

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Evaluación de la adaptabilidad de las especies *Stipa ichu* y *chrysopogon zizanioides* en los relaves mineros de San José de Parac - San Mateo, Lima

Por:

Aaron Jhonatan Huaman Santa Cruz
Luis Magover Fernandez Fernandez

Asesor:

Lic. Gina Marita Tito Tolentino

Lima, junio de 2020

ANEXO 07 DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Lic. Gina Tito Tolentino, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: ***“EVALUACIÓN DE LA ADAPTABILIDAD DE LAS ESPECIES STIPA ICHU Y CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES EN LOS RELAVES MINEROS DE SAN JOSÉ DE PARAC - SAN MATEO, LIMA.”*** constituye la memoria que presenta el **Bachiller Aaron Jhonatan Huaman Santa Cruz y Luis Magover Fernandez Fernandez** para aspirar al Grado académico de **Bachiller en Ingeniería Ambiental** ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección. Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Ñaña, a los 20 días de agosto del año 2020.



Lic. Gina Marita Tito Tolentino

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....30..... día(s) del mes de.....julio..... del año ..2020.. siendo las...09:20... horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):
 Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodríguez.....,el(la) secretario(a):
 Ing. Samuel Tito De La Cruz Napan..... y los demás miembros:
 Ing. Orlando Alan Poma Porras, Mg. Santiago Ramirez Lopez.....
 y el(la) asesor(a)..... Lic. Gina Marita Tito Tolentino.....
 con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado:Evaluación de la adaptabilidad de las especies Stipa ichu y chrysopogon zizanioides en los relaves mineros de San José de Parac - San Mateo, Lima.....

.....de los (las) egresados (as): a) Aaron Jhonatan Huaman Santa Cruz.....
 b) Luis Magover Fernández Fernández.....
conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en
Ingeniería Ambiental.....
 (Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando.....a los..... candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por.....los..... candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Aaron Jhonatan Huaman Santa Cruz.....

| CALIFICACIÓN | ESCALAS | | | Mérito |
|--------------|-----------|---------|-------------|-----------|
| | Vigesimal | Literal | Cualitativa | |
| APROBADO | 16 | B | Bueno | Muy Bueno |

Candidato/a (b): Luis Magover Fernández Fernández.....

| CALIFICACIÓN | ESCALAS | | | Mérito |
|--------------|-----------|---------|-------------|-----------|
| | Vigesimal | Literal | Cualitativa | |
| APROBADO | 16 | B | Bueno | Muy bueno |

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó.....a los.....candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Evaluación de la adaptabilidad de las especies *Stipa ichu* y *chrysopogon zizanioides* en los relaves mineros de San José de Parac - San Mateo, Lima

EVALUATION OF THE ADAPTABILITY OF THE STIPA ICHU AND CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES SPECIES IN THE MINING TAILINGS OF SAN JOSÉ DE PARAC - SAN MATEO, LIMA

Huaman Santa Cruz Aaron Jhonatan¹, Fernandez Fernandez Luis Magover²

EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima-Perú.

Resumen

La minería es una actividad que ha dejado grandes y pequeños sitios de disposición de relaves; tanto que requieren remediación. El objetivo de la investigación fue evaluar la adaptabilidad del *Stipa ichu* y *chrysopogon zizanioides* en los relaves mineros del Centro Poblado San José de Parac, Lima; empleando enmiendas orgánicas con diferente concentración para cada uno de los tratamientos con 5 repeticiones para cada especie, los cuales fueron medidos el día 1, 30, 60 y 90 después de la siembra. Resultados: el mayor crecimiento en promedio del Ichu fue el T1 con 36 cm y el más bajo crecimiento lo obtuvo el T4 con 32 cm, asimismo, el vetiver alcanzó la máxima altura en promedio en el T4 con 69.5 cm y la más baja se registró en el tratamiento T1 con 56 cm. En conclusión, la especie que mostró mayor adaptabilidad entre los tratamientos fue la especie *chrysopogon zizanioides*.

Palabras clave: Minería; adaptabilidad; enmiendas orgánicas; vetiver; ichu

Abstract

Mining is an activity that has left large and small tailings disposal sites; So much so that they require remediation. The objective of the investigation was to evaluate the adaptability of *Stipa ichu* and *chrysopogon zizanioides* in the mining tailings of the Centro Poblado San José de Parac, Lima; using organic amendments with different concentration for each of the treatments with 5 repetitions for each species, which were measured on day 1, 30, 60 and 90 after planting. The highest average growth of the Ichu was the T1 with 36 cm and the lowest growth was obtained by the T4 with 32 cm, likewise, the vetiver reached the maximum height on average in the T4 with 69.5 cm and the lowest was registered in the T1 treatment with 56 cm. In conclusion, the species that showed greater adaptability between treatments was the *chrysopogon zizanioides* species.

Key words: Mining; adaptability; organic amendments; vetiver; ichu

Autor de Correspondencia

Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Ingeniería Ambiental Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho Chosica – Lima

E-mail: aaronhuaman@upeu.edu.pe – luisfernandez@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La minería se lleva a cabo en todos los continentes del mundo, y ha dejado un legado global de grandes y pequeños sitios de disposición de relaves; tanto que requieren remediación (Mendez & Maier, 2008). La actividad minera es uno de los problemas que ha generado mayor contaminación y degradación del suelo a nivel mundial (Rodríguez et al., 2019). Los suelos mineros por lo general se degradan, sufren modificaciones formados por materiales poco aptos para el desarrollo de procesos productivos. (Crespo et al., 2007).

Ante ello, existen diversas técnicas de remediación, siendo la fitorremediación una de las más importantes porque es una tecnología emergente basada en la acción combinada de plantas, enmiendas orgánicas y prácticas agronómicas (López et al., 2005); capaces de absorber, metabolizar, volatilizar, remover, reducir y degradar contaminantes que modifican el ambiente (Baldwin & Butcher, 2007; Suaña, 2018). Las enmiendas orgánicas son empleadas para mejorar la fertilidad de suelos agrícolas además, son fuente de nutrientes esenciales para las plantas (Bernal & Clemente, 2007), ayudan el desarrollo de los microorganismos del suelo, mejoran la fertilidad química y biológica, además, ayuda en la recuperación de suelos contaminados (Park et al., 2011). En ese sentido, la fitorremediación se ha convertido en una alternativa sustentable frente a los tratamientos fisicoquímicos, que sirven para remediar ambientes contaminados por acción natural o antropogénica (Reichenauer & Germida, 2008).

Una de las plantas que presenta resultados prometedores es el ichu, paja brava o paja ichu (*Stipa Ichu*) es un pasto del altiplano andino de Sudamérica, esta especie ocupa suelos algo secos de la puna (Torres, 2018) perteneciente al género *Stipa* de la familia Poaceae, es una especie caracterizada por su rápida adaptación a suelos salinos, con escasez de nutrientes y a temperaturas extremas (Picoy, 2016). Otra de las plantas eficientes en el proceso fitorremediación es el vetiver, (*Chrysopogon zizanioides*), es una planta perenne de la familia de las gramíneas, que se adapta fácilmente a diferentes tipos de suelo, debido a la gran capacidad de resistencia a ambientes extremos y condiciones de estrés (Cumana & Torrealba, 2010).

Diversos estudios han reportado resultados eficientes respecto al uso de especies (*stipa Ichu* y *Chrysopogon zizanioides*). Torres (2018), determinó el factor de biocontracción y traslocación en tres especies vegetales altoandinas, *stipa ichu*, *Pennisetum clandestinum* y *Medicago lupulina* L., para suelos contaminados con metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, y Cu) en condiciones de invernadero; donde reportó que la especie que presentó mayor sobrevivencia al suelos contaminado fue la especie *stipa ichu* con un 100%. Por otro lado, Vargas (2019), en su investigación “Asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn en los relaves de Quiulacocha utilizando procesos de cobertura biológica”, las especies utilizadas fueron la *Stipa Ichu* y la *Festuca Dolichophylla*, donde ambas especies demostraron alta tolerancia para la remoción de metales pesados antes mencionados.

Callirgos (2014), evaluó la capacidad fitorremediadora de la especie *Chrysopogon zizanioides* mediante la incorporación de enmiendas orgánicas en relaves mineros, bajo condiciones de invernadero, donde reportó que la especie evaluada bioacumuló gran cantidad de metales Cd, Cu y Cr en las hojas (0.0626mg, 0.110 mg, 0.0626 mg respectivamente. Cuzmar (2017), en su investigación “Evaluación de *Chrysopogon zizanioides* y la aplicación de enmienda órgano-mineral como estrategia de fitoestabilización en suelos impactados por relaves mineros” donde los resultados a los 120 días fueron Cu 19,7 mg Kg⁻¹, Mo 1,43 mg Kg⁻¹, y S 2045 mg Kg⁻¹, acumulados en el tejido foliar de la planta, además el autor afirmó que la especie *Chrysopogon zizanioides* es una planta tolerante a ambientes contaminados además, posee una gran capacidad de fitoestabilizar metales pesados.

La población de Centro Poblado San José de Parac, Distrito de San Mateo de Huanchor, Provincia de Huarochirí está siendo afectada desde hace muchos años por dos depósitos de relave (Millotingo y Pacococha) que se ubican en la parte alta de donde está asentada la población (Corzo, 2015), las relaveras contaminan los suelos trabajados por los moradores, así como los pastizales que son usados como alimento para la producción de animales que sirven para consumo humano, por otro lado, también son contaminadas las aguas de la quebrada de Parac que son usadas para regar sus sembríos, y entre otros usos.

A partir de ello, el objetivo de esta investigación es evaluar la adaptabilidad de las especies *Stipa ichu* y *chrysopogon zizanioides* en relaves mineros de San José de Parac - San Mateo, Lima.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La zona de estudio está ubicada en centro poblado San José de Parac distrito de San Mateo de Huanchor provincia de Huarochirí región Lima. El muestreo se realizó en un área aproximada de 0.5 ha, con coordenadas 365639 E y 8690648 N. El área de estudio cuenta con un clima frío con veranos fríos y nublados y los inviernos son muy frío, secos y parcialmente nublados, además de lluvias que van desde octubre hasta marzo.

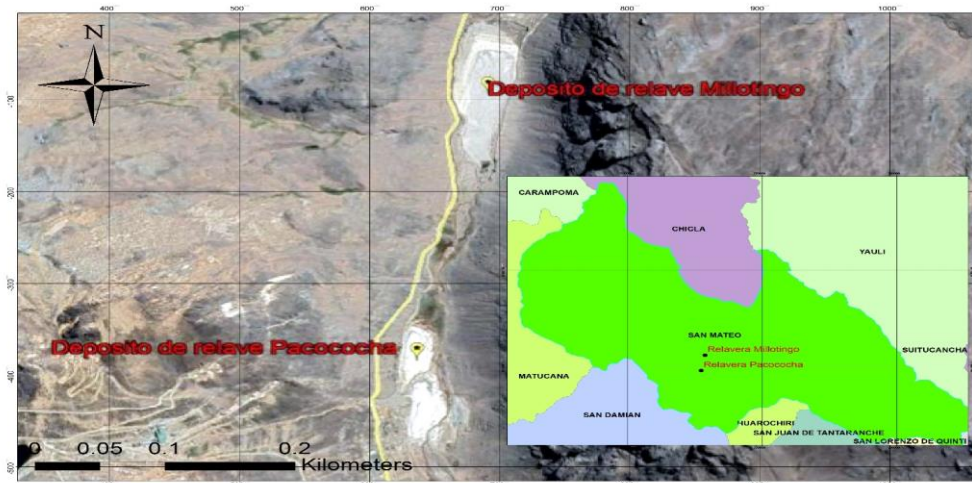


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos (pH, Conductividad eléctrica, Capacidad de intercambio catiónico, textura y materia orgánica) del relave minero fueron analizados en los laboratorios de Ingeniería Ambiental de perteneciente a la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión.

El pH, y conductividad eléctrica fue analizado con el equipo Multiparámetro (HI 9811,5) y la capacidad de intercambio catiónico se determinó mediante el método de acetato de amonio y para la determinación de materia orgánica se hizo mediante el método de calcinación, debido a que el suelo presenta alto contenido de arena, a una temperatura de 105°C, y la textura fue determinada mediante el método de la textura a mano, en donde en una mano se dispuso de un puñado de relave y se le agregó varias gotas de agua destilada, hasta el punto de que la muestra tenga consistencia y se pueda moldear. Además, se realizó el análisis de concentración de metales en el laboratorio ALS LS Perú S.A.C.

Procedimiento

El *Stipa ichu* o comúnmente conocido como ichu fue recolectado del centro Poblado san Jose de Parac, para su posterior plantación en los suelos con relaves mineros. Por otro lado, el *chrysopogon zizanioides* o vetiver fue adquirido del vivero Vetiver-Perú, ubicado en Santiago de Surco, Lima, ambas especies fueron seleccionadas para remediar los suelos contaminados porque poseen alta capacidad para adaptarse en suelos ácidos. La siembra se realizó el primero de marzo del 2020 y se realizó la medida de las especies cada 30 días durante tres meses.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en el Centro Poblado Cultura y Progreso, Carretera Central Km 19.5 Ñaña; dónde se utilizó 90 esquejes de cada especie, 90 kg de relave minero extraídos del depósito de relave minero “Millotingo”; y enmiendas orgánicas con las siguientes cantidades; 35.1 kg de humus, 13.5 kg de aserrín y 5.4 Kg de grass, en un área de 5 metros cuadrados el cual fue cubierto por plástico para evitar el contacto entre el relave minero y el suelo en dicho lugar se colocaron 48 bolsas de siembra con una capacidad de 3 kg cada una. La concentración de las enmienda orgánica tuvo las siguientes proporciones: 65% de humus + 25% aserrín + 10% grass, tomándose como referencia la metodología de Callirgos (2014). El riego se hizo manualmente con agua del servicio público, la periodicidad de riego fue de 2 veces por semana durante 90 días. Las plantas de Ichu y Vetiver fueron medidas cada 30 días, desde el primer día hasta el día 90.

Para realizar el muestreo se utilizó la “guía para muestreo de suelos”, (Ministerio del Ambiente, 2014). Asimismo, en la etapa previa al muestreo se observó que el área potencial de cada relave era menor a 0.5 ha; entonces, de acuerdo con la guía, era necesario tomar seis submuestras a una profundidad de 10 cm, al ser un suelo de tipo extractivo, posteriormente se recolectó un kg de las submuestras para su respectivo análisis. Luego se recolectó un aproximado de 100 kg de relave en 4 costales de 50 kg de capacidad, y se trasladó de inmediato hacia lugar de ejecución del proyecto para luego realizar el sembrado de las especies.

Descripción de los tratamientos

Las plántulas de *stipa Ichu* y *Chrysopogon zizanioides* se sometieron a cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de relave minero más acondicionador, en el cual el primer tratamiento (T1) de cada herbácea, fue utilizado como referencia teniendo una concentración del 100% de relave; el segundo tratamiento estuvo compuesto de 75% de relave y 25% de acondicionador, y el cuarto tratamiento estuvo compuesto por 25% de relave y 75% de acondicionador.

Tabla 1.
Descripción de los tratamientos

| Tratamiento | Descripción |
|-------------|---------------------------------|
| T1, T1 | 100% relave |
| T2, T2 | 75% relave + 25% acondicionador |
| T3, T3 | 50% relave + 50% acondicionador |
| T4, T4 | 25% relave + 75% acondicionador |

Análisis de datos

Para evaluar las diferencias significativas de crecimiento del Ichu y el Vetiver se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey con un grado de confianza ($P=0.05$), en el programa Statistica versión 13.1.

RESULTADOS

Los resultados de la caracterización del relave minero muestran la presencia de 32 metales pesados de los cuales 10 sobrepasan los 100 mg/kg, tales como el Plomo (Pb) 2250 mg/kg, Arsénico (As) 157.4 mg/kg, Cobre (Cu) 1181 mg/kg y entre otros (ver anexo 2). Además, los análisis de los parámetros fisicoquímicos del relave minero mostraron un pH fuertemente ácido (2.43), un porcentaje de materia orgánica de 0.68, una capacidad de intercambio catiónico muy bajo (1), una conductividad eléctrica de 4.93 y una textura arcillo-arenosa.

El análisis estadístico de las especies en los diferentes tratamientos muestra una alta capacidad de adaptabilidad y crecimiento por parte del *Chrysopogon zizanioides* en los cuatro tratamientos, mientras que el *stipa Ichu* mostró resistencia para desarrollarse a causa del estrés hídrico que ha sufrido.

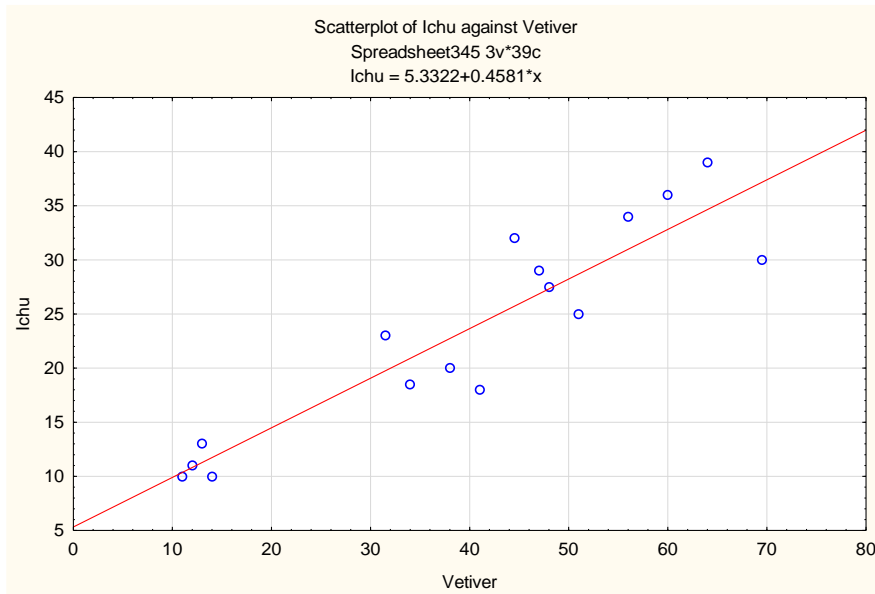


Figura 2. Diagrama de dispersión.

El diagrama de dispersión nos muestra que las dos variables tienen una relación lineal fuerte, asimismo la **tabla 2** nos muestra que las variables están correlacionadas.

Tabla 2.

Coefficiente de Correlación de Pearson.

| Variables | Means | Std Dev | Ichu | Vetiver |
|-----------|----------|----------|----------------|-----------------|
| Ichu | 23.5 | 9.55161 | 0.91826 | 1.000000 |
| Vetiver | 39.65625 | 19.14482 | 1.000000 | 0.916260 |

Tabla 3.

Resultado de análisis de varianza de las especies Ichu y Vetiver.

| Efectos | Grado de libertad | Crecimiento SS | Crecimiento MS | Crecimiento F | Crecimiento p |
|--------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Intersección | 1 | 31909.70 | 31909.70 | 114.0258 | 0.000000 |
| Especies | 1 | 2088.20^a | 2088.20^a | 7.4619 | 0.011629 |
| Tratamientos | 3 | 13.02 ^b | 4.34 ^b | 0.0155 | 0.997290 |
| Error | 24 | 6716.31 | 279.85 | | |
| Total | 31 | 8954.55 | | | |

Con un ($p < 0.05$) en la tabla las letras diferentes indican una diferencia significativa de crecimiento entre las especies (ichu y vetiver) mientras que las letras iguales nos muestran una diferencia insignificante en los tratamientos, ya que el crecimiento de las especies será la misma si se aumenta o se disminuye el relave minero más el acondicionador orgánico.

Tabla 4.

Prueba tukey para el crecimiento de la especie Ichu

| Día | {1} M=12.500 | {2} M=36.125 | {3} M=47.625 | {4} M=62.375 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Día 1 {1} | | 0.003132 | 0.000201 | 0.000199 |
| Día 30 {2} | 0.003132 | | 0.004289 | 0.000216 |
| Día 60 {3} | 0.000201 | 0.004289 | | 0.028253 |
| Día 90 {4} | 0.000199 | 0.000216 | 0.028253 | |

Tal como se puede apreciar en la tabla existen medias significativas en el crecimiento de las plantas de ichu con referencia a los diferentes tiempos de contacto (día 1, día 30, día 60 y día 90) con los tratamientos, por lo que se puede intuir que a mayor tiempo de contacto entre la especie y los diferentes tratamientos seguirá creciendo el ichu. Según Chang et al., (2018) en sus datos reportados de la evaluación de acumulación de metales pesados en plantas altoandinas indica que la especie *Calamagrostis recta*, de la misma familia del ichu, presenta buena de disponibilidad de adaptación y acumulación de metales (Cd, 1.09; Cu, 1.80; Ni, 3.02; Zn, 1.30) mg kg⁻¹. De la misma manera, Torres, (2018), menciona que mediante el uso de semillas de ichu en suelos contaminados con metales pesados, se propaga rápidamente indicando un 100% de sobrevivencia de dicha especie.

Tabla 5.

Prueba tukey para el crecimiento de la especie Vetiver.

| Día | {1} M=12.500 | {2} M=36.125 | {3} M=47.625 | {4} M=62.375 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Día 1 {1} | | 0.000202 | 0.000199 | 0.000199 |
| Día 30 {2} | 0.000202 | | 0.005932 | 0.000200 |
| Día 60 {3} | 0.000199 | 0.005932 | | 0.000965 |
| Día 90 {4} | 0.000199 | 0.000200 | 0.000965 | |

El análisis de crecimiento del vetiver nuestras medias significantes en base al tiempo de contacto (día 1, día 30, día 60 y día 90) con los tratamientos compuestos por relave minero más acondicionador, por lo que se puede decir que a mayor contacto entre el relave minero + acondicionador y la especie el crecimiento de la misma será mayor.

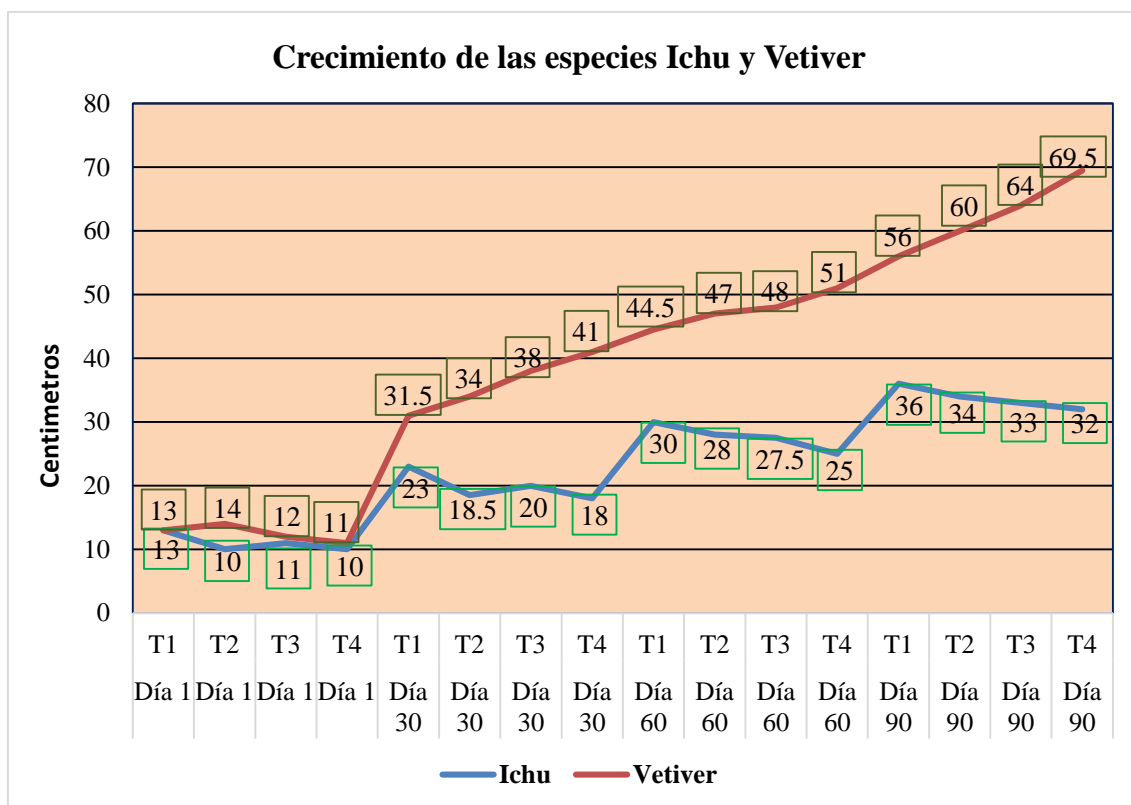


Figura 3. Crecimiento de las especies Ichu y Vetiver.

El crecimiento promedio de la especie vetiver fue superior al del ichu, tal como se puede apreciar en la **figura 3**. Además, se pudo evidenciar que el mayor crecimiento promedio del ichu a los 30, 60 y 90 días se dio en el tratamiento (T1) el cual contiene 100% de relave, mientras que por parte del vetiver el mayor crecimiento se dio en el tratamiento T4 el cual contiene 25% de relave minero y 75% de acondicionador orgánico.

Tabla 6.

Comparación del Crecimiento entre la especie Ichu y Vetiver.

| Especies | {1} | {2} |
|-------------|----------|----------|
| | M=43.896 | M=19.714 |
| Vetiver {1} | | 0.000129 |
| Ichu {2} | 0.000129 | |

La prueba Tukey con un ($p < 0.05$) muestra que existen medias significativas en el crecimiento de cada especie, por ende, se puede decir que la especie vetiver muestra mayor adaptación a los tratamientos que el ichu.

DISCUSIONES

En la tabla 3, nos muestra que no hay diferencia significativa entre los tratamientos, es decir que, no influye la dosis de enmienda orgánica que se le agregue en el crecimiento de las especies, sin embargo diversos autores como Tapia et al., (2019) menciona que, para que haya un buen manejo de relaves mineros a través de la fitoestabilización se debe tener en cuenta una mezcla adecuada de sustancias húmicas y enmiendas orgánicas,

además Tapia et al., (2020) menciona que las enmiendas orgánicas son buenos coadyuvantes para la fitorremediación de relaves mineros y esto es corroborado por Tapia et al., (2017) indica que mediante la aplicación de humus de potasio en la especie empleada (*carpobrotus aequilata*), aumentó la absorción de Cu en las raíces, lo que es favorable para la fitoestabilización.

En la tabla 4. Mediante la prueba de tukey para la especie ichu si existe diferencia significativas, donde se infiere que a mayor tiempo de contacto de la especie con los tratamientos mayor será el crecimiento del ichu; estos datos son semejantes con los reportados por (Lam et al., (2018), en su análisis de varianza con un 95% de confianza indica que a mayor tiempo de contacto exista entre la especie con los tratamientos, mayor es el número de hojas y por lo tanto hay una mejora en la salud, y eso es un impacto positivo en la fase de adaptación.

En la tabla 5, se observan diferencias significativas, estos resultados coinciden con el estudio realizado por Fonseca et al., (2004) donde demuestran claramente que pese a las condiciones climáticas y a la ausencia casi total de riego, el vetiver puede crecer bajo condiciones extremadamente hostiles en tranques de relaves mineros con un (pH = 4.4), y con altas concentraciones de metales que oscilan entre 2000 mg Kg⁻¹ hasta 4000 mg Kg⁻¹.

En la tabla 6 se observa diferencias significativas respecto al crecimiento de las especies, donde el vetiver mostró superioridad de crecimiento respecto al ichu; esto podría deberse al cambio brusco de las condiciones climáticas ya que el lugar dónde fue sembrado presenta un clima cálido el cual es corroborado por Picoy (2016), quien indica que el ichu es una especie que se desarrolla en las zonas altoandinas a temperaturas extremadamente bajas.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos se concluye que la especie *chrysopogon zizanioides* se adaptó mejor que la *stipa ichu* a los relaves mineros que presentan altas concentraciones de metales pesados, fuertemente ácidos y con baja fertilidad.

Se evidenció un crecimiento superior en los tratamientos T1 de la especie ichu y en el T4 de la especie vetiver. En general, ambas especies presentan características de adaptabilidad a suelos contaminados por metales pesados.

Por otro lado, a través del análisis de varianza se determinó la no significancia entre los tratamientos, sin embargo, en la prueba de tukey con un 95% de confianza se determinó que a mayor tiempo de contacto de la especie con el tratamiento la adaptación de las especies será mejor.

RECOMENDACIONES

- En base a los resultados obtenidos se recomienda el uso de la especie vetiver para reforestar e inmovilizar los metales pesados presentes en los relaves mineros del centro Poblado San José de Parac.
- Realizar estudios sobre la capacidad bioacumulación de ambas especies en sus diferentes órganos (raíz, tallo y hoja), ya que debido a la coyuntura actual

(pandemia COVID-19) no se pudo realizar dicho estudio.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Saneamiento Ambiental de la Universidad Peruana Unión por otorgar facilidades logísticas para el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Baldwin, P. R., & Butcher, D. J. (2007). Phytoremediation of arsenic by two hyperaccumulators in a hydroponic environment. *Microchemical Journal*, 85(2), 297–300.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2006.07.005>
- Bernal, M. P., & Clemente, R. (2007). Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar.
- Corzo, R. (2015). Corzo_Remigio_Amelia_Impacto_Mineros (1).
- Cristina Mirella Callirgos Rodriguez. (2017). Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie chrysopogon zizanioides mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros. 100. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1907>
- Cumana, A., & Torrealba, O. (2010). Uso Del Vetiver Para La Fitorremediación De Cromo En Lodos Residuales De Una Tenería. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), 173–186.
- Fonseca, R., Diaz, C., Castillo, M., Candia, J. R., & Truong, P. (2004). Uso de vetiver grass para la rehabilitación de sitios mineros en Chile : resultados preliminares. 1–17.
- Garbisu Crespo, C., Olano, J., Hernández, A., García Plazaola, J., Barrutia Sarasua, O., & Becerril Soto, J. (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), 5.
- Lam, E. J., Gálvez, M. E., Cánovas, M., Montofré, Í. L., & Keith, B. F. (2018). Assessment of the adaptive capacity of plant species in copper mine tailings in arid and semiarid environments. *Journal of Soils and Sediments*, 18(6), 2203–2216.
<https://doi.org/10.1007/s11368-017-1835-9>
- Mendez, M. O., & Maier, R. M. (2008). Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 7(1), 47–59.
<https://doi.org/10.1007/s11157-007-9125-4>
- Park, J. H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Bolan, N., & Chung, J. W. (2011). Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2–3), 549–574.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.082>
- Picoy, J. (2016). Facultad De Ingenieria Escuela De Tecnologia De La Fitorremediacion 2016 “.
- Reichenauer, T. G., & Germida, J. J. (2008). Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwater. *ChemSusChem*, 1(8–9), 708–717.
<https://doi.org/10.1002/cssc.200800125>
- Rivera, D. (2018). Efecto de diferentes sistemas de uso en las propiedades físicoquímicas del suelo con el método SUSS; en el sector Papayal, Castillo Grande, Leoncio Prado - 2018.
- Rodríguez Eugenio, Natalia; McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. In *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Suaña, M. (2018). Capacidad del girasol (*helianthus annuus* l .) para absorber cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado , Puno. capacity of sunflower (*helianthus annuus* l .) to absorb cadmium of contaminated soils in controlled environment , Puno metal es respons. (051).
- Tapia, Y., Bustos, P., Salazar, O., Casanova, M., Castillo, B., Acuña, E., & Masaguer, A. (2017). Phytostabilization of Cu in mine tailings using native plant *Carpobrotus*

- aequilaterus and the addition of potassium humates. *Journal of Geochemical Exploration*, 183(September), 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.10.008>
- Tapia, Y., Casanova, M., Castillo, B., Acuña, E., Covarrubias, J., Antilén, M., & Masaguer, A. (2019). Availability of copper in mine tailings with humic substance addition and uptake by *Atriplex halimus*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(11). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7832-2>
- Tapia, Y., Loch, B., Castillo, B., Acuña, E., Casanova, M., Salazar, O., ... Antilén, M. (2020). Accumulation of Sulphur in *Atriplex nummularia* Cultivated in Mine Tailings and Effect of Organic Amendments Addition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4356-x>
- Torres, A. (2018). “Factor de bioconcentración y traslocación de especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de Mesapata, en condiciones de invernadero, 2015 - 2016.” 164.
- Vargas, I. (2019). Universidad nacional daniel alcides carrión.

ANEXOS

Tabla 7.

Caracterización de metales pesados del relave minero.

| Parámetro | Unidad | Resultado |
|-----------------------------|---------------|------------------|
| Mercurio Total (Hg)* | mg/kg | 0,21 |
| Plata (Ag)* | mg/kg | 35,5 |
| Aluminio (Al)* | mg/kg | 1184 |
| Arsenico (As)* | mg/kg | 157,4 |
| Boro (B)* | mg/kg | < 4,0 |
| Bario (Ba)* | mg/kg | 56,9 |
| Berilio (Be)* | mg/kg | < 1,0 |
| Bismuto (Bi)* | mg/kg | < 2,0 |
| Calcio (Ca)* | mg/kg | 14871 |
| Cadmio (Cd)* | mg/kg | 2,4 |
| Cobalto (Co)* | mg/kg | < 1,0 |
| Cromo (Cr)* | mg/kg | < 1,0 |
| Cobre (Cu)* | mg/kg | 1181 |
| Hierro (Fe)* | mg/kg | 34237 |
| Potasio (K)* | mg/kg | 1465 |
| Litio (Li)* | mg/kg | < 3,5 |
| Magnesio (Mg)* | mg/kg | 296,0 |
| Manganeso (Mn)* | mg/kg | 82,0 |
| Molibdeno (Mo)* | mg/kg | < 0,6 |
| Sodio (Na)* | mg/kg | 80,0 |
| Níquel (Ni)* | mg/kg | < 1,0 |
| Fósforo (P)* | mg/kg | 46,1 |
| Plomo (Pb)* | mg/kg | 2250 |
| Antimonio (Sb)* | mg/kg | < 4,0 |
| Selenio (Se)* | mg/kg | < 2,2 |
| Silicio (Si)* | mg/kg | 654,6 |
| Estaño (Sn)* | mg/kg | < 4,0 |
| Estroncio (Sr)* | mg/kg | 40,0 |
| Titanio (Ti)* | mg/kg | 131,3 |

| | | |
|---------------------|-------|-------|
| Talio (Tl)* | mg/kg | < 0,4 |
| Vanadio (V)* | mg/kg | 8,1 |
| Zinc (Zn)* | mg/kg | 151,4 |

Fuente: Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.

Tabla 8.

Caracterización de los parámetros fisicoquímicos del relave minero.

| Caracterización del relave minero | | | |
|--|------------------|-------------------------|------------------------|
| Parámetro | Resultado | Valor Referencia | Interpretación |
| Ph | 2.43 | pH<5 | Fuertemente ácido |
| CIC total | 1 | CIC<5 | Muy bajo |
| Textura | Arcillo-arenosa | T<2.2 mm | Arcillo – arenosa |
| M. O % | 0.6815 | 0.5 ≤ MO < 1.5 | Muy bajo |
| Ce ms/cm | 4.93 | CE<2 | Muy ligeramente salino |

Los valores referenciales fueron tomados del trabajo realizado por Rivera, (2018), titulado “Efecto de diferentes sistemas de uso en las propiedades fisicoquímicas del suelo con el método SUSS; en el sector Papayal, Castillo Grande, Leoncio Prado – 2018”.



Figura 4. *Sembrado de las especies stipa Ichu y Chrysopogon zizanioides*



Figura 5. Medición de a) pH y b) Conductividad eléctrica



Figura 6. 15 días después de la siembra.



Figura 7. Depósito de relave minero "Millotingo"

