



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para obtener el grado académico de
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE

**“Rehabilitación de suelos afectados por hidrocarburos
mediante el uso de gramíneas en el área 25 de Mayo –
Medanito S.E., La Pampa.”**

Martínez, Darío Sebastián

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2020

Prefacio:

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en las Facultades de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam y en la Estación experimental de Anguil (INTA) bajo la dirección de la Dra. María de los Ángeles Ruiz y la codirección del MSc. Ricardo Ernst.

FECHA: 21/02/2020

AUTOR: MARTINEZ, DARIO SEBASTIAN

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de La Pampa y particularmente a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, por darme la oportunidad de formarme como profesional.

Al INTA Anguil por brindarme los recursos necesarios para llevar adelante mis ensayos.

Al laboratorio INDUSLAB S.R.L por realizarme los análisis de muestras sin cargo, los cuales hubiesen sido muy difíciles de realizarlos debido a su elevado costo.

A mi Directora de tesis, María de los Ángeles Ruiz y a mi Co-Director Ricardo Ernst por la compañía, los consejos y los conocimientos transmitidos desde el primer día de trabajo juntos.

A mis hijos por darme la fuerza para no bajar los brazos en los momentos en que veía muy lejos llegar a esta instancia y a mi familia por apoyarme incondicionalmente, que a pesar de la distancia nunca me hicieron sentir solo y me alentaban día tras día para seguir adelante.

A mis amigos que transitaron este camino conmigo, que estuvieron en todo momento, en los buenos y en los no tan.

RESUMEN

En La Pampa la explotación petrolífera y el incremento en la densidad de pozos petroleros que paulatinamente han ido situándose sobre las márgenes del Río Colorado, se ha convertido en una actividad potencialmente riesgosa para la salud humana como así también para la extinción de especies vegetales y animales. El derrame de hidrocarburo en el suelo ocasiona un significativo efecto negativo sobre el medio ambiente alterando las propiedades de dicho suelo. La zona de estudio forma parte del área 25 de Mayo-Medanito S.E. El objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad de germinación, sobrevivencia y generación de biomasa en diferentes etapas de crecimiento de gramíneas en sustratos contaminados con diferentes niveles de hidrocarburos. El estudio se llevó a cabo mediante tres ensayos, germinación en laboratorio, trasplante y crecimiento de plántulas, y trasplante de matas y producción de biomasa aérea, con dos tratamientos cada uno, con y sin hidrocarburo. Las especies utilizadas fueron: *Elymus erianthus*, *Jarava neaei*, *Aristida niederleinii*, *Nassella trichotoma*, *Jarava ichu*, *Amelichloa brachychaeta* y *Thinopyrum ponticum*. Las especies que presentaron mejor comportamiento fueron *E. erianthus* con un 78% de capacidad de germinación con respecto a su testigo y *A. niederleinii* y *E. erianthus* con un 60% de sobrevivencia de plántulas en las muestras con hidrocarburo. La mayor de producción de materia seca estuvo dada por las matas de *A. brachychaeta* y *T. ponticum* tanto en las muestras con y sin hidrocarburo. Este estudio es importante para poder seleccionar gramíneas capaces de tolerar concentraciones de contaminantes hidrocarburiíferos y así revegetar áreas perturbadas.

Palabras Claves: fitorremediación, petróleo, revegetación, restauración, plántulas, matas.

ABSTRACT

In La Pampa, oil exploitation and the increase in the density of oil wells that have gradually been located on the banks of the Colorado River, it has become a potentially hazardous activity for human health as well as for the extinction of plant and animal species. The spill of hydrocarbon in the soil causes a significant negative effect on the environment by altering the properties of said soil. The study area is part of the area 25 de Mayo-Medanito S.E. The objective of this work was to determine the capacity of germination, survival and biomass generation in different stages of growth of grasses in contaminated substrates with different levels of hydrocarbons. The study was carried out by means of three tests, laboratory germination, transplant and seedling growth, and bush transplantation and aerial biomass production, with two treatments each, with and without hydrocarbon. The species used were: *Elymus erianthus*, *Jarava neaei*, *Aristida niederleinii*, *Nassella trichotoma*, *Jarava ichu*, *Amelichloa brachychaeta* and *Thinopyrum ponticum*. The species that showed the best behavior were *E. erianthus*, which recorded a 78% germination capacity with respect to its control; while *A. niederleinii* and *E. erianthus* had a 60% survival of the seedlings in the samples with hydrocarbon. The highest production of dry matter was given by the bushes of *A. brachychaeta* and *T. ponticum* in both samples with and without hydrocarbon. This study is important to be able to select grasses capable of tolerating concentrations of hydrocarbon pollutants and thus revegetating disturbed areas.

Keywords: phytoremediation, oil, revegetation, restoration, seedlings, plants.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
El petróleo en Argentina.....	6
El petróleo en La Pampa.....	7
Problemática de la contaminación del hidrocarburo.....	9
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	10
Hipótesis.....	10
Objetivos General.....	11
Objetivos Específicos.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS	11
Área de Estudio.....	11
Material de trabajo: Especies vegetales.....	13
Análisis estadístico.....	14
Metodología de Trabajo.....	15
Ensayo 1 – Germinación en laboratorio.....	15
Ensayo 2 – Trasplante y establecimiento de plántulas.....	17
Ensayo 3 - Trasplante de matas y producción de biomasa aérea.....	18
RESULTADOS	21
Ensayo 1 – Germinación en laboratorio.....	21
Ensayo 2 - Trasplante y establecimiento de plántulas.....	26
Ensayo 3 - Trasplante de matas y producción de biomasa aérea.....	27
Corte 1.....	27
Corte 2.....	29
Corte 3.....	31
DISCUSIÓN	33
CONCLUSIONES	35
CONSIDERACIONES FINALES	35
BIBLIOGRAFÍA	36

INTRODUCCIÓN

El petróleo en Argentina

En la actualidad el petróleo es el principal impulsor de la economía mundial, debido a sus múltiples utilidades tanto como combustible fósil, lubricantes, plásticos, pinturas, entre los usos más conocidos (Nicolotti y Egli, 1998).

Argentina cuenta con 24 cuencas sedimentarias (Fig. 1), de las cuales solo 5 son productivas de petróleo y gas (Noroeste, Cuyana, Neuquina, Golfo San Jorge y Austral), abarcando 545.000 km² lo que representa un 18% del total de las cuencas sedimentarias. La actividad petrolera en la región Patagónica Argentina iniciada a principios de siglo fue uno de los pilares de su desarrollo económico y social.

La extracción del mismo se concentra principalmente en la Cuenca Neuquina (Fig. 2), la cual ha aportado a lo largo de su historia productiva 934 millones de m³ de petróleo equivalente, contribuyendo con el 45% de la producción de petróleo y el 61% de la producción de gas natural del total de la Argentina (Mendiberri *et al.*, 2005). Dicha cuenca tiene una superficie aproximada de 124.000 km² y abarca gran parte de la provincia de Neuquén, el sector occidental de la provincia de RN y LP y la porción suroccidental de la provincia de Mendoza.



Figura 1: Cuencas geológicas de Argentina

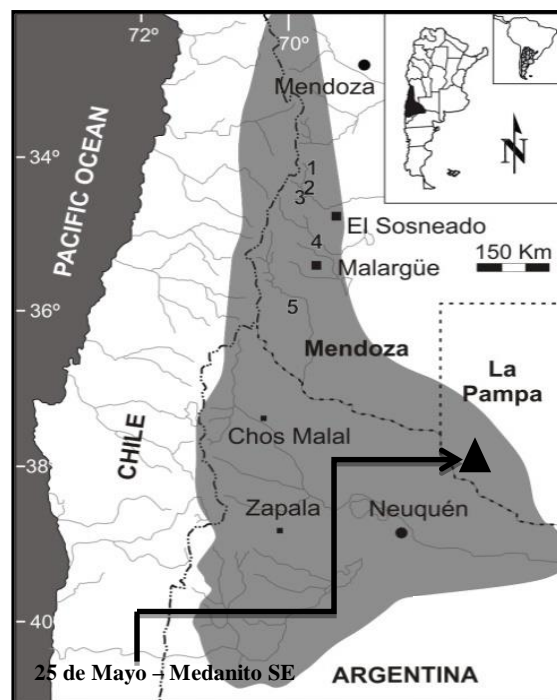


Figura 2: Cuenca Neuquina

La exploración y la explotación hidrocarburífera es una generadora de impactos negativos tanto para el ambiente como para los recursos naturales. Estos impactos están asociados a la creación de caminos, picadas y a derrames en las bocas de pozos y en el traslado del crudo. En el suelo, los hidrocarburos (HC) impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos como evaporación y penetración que, dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida pueden ser más o menos lentos, ocasionando una mayor toxicidad (Benavidez López de Mesa *et al.*, 2006).

Los contaminantes producidos por el hidrocarburo pueden afectar la estructura y función de un ecosistema, incrementar el lavado y la erosión del suelo, desencadenar procesos de salinización, dificultando o imposibilitando de esta manera la germinación y el desarrollo de la vegetación. Además se degrada el hábitat de la vida silvestre generando un impacto significativo sobre la producción de alimentos y el desarrollo de la vegetación natural, con las subsiguientes implicaciones adversas para los organismos pertenecientes a niveles superiores en la cadena alimenticia (Wang y Freemark, 1995).

El petróleo en La Pampa

La explotación petrolífera en la provincia de La Pampa comenzó en la década del 70, de manera tardía en comparación con las demás provincias de la Patagonia; debido a esto su paisaje no ha sufrido grandes impactos. Desde entonces ha ido progresando, siguiendo ciertas fluctuaciones, entre periodos de importantes avances intercalados con épocas donde la actividad pareciera mantenerse estancada. A mediados de la década del 90 la evolución de la producción hidrocarburífera en la provincia comienza a incrementarse de manera acelerada y constante para llegar a convertirse hoy el día en la actividad de mayor importancia económica de la región (Garay, 2015a).

Las áreas en exploración y explotación de hidrocarburos están localizadas en el Sudoeste de la Provincia (Fig. 3), situándose sobre los márgenes del Río Colorado, correspondientes al borde de la Cuenca Neuquina. En esta región el clima es árido-semiárido, el paisaje está formado por planicies y paleocauces, los suelos son pocos evolucionados sin diferenciación de horizontes (predominan Aridisoles) y la vegetación está compuesta por arbustales abiertos y bajos (Cano, 1980). Estos suelos con una muy baja

evolución son muy susceptibles a la degradación, lo que aumenta la peligrosidad de los derrames de petróleo (Garay, 2015b).

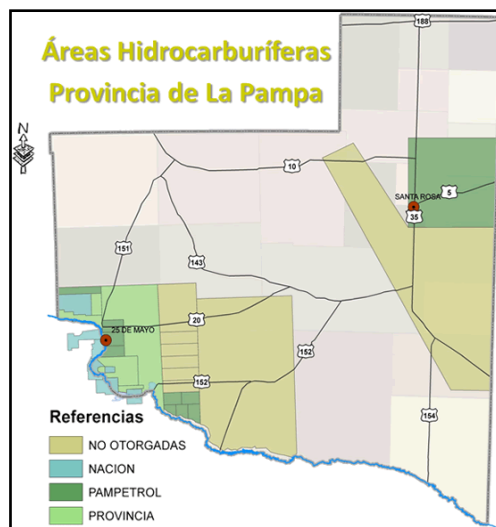


Figura 3. Áreas hidrocarburíferas Provincia de La Pampa

La zona netamente productiva en la Provincia de La Pampa es el área próxima a Colonia 25 de Mayo y Colonia Chica, donde se encuentran ubicados los siguientes yacimientos: CNQ7A, Gobernador Ayala II, Gobernador Ayala III, Gobernador Ayala IV, Gobernador Ayala V, Gobernador Ayala VI, Medanito Sur, Salinas Grandes I, Rinconada, Jagüel de los Machos, El Medanito, Salinas Grandes VIII, Salinas Grandes IX, Salinas Grandes X, Salinas Grandes XII y 25 de Mayo-Medanito S.E. (Subsecretaría de Hidrocarburos y Minería de La Pampa, 2018). De este último se recolectaron las muestras para llevar adelante esta tesis.

Las empresas explotadoras del área están obligadas a realizar saneamiento de sus impactos por medio de la Ley Ambiental Provincial de La Pampa N° 1914 y sus Decretos Reglamentarios 2139/03, 298-06, 458-05 y Disposición 164-09. El método utilizado para el saneamiento va a depender del tipo de incidente, de la magnitud y del o los recursos afectados. En el caso del suelo es controlado periódicamente hasta alcanzar una concentración menor al 2% de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), valor máximo estipulado por la legislación provincial, que se basa principalmente en dos criterios, el efecto de toxicidad para las plantas y la movilidad de los hidrocarburos hacia el agua subterránea.

Problemática de la contaminación del hidrocarburo

Los ecosistemas áridos y semiáridos cubren una gran superficie del planeta, su acelerado deterioro a causa del uso antrópico es un problema serio y su rehabilitación es de gran importancia desde el punto de vista productivo y ecológico (Quiroga *et al.*, 2009).

En Argentina, la Patagonia está representada por las provincias fitogeográficas áridas y semiáridas de Monte, Estepa patagónica, Altoandina (Cabrera, 1976) y Payunia (Martínez Carretero, 2004). Las actividades ganaderas y la extracción de HC han sido reconocidas como causantes de pérdida de hábitats y desertificación en la región (Del Valle *et al.*, 1998, Fiori y Zalba, 2003).

En la actualidad el impacto ambiental por la construcción y operación de emplazamientos mineros, incluyendo yacimientos de petróleo y gas, demanda un gran movimiento de tierras y desmontes (Golder, 2007). La contaminación de los suelos por hidrocarburos, generalmente por pérdidas o roturas de cañerías de conducción, tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades del suelo, debido a procesos de salinización, de toxicidad sobre los microorganismos y mortandad de la vegetación por efectos fitotóxicos (Luque *et al.*, 1994). Se producen principalmente en la etapa de transporte, ya que a través de su conducción por oleoductos se corre el riesgo de contaminación de suelos y de aguas superficiales y subterráneas, en el caso de eventuales eventos de derrames. Esto se ve agravado en zonas áridas y semiáridas, dado que es un ecosistema sumamente frágil ya que tiene condiciones que limitan naturalmente el crecimiento de las plantas: muy baja disponibilidad de agua y nutrientes, clima árido y frío, elevadas amplitudes térmicas y fuertes vientos (Luque, 2009).

Hasta hace 20 años atrás las únicas tecnologías de descontaminación de suelos estaban basadas en técnicas físico-químicas que en muchas ocasiones, conllevan un alto costo económico, un elevado consumo de energía y sobre todo un impacto negativo, a menudo irreversible, sobre la integridad y funcionalidad de los suelos (Garbisu *et al.*, 2008). Actualmente se ha intensificado el desarrollo científico-tecnológico con plantas como la fitorremediación, la que como su nombre lo indica, es la remediación de contaminantes realizada con plantas (Merini, 2019). Esta novedosa tecnología tiene como objetivo degradar y/o asimilar los metales pesados presentes en el suelo, lo cual tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares

contaminados (Harvey *et al.*, 2002). Es una tecnología de bajo costo, que a su vez posee un impacto regenerativo en áreas afectadas, generando una capacidad de absorción del contaminante la cual se mantiene a través del crecimiento vegetal. Esto permite pensar que se trata de una técnica amigable con el medio ambiente y de alto valor estético (Merini, 2019).

La germinación y el crecimiento inicial son etapas claves para el establecimiento de una planta en una comunidad vegetal. Debido al efecto fitotóxico de los hidrocarburos, no cualquier especie puede germinar y crecer en su presencia, siendo estos los primeros requisitos a tener en cuenta para remediar el suelo (Petenello y Feldman, 2012). En la Patagonia para sitios donde el deterioro de la vegetación y el suelo son intensos y las tasas de autogeneración son muy bajas se realizan planes de revegetación a partir de la reproducción y reimplantación de especies nativas o bien exóticas adaptadas a las condiciones ambientales extremas de la región (Luque, 2009).

Por lo mencionado anteriormente, es necesario generar estudios dirigidos a la evaluación, selección e introducción de especies vegetales que se puedan sembrar o trasplantar y que puedan prosperar en zonas áridas y semiáridas afectadas por hidrocarburos, principalmente aquellas gramíneas nativas adaptadas evolutivamente a condiciones de estrés térmico e hídrico del lugar a remediar. En este proyecto se trabajó con diferentes especies de gramíneas y se analizó la germinación y el desarrollo temprano que son las etapas más críticas en la supervivencia de la planta, por lo que serían estadios claves para determinar si las especies son aptas para vivir en un ambiente contaminado con HC.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

- ✓ Es factible encontrar tolerancia al hidrocarburo en la etapa de germinación de gramíneas en suelos con diferentes niveles de hidrocarburos.
- ✓ Es factible encontrar tolerancia al hidrocarburo en la etapa de crecimiento inicial de gramíneas.
- ✓ Es factible encontrar tolerancia al hidrocarburo en matas adultas trasplantadas

Objetivo General

- ✓ Determinar la capacidad de germinación, sobrevivencia y generación de biomasa en diferentes etapas de crecimiento de gramíneas en sustratos contaminados con diferentes niveles de hidrocarburos.

Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la tolerancia de las especies ensayadas de gramíneas a los sustratos contaminados con hidrocarburos en la etapa de germinación.
- ✓ Determinar la tolerancia de las especies ensayadas de gramíneas a los sustratos contaminados con hidrocarburos en la etapa de crecimiento inicial de las plantas.
- ✓ Determinar la sobrevivencia y crecimiento de matas adultas trasplantadas a los sustratos contaminados con hidrocarburos.
- ✓ Seleccionar especies de gramíneas capaces de tolerar altas concentraciones de contaminantes hidrocarburíferos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en el Invernáculo de la estación Experimental de INTA Anguil (La Pampa), ubicado sobre la Ruta Nacional N° 5, en el km 580, a 23 km al este de la Ciudad de Santa Rosa, en el departamento Capital de la provincia de La Pampa.

Las muestras de suelo con y sin HC fueron extraídas del área 25 de Mayo - Medanito S.E (Fig. 2 y 4). Las que contienen HC fueron recogidas del recinto de acopio de la empresa Petrobras explotadora del área y las muestras de suelo virgen en los primeros 30 cm del mismo, en un área de 400 m² cercana a dicho recinto.

De acuerdo con el Inventario de los Recursos Naturales de la Provincia de la Pampa, esta área pertenece a la Región Fisiográfica Occidental, Subregión de las terrazas y paleocauces con rodados de vulcanitas. El clima es árido – semiárido, con escasas precipitaciones que van de los 200 mm a los 300 mm anuales. El régimen térmico es el

característico de climas continentales con bajas temperaturas en invierno y altas en verano, siendo por lo tanto elevada la amplitud térmica anual (Cano, 1980).

Los datos de laboratorio de análisis de suelo virgen realizados en INTA Anguil (LP) determinaron una textura Arenoso Franco, Arena 76,72 (%), Limo 20 (%) y Arcilla 3,28 (%). Materia Orgánica Total (%) 1,24, P (mg/kg) 28,06, pH pasta 7,39, pH (1:2,5) 7,68 y CE (dS.cm-1) 1,89.

Para las muestras con HC, los datos de laboratorio realizados en INDUSLAB S.R.L. (sucursal Catriel – Río Negro), fueron obtenidos a través de 2 técnicas, la EPA9071B y EPA418.1, esta última está avalada por el decreto 298-06 de la Ley Ambiental Provincial 1.914 de La Pampa (Tabla 1).

Tabla 1. Total de HC en el suelo para 2 métodos. (HTP: Hidrocarburos Totales de Petróleo; % P/P: Porcentaje de Peso en Peso)

METODO	HTP (mg/Kg)	HTP (% P/P)
EPA9071B	39229,24	3,9229
EPA418.1	43903,32	4,3903

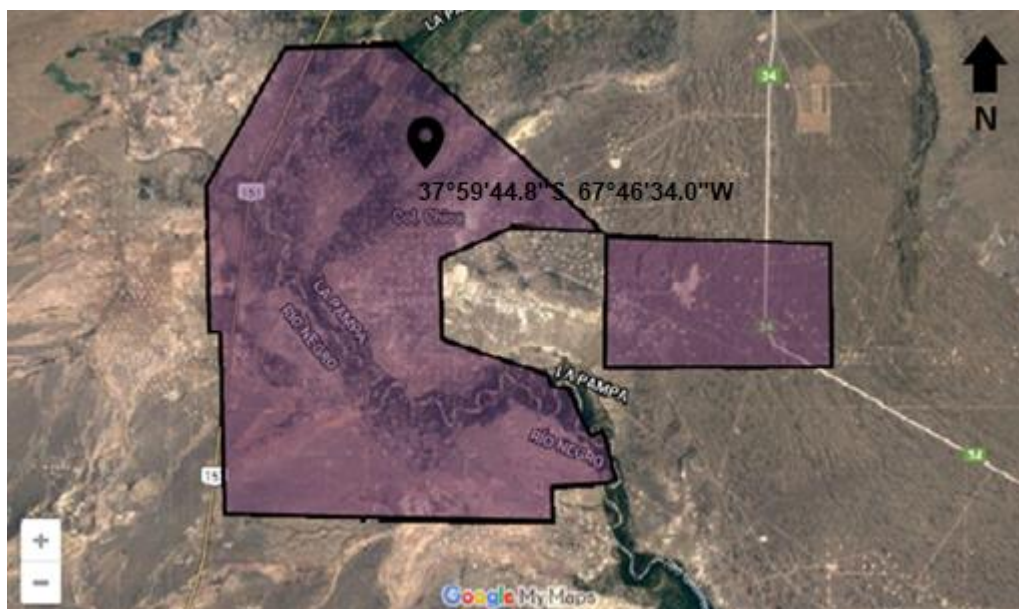


Figura 4: Lugar de muestreo en el área de explotación hidrocarburífera 25 de Mayo – Medanito S.E.

Material de trabajo: Especies vegetales

Para los ensayos 1 y 2 se utilizaron 5 especies de gramíneas nativas de ciclo de vida perenne

Elymus erianthus (elimo plateado – coirón blanco)

Endémica del oeste y sur de Argentina en la región del monte, se encuentra en La Pampa, Mendoza, Neuquén y Río Negro, en suelos secos, arenosos y en barrancas. En La pampa es frecuente en el oeste y en el sur (Rúgolo de Agrasar *et al.*, 2005). Gramínea cespitosa de 30 a 70 cm de altura. Es un pasto tierno, muy apetecido por el ganado (Beider, 2012).

Jarava neaei (coirón pluma – coirón plumoso)

Se distribuye en Chile y Argentina, desde Santa Cruz hasta San Juan, frecuente en la Estepa Patagónica y en los arbustales del Monte. Especie rizomatosa, forma matas laxas de 0,5 a 1,40 metro de altura. Constituye en su área una forrajera de importancia, siendo apetecida por la hacienda. Se la encuentra casi siempre protegida por arbustos espinosos (Rúgolo de Agrasar *et al.*, 2005).

Aristida niederleinii (espartillo)

Su distribución es Centro de Argentina (Córdoba, San Luis, La Pampa, Bs As., Entre Ríos). En La Pampa está en los pastizales bajos del centro y sudeste. Gramínea erecta, cespitosa, formadora de grande matas. Especie estival de 0,30 a 1 metro de altura. Crece en suelos secos, arenosos, franco arenosos. Es una especie no apetecida, solo despuntada cuando hay sobreuso (Rúgolo de Agrasar *et al.*, 2005).

Nassella trichotoma (flechilla tendida)

Su distribución geográfica es en Uruguay y centro de Argentina. Adventicia en Europa, Australia y Nueva Zelanda. Común en suelos franco-arenosos. En La Pampa crece en los pastizales bajos del centro y este. Gramínea cespitosa, formadora de grandes matas. Especie invernal de 0,60 a 1 metro de altura. Su preferencia es no apetecida, a veces despuntada cuando no hay otro forraje (Rúgolo de Agrasar *et al.*, 2005).

Jarava ichu (paja blanca)

De amplia distribución en Bolivia, Perú, México y Argentina desde Río Negro al norte y noroeste. En La Pampa es común en todo su territorio, especialmente en los bosques de caldén. Especie cespitosa, de 40 a 80 cm de altura. Pasto duro de escaso valor forrajero (Rúgolo de Agrasar *et al.*, 2005).

Para el ensayo 3 se utilizaron 5 especies de gramíneas de vida perenne: 4 nativas y 1 exótica, *Jarava ichu*, *Nassella trichotoma*, *Aristida nierderleinii* descritas anteriormente y *Amelichloa brachychaeta* y *Thinopyrum ponticum*.

Amelichloa brachychaeta (pasto puna)

Su distribución se da en Uruguay y en el Centro de Argentina, desde Río Negro hasta Santiago del Estero y Catamarca y Mendoza hasta Entre Ríos. En La Pampa es común en sitios modificados de los departamentos del este y del centro. Cespitosa de 40 a 80 cm de altura. Es un pasto duro, de alto contenido de fibra, que los animales normalmente no consumen o solo despuntan cuando faltan otras forrajeras (Rúgolo de Agrasar *et al.*, 2005).

Thinopyrum ponticum (agropiro alargado)

Especie originaria del sur de Europa y Asia menor. Es una gramínea perenne, de buen desarrollo, rustica, resistente a la sequía y a la salinidad. Muy utilizada en la Patagonia en la restauración de suelos degradados. Resistente a bajas temperaturas por lo que, entre el otoño y principios del verano, obtiene su mejor producción. Tiene un hábito de crecimiento cespitoso, muy macollador, forma matas densas. Llega a medir 70 a 1,80 metros de altura. Fue sembrada en mallines que presentaban contaminación con petróleo, presentando buenos establecimientos (Ciano *et al.*, 2000).

Análisis estadístico

Las diferencias entre tratamientos fueron evaluadas mediante el análisis de la varianza (ANOVA) considerando los factores especie y suelo (4 x 2), utilizando el paquete estadístico InfoStat.

El diseño empleado fue completo al azar en los distintos ensayos, y cada vez que se efectuaron medidas tanto las bandejas de germinación como las macetas se rotaron de lugar para homogeneizar las condiciones ambientales.

Metodología de trabajo

Se llevaron a cabo 3 ensayos, donde se utilizaron sustratos con diferentes niveles de HC: suelo diluido 2,15 % HTP, 4,3 % HTP y suelo sin contaminación (testigo) (Fig 5 a). Se evaluó la germinación y el crecimiento, la emergencia de plántulas, la sobrevivencia al trasplante de matas y la producción de biomasa aérea de las diferentes gramíneas utilizadas.

Ensayo 1 – Germinación en laboratorio

Las especies que se utilizaron fueron: *Elymus erianthus* (elimo plateado – coirón blanco), *Jarava neaei* (coirón pluma – coirón plumoso), *Aristida niederleinii* (espartillo), *Nassella trichotoma* (flechilla tendida) y *Jarava ichu* (paja blanca). Se utilizaron bandejas plásticas de 22 x 19 cm con 4 cm de profundidad, donde se sembraron 50 semillas de las diferentes especies obteniendo 2 tratamientos: con HC al 50 % del suelo contaminado (se diluyó con un suelo sin contaminar de la misma zona, obteniendo un valor de 2,15% HTP) y sin HC del mismo área (testigo) con cuatro repeticiones cada una (Fig. 5 b y c). Las condiciones de luz y temperatura fueron semicontroladas, con un fotoperiodo de 8 horas de luz diaria, la temperatura media fue de $22^{\circ}\text{C} \pm 3$ (Fig. 5 d).

Las semillas se sembraron el día 22/06/18 a una profundidad de 0.5 cm., y se realizaron riegos semanalmente con agua destilada con una conductividad eléctrica de $0 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$, manteniendo el suelo a capacidad de campo. Se registraron como semillas germinadas cuando se visualizó la emergencia de la radícula. La duración del ensayo fue de 45 días.

Se determinó la germinación semanalmente, con lo cual se realizó el cálculo de diferentes variables: tasa de germinación (TG) y capacidad final de germinación (CG, total alcanzado en cada tratamiento).

También se calculó la capacidad de germinación (CG) en cada tratamiento y con respecto al testigo (CG/test), para descartar las diferencias de calidad de espiguillas y la

tasa de germinación (TG) (Reddy *et al.*, 1985). Los cálculos se realizaron mediante las siguientes fórmulas:

$$TG = [(n_1 * t_{final} + n_2 * t_{final-1} + n_3 * t_{final-2} + \dots) * 100] / N * t_{final}$$

donde $n_1, n_2, n_3, \dots, n_{final}$ es el número de espiguillas que germinaron en el día 1, 2, 3, sucesivamente hasta el día final del tratamiento; t_{final} es el tiempo transcurrido (expresado como números de días) desde la siembra (día 1) hasta el final del experimento; $t_{final-1}, t_{final-2}, \dots$ corresponden al día de la observación de la germinación (expresado en función del t_{final}); y N es el número total de espiguillas puestas a germinar en cada bandeja.

CG= total de espiguillas germinadas/cantidad de espiguillas puestas a germinar*100(%)

$$G/Test = CG / CG \text{ del testigo} * 100 (\%)$$

donde la CG del testigo es la capacidad de germinación de las espiguillas sometidas al tratamiento testigo (suelo sin petróleo).



Figura 5. a: Preparación del sustrato para las muestras con y sin HC. **b:** Preparación de bandejas con y sin HC para la siembra de especies. **c:** Bandejas con y sin HC. **d:** Germinación de muestras con y sin HC a través de fotoperiodo.

Ensayo 2 - Trasplante y establecimiento de plántulas

La tarea consistió en trasplantar las plántulas germinadas en el ensayo 1, tanto las de suelo con HC como las de suelo sin contaminar, con 5 repeticiones cada una (Fig. 6 a). El trasplante se realizó el 03/08/18 en vasos de 110 ml con suelo virgen para su desarrollo y rustificación (Fig. 6 b). Esta última forma parte de las 3 etapas de desarrollo que tiene una planta en vivero (Establecimiento – Crecimiento – Rustificación). El objetivo es lograr plántulas que estén listas para salir a campo con altas probabilidades de supervivencia en la plantación, logrando así una adaptación a las condiciones naturales del medio (Schinelli Casares y Martínez, 2010).

Finalmente después de 2 meses de rustificación se las trasplantó en suelo con HC con 4,3% HTP y en suelo virgen, en vasos de 220 ml. Se formaron nuevamente 5

repeticiones para cada tratamiento con y sin HC (Fig. 6 c). Se observó la evolución de las plántulas y se monitoreó el crecimiento (Fig 6 d).



Figura 6. a: Trasplante de plántulas en suelo virgen y con HC en vasos de 110 ml para su posterior rustificación. b: Rustificación de plántulas en suelo virgen y con HC en laboratorio. c: Rustificación de plántulas en suelo virgen y con HC en invernáculo. d: Plántulas de *Elymus erianthus* en suelo con y sin HC, donde se monitoreo su sobrevivencia y crecimiento

Ensayo 3 - Trasplante de matas y producción de biomasa aérea

Consistió en trasplantar en macetas plásticas de 1 litro de capacidad, matas de 5 cm de diámetro provenientes de la división de plantas enteras de: *Thinopyrum ponticum* (agropiro alargado), *Jarava ichu* (paja blanca), *Nassella trichotoma* (flechilla tendida), *Aristida niederleinii* (paja dura) y *Amelichloa brachychaeta* (pasto puna) (Fig. 7 a). Todas las especies fueron recolectadas en el predio de INTA Anguil, las cuales se encontraban en buen desarrollo vegetativo.

Se trasplantó el día 17/08/18 en suelo con HC con 4,3% HTP y suelo virgen (testigo), con 4 repeticiones de cada uno. Se realizó un corte inicial de la parte aérea con tijera de podar a 5 cm del suelo posterior al trasplante para que tengan menos superficie transpirante las matas (Fig. 7 b). Se las regó semanalmente con agua destilada con una conductividad eléctrica de 0 dS.cm-1, manteniendo el suelo a capacidad de campo. Se calculó el crecimiento a través de la medición de la longitud una vez por semana en milímetros (mm) con la cual se realizó el cálculo de la tasa relativa de crecimiento (TRC) a través de la siguiente formula (Fig. 7 c):

$$TRC = \frac{Ln L_2 - Ln L_1}{t_2 - t_1}$$

TRC= Tasa Relativa de Crecimiento
 Ln= Logaritmo natural
 L₁= Largo (mm) de la primera medición
 L₂= Largo (mm) al momento del corte
 t₁= Tiempo (días) de la primera medición
 t₂= Tiempo (días) al momento del corte

Se calculó también biomasa aérea a través del peso en seco (gr). Se realizaron 3 cortes a 5 cm del suelo cada 42 días, siendo la fecha del primer corte 28/09/18, la del segundo 9/11/18 y la del tercer corte 21/12/18.

Se guardó el material en bolsas de papel madera, se las rotuló y luego se las secó en estufa a 60 °C hasta obtener su peso constante, que se alcanzó aproximadamente a las 72 horas y se pesó en balanza de precisión (Fig. 7 d).

Se calculó la Capacidad de Crecimiento respecto del testigo (CC/test) mediante la siguiente formula:

$$CC/Test = \frac{Crec\ con\ HC}{Crec\ sin\ HC} (\%)$$

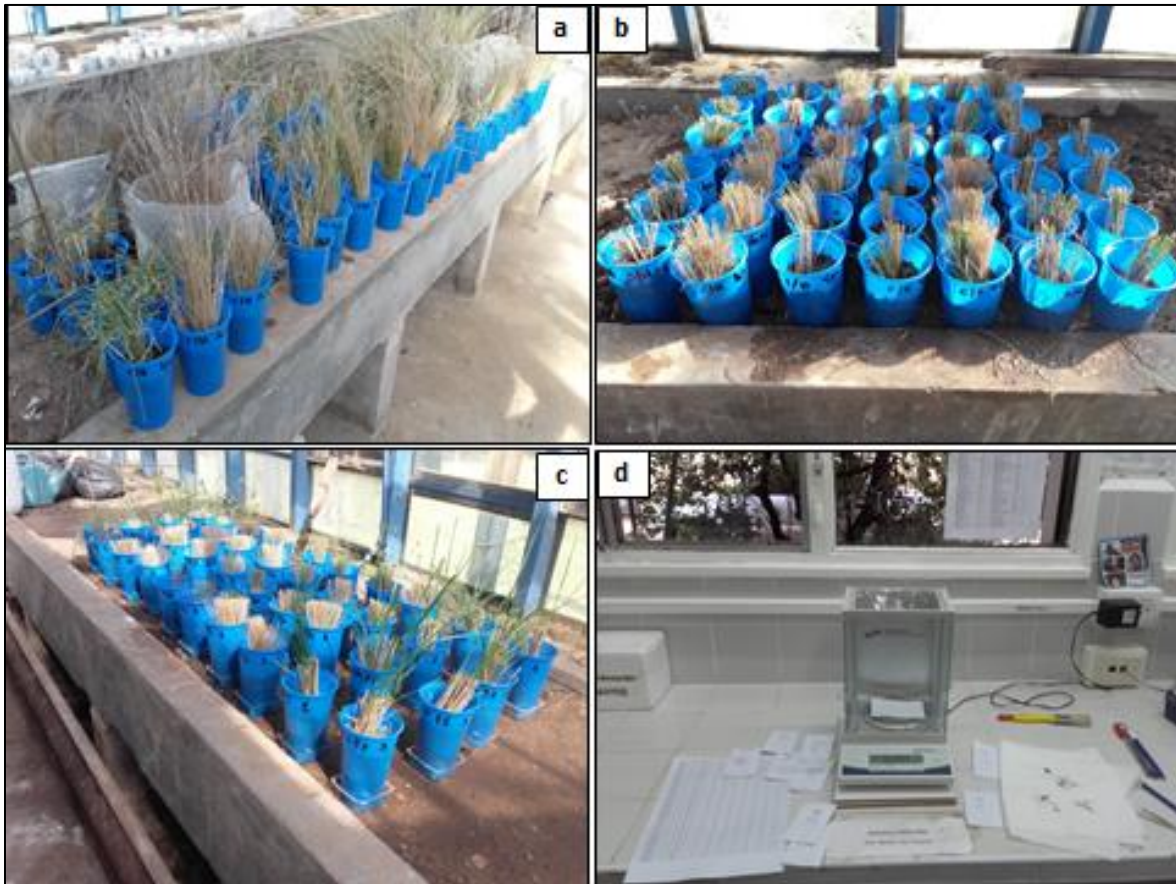


Figura 7. a: Armado de matas de diferentes especies en vasos de 1 lt de capacidad. **b:** Muestras de matas con corte inicial a 5 cm del suelo. **c:** Muestras de matas con producción de biomasa después de un corte. **d:** Balanza de precisión en la que se pesó la biomasa aérea de las diferentes muestras de matas

RESULTADOS

Previamente se realizó un ensayo de germinación con suelo contaminado con HC (4,3 % HTP). Los resultados obtenidos fueron nulos, por lo que se dedujo que el suelo con esa concentración de HC resultó ser tóxico para todas las especies analizadas.

Ensayo 1 – Germinación en laboratorio

Se obtuvo capacidad de germinación (CG) y tasa de germinación (TG) para cada especie tanto en suelo con HC como en suelo virgen y el poder germinativo (PG) de cada especie.

En relación a las muestras testigos (sin HC), la especie *J. ichu* tuvo diferencias significativas para su CG a partir del día 14 hasta el último día del recuento (Fig. 8.a).

En cuanto a la TG, solo hubo diferencias significativas para los días 14 y 21 con respecto al testigo (Fig. 8.b).

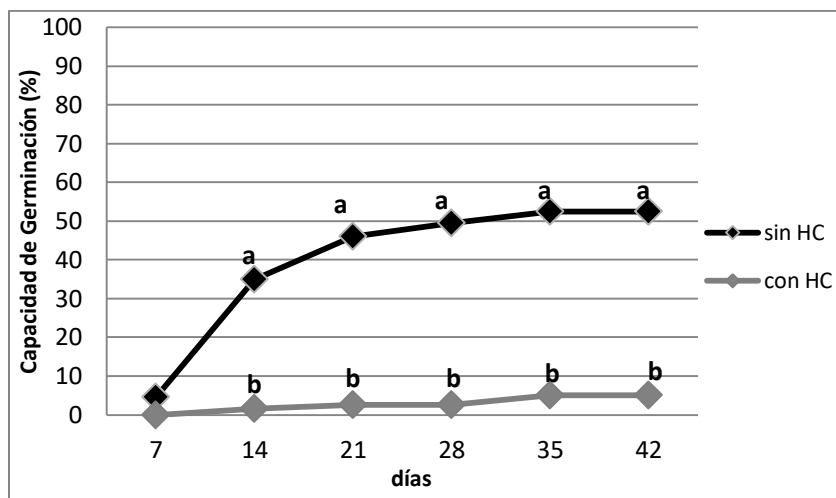


Figura 8.a. Capacidad de germinación de *Jarava ichu*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P < 0,05$)

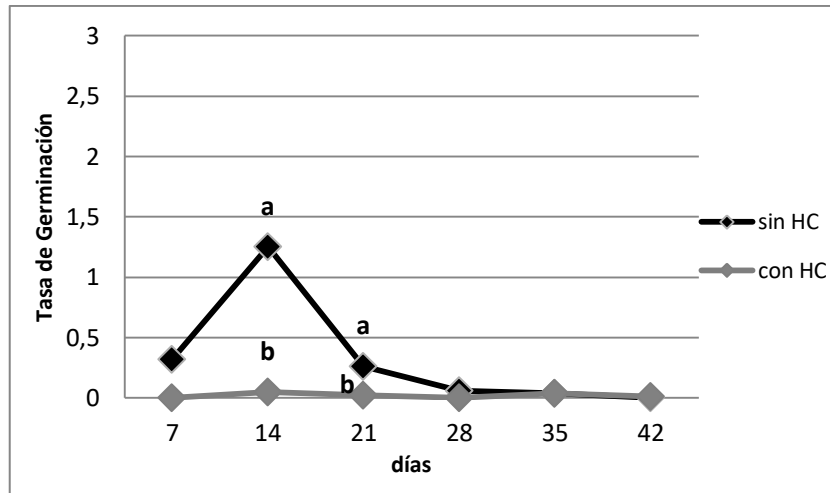


Figura 8.b. Tasa de germinación de *Jarava ichu*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P < 0,05$)

En el caso de *A. niederleinii* hubo diferencias significativas en todo el periodo del recuento, destacándose que a partir de la tercera semana se mantuvieron constantes los valores en ambos tratamientos (Fig. 9.a).

En cuanto a la TG se hallaron diferencias significativas en las dos primeras semanas (Fig. 9.b).

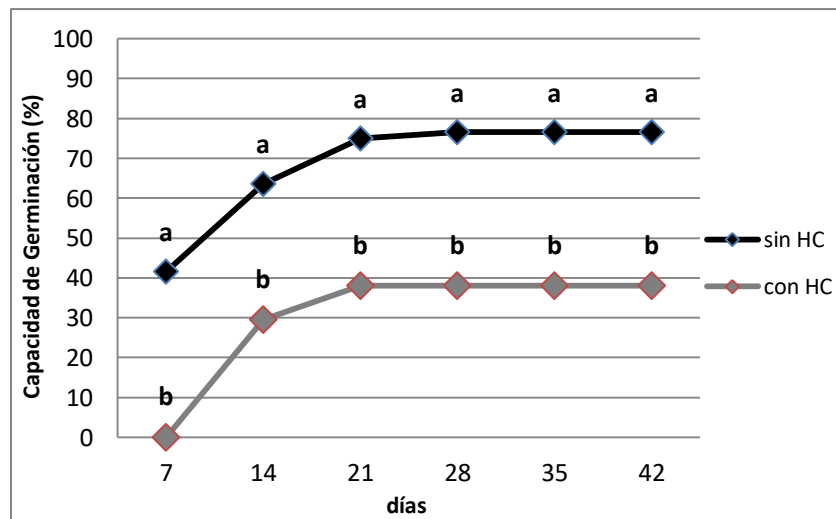


Figura 9.a. Capacidad de germinación de *Aristida niederleinii*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P < 0,05$)

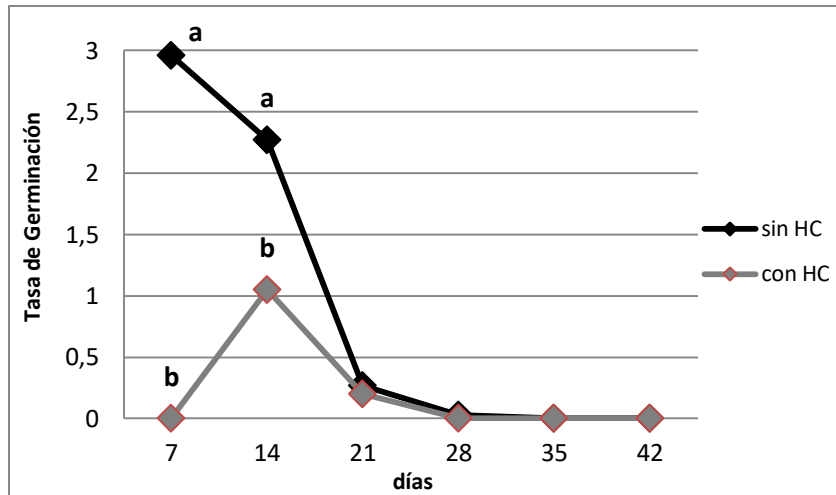


Figura 9.b. Tasa de germinación de *Aristida niederleinii*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P < 0,05$)

En la gramínea *N. trichotoma* se encontraron diferencias significativas para la CG a partir de la segunda semana del recuento y hasta la última (Fig. 10.a).

Para su TG solo se hallaron diferencias significativas a los 14 y 21 días (Fig. 10.b).

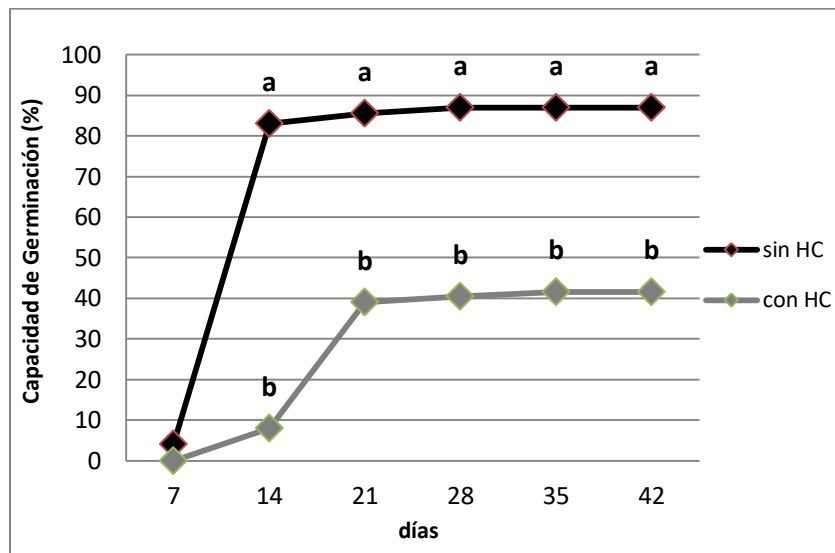


Figura 10.a. Capacidad de germinación de *Nassella trichotoma*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P < 0,05$)

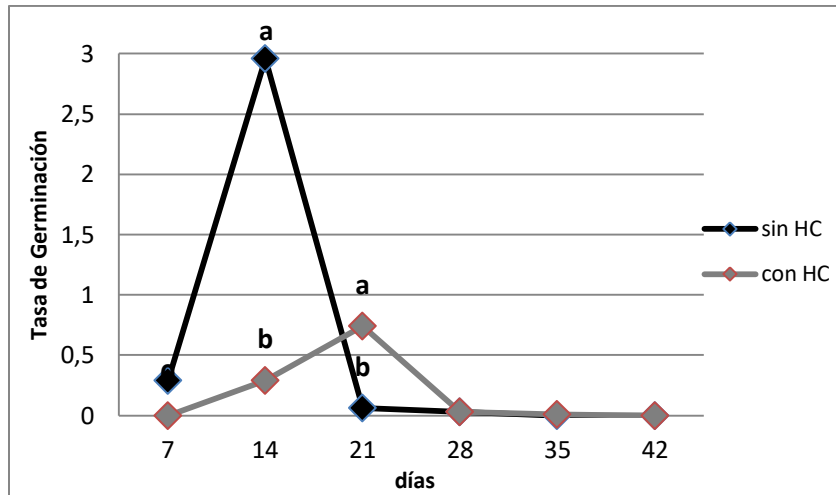


Figura 10.b. Tasa de germinación de *Nassella trichotoma*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P<0,05$)

La especie *E. erianthus* se diferenció de las demás ya que solamente se evidenciaron diferencias significativas de la CG en las últimas 2 semanas del recuento, es decir a los 35 y a los 42 días (Fig. 11.a).

En cuanto a la TG hubo diferencias significativas solo a los 28 días del recuento (Fig. 11.b).

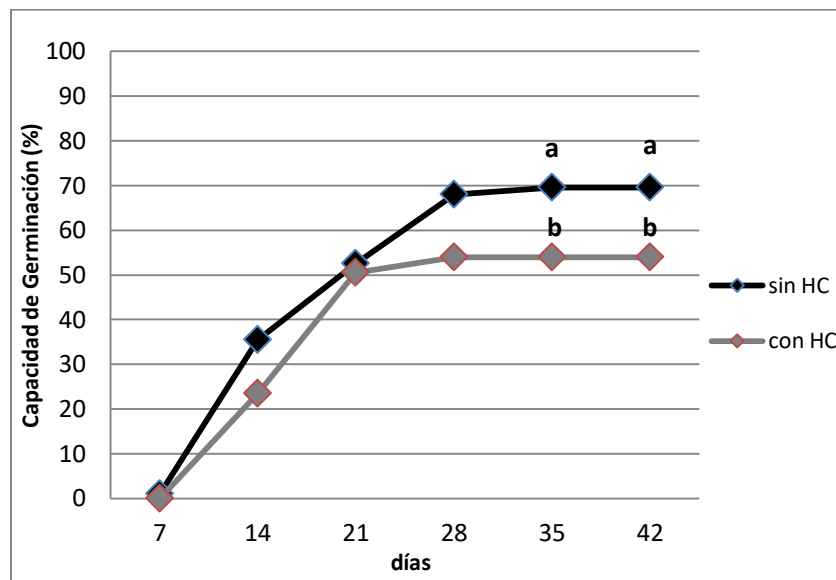


Figura 11.a. Capacidad de germinación de *Elymus erianthus*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P<0,05$)

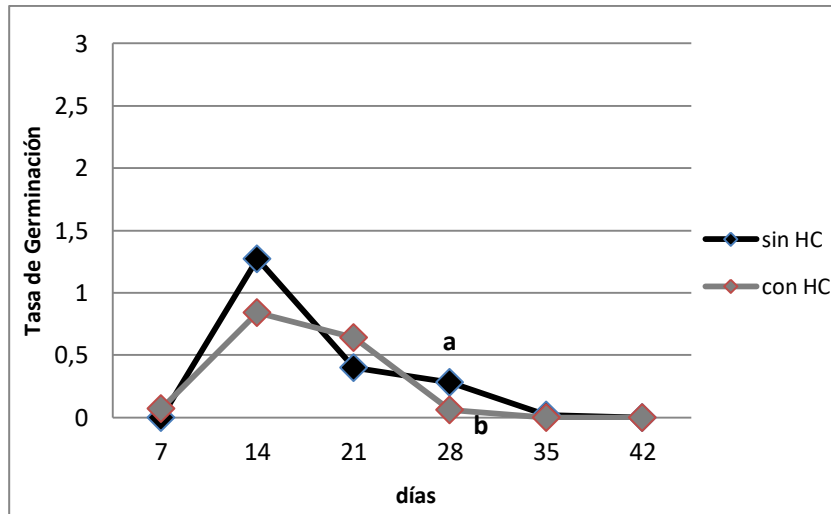


Figura 11.b. Tasa de germinación de *Elymus erianthus*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P < 0,05$)

Para *J. neaei* hubo diferencias significativas en CG desde los 14 días hasta el último día del recuento (Fig. 12.a); en cambio solo se encontraron diferencias significativas a los 14 y 21 días para la TG (Fig. 12.b).

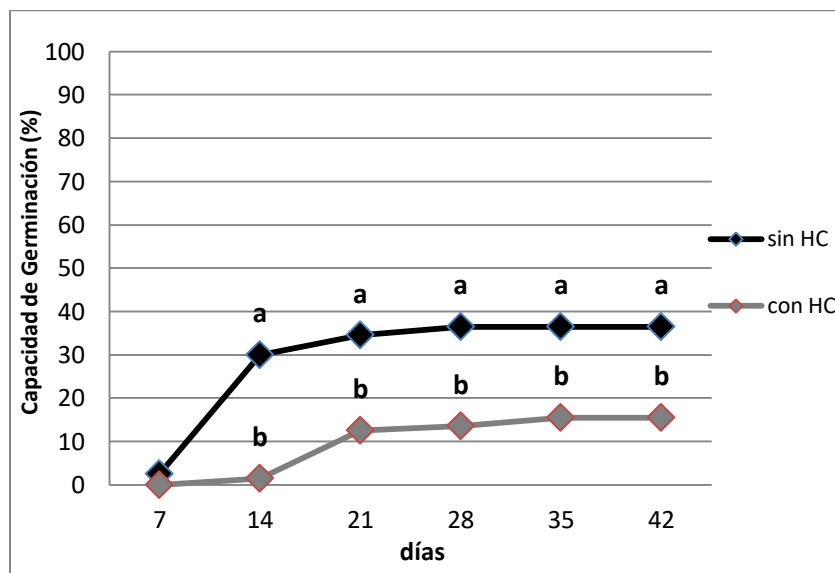


Figura 12.a. Capacidad de germinación de *Jarava neaei*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P < 0,05$)

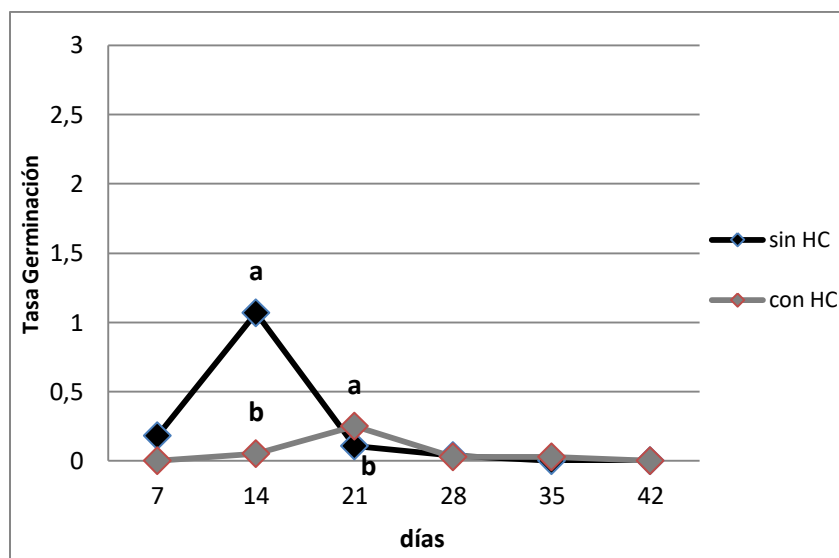


Figura 12.b. Tasa de germinación de *Jarava neaei*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P < 0,05$)

Tabla 2. Capacidad de Geminación con respecto al Testigo. Ji: *Jarava ichu*. An: *Aristida niederleinii*. Nt: *Nassella trichotoma*. Ee: *Elymus erianthus*. Jn: *Jarava neaei*. Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo recuento ($P < 0,05$)

	Ji	An	Nt	Ee	Jn
CG/test (%)	9,52 c	49,67 b	47,7 b	77,7 a	42,46 b

Teniendo en cuenta el CG/Test de cada especie, se encontraron diferencias significativas entre las especies (Tabla 2); las poblaciones respondieron de manera diferente respecto al estrés toxico que produce el HC. *J. ichu* fue la que mayor sensibilidad demostró a los efectos que producen el contaminante en la etapa de germinación, obteniendo un CG/test menor al 10%. Contrariamente, la especie *E. erianthus* fue la que mejor se adaptó a los efectos del HC en la etapa de germinación, alcanzando valores cercanos al 80%. Para las otras 3 especies evaluadas el CG/Test fue similar, cercano al 50%.

Ensayo 2 - Trasplante y establecimiento de plántulas

La medición de sobrevivencia de plántulas al trasplante fue muy distinta tanto entre especies como entre tratamientos, aunque se destaca que el tratamiento con HC mostró

siempre menos sobrevivencia respecto al testigo. Evaluada la sobrevivencia a la cuarta semana, el HC resultó ser demasiado tóxico para las especies *J. neaei* (0% de sobrevivencia) y *J. ichu* (40% de sobrevivencia), mientras que las especies *E. erianthus* y *A. niederleinii* tuvieron una mejor adaptación (60% de sobrevivencia).

Para las muestras sin hidrocarburo *A. niederleinii* tuvo un 100% de sobrevivencia al finalizar la cuarta semana; *E. erianthus* y la *J. ichu* un 80%, mientras que la de menor sobrevivencia fue *J. neaei* con un 40% (tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de sobrevivencia de plántulas al trasplante en suelo con y sin HC, durante el ensayo 2.

Especies	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
	con HC	Sin HC	con HC	Sin HC	con HC	Sin HC	con HC	Sin HC
<i>E. erianthus</i>	60	100	60	80	60	80	60	80
<i>J. neaei</i>	20	60	20	60	0	40	0	40
<i>A. niederleinii</i>	100	100	60	100	60	100	60	100
<i>J. ichu</i>	60	80	40	80	40	80	40	80

Ensayo 3 - Trasplante de matas y producción de biomasa aérea

Aristida niederleinii a pesar de tener uno de los mejores valores de supervivencia entre las especies evaluadas, no resistió el trasplante. No se observó rebrote por lo tanto no pudo ser incorporada en el ensayo 3.

Corte 1:

Para la tasa relativa de crecimiento (TRC) entre las especies analizadas se hallaron diferencias significativas ($P < 0,05$), pero no así entre tratamientos ni entre tratamiento por especies ($P > 0,05$) (Tabla 4). En relación a su capacidad de crecimiento con respecto al testigo (CC/test), todas las especies presentaron valores altos. *A. brachychaeta* fue la especie de mayor capacidad obteniendo un 100%, mientras que *N. trichotoma* fue la de menor capacidad (71,8%). Además se puede observar que tanto en las muestras con y sin HC *N. trichotoma* fue la especie con mayor tasa relativa de crecimiento (Fig. 13.a).

Con respecto al peso seco (PS) de la biomasa aérea, se encontraron diferencias muy significativas entre especies ($P < 0,01$) y significativas entre tratamientos ($P < 0,05$), pero no así entre tratamiento por especies (Tabla 4).

La especie que mejor respuesta tuvo en relación a su testigo fue *T. ponticum*, ya que alcanzó un 90,6% de Biomasa/test. *J. ichi* y *A. brachychaeta* presentaron valores intermedios, cercanos al 50 %, mientras que *N. trichotoma* contrariamente a lo que se esperaba, fue la especie que menor peso seco consiguió para las muestras sin HC y a su vez fue la especie de menor Biomasa/test (24,8%). La única especie en la que se encontró diferencias significativas en la producción de biomasa aérea entre tratamientos con y sin HC fue *A. brachychaeta* (Fig. 13.b), lógicamente con mayores producciones en el tratamiento sin HC.

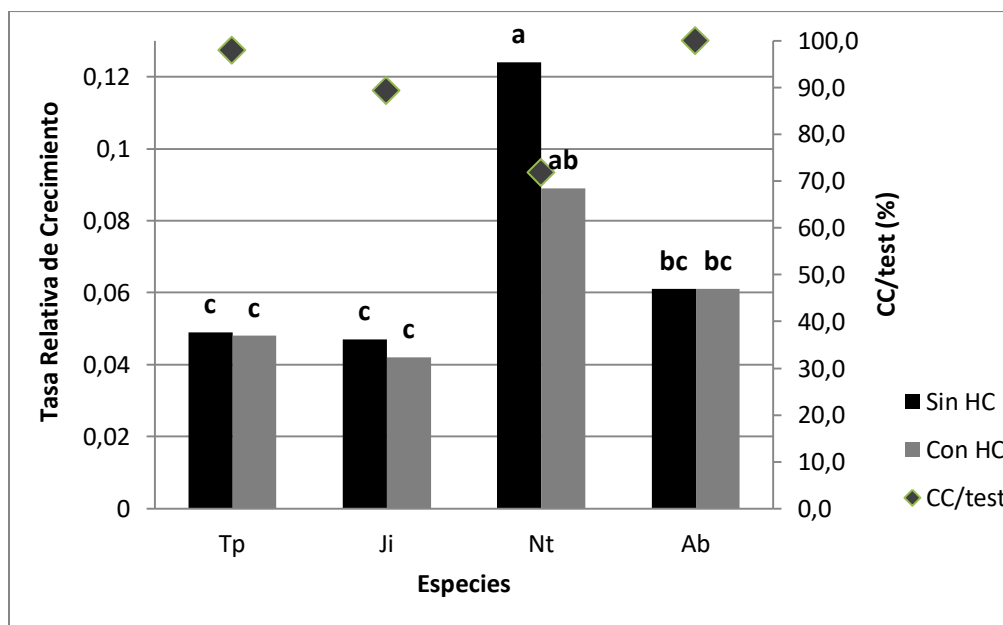


Figura 13.a. Tasa relativa de crecimiento del corte 1. (CC/Test: Capacidad de crecimiento/Testigo; Sin HC: Sin hidrocarburo; Con HC: Con hidrocarburo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$). Tp: *Thinopyrum ponticum*. Ji: *Jarava ichu*. Nt: *Nassella trichotoma*. Ab: *Amelichloa brachychaeta*)

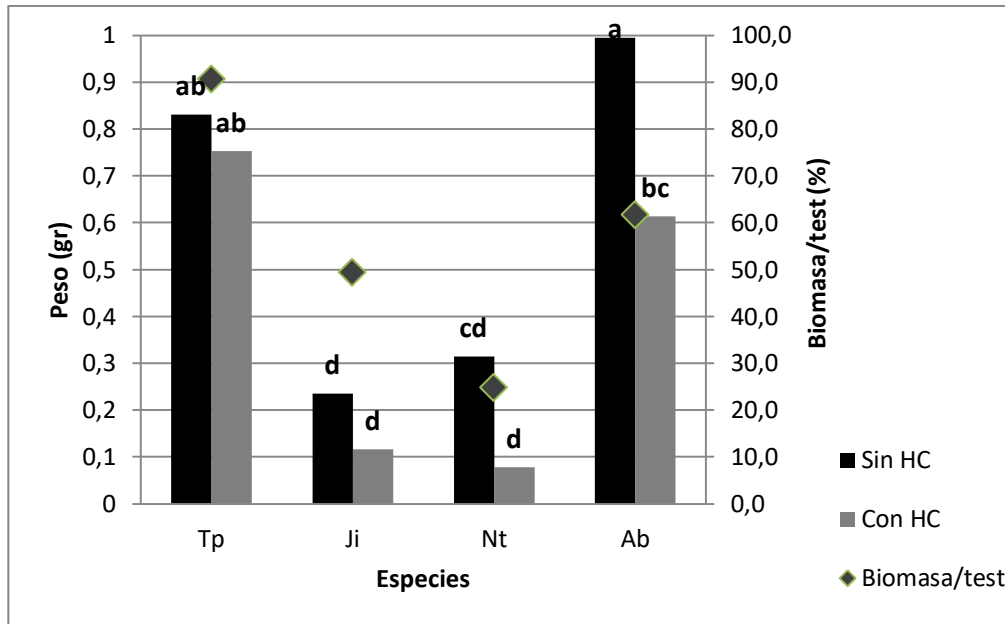


Figura 13.b. Peso seco de biomasa aérea del corte 1. (Sin HC: Sin hidrocarburo; Con HC: Con hidrocarburo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$). Tp: *Thinopyrum ponticum*. Ji: *Jarava ichu*. Nt: *Nassella trichotoma*. Ab: *Amelichloa brachychaeta*)

Corte 2:

Para el corte 2, se mantuvieron diferencias altamente significativas entre especies ($P < 0,01$) (Tabla 4), siendo *N. trichotoma* nuevamente la especie que experimentó la mayor TRC, tanto en muestras con y HC como en muestras sin HC. Del mismo modo que en el primer corte, *A. brachychaeta* obtuvo un 100% de su CC/test, mientras que en este caso *J. ichu* fue la especie que menor CC/test obtuvo, siendo de un 70,4% (Fig. 14.a).

En cuanto al peso seco de la biomasa aérea, se hallaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre especies y diferencias muy significativas entre tratamientos ($P < 0,01$), pero no así entre tratamiento por especies (Tabla 4). *A. brachychaeta* fue la de mayor peso con respecto a las muestras con HC, siendo esta también la de mayor Biomasa/test (51%) (Fig. 14.b).

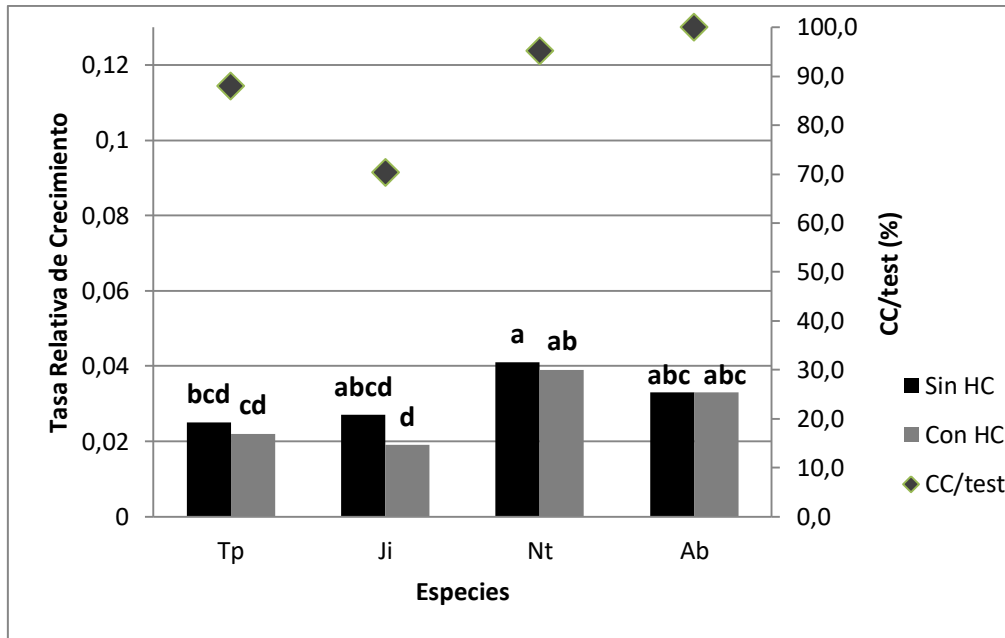


Figura 14.a. Tasa relativa de crecimiento del corte 2. (CC/Test: Capacidad de crecimiento/Testigo; Sin HC: Sin hidrocarburo; Con HC: Con hidrocarburo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$). Tp: *Thinopyrum ponticum*. Ji: *Jarava ichu*. Nt: *Nassella trichotoma*. Ab: *Amelichloa brachychaeta*)

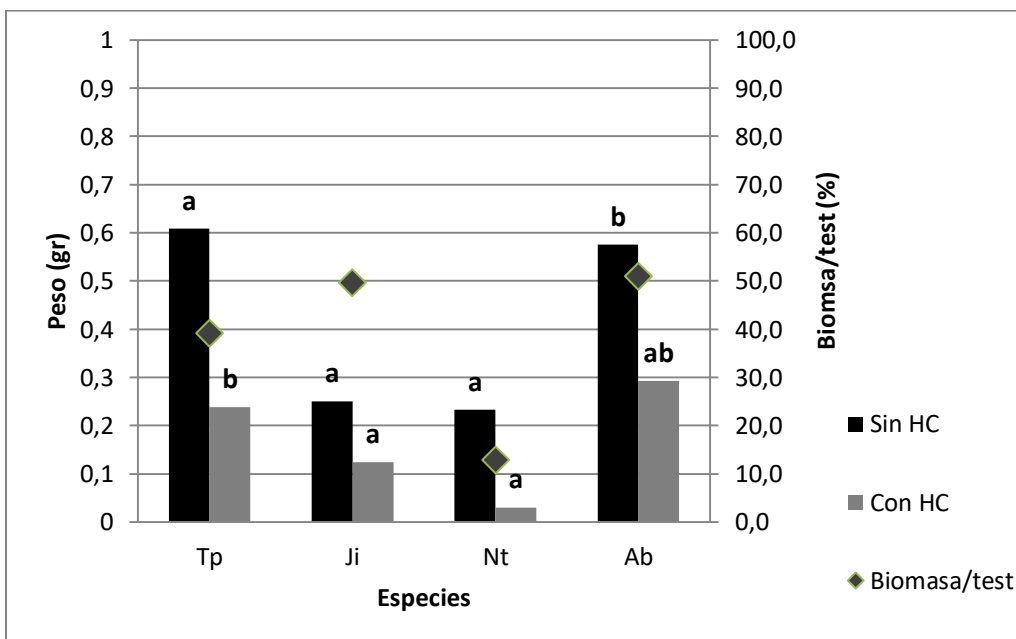


Figura 14.b. Peso seco de biomasa aérea del corte 2. (Sin HC: Sin hidrocarburo; Con HC: Con hidrocarburo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$). Tp: *Thinopyrum ponticum*. Ji: *Jarava ichu*. Nt: *Nassella trichotoma*. Ab: *Amelichloa brachychaeta*)

Corte 3:

Para el tercer corte *A. brachychaeta* fue la especie que mayor TRC alcanzó, obteniendo del mismo modo que en los dos cortes anteriores un 100% de su CC/test. Por otro lado, a la inversa que en los dos cortes previos *N. trichotoma* fue la especie de menor TRC (Fig. 15.a). Aunque, cabe aclarar que en este corte no se evidenciaron diferencias significativas entre especies, entre tratamientos ni entre tratamientos por especies (Tabla 4).

En cuanto al peso seco de la biomasa aérea para los tratamientos con HC, *T. ponticum* fue la especie de mayor peso logrado. A su vez la especie que obtuvo una mayor respuesta respecto a su testigo fue *N. trichotoma* con 64,6%; mientras que *A. brachychaeta* fue la de menor Biomasa/test con un 23% (Fig. 15.b). Para esta variable solo se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos (Tabla 4).

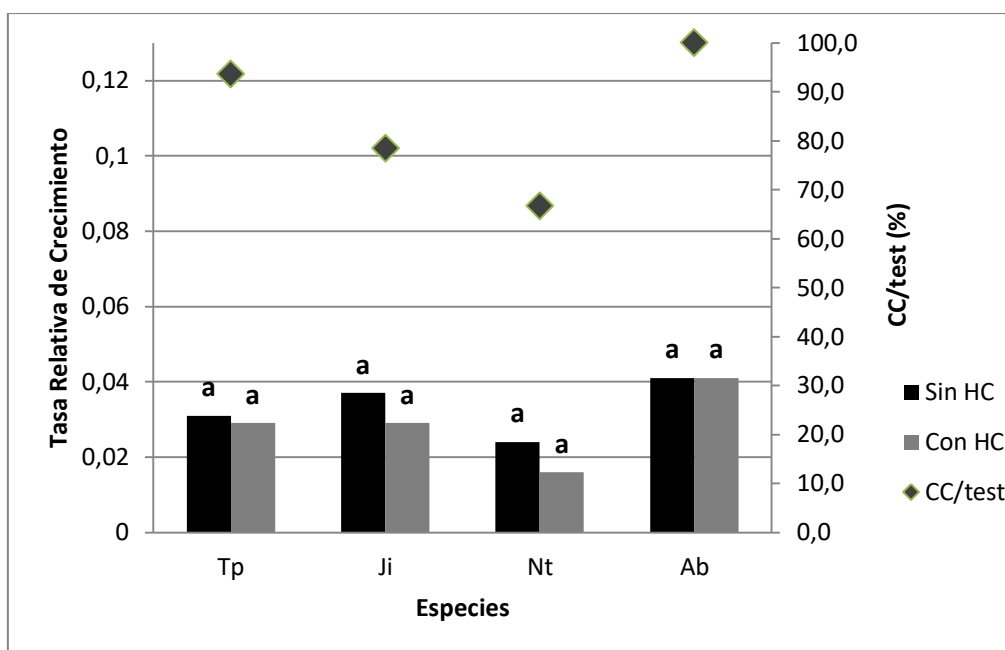


Figura 15.a. Tasa relativa de crecimiento del corte 3. (CC/Test: Capacidad de crecimiento/Testigo; Sin HC: Sin hidrocarburo; Con HC: Con hidrocarburo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$). Tp: *Thinopyrum ponticum*. Ji: *Jarava ichu*. Nt: *Nassella trichotoma*. Ab: *Amelichloa brachychaeta*)

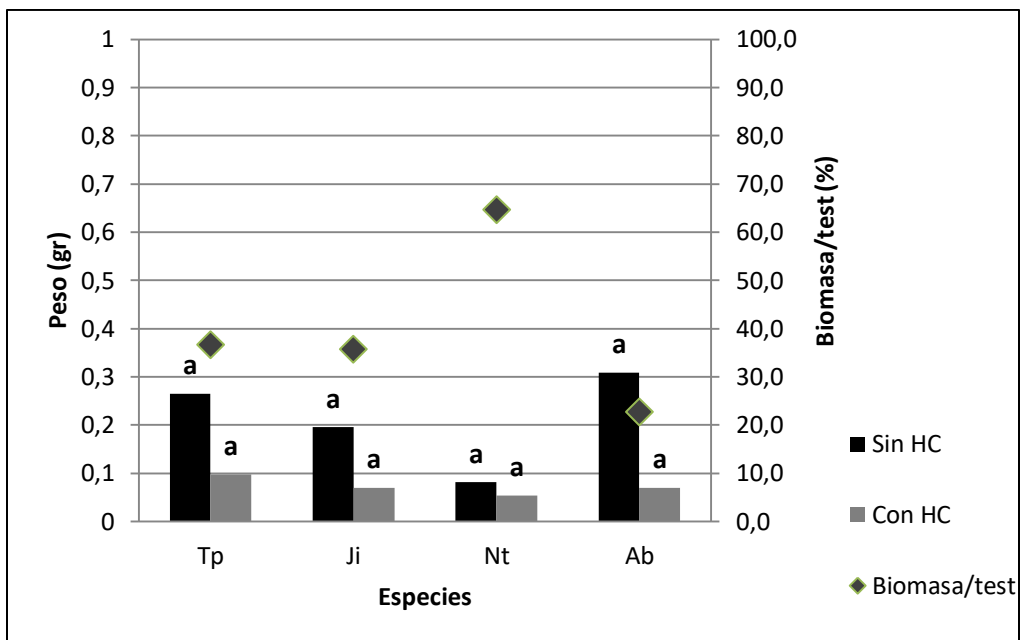


Figura 15.b. Peso seco de biomasa aérea del corte 3. (Sin HC: Sin hidrocarburo; Con HC: Con hidrocarburo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$). Tp: *Thinopyrum ponticum*. Ji: *Jarava ichu*. Nt: *Nassella trichotoma*. Ab: *Amelichloa brachychaeta*)

Tabla 4. Cuadro análisis de la varianza para Tasa de crecimiento relativo y peso seco de plantas en tres cortes consecutivos. GL: Grados de Libertad; TRC: Tasa Relativa de Crecimiento; PS: Peso Seco; CV: Coeficiente de Variación; NS: No Significativo $P > 0,05$; *: Significativo $0,01 < P < 0,05$; **: Muy Significativo $P < 0,01$

	GL	Corte 1		Corte 2		Corte 3	
		TRC 1	PS 1	TRC 2	PS 2	TRC 3	PS 3
Especies	3	**	**	**	*	NS	NS
Tratamiento	1	NS	*	NS	**	NS	*
Trat. x Especies	3	NS	NS	NS	NS	Ns	NS
CV		16,94	44,62	26,04	72,15	40,44	90,05

DISCUSIÓN

En respuesta a los altos grados de deterioro y destrucción de ambientes naturales, la recuperación de ambientes degradados cobra cada vez mayor importancia a nivel mundial (González Espinosa *et al.*, 2008); el presente estudio aborda la problemática del impacto antrópico sobre la contaminación de los suelos. El área de estudio se encuentra en la Patagonia, donde más de 550.000 km² se encuentran alterados por distintos impactos antrópicos y/o naturales tales como sequía, temperaturas extremas, pastoreo excesivo, extracción de minerales e hidrocarburos (Fiori y Zalba, 2003; Ciano, 2013; Pérez *et al.*, 2019).

De acuerdo a los resultados hallados en este trabajo, el HC al tratarse de un tipo de aceite no permite que la humedad llegue donde éste se encuentre, por lo que imposibilita la germinación de las semillas debido a estrés hídrico y efectos tóxicos (Rodríguez Rivera *et al.*, 2007). Para un tratamiento de suelo con 4% o más HTP es fundamental realizar laboreos previos, mezclarlo con suelo sin contaminar y airearlo, garantizando una germinación óptima de las especies. Debido a esto en el ensayo de germinación debió mezclarse el suelo con HC con suelo sin contaminar para obtener resultados positivos. Así mismo se encontraron a este nivel diferencias entre especies, siendo las más tolerantes en esta etapa *Elymus erianthus*, *Nassella trichotoma* y *Aristida niederleinii*.

Considerando que la mayor concentración residual de HC en el suelo se encuentra en los primeros 30 cm (Adams *et al.*, 2008), y en base a nuestros resultados del ensayo de germinación y crecimiento de plántulas y con un enfoque ecológico la siembra directa sería una alternativa viable cuando la concentración de HTP en suelo sea menor al 2%, aportándole cobertura y protegiéndolo de distintos procesos como la erosión; y para trabajos de remediación de suelos con HC mayor al 2% la técnica de trasplante de plántulas resulta más conveniente debido a los resultados obtenidos en nuestros ensayos. Ambas alternativas son también corroboradas en un estudio llevado a cabo por Pérez *et al.*, (2019) con las especies *Atriplex lampa*, *Senecio subulatus* var. *subulatus* y *Hyalis argentea* var. *lastisquama* en la región del Monte Austral de la Patagonia Argentina, donde se evaluaron los costos-beneficios de dos alternativas de restauración y rehabilitación de suelo, utilizando especies nativas.

La especie nativa *E. erianthus* mostró una excelente germinación y crecimiento inicial, en concordancia con Meli *et al.*, (2017) quien menciona que la revegetación debe ser con especies nativas con fines de restauración ecológica. A su vez *A. brachychaeta* mediante el trasplante de matas adultas mostró capacidad para crecer y desarrollarse en un sustrato contaminado con HC con 4,3% HTP, lo cual le da a la planta un potencial fitorremediador donde estos resultados preliminares permiten desarrollar estudios posteriores para determinar la capacidad remediadora de la especie.

Los resultados de este trabajo coinciden parcialmente con el reportado por Luque (2006), quien trabajando con agropiro alargado obtuvo una buena respuesta para disminuir el contenido de HC en suelo; a diferencia de este trabajo no se experimentó con el efecto de fertilizantes. Si bien el objetivo fue utilizar especies nativas para recuperar áreas perturbadas, conservando la biodiversidad y la sustentabilidad del sistema, el agropiro es interesante tenerlo en cuenta ya que presenta buen comportamiento en suelos con HC.

Por otro lado, también hay que considerar que debe preferirse trabajar con especies no palatables para asegurarnos que el contaminante no continúe en la cadena trófica (Sanz García, 2017). En este trabajo en general las especies eran no palatables, excepto *E. erianthus* que tiene cierta palatabilidad y a su vez tuvo los mejores resultados en la etapa de germinación, crecimiento inicial y sobrevivencia luego del trasplante. Con respecto a *A. niederleinii*, una especie de baja palatabilidad, tuvo muy buenos resultados en la etapa de germinación y sobrevivencia de plántulas pero no prosperó en la de trasplante de matas adultas.

CONCLUSIONES

La hipótesis 1 se cumplió parcialmente ya que en suelo con 4,3% HTP no hubo germinación. Fue necesario bajar el contenido de HC en el suelo a 2,15% HTP a través de prácticas agronómicas para obtener resultados de germinación aceptables.

Si bien las plántulas *E. erianthus* y *A. niederleinii* obtuvieron resultados muy buenos de crecimiento inicial en suelo con HC, las especies restantes no prosperaron en esta etapa, por lo tanto la hipótesis 2 se cumplió parcialmente.

Para revegetación de áreas donde el contenido de HC es mayor al 2% la técnica de plantación de matas adultas es la recomendada.

La hipótesis 3 referida a la tolerancia al HC por parte de las matas adultas, se cumplió parcialmente puesto que de las cinco especies evaluadas una de ellas, *A. niederleinii*, no prosperó.

Promovemos utilizar especies nativas para recuperar áreas perturbadas con HC, las cuales son fáciles de conseguir conservando la biodiversidad y la sustentabilidad del sistema. Sin embargo deben considerarse algunas especies introducidas debido a su alta tolerancia a los HC como es el caso del agropiro alargado que en este trabajo tuvo muy buen comportamiento.

CONSIDERACIONES FINALES

Evaluar otras especies tales como las dicotiledóneas características de la zona de nuestro estudio *Larrea sp* (jarilla) y *Prosopis alpataco* (alpataco).

Sería recomendable trabajar con especie nativas y no palatables, dada la importancia de las especies autóctonas desde el punto ecológico aportándole estabilidad al ecosistema. En cuanto a las especies no palatables nos asegurarían que el contaminante no continúe dentro de la cadena trófica.

En caso de trabajar con alguna especie que por alguna razón es consumida por los animales, como por ejemplo el agropiro se recomienda cercar el área donde se realice la revegetación, no permitiendo el ingreso de los mismos y de esta forma asegurando que el HC no continúe en la cadena.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, R.H., Zavala Cruz, J. y Morales García, F. 2008. Concentración residual de hidrocarburos en suelo del trópico. II: Afectación a la fertilidad y su recuperación. *Interciencia*, 33 (7): 483-489.

Beider, A. 2012. Viverización de especies nativas en zonas áridas. *Experiencia*. 2° Revista de Transferencia Científica. 70 pp.

Benavidez López de Mesa, J., Quintero, G., Guevara Vizcaíno, L., Jaimes Cáceres, D.C., Gutiérrez Riaño, S.M. y Miranda García, J. 2006. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova*, enero-junio, 4 (005): 82-90

Cabrera, A. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Buenos Aires. Argentina. 90 pp

Cano, E. 1980. Inventario de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. Disponible en: <https://recursosnaturales.lapampa.edu.ar//index2.html/> consultada 02/04/2018.

Ciano, N. 2013. Rehabilitación de áreas degradadas por la actividad petrolera. Restauración ecológica en la diagonal árida de la Argentina. Buenos Aires, Argentina. 261-274.

Ciano, N.; Luque, J.; Amari, M. y Buono, G. 2000 (a). Establecimiento de Agropiro alargado bajo 3 sistemas de siembra en mallines salinos sódicos de la Patagonia. Ade inyección directa CGFIDs del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata (Pcia. de Buenos Aires).

Del Valle, H. F., Elissalde, N.O., Gagliardini, D. A. and Milovich, J. 1998. Status of desertification in the Patagonian Region: Assessment and mapping from satellite imagery. *Journal of Native and Agricultural Environments*, 12 (2): 95-121.

Fiori, S.M. and Zalba, S.M. 2003. Potential impacts of petroleum exploration and exploitation on biodiversity in a Patagonian Nature Reserve, Argentina. *Biodiversity and Conservation*, 12: 1261-1270.y

Garay, A. 2015a. Informe final de remediación ambiental biopila n° 1, 2, 3 y 4 batería 10, Yacimiento Medanito. Serma - Petrobras Argentina S.A.

Garay, A. 2015b. Informe final de remediación ambiental biopila n° 5, 6, 7 y 8 batería 10, Yacimiento Medanito. Serma - Petrobras Argentina S.A.

Garbisu, C., Epelde L. y Becerril Soto, J.M. 2008. Fitorremediación: una tecnología verde para la recuperación de suelos contaminados. *El Ecologista*, 57: 40-41.

Golder, A. 2007. Estudio de impacto ambiental proyecto de expansión del trabajo abierto y optimización del procesamiento. Resumen ejecutivo. Compañía Minera Antamina. 54 pp.

González Espinosa, M., Rey Benayas, J.M. y N. Ramírez Marcial, N. 2008. Restauración de bosques en América Latina. Mundi-Prensa. Madrid. 15 pp.

Harvey, P.J, Campanella, B.F., Castro, P.M., Harms, H., Lichtfouse, E., Schäffner, A.R., Smrcek, S. and Werck-Reichhart, D. 2002. Phytoremediation of Polyaromatic Hydrocarbons, Anilines and Phenols. *Environmental Science and Pollution Research*, 9: 29-47.

Luque, J.L. 2009. Desempeño de cuatro especies para fitorremediar suelos contaminados con hidrocarburos en Patagonia. (Tesis de Maestría en Manejo ambiental). Universidad Maimónides, Buenos Aires, Argentina. 98 pp.

Luque, J., Molina Sanchez, D. y Amari, M. 1994. Características edáficas de suelos afectados por derrames de petróleo. Convenio INTA-YPF. II Simposium Ciencia y Tecnología de la Patagonia Austral Argentina-Chile. Comodoro Rivadavia.

Martínez Carretero, E. 2004. La provincia fitogeográfica de La Payunia. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 39 (3-4): 195-226.

Meli, P., Holl, K. D., Rey Benayas, J. M., Jones, H. P., Jones, P. C., Montoya, D. and Moreno Mateos, D. 2017. A global review of past land-use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. PLOS One 12: e0171368.

Mendiberri, H.O., Giusiano, A.E., y Valdéz, A.H. 2005. Cuenca Neuquina, reservas y recursos hidrocarburíferos. Secretaria de Estado y Energía y Minería. Provincia de Neuquén.

Merini, L. 2019. Fitorremediación: ¿De qué se trata? Horizonte Agropecuario. INTA regional La Pampa - San Luis, 116: 11-12.

Nicolotti, G. y Egli, S. 1998. La contaminación del suelo por el petróleo: Impacto en la micorrizosfera y la potencial revegetación de los arboles forestales. Contaminación ambiental, 99: 37-43.

Pérez, D.R., González, F., Ceballos, C., Oneto, M.E. y Aronson, J. 2019. Direct seeding and outplantings in drylands of Argentinean Patagonia: estimated costs and prospects for large-scale restoration and. Society for Ecological Restoration. 10.1111/rec.12961.

Petenello, M.C. y Feldman, S.R. 2012. Evaluación de la tolerancia a suelos contaminados con aceite diésel en especies vegetales con potencial biorremediador. *Acta Biológica Colombiana*, 17 (3): 589-598.

Quiroga, E., Blanco, L. y Oriente, E. 2009. Evaluación de estrategias de rehabilitación de pastizales áridos. *Ecología Austral*, 19: 107-117.

Reddy, L.V., Metzger, R.J. and Ching, T.M. 1985. Effect of temperature on seed dormancy of wheat. *Crop Sciences*, 25: 455-458.

Rodríguez Rivera, M.F., Sosa, L.R., Fernández, E.A., Reale, M.I. y Villarreal, V. 2007. Efecto del estrés hídrico a distintas temperaturas sobre la germinación de semillas de *Bulnesia retama* (Gill. ex. Hook.) Griseb. - Zigofiláceas - en San Luis, Argentina. *Revista Internacional de botánica experimental*. 76: 5-17.

Rúgolo de Agrasar, Z.E., Steibel, P.E. y Troiani, H.O. 2005. Manual ilustrado de las gramíneas de la Provincia de La Pampa. 359 pp.

Sanz García, M.A. 2017. Contaminantes emergentes y cadena alimentaria. Productos farmacéuticos, de cuidado personal y drogas de abuso. Colegio Oficial de Farmacéuticos de Zaragoza. 47 pp.

Schinelli Casares, T. y Martinez, A. 2010. Viverización de especies forestales nativas de nuestra región: *Los Nothofagus caducifolio* - Parte 2, Viverización en condiciones controladas. Publicación de divulgación. INTA EEA Bariloche, 55: 29-30.

Subsecretaría de Hidrocarburos y Minería de La Pampa. 2018. Áreas explotadas y empresas operadoras. Disponible en: <https://shm.lapampa.gob.ar/> consultada 21/02/18.

Wang, W. y Freemark, K. 1995. El uso de las plantas para el monitoreo y la evaluación ambiental. *Ecotoxicología y seguridad ambiental*, 30: 289-301.