

Artículos científicos

Aparición de Brotes de Chamizo [*Atriplex canescens* (Pursh, Nutt)] para Fitoestabilización de Plomo

*Seed emergence of fourwing saltbush [*Atriplex canescens* (Pursh, Nutt)] for lead phytostabilization*

Pravda Luz Aguilar-Hernández

Universidad Autónoma de Chihuahua, México

aguilarhernandezpravaluz@yahoo.com.mx

Resumen

El presente documento tiene por objeto describir la evolución de la siembra del arbusto de *Atriplex canescens* Pursh, Nutt. en cuatro diferentes porcentajes de sustratos de jal según las variables de cantidad de plántulas que brotaron, cantidad de hojas en las plántulas, altura de las plántulas y longitud de las hojas de las plántulas, en condiciones de invernadero. Dado que la evolución de las plántulas está en función de las características fisicoquímicas del jal utilizado como sustrato, se recuperó información inicial de la densidad, la permeabilidad, el pH, la conductividad eléctrica y los niveles de exposición a las concentraciones de plomo a las que se expusieron las semillas de *Atriplex canescens* Pursh, Nutt. en el jal. Los resultados de las investigaciones realizadas anteriormente en el sitio de estudio han sido precursores para el presente trabajo. Actualmente se está trabajando en un proyecto de mitigación con el uso de plantas, al cual se le está dando seguimiento. Es por esto por lo que el alcance de este trabajo se concreta a la evaluación fuera de sitio del sitio de estudio, en la evolución de la siembra de plantas de *Atriplex canescens* Pursh, Nutt. utilizando cuatro diferentes porcentajes de jal como sustrato; el desarrollo de este experimento en condiciones de invernadero funciona como apoyo del proyecto de mitigación con la finalidad de evaluar la inmovilización de plomo en raíces.

Palabras clave: evaluación de brotes, jal, plomo, fitoestabilización

Abstract

The purpose of this document is to describe the evolution of the planting of the *Atriplex canescens* Pursh, Nutt. shrub into four different percentages of tail substrates according to the variables of the number of seedlings that sprouted, the number of leaves in the seedlings, the height of the seedlings, and the length of the seedling leaves, under greenhouse conditions. Since the evolution of seedlings is based on the physicochemical characteristics of the tail used as a substrate, initial information on density, permeability, pH, electrical conductivity, and exposure levels to lead concentrations to which *Atriplex canescens* Pursh, Nutt. seeds were exposed in the tail was retrieved. The results of the research previously conducted on the study site have been precursors to this work. Work is currently underway on a plant mitigation project, which is being tracked. Therefore, the reach of this work is realized to the off-site evaluation of the study site, in the evolution of the planting of *Atriplex canescens* Pursh, Nutt. plants using four different percentages of the tail as substrate; the development of this experiment under greenhouse conditions works to support the mitigation project to evaluate root lead immobilization.

Keywords: seed emergence, tail, lead, phytostabilization.

Fecha Recepción: Junio 2020

Fecha Aceptación: Diciembre 2020

Introducción

La mitigación del suelo contaminado por jales mineros a través del tiempo en el sitio de estudio se ha ido definiendo por la caracterización del sitio y por la información de las concentraciones de plomo que se han realizado mediante el trabajo de campo y los datos bibliográficos. El uso de la ecotecnología aplicada para la mitigación se clasifica como *in situ*, sin remoción del suelo contaminado, biológica, de fitorremediación, específicamente de fitoestabilización, como medida de fitorremediación con el uso de plantas para depurar el suelo contaminado (Santos *et al.*, 2017; Lan *et al.*, 2020). Esta medida es una técnica pasiva y estéticamente agradable por su impacto visual, y es útil en suelos con contaminación superficial (Borges *et al.*, 2017). De esta manera, las plantas pueden actuar como inmovilizadores de contaminantes (Zhang *et al.*, 2020). Hidalgo del Parral, Chihuahua, es uno de los distritos mineros importantes de México, que se caracterizó desde su fundación hace 300 años como potencia minera, sin embargo, fue generadora de jales mineros que se han convertido en un pasivo ambiental. Se han realizado estudios previos en la zona, por Luis Adrián Barraza Torres en 2015 con el “Diseño de experimentos para la posterior

estabilización/solidificación de residuos mineros”, y la “Evaluación de la contaminación del suelo por arsénico, plomo y mercurio en la zona de la presa de jales de Mina La Prieta en Hidalgo del Parral, Chihuahua”. Por esta razón, los criterios de selección de la especie de *Atriplex canescens* Pursh, Nutt. y el porcentaje de sustratos fueron definidos para dar seguimiento al proyecto de “Evaluación de la situación actual para la mitigación de los impactos ambientales de la actividad minera”, siguiendo el estudio realizado por Luis Miguel Rodríguez Vázquez en 2020 con la “Identificación y selección de plantas regionales con potencial para fitorremediación en jales mineros abandonados”. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la aparición de brotes de *Atriplex canescens* Pursh, Nutt., y el efecto de los porcentajes de jal utilizado como sustrato en la evolución de las plántulas.

Materiales y métodos

El experimento en condiciones de invernadero inició el 22 de agosto de 2020, por medio de siembra directa con semilla de *Atriplex canescens* Pursh, Nutt. La semilla fue escarificada de forma mecánica frotando la semilla sobre una malla metálica fina (Hartmann *et al.*, 1974; Molina, 1992; Valdez *et al.*, 2003). Las semillas fueron colocadas bajo remojo por 48 horas previas a su siembra (Molina, 1992; Valdez *et al.*, 2003). Se utilizaron 48 macetas de 15 centímetros de altura y 15 centímetros de diámetro. Se sembraron 50 semillas en cada una de las macetas. Los sustratos se dividieron en cuatro tratamientos diferentes según el porcentaje de jal, con 12 repeticiones cada uno. La composición de los sustratos es una mezcla porcentual de composta, zeolita y jal (Mamdouh, 2015; Rodríguez *et al.*, 2020). El jal fue obtenido de la mina La Prieta, Hidalgo del Parral, Chihuahua. Las proporciones para el tratamiento 1 son de 10% composta, 6.6% zeolita, 83.4% jal; para el tratamiento 2 son de 10% composta, 13.3% zeolita, 76.7% jal; para el tratamiento 3 son de 20% composta, 6.6% zeolita, 73.4% jal; para el tratamiento 4 son de 20% composta, 13.3% zeolita, 66.7% jal (Tabla 1).

Tabla 1: Composición Porcentual del Sustrato Utilizado para los Cuatro Tratamientos

	Composta (%)	Zeolita (%)	Jal (%)
T1	10	6.6	83.4
T2	10	13.3	76.7
T3	20	6.6	73.4
T4	20	13.3	66.7

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Los sustratos fueron inoculados con una micorriza de uso comercial base *Funneliformis mosseae*, del cual fueron agregados 3 gramos por cada 1 kilo de sustrato. El peso promedio del sustrato contenido en las macetas es de 1200 gramos. Desde el día 1 al día 96 del experimento, fue registrada la aparición de brotes de *Atriplex canescens* Pursh, Nutt. El registro se contabilizó cada quince días (Ruiz-Fernández *et al.*, 2019). Los datos tomados para registro fueron el número de plántulas que brotaron, la cantidad de hojas en las plántulas, la altura de las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas (Zhang *et al.*, 2019). Con estos datos, se determinó la cantidad de aparición de brotes y la tasa de aparición de brotes (Maguire, 1962; Hartmann *et al.*, 1974). Para el diseño experimental se empleó el diseño de bloques de 4 tratamientos con 12 repeticiones (González *et al.*, 2015). La validación estadística para comparar los resultados registrados hasta este momento en el experimento se realizó con una prueba de análisis de varianzas (Probabilidad $P \leq 0.05$) para obtener las diferencias de significancia, también se realizó una prueba de comparación de medias para obtener las diferencias entre los tratamientos, y por último se realizó el análisis de correlación para determinar la relación entre las variables registradas y los cuatro tratamientos (Rodríguez *et al.*, 2020). Los datos de conductividad eléctrica permiten deducir los niveles de cationes que se encuentran por arcillas y por materia orgánica en el sustrato, permitiendo la adsorción de plomo. El pH está relacionado con la especiación de plomo para deducir la forma en que está presente en el sustrato. La densidad es la característica con la que se puede deducir la movilidad del plomo en el sustrato por su textura. La permeabilidad permite deducir la movilidad del plomo a través de los materiales que componen el sustrato. Los valores generalizados de los niveles de concentración de plomo en suelo considerados excesivos para las plantas son de $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. La caracterización inicial del jal utilizado en este estudio se presenta en la Tabla 2. Los valores por cada uno de los cuatro tratamientos por conductividad eléctrica, pH y densidad, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 2: Caracterización del Jal

Concentraciones de plomo ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) en jal	
Ph	7.28
Concentraciones de Pb ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	11.12
Precipitación esperada hasta un pH de 6.7 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$1.2 \cdot 10^{-5}$
Adsorción esperada hasta un pH de 6.7 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.6
K coeficiente de conductividad hidráulica permeabilidad (cm/min)	$1.80 \cdot 10^{-5}$
Concentraciones de Pb esperadas en raíces ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.528

Fuente: Rodríguez, et al., 2020

Tabla 3: Características de los Cuatro Sustratos Utilizados como Tratamientos

	Densidad (gr*cm ⁻³)	pH	CE	Jal (%)
T1	2.2361	7.79	2.09	83.4
T2	2.0564	7.84	1.98	76.7
T3	1.9680	7.76	2.27	73.4
T4	1.7883	7.76	2.14	66.7

Fuente: Elaboración propia, 2021

Resultados

Las apariciones de los brotes fueron consideradas como valores medios porque se obtuvo un porcentaje del 12% de plántulas (Jurado *et al.*, 1992). La duración de la aparición de los brotes se considera como el tiempo en días transcurridos en que aparecieron las plántulas en las macetas, y fueron consideradas lentas porque se obtuvo la mayor parte de aparición de las plántulas después de 7 días (Jurado *et al.*, 1992). Utilizando los datos registrados, se determinaron la cantidad de aparición de brotes (PB) y la tasa de aparición de brote (TB) (Maguire, 1962; Hartmann *et al.*, 1974). El número de aparición de brotes se tomó de las 48 macetas del experimento, sólo una maceta no registró aparición de brotes; estos datos se tomaron cada 15 días. El primer brote apareció 33 días después de la siembra. Al día 96, se obtuvo un total de 310 plántulas, lo que se consideró un porcentaje de aparición de brotes de 12%. El número de hojas se contó de las 310 plántulas al día 96 de registro. El promedio de hojas de los brotes es de 6. El valor más frecuente de hojas en los brotes es de 4. La máxima cantidad de hojas que tiene una plántula es de 18. La mínima cantidad de hojas que tiene una plántula es de 2. Se utilizó un flexómetro para tomar la altura en centímetros de las 310 plántulas al día 96 de registro desde la base del tallo hasta el ápice. El promedio de la altura de los brotes es de 2 centímetros. El valor más frecuente de altura de los brotes es de 1 centímetro. La máxima altura que tiene una plántula es de 13.5. La mínima altura que tiene una plántula es de 0.5 centímetros. Se tomó la longitud de las hojas en centímetros de las 310 plántulas al día 96 de registro. El promedio de la longitud de las hojas de los brotes es de 1 centímetro. El valor más frecuente de la longitud de las hojas de los brotes es de 1 centímetro. La máxima la longitud de las hojas que tiene una plántula es de 3. La mínima la longitud de las hojas que tiene una plántula es de 0.5 centímetros. El resumen de los valores es mostrado en la Tabla 4.

Tabla 4: Estadísticas de las Características Físicas de los Brotes

	Media	Valor mínimo	Valor máximo	Mediana
Número de hojas en los brotes	6.105	2	18	4
Altura de los brotes (cm)	2.429	0.5	13.5	1
Longitud de las hojas de los brotes (cm)	1.239	0.5	3	1

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Con los datos de registro de las características físicas de los brotes es posible obtener la cantidad de aparición de brotes (PB) y la tasa de aparición de brotes (TB), y se determinaron usando la ecuación de Hartmann (1974), donde la cantidad de aparición de brotes (PB) es igual al número de aparición de brotes dividido entre el número total de semillas; la tasa de aparición de brotes (TB) es igual al número de aparición de brotes dentro del intervalo de tiempo (N) multiplicado por el tiempo transcurrido entre el inicio de la prueba y el intervalo de medición (T) dividido entre la cantidad de aparición de brotes (PB) (Tabla 5).

Tabla 5: Cantidad de Brotes (PB) y Tasa de Aparición de Brotes (TB)

Tratamiento	Cantidad de brotes (PB)	Tasa de aparición de brotes (TB)
T1	23%	14%
T2	7%	8%
T3	11%	9%
T4	10%	48%

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Para el análisis de la varianza, la prueba de Duncan y el análisis de correlación, los datos registrados permitieron determinar diferencias entre los tratamientos por número de plántulas que brotaron, cantidad de hojas en las plántulas, altura de las plántulas y longitud de las hojas de las plántulas para deducir si los tratamientos tuvieron algún efecto en la caracterización de los brotes. Se aplicó la prueba de Duncan al 5 % para la comparación de medias de los tratamientos (Rodríguez *et al.*, 2020), donde se identificaron 7 clústeres, para el número de aparición de brotes se encuentra el tratamiento T2 (76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH) y T3 (73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE, 7.76 pH), para la cantidad de hojas en los brotes se encuentra el T1 (83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH) y T2 (76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH), para la altura de los brotes se encuentra el T1 (83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH) y T2 (76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH), para la longitud de las hojas se encuentra el T1 (83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH) y T2 (76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH) y T3 (73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE,

7.76 pH), para la longitud de las hojas en los brotes se encuentra el T1 (83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH) and T2 (76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH), T1 (83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH) y T3 (73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE, 7.76 pH), T2 (76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH) y T3 (73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE, 7.76 pH) (Tabla 6).

Tabla 6: Análisis de la Varianza y Prueba de Duncan

CAB	GL	SC	CM	F
Tratamientos	3	440.52	146.84	2.75*
Error	43	2298.80	53.46	
Total	46	2739.32		
Tabla de contraste				
T2	T3	-6.94	3.10	≠
CH	GL	SC	CM	F
Tratamientos	3	277.93	92.64	7.52*
Error	43	529.73	12.32	
Total	46	807.66		
Tabla de contraste				
T1	T2	-2.41	2.41	≠
AB	GL	SC	CM	F
Tratamientos	3	213.27	71.09	12.42*
Error	43	246.20	5.73	
Total	46	459.47		
Tabla de contraste				
T1	T2	-1.81	1.48	≠
T2	T3	-3.14	0.14	≠
LH	GL	SC	CM	F
Tratamientos	3	20.22	6.74	29.92*
Error	43	9.69	0.23	
Total	46	29.90		
Tabla de contraste				
T1	T2	-0.12	0.53	≠
T1	T3	-0.28	0.37	≠
T2	T3	-0.49	0.16	≠

GL=Grados de libertad; SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrados medios; F=Prueba de Fisher; CAB=Cantidad de aparición de brotes; CH=Cantidad de hojas; AB=Altura del brote en centímetros; LH=Longitud de hojas en centímetros; T1= 83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH; T2=76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH; T3= 73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE, 7.76 pH; T4=66 % jal, 1.78 gr*cm⁻³ ρ, 2.14 CE, 7.76 pH

$$t_{0.0543}=1.682$$

* Significante

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Cuando el análisis de correlación fue realizado entre tratamientos analizando los datos de registro, se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7: Análisis de Correlación

	CB		CH		AB		LH		CAB	
T1	r	2-t	R	2-t	r	2-t	r	2-t	r	2-t
CH	-0.04	0.89								
AB	-0.23	0.47	0.73	0.01						
LH	0.41	0.01	0.22	0.04	-0.14	0.65				
CAB	0.47	0.01	-0.45	0.15	-0.39	0.21	0.36	0.02		
TAB	0.6	0.04	-0.03	0.93	0.02	0.96	-0.07	0.84	0.73	0.01
	CB		CH		AB		LH		CAB	
T2	r	2-t	R	2-t	r	2-t	r	2-t	r	2-t
CH	-0.5	0.1								
AB	-0.43	0.16	0.98	0						
LH	-0.27	0.4	0.66	0.02	0.56	0.06				
CAB	1	0	-0.5	0.10	-0.43	0.16	-0.27	0.40		
TAB	0.54	0.06	-0.91	0	-0.84	0	-0.76	0	0.54	0.07
	CB		CH		AB		LH		CAB	
T3	r	2-t	r	2-t	r	2-t	r	2-t	r	2-t
CH	-0.60	0.04								
AB	-0.56	0.06	0.99	0						
LH	-0.63	0.03	0.96	0	0.97	0				
CAB	0.66	0.02	-0.14	0.65	-0.11	0.73	-0.16	0.62		
TAB	0.60	0.04	-0.03	0.93	0.02	0.96	-0.07	0.84	0.73	0.01
	CB		CH		AB		LH		CAB	
T4	r	2-t	r	2-t	R	2-t	r	2-t	r	2-t
CH	0.13	0.69								
AB	0.03	0.94	0.80	0						
LH	0.63	0.03	0.66	0.02	0.70	0.01				
CAB	0.39	0.21	0.34	0.27	0.47	0.12	0.57	0.05		
TAB	0.29	0.36	0.56	0.06	0.41	0.19	0.41	0.19	0.37	0.23

T=Tratamiento; r=Coefficiente de correlación de Pearson; 2-t=Dos colas; CB= Cantidad de brotes; CH=Cantidad de hojas; AB=Altura del brote en centímetros; LH=Longitud de hojas en centímetros; CAB=Cantidad de aparición de brotes; TAB= Tasa de aparición de brotes;

T1= 83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH; T2=76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH; T3= 73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE, 7.76 pH; T4=66 % jal, 1.78 gr*cm⁻³ ρ, 2.14 CE, 7.76 pH

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Discusión

El valor de la media \pm desviación estándar para el número de aparición de brotes fue de 7.69 ± 6.46 , para la cantidad de hojas en los brotes fue de 5.79 ± 4.23 , para la altura de los brotes fue de 3.15 ± 2.55 , y para la longitud de las hojas en los brotes fue de 1.25 ± 0.82 . Los tratamientos T3 (73 % jal, $1.96 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 2.27 CE, 7.76 pH) y T4 (66 % jal, $1.78 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 2.14 CE, 7.76 pH) se describen como estadísticamente iguales, asimismo, son los tratamientos con valores más bajos de densidad, pH, conductividad eléctrica, y también son los que tienen un porcentaje menor de jal como sustrato, es decir, que estos tratamientos pueden caracterizarse porque la mezcla de sustratos interfieren en menor medida en que la aparición de los brotes pueda ocurrir por encima del sustrato. Aplicado el análisis de la correlación de Pearson para conocer la interacción de los datos tomados para registro fueron el número de plántulas que brotaron, la cantidad de hojas en las plántulas, la altura de las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas, así como para los valores calculados para determinar la cantidad de aparición de brotes y la tasa de aparición de brotes. Se obtuvieron correlaciones positivas significativas para el número de plántulas que brotaron entre el tratamiento T1 (83 % jal, $2.23 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 2.09 CE, 7.79 pH) y T4 (66 % jal, $1.78 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 2.14 CE, 7.76 pH) ($r=0.62$, $P=0.03$), pues para ambos tratamientos la cantidad de aparición de brotes fue alta. No se obtuvieron correlaciones significativas para la cantidad de hojas en las plántulas entre los tratamientos, es decir que cada porcentaje de jal utilizado en cada uno de los tratamientos, así como las características de conductividad, pH, densidad y permeabilidad propias de cada tratamiento, tienen un efecto en el desarrollo de la planta, específicamente en el desarrollo de las hojas. Para la altura de las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas se obtuvieron correlaciones positivas entre el tratamiento T2 (76 % jal, $2.05 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 1.98 CE, 7.84 pH) y T4 (66 % jal, $1.78 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 2.14 CE, 7.76 pH) ($r=0.46$, $P=0.01$), dado que ambos tratamientos presentan el registro de plántulas de mayor altura y el registro de hojas de mayor longitud comparado con los otros tratamientos. Para los valores calculados de la cantidad de aparición de brotes, las correlaciones positivas se obtuvieron entre el tratamiento T1 (83 % jal, $2.23 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 2.09 CE, 7.79 pH) y T2 (76 % jal, $2.05 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 1.98 CE, 7.84 pH) ($r=0.25$, $P=0.04$), T2 (76 % jal, $2.05 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 1.98 CE, 7.84 pH) y T4 (66 % jal, $1.78 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 2.14 CE, 7.76 pH) ($r=0.19$, $P=0.05$), T3 (73 % jal, $1.96 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 2.27 CE, 7.76 pH) y T4 (66 % jal, $1.78 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ρ , 2.14 CE, 7.76 pH) ($r=0.28$, $P=0.03$), siendo un factor de efecto el tiempo de aparición de los brotes, dado si estos

ocurrieron durante los primeros 28 días del experimento o durante los últimos 28 días del experimento. Para los valores calculados de la tasa de aparición de brotes, se obtuvieron dos correlaciones positivas entre el tratamiento T2 (76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH) y T3 (73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE, 7.76 pH) ($r=0.20$, $P=0.05$), así como para el tratamiento T3 (73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE, 7.76 pH) y T4 (66 % jal, 1.78 gr*cm⁻³ ρ, 2.14 CE, 7.76 pH) ($r=0.25$, $P=0.04$). La asociación entre las 48 observaciones, 12 repeticiones para cada uno de los cuatro tratamientos, con el número de plántulas que brotaron, cantidad de hojas en las plántulas, altura de las plántulas y longitud de las hojas de las plántulas, presentó algunas relaciones existentes entre los datos registrados, incluyendo los datos calculados para la cantidad de aparición de brotes y la tasa de aparición de brotes, presentando un efecto moderado para el tratamiento T1 (83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH) entre la cantidad de hojas en las plántulas y la altura de las plántulas con $r=0.73$ ($P=0.007$). Esta relación entre la cantidad de hojas en las plántulas y la altura de las plántulas también se presentó para el tratamiento T2 (76 % jal, 2.05 gr*cm⁻³ ρ, 1.98 CE, 7.84 pH) con un efecto mayor con $r=0.98$ ($P=0.000$), para el tratamiento dos también se presentó un efecto moderado de correlación entre la cantidad de hojas en las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas con $r=0.66$ ($P=0.002$), y entre la altura de las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas con $r=0.56$ ($P=0.006$). El tratamiento T3 (73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE, 7.76 pH) presentó un efecto mayor entre la cantidad de hojas en las plántulas y la altura de las plántulas con $r=0.99$ ($P=0.000$), entre la cantidad de hojas en las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas con $r=0.96$ ($P=0.000$), y entre la altura de las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas con $r=0.98$ ($P=0.000$). Para el tratamiento T4 (66 % jal, 1.78 gr*cm⁻³ ρ, 2.14 CE, 7.76 pH), la relación existente entre la cantidad de hojas en las plántulas y la altura de las plántulas tuvo un efecto mayor con $r=0.80$ ($P=0.002$) y con un efecto moderado para la relación entre la cantidad de hojas en las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas con $r=0.66$ ($P=0.019$), y para la altura de las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas con un valor de correlación que fue de $r=0.70$ ($P=0.011$).

Conclusiones

Al evaluar los resultados de esta primera parte de la investigación, se ha concluido que el porcentaje de aparición de brotes es de 12%. El mayor número de aparición de brotes se obtuvo del tratamiento T1 (83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH) después de 96 días de transcurrido el experimento. El desarrollo de los brotes según los datos de registro del número de plántulas que brotaron, la cantidad de hojas en las plántulas, la altura de las plántulas y la longitud de las hojas de las plántulas, por cantidad de brotes lo presentó el tratamiento T1 (83 % jal, 2.23 gr*cm⁻³ ρ, 2.09 CE, 7.79 pH), por cantidad de hojas lo presentó el tratamiento T4 (66 % jal, 1.78 gr*cm⁻³ ρ, 2.14 CE, 7.76 pH), según la altura de las plántulas, la mayor la presentó el tratamiento T3 (73 % jal, 1.96 gr*cm⁻³ ρ, 2.27 CE, 7.76 pH), y por longitud de las hojas lo presentó el tratamiento T4 (66 % jal, 1.78 gr*cm⁻³ ρ, 2.14 CE, 7.76 pH). A partir de estos datos, se podría deducir que el porcentaje de jal utilizado como sustrato podría ser una limitante de la aparición de brotes. Por otra parte, para todos los tratamientos, la mayor cantidad de los brotes aparecieron del día 68 al día 96 de registro del experimento. Los resultados de esta investigación muestran que la variable de la longitud de las hojas para todos los tratamientos presentó correlaciones positivas fuertes, deduciendo que esta característica puede mostrar durante el avance del experimento un efecto y una relación con el desarrollo de la planta.

Referencias

- Barraza, L. (2015). *Evaluación de la contaminación del suelo por arsénico, plomo y mercurio en la zona de la presa de jales de Mina La Prieta en Hidalgo del Parral, Chihuahua*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. México. <http://132.248.9.195/ptd2015/septiembre/0735792/0735792.pdf>.
- Burges, A., I. Alkorta, L. Epelde, C. Garbisu. (2017). From phytoremediation of soil contaminants to phytomanagement of ecosystem services in metal contaminated sites. Contamination and soil health. *International Journal of Phytoremediation*. 20 (4): 15-27. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1365340>.
- González, E., L. Barraza, M. Alfonso, G. Fernández. (2015). *Diseño de experimentos para la posterior estabilización/solidificación de residuos mineros*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. México. <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/106.pdf>.
- Hartmann, T. Kester, E. (1974). *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. Tercera edición. México, CECSA. 810p. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/45969/mod_resource/content/1/Propagacion%20de%20plantas.pdf.
- Jurado, E., Westoby, M. (1992). Germination biology of selected Central Australian plants. *Australian Journal of Ecology*. 17 (4): 341-348. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1992.tb00816.x>.
- Lan, M., C. Liu, S. Liu, R. Qiu, Y. Tang. (2020). Phytostabilization of Cd and Pb in Highly Polluted Farmland Soils Using Ramie and Amendments. *International journal of environmental research and public health*. 17:5:1661. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051661>.
- Maguire, J. (1962). Speed germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2: 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.
- Mamdouh, A. (2015). Impact of Compost on Metals Phytostabilization Potential of Two Halophytes Species. *International Journal of Phytoremediation* 17 (7): 662-668. <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.955567>.
- Molina, P. (1992). *Efectos de varios tratamientos sobre la germinación de Atriplex canescens (Pursh) Nutt., en el laboratorio*. Tesis de Licenciatura. Universidad

- Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. México.
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/435066>.
- Rodríguez, L., Prieto, A., Silva, R., Ávalos, H., Herrera, E., Yáñez, E., Cortés, L., Aquino, G. (2020). Identification and Selection of Regional Plants with Potential for Phytoremediation in Abandoned Open Pit Tailing Dams. *Journal of Environmental Science and Engineering*. 9: 56-65. <https://doi.org/10.17265/2162-5298/2020.02.002>.
- Ruiz-Fernández, E., F. Rochín-Berumen, C. Aréchiga-Flores, P. Hernández-Briano, M. Rincón-Delgado. (2019). Impacto ecológico de la reforestación con la especie arbustiva *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. en un matorral desértico micrófilo. *Abanico Agroforestal*. 9: 1-14. <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico/index.php/abanico-agroforestal/article/view/189/245>
- Santos, A., R. Cruz-Ortega, D. Meza-Figueroa, F. Romero, J. Sánchez-Escalante, R. Maier, J. Neilson, L. Alcaraz, F. Molina. (2017). Plants from the abandoned Nacozari mine tailings: evaluation of their phytostabilization potential. *Peer Journal*. 5:3280. <https://doi.org/10.7717/peerj.3280>.
- Valdez, A., L. Arce, I. Cevallos. (2003). Eliminación de latencia en semilla de costilla de vaca (*Atriplex canescens*) bajo condiciones de laboratorio e invernadero, utilizando tratamientos físicos, químicos y mecánicos. *Revista Agropecuaria*. 464:470. <http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/tecsemillas/atriplex.pdf>.
- Zhang, Y., Ji, H. (2019). Physiological responses, and accumulation characteristics of turfgrasses exposed to potentially toxic elements. *Journal Environment Management*. 15 (246):796-807. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.030>.
- Zhang, Y., X. Wang, H. Ji. (2020). Co-remediation of Pb Contaminated Soils by Heat Modified Sawdust and *Festuca arundinacea*. *Scientific Reports* 10: 4663-4669. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61668-x>.