

32. La vegetación como elemento de diseño para la recuperación de los espacios destinados para áreas verdes en asentamientos sobre suelos contaminados

Contreras López Christopher^(1,*)

(*) Doctorado en Arquitectura, Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura,
Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 04510,
christophercl@hotmail.com, +52 771 202 9877

Resumen Algunas ciudades mineras de México han experimentado una expansión demográfica acelerada que impulsa a que sus manchas urbanas se expandan a los depósitos de residuos mineros y que estos lugares se ocupen para asentamientos urbanos. En Pachuca, Hidalgo, esto provoca que en los espacios abiertos destinados para áreas verdes, no se desarrolle la vegetación debido a los cambios en los parámetros físicos y químicos del suelo, lo que provoca que estos lugares se conviertan en espacios inhóspitos, sin calidad paisajística y aislados, además de causar problemas de salud pública.

Mediante un experimento factorial, se probaron siete especies vegetales contra cuatro concentraciones de suelo contaminado extraído de Pachuca, Hidalgo, mejorándolo con suelo vegetal. Se realizó una caracterización física y química del suelo, además de medirse el desarrollo de la vegetación por cada sustrato de manera mensual con tres variables: altura, cobertura y vigor. Al final se determinó que de las siete especies vegetales, cuatro de ellas pueden establecerse en suelos contaminados ya que presentan pocas variaciones.

La paleta vegetal, además de cumplir con un propósito ambiental, cumple con un requerimiento estético, ya que las especies propuestas son de carácter ornamental y pueden ser utilizadas para el diseño de las áreas verdes. Con la aplicación de esta paleta vegetal se puede conferir habitabilidad a los espacios inhóspitos que existen en los desarrollos urbanos sobre residuos mineros, además de que proporciona datos técnicos que ayudan a la elección de las plantas en cuanto a diseño y utilización de éstas en el espacio.

Palabras clave Contaminación del suelo, Vegetación, Áreas verdes, Recuperación del espacio, Paleta Vegetal.

1 Introducción

El sector minero en el mundo, ha desempeñado un papel central como estructurador y organizador del territorio, ya que ha orientado el poblamiento, ha dado origen a la construcción de redes viales y ha sido detonador de otras actividades económicas. (Saavedra Silva & Sánchez Salazar, 2007) Sin embargo, el proceso de obtención de los metales preciosos también ha dado desechos en forma de aguas de lodos de mina, que transportan sólidos y acumulan minerales que son abandonados sin procesamiento alguno, conocidos como jales mineros; (Hernández Ávila, 2012) estos residuos, son el resultado del beneficio del material que se recoge con diferentes técnicas, y se sitúan en presas al aire libre, que son el lugar de su disposición final, cuya construcción y operación ocurren simultáneamente. (SEMARNAT, 2004)

En diversos países existen presas de jales abandonadas, como en Sudáfrica, Australia, España, el oeste de Estados Unidos, la costa de Chile y Perú, o el oeste de India. (Tordoff, et al., 2000) Estos depósitos abarcan cientos de hectáreas donde se dificulta el desarrollo de la vegetación, (Hernández Acosta, et al., 2009) por lo que el suelo está expuesto y es removido por el viento, el polvo contiene elementos tóxicos que son perjudiciales para cualquier ser vivo. (Hernández Ávila, 2012) En México y en el caso específico de Pachuca, Hidalgo, del siglo XVI al XIX, los residuos mineros se tiraron al Río de las Avenidas, esparciéndose varios kilómetros al sur de la ciudad. (Comisión del Fomento Minero, 1959) En el siglo XX, los jales se condujeron a un depósito planeado al sur de Pachuca, donde se unieron a los residuos diseminados por cuatro siglos. La presa de jales para inicios de la década de 1980 ya ocupaba 391 hectáreas con 65 millones de toneladas. (Soto Oliver, 1982)

En la década de 1980, Pachuca tuvo un crecimiento urbano considerable hacia el sur, rumbo a la Ciudad de México, por consecuencia, la mancha urbana creció de tal forma, que primero rodeó a los jales con varias construcciones, y para finales del siglo XX y principios del XXI se construyeron dos complejos habitacionales que abarcan la mitad de la presa de jales. Actualmente la presa tiene una superficie de 200 hectáreas donde se construirá vivienda, además de que alrededor de ésta existen otros complejos habitacionales, centros comerciales y equipamiento que fueron construidos debido al crecimiento de la ciudad hacia el sur. (Contreras López, 2016)

La urbanización que rodeó y posteriormente ocupó la presa de jales presenta varios problemas, entre los más importantes es que en este tipo de suelos contaminados se dificulta el desarrollo de la vegetación, por lo que el suelo permanece desnudo y es removido por el viento, estas tolvaneras contienen metales pesados tóxicos, que pueden ser perjudiciales para la salud pública; (Hernández Ávila, 2012) por otro lado, se registran cambios en los parámetros físicos y químicos del suelo, como falta de materia orgánica y nitrógeno, que son indispensables para el desarrollo de la vegetación, (Contreras López, 2016) así que, en los espacios des-

tinados para las áreas verdes de los desarrollos urbanos establecidos sobre los jales, se dificulta el crecimiento de las plantas, lo que convierte a estas zonas en espacios inhóspitos, sin calidad paisajística y aislados.

2 Diseño experimental factorial

Como ya se citó, entre los problemas más notables en los jales mineros, es que se dificulta el desarrollo de la vegetación, por lo que el suelo es removido por el viento, generando tolvaneras con partículas de polvo que contienen elementos tóxicos. Es imprescindible evitar estas tolvaneras y mejorar las características del suelo mediante procesos de revegetación, por lo que es necesario contar con vegetación capaz de desarrollarse en este tipo de suelos y con esto conferirle habitabilidad a los desarrollos urbanos sobre residuos mineros. Para lograrlo, existen tratamientos biológicos como, la técnica de fitorrecuperación, que utiliza la capacidad de ciertas especies vegetales para sobrevivir en ambientes contaminados con metales pesados y a la vez extraer, acumular, inmovilizar o transformar estos contaminantes del suelo. El éxito de este tratamiento está controlado por la selección de las especies adecuadas para recuperar el suelo, así como de la cuidada selección de mejoramientos, como materia orgánica o agentes quelantes, que permitan desarrollar las propiedades del suelo y fomentar la supervivencia y el crecimiento de las plantas. (Ortiz Bernard, et al., 2007)

En este sentido se realizó un experimento factorial, que permitió observar durante nueve meses el desarrollo de siete especies vegetales y su relación con cuatro concentraciones de suelo. Primero se realizó una caracterización física y química del suelo, para entender por qué no crece la vegetación, además de comprobar la contaminación con elementos tóxicos que son un factor que interfiere en el debido desarrollo de las plantas. Posteriormente, mediante un bioensayo se midió el desarrollo de siete especies vegetales: *Asclepias linaria*, *Carpobrotus edulis*, *Dietes vegeta*, *Hedera hélix*, *Sedum praealtum*, *Senna multiglandulosa* y *Trifolium repens*; contra cuatro concentraciones de suelo: 0-100: sustrato conformado por una mezcla de materia orgánica, materia mineral y materia drenante a tercios, que sirve como testigo del desarrollo de la vegetación; 60-40: mezcla de 60% de suelo de jales más 40% de la mezcla 0-100; 80-20: mezcla de 80% de suelo de jales más 20% de la mezcla 0-100; y 100-0: suelo de jales mineros al 100%

El experimento se realizó con cinco repeticiones y se midió de manera mensual el desarrollo de la vegetación en cada sustrato con tres variables: altura, cobertura y vigor, con una regla de medición y una libreta de monitoreo.

2.1 Caracterización física y química del suelo

Es necesario comprender por qué no crece la vegetación en estos suelos, así que se realizó una caracterización física y química del suelo contaminado, además del análisis de las mezclas de jales con el mejoramiento de suelo vegetal y el sustrato de suelo mejorado que se usa como testigo. Los resultados se presentan en la Tabla 1

Tabla 1 Análisis físicos y químicos del suelo

Análisis	Sustratos			
	0-100	60-40	80-20	100-0
Físicos				
Textura	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa
Densidad aparente (g/cm ³)	0.76	1.15	1.23	1.34
Químicos				
pH	6.8	6.95	7.05	7.19
MO (%)	3.77	0.87	0.67	0.27
Macroelementos				
N (%)	0.2	0.04	0.03	0.02
P (mg/100g)	2.38	1.28	0.62	0.50
K (mg/100g)	109.4	48.2	30.2	19.4
Na (mg/100g)	41.4	26.2	22.8	13.6
Ca (mg/100g)	2.72	3.18	3.24	3.22
Mg (mg/100g)	2.01	1.98	1.89	1.87
S (mg/100g)	0.29	0.58	0.74	0.78
Oligoelementos				
Cl (%)	0.03	0.03	0.02	0.02
Cu (%)	0.00	0.01	0.01	0.01
Fe (%)	5.00	3.58	3.41	3.12
Mn (%)	0.09	0.61	0.73	0.79
Zn (%)	0.01	0.2	0.24	0.25
Metales Pesados				
Sr (%)	0.00	0.03	0.03	0.03
Cd (%)	0.00	0.00	0.00	0.01
Pb (%)	0.00	0.07	0.09	0.11
Ag (%)	0.00	0.002	0.006	0.01

El pH se determinó por potenciómetro y va de neutro a medianamente alcalino (SEMARNAT, 2003) por lo que este factor no afecta al crecimiento de la vegetación; la densidad aparente se obtuvo por el método de probeta (Flores Delgadillo & Alcalá Martínez, 2010) y la textura por sedimentación (SEMARNAT, 2003), que son importantes para el cálculo de riego. El contenido de materia orgánica se realizó por el método de Walkley y Black (Flores Delgadillo & Alcalá Martínez, 2010) y es de 0.27% a 0.87% en las mezclas que contienen jales mineros, que es una concentración muy baja, lo que se relaciona con una mala estructura del suelo y una mala capacidad de amortiguamiento a cambios y presencia de contaminantes, así como un inadecuado reservorio de agua y nutrimentos. (Contreras López, 2016)

En cuanto a los macroelementos, se determinó el nitrógeno (N) total por arrastre de vapor KJELDAHL (FOSS Tecator AB, 2003); en el sustrato 0-100 la concentración es alta, no así para las demás mezclas donde la concentración es baja. El fósforo (P) extractable se obtuvo por fotocolorímetro con el método de azul de molibdeno, potasio (K) y sodio (Na) extractables, se determinaron por fotofluorimetría, y calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) totales, por difracción de rayos X con espectrómetro XRF portátil; los resultados están dentro de los rangos normales para suelos y se observó que aumenta la concentración con la mejora del suelo. (Allen, 1989)

Los oligoelementos se determinaron por difracción de rayos X con espectrómetro XRF portátil y se observó que para cloro (Cl) y hierro (Fe), los resultados están dentro de los rangos normales, para cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn), las tres mezclas que contienen jales superan los límites permisibles para el suelo, por lo que se vuelven tóxicos. (Allen, 1989)

Además se detectaron metales pesados en todas las muestras que contienen jales, el análisis se realizó por difracción de rayos X con espectrómetro XRF portátil. Estuvo presente en el análisis, estroncio (Sr), cadmio (Cd), plomo (Pb) y plata (Ag), que son elementos que se incluyen en la lista de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América como Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT). (SEMARNAT, 2012)

En relación a los análisis realizados y la interpretación de los resultados, los problemas en el suelo son: la escasez de materia orgánica, la falta de nitrógeno en las muestras donde hay jales, elemento indispensable para la vida, ya que estimula el crecimiento de la vegetación, y los niveles altos en algunos oligoelementos que se convierten en tóxicos, además de la presencia de metales pesados en todas las mezclas con residuos mineros.

De acuerdo a estos resultados, las especies vegetales que se debe proponer deberán ser capaces de permitir una cobertura uniforme en el suelo para mitigar el polvo con elementos tóxicos, ser invasivas, de bajos requerimientos, además de ser capaces de desarrollarse en suelos pobres, delgados y rocosos. Por otra parte, se observó que los niveles de toxicidad se reducen con el mejoramiento del suelo y

los elementos indispensables para sustentar la vida vegetal aumentan con el mejoramiento.

2.2 Selección de especies vegetales

Aunque en los jales resulta difícil el desarrollo de la vegetación, como ya se analizó, se han encontrado diversas especies vegetales que se establecieron en los residuos mineros. Las especies reportadas en los jales de Pachuca pertenecen a las familias de compositae: *Chamaemelum fuscatum*; graminae: *Agrostis capillaris*; cruciferae: *Brassica juncea*, leguminosae: *Medicago polymorpha*; solanaceae: *Solanum corymbosum* y chenopodiaceae: *Atriplex suberecta*. (Contreras López, 2016)

Además se han estudiado diversas especies vegetales en el mundo, que pueden establecerse en suelos de residuos mineros, por ejemplo en el municipio de Aznalcóllar, en Sevilla, España, tras el derrame de la presa de jales se estudiaron especies de *Brassica juncea* y *B. carinata* para su utilización en la recuperación de los suelos contaminados, además de *Amaranthus blotoides*, *Beta bulgaris* y *Convolvulus arvensis* que son plantas acumuladoras de metales pesados. (De Haro, et al., 2003) En Las Encartaciones en Vizcaya, España se probaron especies que son hipertolerantes con acumulación alta de metales como *Thlaspi caerulescens*, *Jasione montana*, *Rumex acetosa* y *Festuca rubra*. (Becerril, et al., 2007).

Se han probado especies que son capaces de acumular metales pesados como *Pistacia terebinthus* en Chipre, *Bidens humilis* en Ecuador, además de *Atriplex lentiformis* y *A. canescens* en Estados Unidos de América, con resultados muy prometedores. (Mendez & Maier, 2008). En México se han probado *Juniperus deppeana*, *Celtis reticulata* y *Prosopis juliflora* que son especies que resistieron a la contaminación del suelo. (Puga, et al., 2006)

Aunque existe una gran variedad de árboles, arbustos y hierbas que pueden desarrollarse sobre los jales mineros y que pueden coadyuvar en el rescate de los suelos contaminados, sólo se ha investigado su contribución al rescate ambiental, se omite que gran parte de estos suelos ya están urbanizados y que es de vital importancia tener especies que se consideren de interés ornamental. Algunas especies de las que se han estudiado pueden cumplir con el requerimiento de ser ornamental como *Brassica rapa*, *Gazania splendens*, *Lepidium virginicum*, *Sanvitalia procumbens*, *Montanoa tomentosa*, *Solanum eleagnifolium*, por ejemplo, pero sólo se puede conseguir comercialmente *G. splendens*. Por lo que es de vital importancia proponer una paleta vegetal de carácter ornamental, que se pueda utilizar en los espacios destinados para áreas verdes que puedan atender el problema ambiental además de la parte formal, estética y que sean comerciales.

Por lo tanto, probamos las especies *Carpobrotus edulis*, *Dietes vegeta*, *Sedum praealtum* y *Asclepias linaria* que son de carácter herbáceo, rápido crecimiento, fácil reproducción y bajo mantenimiento, que resultan útiles para conformar tape-

tes y macizos vegetales de diferente altura, capaces de cubrir el suelo, evitar tolvaneras y dar estructura al espacio; *Hedera hélix* es de crecimiento rápido y produce un alto nivel de cobertura, puede crecer como trepadora o cubresuelo, lo que permite tener opciones para el diseño de las áreas verdes ya que es capaz de crecer con raíces adventicias sobre muros que no tienen ningún nutrimento; *Senna multiglandulosa* es un árbol de porte bajo capaz de producir una sombra ligera y *Trifolium repens* se disemina principalmente por semilla y estolón que permite obtener alfombras verdes de textura muy fina; éstas dos últimas pertenecen a la familia de las leguminosas, lo que nos indica que son especies asociadas a bacterias fijadoras de nitrógeno que pueden crecer en suelos inhóspitos con falta de este elemento fundamental. Todas las especies que se eligieron cumplen con requerimientos estéticos y son comerciales.

2.3 Bioensayo

Se probó cada especie vegetal en los cuatro diferentes tipos de sustrato con cinco repeticiones, por lo que se le asignaron 20 contenedores a cada planta. El experimento total tuvo 140 contenedores con siete especies vegetales y cuatro sustratos, con cinco repeticiones como ya se mencionó.

La densidad de plantación por cada especie se calculó con base en el número de individuos que caben en un área y se propone una plantación por marco real en el cual un individuo se dispone frente a otro, tanto en sentido horizontal como vertical y se calcula con base a la talla adulta de las plantas para garantizar la cobertura total de la charola, evitando la competencia, (López de Juambelz, 2015) el número de individuos por contenedor queda como en la Tabla 2.

Tabla 2 Cálculo de individuos por contenedor

Especie	Número de individuos por contenedor
<i>Asclepias linaria</i>	5 individuos por contenedor
<i>Carpobrotus edulis</i>	9 individuos por contenedor
<i>Dietes vegeta</i>	9 individuos por contenedor
<i>Hedera hélix</i>	16 individuos por contenedor
<i>Sedum praealtum</i>	9 individuos por contenedor
<i>Senna multiglandulosa</i>	5 individuos por contenedor
<i>Trifolium repens</i>	20 individuos por contenedor

Se midió el desarrollo de la vegetación en cada sustrato con las siguientes variables: la altura, midiendo el tamaño vertical de la planta a partir de la superficie del sustrato; la cobertura, midiendo los lados de la superficie que cubre la planta

para convertirse en área; y el vigor, contando el número de plantas vivas en cada sustrato. La medición se realizó en cada planta de manera mensual con regla de medición y libreta de monitoreo, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3 Registro de datos

Clave	No	h (cm)	f (cm)	v (s/n)
Aa1	1	36	25x20	s
Aa1	2	38	35x30	s
Aa1	3	33	20x20	s
Aa1	4	24	20x17	s
Aa1	5	22	18x25	s

Fecha: 2 de noviembre de 2015

Con el registro mensual se obtienen resultados sobre la respuesta de cada especie en cada tipo de sustrato. Una vez obtenidas todas las mediciones mensuales, los datos son sujetos a un manejo estadístico descriptivo en el cual, capturados los datos de las diferentes variables, se obtiene un valor promedio y una desviación estándar por cada especie y por cada variable.

2.4 Resultados

Los resultados del experimento factorial en el que se midió el comportamiento de las especies vegetales contra diferentes concentraciones de suelo son:

Asclepias linaria: Hubo pérdida de individuos en las tres mezclas de jales de hasta el 12%, en cuanto a la altura se detectó variación en las cuatro mezclas de hasta el 13% entre el sustrato 0-100 y 100-0, por lo que puede desarrollarse en suelo de jales directamente, en cuanto a la fronda la variación máxima fue de 30% entre el sustrato 0-100 y 100.0.

Carpobrotus edulis: En todas las concentraciones de suelo no se registró pérdida de individuos, sin embargo se registraron variaciones en cuanto a altura de hasta un 30% entre el sustrato 0-100 y 100-0, además la fronda tuvo una variación de hasta el 35% entre el sustrato 0-100 y 100-0. La tendencia indica un buen crecimiento en todas las mezclas por lo que se puede utilizar en el suelo de jales directamente.

Dietes vegeta: Hubo una variación de hasta 20% en altura, entre el sustrato 0-100 y el 100-100; en cuanto a fronda se registró una variación de hasta 40% entre el sustrato 0-100 y 100-0. No se registró pérdida alguna en ningún sustrato, por lo que puede crecer en suelo de jales directamente.

Hedera hélix: Tuvo un porcentaje de 20% pérdida de individuos en las tres mezclas que contienen jales, no hubo pérdidas en la mezcla de suelo natural. En

cuanto a la altura y fronda el sustrato 60-40 fue el que tuvo menor variación, ya que en los otros dos hubo hasta 70% de variación de crecimiento en comparación con la mezcla 0-100. Se recomienda plantar esta especie en suelo de jales con un mejoramiento con suelo natural de 40%.

Sedum Praealtum: No hubo pérdida de individuos en ningún sustrato. Se registró una variación muy corta en cuanto a las otras dos variables con un registro máximo de 30% en fronda y 25% en altura entre las mezclas 0-100 y 100-0. Por lo que es muy recomendable plantar esta especie en el suelo de jales directamente.

Senna multiglandulosa: No registró pérdida de individuos en ningún sustrato. En cuanto a la altura se registró una variación de hasta 50% entre los sustratos 0-100 y 100-0. En cuanto a la fronda la variación fue de hasta el 55% entre los sustratos 0-100 y 100-0. Aunque no se registraron pérdidas se sugiere que esta especie se plante sobre suelo de jales con un mejoramiento de 40% de suelo natural.

Trifolium repens: Se registró una pérdida de individuos de hasta el 55% en el sustrato 100-0. En cuanto a la altura hubo variaciones de hasta 55% y en cuanto a la fronda, hasta el 60% con respecto a los sustratos 100-0 y 0-100. Se recomienda utilizar esta especie alrededor de los residuos mineros donde el suelo no tiene tantos cambios en los parámetros físicos y químicos, y la contaminación por elementos tóxicos es menor. (Puga, et al., 2006)

Del experimento factorial se determinó que de las siete especies vegetales propuestas, cuatro de ellas pueden establecerse sobre suelos de residuos mineros ya que presentan pocas variaciones, estas especies son *Asclepias linaria*, *Carpobrotus edulis*, *Dietes vegeta* y *Sedum praealtum*.

Senna multiglandulosa y *Hedera helix* pueden crecer sobre suelos de residuos mineros siempre y cuando se mejoren con 40% de suelo natural. Se recomienda además que *Trifolium repens* se plante en asentamientos alrededor de los jales donde los cambios en los parámetros del suelo y la contaminación son menores.

2.5 Paleta vegetal para las áreas verdes en los asentamientos sobre residuos mineros

Con los resultados obtenidos se puede realizar de manera detallada, una cédula específica como se muestra en la Fig. 1.

Características generales

Nombre científico
Senna multiglandulosa (Jacq.) Irwin & Barneby

Nombre común
Retama

Familia
Fabaceae

Tipo
Perenne

Dimensión
Altura: **400cm**
Diámetro: **300cm**

Floración
amarilla

Necesidades
Suelo: **cualquiera**
Sol: **directo**

Observaciones
Se recomienda plantar en suelo de residuos mineros con un mejoramiento con suelo natural de 40%

Aplicación al diseño

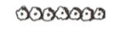

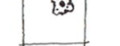
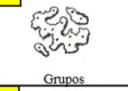


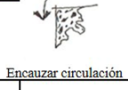


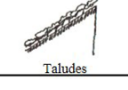
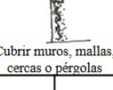


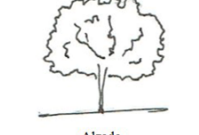
 Banqueta	 Camellón	 Plazas o áreas de juego
 Grupos	 Aislados o punto focal	 Alineamientos
 Encauzar circulación	 Delimitación de espacios	 Tapete
 Taludes	 Cubrir muros, mallas, cercas o pérgolas	 Barrera rompevientos
 Planta		 Alzado

Fig. 1 Cédula específica de *Senna multiglandulosa*

Para el uso de las plantas que se probaron en el experimento factorial. Estas fichas deben contar con información detallada sobre datos taxonómicos y biológicos de cada especie vegetal. Además, dentro de esta información, el usuario o diseñador dispondrá de datos técnicos que ayuden a la elección de las plantas en cuanto al diseño y utilización de éstas en el espacio, por otra parte, debe contar con observaciones de cómo la especie seleccionada se adapta a estos suelos contaminados.

3 Conclusiones

De acuerdo al bioensayo realizado mediante un experimento factorial que define la concentración de suelo de jales contra diferentes especies vegetales de carácter ornamental, encontramos que existen especies capaces de ser utilizadas en el diseño paisajístico de los espacios destinados para áreas verdes en los desarrollos urbanos sobre jales mineros, lo que repercute en mejorar la calidad de vida de los usuarios y disminuir los vectores de contaminantes por dispersión eólica a los que está expuesta la población.

En cuanto a la caracterización física y química que se realizó en los sustratos que contienen a la vegetación, se observa que el contenido de materia orgánica en el sustrato de jales al 100% es muy bajo, lo que se relaciona con una mala estructura del suelo y una mala capacidad de amortiguamiento a cambios y presencia de contaminantes, así como un inadecuado reservorio de agua y nutrimentos, sin embargo el contenido de materia orgánica aumenta si se mezcla con el suelo orgánico.

Con respecto a los macroelementos primarios que son nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) que las plantas utilizan en g/lt, encontramos que el suelo de jales es deficiente en nitrógeno (N), incluso esta deficiencia se mantiene en las mezclas con suelo orgánico, lo que se relaciona directamente con la dificultad que tienen las plantas para desarrollarse. (Allen, 1989) Con respecto al fósforo (P) y potasio (K), así como los macroelementos secundarios, calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), se encuentran dentro de los rangos adecuados para el crecimiento vegetal.

En el caso de los oligoelementos donde el rango de las plantas presenta toxicidad, es muy estrecho porque los requerimientos corresponden a mg/lt (ppm). Sin embargo pueden causar deficiencia tanto para las plantas como para el desarrollo de microorganismos del suelo. Se observa también la presencia de metales pesados tóxicos para la vegetación como estroncio (Sr), cadmio (Cd), plomo (Pb) y plata (Ag), que coincide con los reportes de diferentes caracterizaciones que se han realizado en el suelo de jales de Pachuca. (Hernández Acosta, et al., 2009)

De las siete especies probadas, encontramos un desarrollo satisfactorio en *Carpobrotus edulis* (aizosaceae), *Diets vegeta* (iridaceae), *Sedum praealtum* (crasulaceae) y *Asclepias linaria* (asclepidaceae). Se observó que en *Hedera hélix* (araliaceae), el suelo de jales y sus contaminantes tienen un efecto nocivo sobre el desarrollo de esta especie. Para *Senna multiglandulosa* y *Trifolium repens* (leguminoseae), que son especies asociadas a bacterias fijadoras de nitrógeno, se esperaba que su respuesta de crecimiento fuera satisfactoria, ya que no dependen del nitrógeno presente en el suelo, que en el caso de los jales es muy bajo y esto puede ser un factor limitante al desarrollo de las plantas; la respuesta insatisfactoria en el desarrollo de las especies de leguminoseae puede estar relacionado con el efecto inhibitorio de los metales pesados sobre las bacterias simbióticas de estas plantas para la fijación de nitrógeno. (Olivares, 2015)

El diseño experimental se realizó *ex situ*, ya que se plantaron las especies vegetales en contenedores colocados en el edificio del Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural, perteneciente al Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM, en el que se controlaron variables como el riego, sin embargo se recomienda realizar el experimento *in situ*, para ver el comportamiento de las especies vegetales con los factores climáticos del lugar.

Se recomienda realizar la caracterización física y química del suelo para conocer el aporte de biomasa de las plantas al suelo, además de identificar si con la plantación de las especies, éstas aportan nutrimentos para que en posteriores siembras, el efecto inhibitorio sea menor. Por otra parte, se recomienda realizar la caracterización química de las plantas que se estudiaron para identificar si son acu-

muladoras de metales pesados y con esto comenzar con la recuperación del suelo contaminado.

Referencias

Allen, S. E., 1989. *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Londres, Gran Bretaña: Blackwell Scientific Publications.

Becerril, M., et al., 2007. Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 16(2), pp. 50-55.

Comisión del Fomento Minero, 1959. Planta de Tratamiento de Jales Unidad "Santa Julia" Pachuca, Hidalgo. *boletín Número 6*, Issue 6, pp. 8-24.

Contreras López, C., 2016. *Oblitopías: recuperación del espacio abierto contaminado en asentamientos humanos ubicados sobre depósitos de jales mineros*. México: Facultad de Arquitectura, UNAM.

De Haro, A., Del Río, M. & Font, R., 2003. Potencial de especies cultivadas de Brassica y de especies silvestres para la fitorremediación de suelos contaminados. En: *Ciencia y Restauración del Río Guadamar. Resultados del programa de Investigación del corredor Verde del Guadamar 1998-2002*. Sevilla, España: KADMOS, pp. 276-283.

Flores Delgadillo, L. & Alcalá Martínez, J. R., 2010. *Manual de Procedimientos Analíticos*. México: Instituto de Geología, UNAM.

FOSS Tecator AB, 2003. *Application Sub Note ASN 3313, The determination of nitrogen according to Kjeldahl in soil*. Suecia: FOSS.

Hernández Acosta, E., et al., 2009. Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(2), pp. 109-114.

Hernández Ávila, J., 2012. Caracterización de la escombrera de Velazco en el Estado de Hidalgo y su uso alterno como material de construcción. *V encuentro de investigación del AACTyM*, p. 6.

López de Juambelz, R., 2015. Aspectos técnicos para el manejo de la vegetación en el diseño. En: *Tecnología. Una contribución sistemática de acción, reflexión y análisis*. México: Facultad de Arquitectura UNAM, pp. 333-353.

Mendez, M. O. & Maier, R. M., 2008. Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments An Emerging Remediation Technology. *Environmental Health Perspectives*, 116(3), pp. 278-283.

Olivares, P. J., 2015. *tiene futuro la fijación biológica de nitrógeno*. [En línea]
Disponible en: www.eez.csic.es/olivares/ciencia/futuro2/index.html
[Último acceso: enero 2016].

Ortiz Bernard, I., Sanz García, J., Dorado Valiño, M. & Villar Fernández, S., 2007. *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Madrid: Universidad de Alcalá, Dirección General de Univesidades e Investigación.

Puga, S., et al., 2006. Concentraciones de As y Zn en vegetación nativa cercana a una presa de jales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22(2), pp. 75-82.

Saavedra Silva, E. E. & Sánchez Salazar, M. T., 2007. Minería y espacio en el distrito minero Pachuca - Real del Monte en el siglo XIX. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Issue 65, pp. 82-101.

SEMARNAT, 2003. *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. México: Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT, 2004. *Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003 que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales*. México: Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT, 2012. *Metales Pesados*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Soto Oliver, N., 1982. *La minería, El Distrito Minero Pachuca-Real del Monte a través de la historia*. Pachuca(Hgo): Gobierno del Estado de Hidalgo.

Tordoff, G. M., Baker, A. J. M. & Willis, A. J., 2000. Current approaches to revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, Volumen 41, pp. 219-228.

Agradecimientos

Este trabajo fue elaborado gracias al auspicio del proyecto PAPIME PE401613, “Consolidación del laboratorio para la conservación del patrimonio natural y cultural”, en la línea de investigación “Apoyo al proceso de conservación de la región Zempoala – Pachuca, Hidalgo, México”. Y con el equipo proporcionado por el laboratorio para la conservación del patrimonio natural y cultural, a través del programa CONACyT INFRA2014 225248.