gildardo mira las casas que se encienden luminosas en el filo y sabe que allí están sus vecinos para acompañarse, para soñar con bienestar. Le da confianza tener estas nuevas condiciones de vida y mejores posibilidades para desarrollarse.

Ahora tienen acceso a este bien público.

Tienen luz.

Hasta donde alcance la vista

Los fotógrafos, desde sus lecturas del territorio y el paisaje rural, hicieron sus aportes estéticos llenos de color para captar al campesino con la emoción en su rostro por tener energía eléctrica en su casa, por primera vez, o para mostrar a los habitantes de un sitio apartado que arrojan las sombras y ahora sus brillos en el nuevo paisaje electrificado.

Las imágenes seleccionadas que conforman este libro de Antioquia iluminada asumen un carácter intemporal, pueden ser observadas como parte del registro histórico de situaciones que se vivieron durante el desarrollo de este programa social de EPM y se conservarán como memoria visual.

Se registraron gestos ante el paisaje visitado y los nuevos hábitos humanos en el uso de la energía eléctrica, dejando un tejido imborrable, una huella que perdurará.

Estas evidencias son un regalo para sus ojos, son testimonios de que la Antioquia profunda está siendo iluminada.







estamos ahí.

www.epm.com.co