

# Diseño, ejecución y ajuste de un proyecto bioingenieril para la rehabilitación del ex vertedero de San Carlos de Bariloche

Trabajo Final Integrador  
Requisito para adquirir el título de Ingeniera Ambiental

Alumna: Hruby, Silvina Anabela  
Directora: Rovere, Adriana Edit  
Co-directora: Riat, Martha Cecilia

Universidad Nacional de Río Negro - Sede Andina  
San Carlos de Bariloche  
Octubre, 2019



## Resumen

La disposición final de los residuos sólidos urbanos representa una grave problemática a nivel mundial. Los sitios destinados para tal fin, en general, son vertederos que carecen de infraestructura necesaria para controlar la contaminación originada por los residuos enterrados y en consecuencia impactan el ambiente, afectan la salud y el bienestar de la población. Para evitar los efectos negativos de los vertederos, éstos deben cerrarse de forma definitiva y monitorearse. Las medidas de rehabilitación implementadas posterior al cierre, contribuyen a mejorar la salud de la población y preservar el ambiente. El ex vertedero de San Carlos de Bariloche posee un plan de clausura realizado en el año 2015 que finalizó con la colocación de una cubierta de sustrato apta para sustento de la vegetación, pero no se realizó la etapa final de revegetación. Es prioritario, cubrir y proteger la capa superior del ex vertedero de Bariloche, para evitar que la erosión y pérdida del sustrato exponga al ambiente la geomanta, aislante de los residuos enterrados. Asimismo, la revegetación del sustrato, permitirá la integración paisajística del sitio. Este trabajo tiene como objetivos (I) comparar tratamientos, que combinan técnicas de rehabilitación, que permitan superar los umbrales abióticos y bióticos a fin de cubrir y consolidar la actual cubierta del ex vertedero y (II) diseñar un proyecto ingenieril para cubrir y consolidar el sustrato de la cubierta del ex vertedero que permita su cierre definitivo. Para alcanzar estos objetivos, se seleccionaron y ensayaron a campo combinaciones de siete técnicas de rehabilitación diferentes: aplicaciones de compost, colocación de enramados, uso de geotextil de fibra de coco, riego asistido, traslado de suelo con banco de semillas, hidrosiembra y plantación de especies nativas. Se diseñaron tratamientos, combinando técnicas de acuerdo al conocimiento previo y la revisión bibliográfica de su potencialidad para superar umbrales abióticos (humedad, sombra y nutrientes) o bióticos (semillas, propágulos y plantas) necesarios para lograr la rehabilitación de un sitio degradado. Cada tratamiento se diseñó combinando una o dos técnicas que brinde un aporte abiótico (aplicación de compost, riego asistido, colocación de enramados, uso de geotextil de fibra de coco) y una técnica que brinde aporte biótico (traslado de suelo con banco de semillas, hidrosiembra y plantación con especies nativas). Los tratamientos diseñados se implementaron con el fin de evaluar a campo, su potencialidad para lograr la revegetación de la cubierta superior del ex vertedero. Para la técnica de hidrosiembra se utilizaron semillas de una hierba anual exótica *Avena sativa* L., una hierba perenne exótica, *Festuca arundinacea* Schreb. ambas de rápido crecimiento y una hierba nativa fitorremediadora *Oenothera odorata* Jacq. En la plantación se utilizaron ejemplares de cuatro especies

nativas perennes, *Baccharis magellanica* Lam. Pers. *Haplopappus glutinosus* Cass. ex DC, *Oenothera odorata* Jacq. y *Acaena splendens* Hook & Arn. Para la técnica de traslado de suelo con bancos de semillas, se trasladó bancos de suelos de áreas aledañas no degradadas. Se diseñaron dos ensayos para condiciones diferentes de restauración: uno en el sector plano del ex vertedero, en el que se implementaron 10 tratamientos diferentes; y el otro ensayo en el sector talud oeste, en el que se implementaron 5 tratamientos diferentes. Los tratamientos se implementaron en octubre de 2018, en parcelas de 1 m<sup>2</sup>, cada uno con tres repeticiones. Inmediatamente después de la implantación de los tratamientos a campo, y hasta el final de la estación de crecimiento en la región, se realizaron monitoreos mensuales. En cada monitoreo realizado de octubre a marzo se evaluaron variables abióticas (temperatura y humedad del sustrato) y bióticas (cobertura vegetal y riqueza de especies). En el monitoreo del mes de marzo, último mes de la estación de crecimiento se evaluó la biomasa aérea producida en cada tratamiento, mediante la remoción de la cobertura. *Ex situ*, mediante un experimento de lluvia simulada sobre microparcelas diseñadas con los mismos tratamientos y condiciones que en el ex vertedero, se evaluó el volumen de escorrentía superficial y la pérdida de sedimentos de cada microparcela. A campo, en el sector plano, dos tratamientos fueron los que mayor éxito tuvieron por presentar mayor cobertura y/o riqueza de especies. Ellos son: compost + hidrosiembra + enramado + riego, con 68% de cobertura vegetal, 3 especies (0 nativas: 3 exóticas); y el tratamiento compost + plantación, con una cobertura de 61%, y 6 especies (4 nativas: 2 exóticas). En el sector del talud oeste, el tratamiento de compost + hidrosiembra + geotextil obtuvo la máxima cobertura vegetal 88% y 1 especie (0 nativa: 1 exótica); mientras que el tratamiento compost + plantación + riego, obtuvo una cobertura de 58% y 9 especies (4 nativas: 5 exóticas). Por lo tanto, los dos tratamientos de mayor éxito en el sector plano y en el sector del talud oeste, complementan sus aportes y potencian así los beneficios de su implementación en forma conjunta, aportando altos valores de cobertura vegetal y riqueza de especies nativas. En relación al experimento *ex situ* de lluvia simulada, el tratamiento que presento mejores resultados fue, compost + hidrosiembra + geotextil + riego con 0 g/l de pérdida de sedimentos. A partir de estos resultados experimentales a campo y *ex situ*, se diseñó un proyecto ingenieril para cubrir y consolidar el sustrato de la cubierta del ex vertedero. Se propone implementar los tratamientos en la superficie total de la cubierta (6 ha), mediante técnicas de nucleación, en que se delimitarán áreas núcleos de plantación o hidrosiembra dispuestas sobre toda la cubierta. Las áreas núcleos propuestas poseen en total una superficie aproximada de 1,2 ha que representa el

20% del área total, a partir de estas áreas núcleos y por medio de la dispersión de propágulos se espera que ocurra la colonización espontánea y progresiva de toda la cubierta. En la nucleación, se trabaja intensamente en la implementación y monitoreo en las áreas seleccionadas y no sobre el total de la superficie, con lo cual presenta menores costos de implementación y mantenimiento, a la vez que crea “islas de vegetación” que potenciarían la dispersión de semillas y colonización de áreas adyacentes. Se concluye que es prioritario realizar mediante un proyecto de rehabilitación la consolidación de la capa superior del sustrato del ex vertedero, a fin de detener la erosión del sustrato, integrar el sitio paisajísticamente y disminuir el pasivo ambiental.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, nucleación, revegetación, umbrales abióticos, umbrales bióticos.

## Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional de Río Negro por brindarme la posibilidad de acceder a una educación pública y gratuita, a los docentes que durante estos años de carrera me transmitieron y compartieron sus conocimientos.

En especial, agradecer a mi directora Adriana Rovere por su dedicación, esfuerzo y guía durante el desarrollo de todo el trabajo, a mi co-director Martha Riat por enriquecer el trabajo con su experiencia y conocimientos.

A Silvia Ferreira Padilla, Liliana Paola Ramírez y María de los Milagros Ortega, por aportar el simulador de lluvia, guiar el ensayo y enriquecer el trabajo con sus conocimientos. A Gustavo Sánchez quien dono el geotextil de fibra de coco.

A todas las personas que colaboraron y brindaron su tiempo para el trabajo de campo, su ayuda, fue fundamental para el logro de los objetivos: Gabriela Santos Neves, Fanny Saguel y Nadina Alonso (Tecnicultura en viveros). Guillermo Douat, Matías Valencia Mó, Ian Seldarik, Emanuel Zenz, Valeria Miranda y Ailén Peralta (Ing. Ambiental). A Giselle Chichizola por acompañar y ayudar en todos los muestreos (Conicet-Inibioma).

Un profundo agradecimiento a mis papas, Silvia y Gabriel, por creer siempre en mí, por su apoyo incondicional y por ser para mí un gran ejemplo. A mi hermano Pablo, a mi familia y a Nahuel por acompañarme y alentarme en esta etapa.

A mis amigas, por ser parte de este proceso, compartir y comprender el esfuerzo, acompañándome y ayudándome siempre de forma incondicional.

Quiero dedicar, en especial, este trabajo a mi amiga y compañera Paula Nuñez, quien me enseñó de los valores de la vida, gracias Pau siempre en mi corazón.

## Índice

1	INTRODUCCIÓN .....	11
2	MARCO TEÓRICO .....	15
3	OBJETIVOS.....	21
4	HIPÓTESIS.....	22
5	MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
5.1	ÁREA DE ESTUDIO .....	23
5.2	METODOLOGÍA DEL OBJETIVO I: COMPARAR TRATAMIENTOS, QUE COMBINAN TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN, QUE PERMITAN SUPERAR LOS UMBRALES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS A FIN DE CUBRIR Y CONSOLIDAR LA ACTUAL CUBIERTA DEL EX VERTEDERO .....	28
5.2.1	Técnicas de rehabilitación.....	28
5.2.2	Tratamientos e Implementación en el ex vertedero .....	33
5.2.3	Monitoreos.....	38
5.2.4	Evaluación de indicadores abióticos .....	38
5.2.5	Evaluación de indicadores bióticos.....	40
5.2.6	Efectividad de los tratamientos en el control de la erosión: Experimento de lluvia simulada.....	42
5.2.7	Medidas de seguridad e higiene en trabajo de campo .....	43
5.2.8	Análisis de datos .....	44
5.3	METODOLOGÍA DEL OBJETIVO II: DISEÑAR UN PROYECTO INGENIERIL QUE PERMITA EL CIERRE DEFINITIVO DEL EX VERTEDERO .....	45
5.3.1	Evaluación del éxito de los distintos tratamientos.....	45
5.3.2	Diseño del proyecto bioingenieril de rehabilitación para consolidar el sustrato de la cubierta superior del ex vertedero .....	45
5.3.3	Cronograma de trabajo .....	45
5.3.4	Presupuesto del proyecto.....	45
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
6.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL OBJETIVO I: COMPARAR TRATAMIENTOS, QUE COMBINAN TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN, QUE PERMITAN SUPERAR LOS UMBRALES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS A FIN DE CUBRIR Y CONSOLIDAR LA ACTUAL CUBIERTA DEL EX VERTEDERO. ....	46
6.1.1	Evaluación de indicadores abióticos .....	46
6.1.2	Evaluación de indicadores bióticos.....	49
6.1.3	Efectividad de los tratamientos en el control de la erosión: Experimento de lluvia simulada.....	59
6.2	RESULTADOS Y DISCUSION DEL OBJETIVO II: DISEÑAR UN PROYECTO INGENIERIL QUE PERMITA EL CIERRE DEFINITIVO DEL EX VERTEDERO .....	62
6.2.1	Evaluación del éxito de los distintos tratamientos .....	62
6.2.2	Diseño del proyecto bioingenieril de rehabilitación para consolidar el sustrato de la cubierta superior del ex vertedero .....	64
6.2.3	Cronograma de actividades .....	74
6.2.4	Presupuesto para la rehabilitación del ex vertedero.....	75

7	CONCLUSIONES.....	78
8	RECOMENDACIONES.....	79
9	BIBLIOGRAFÍA.....	80
10	ANEXOS.....	88
10.1	Anexo I.....	88
10.2	Anexo II.....	89
10.3	Anexo III.....	91

## Índice de tablas

Tabla 1:	Características de las especies en estudio: nombre científico, nombre vulgar, familia, origen y forma de vida, tipo de dispersión de sus semillas. ....	30
Tabla 2:	Aporte abiótico o biótico de las técnicas de rehabilitación seleccionadas: aplicación de compost, riego asistido, enramado, geotextil de fibra de coco, traslado de suelo con banco de semillas, hidrosiembra y plantación con especies nativas. ....	32
Tabla 3:	Número, abreviatura y nombre de los tratamientos implementados en el sector plano del ex vertedero, según secuencia de implementación. ....	34
Tabla 4:	Número, abreviatura y nombre de los tratamientos implementados en el sector talud oeste del ex vertedero, según secuencia de implementación. ....	35
Tabla 5:	Medidas de Seguridad e Higiene en el trabajo de campo: actividades realizadas en el trabajo de campo, riesgos identificados y medidas preventivas. ....	44
Tabla 6:	Porcentaje de humedad gravimétrica (media $\pm$ desvío estándar) y valor de la temperatura ( $^{\circ}$ C) (media $\pm$ desvío estándar) del sustrato de todos los tratamientos del sector plano. ....	48
Tabla 7:	Porcentaje de humedad gravimétrica (media $\pm$ desvío estándar) y valor de la temperatura ( $^{\circ}$ C) (media $\pm$ desvío estándar) del sustrato de todos los tratamientos del sector talud oeste. ....	48
Tabla 8:	Porcentaje de cobertura vegetal acumulada, media $\pm$ desvío estándar, de los tratamientos del sector plano, durante los meses de la estación de crecimiento. ....	52
Tabla 9:	Porcentaje de cobertura vegetal acumulada media $\pm$ desvío estándar, de los tratamientos del sector talud oeste, durante los meses de la estación de crecimiento. ....	52
Tabla 10:	Porcentaje de cobertura vegetal total, porcentaje de cobertura de especies nativas y porcentaje de especies exóticas, para los tratamientos del sector plano, al finalizar la estación de crecimiento. ....	53
Tabla 11:	Porcentaje de cobertura vegetal total, porcentaje de especies nativas, y porcentaje de especies exóticas, para los tratamientos del sector talud oeste, al finalizar la estación de crecimiento. ....	54

Tabla 12: Riqueza de especies presentes en los tratamientos en el sector plano, número de especies nativas y número de especies exóticas, al finalizar la estación de crecimiento. ....	55
Tabla 13: Riqueza de especies presentes en los tratamientos en el sector talud oeste, número de especies nativas y número de especies exóticas, al finalizar la estación de crecimiento. ....	55
Tabla 14: Porcentaje promedio de supervivencia de ejemplares de las especies nativas utilizadas en plantación en los tratamientos con y sin riego. ....	56
Tabla 15: Aporte potencial de semillas: número de frutos por planta, número de semillas por fruto y número de semillas por planta. ....	57
Tabla 16: Biomasa aérea (g/m <sup>2</sup> ) media ± desvío estándar de los tratamientos en el sector plano al finalizar la estación de crecimiento. ....	58
Tabla 17: Biomasa aérea (g/m <sup>2</sup> ) media ± desvío estándar de los tratamientos en el sector talud oeste al finalizar la estación de crecimiento. ....	58
Tabla 18: Porcentaje de volumen de Infiltración, volumen de escorrentía total (E total) en porcentaje, volumen de escorrentía superficial (ES) en porcentaje y Coeficiente de escorrentía superficial (CES). ....	59
Tabla 19: Pérdida de sedimentos en la ES (g/l) medido en el ensayo de lluvia simulado sobre los tratamientos en microparcels. ....	60
Tabla 20: Indicadores de éxito en función de los tratamientos aplicados en el sector plano: cobertura vegetal total (%), riqueza total de especies, riqueza de nativas y riqueza de exóticas. ....	63
Tabla 21: Indicadores de éxito en función de los tratamientos aplicados en el sector talud oeste: cobertura vegetal total (%), riqueza total de especies, riqueza de nativas y riqueza de exóticas. ....	63
Tabla 22: Etapas y actividades del proyecto de rehabilitación de la cubierta superior del ex vertedero. ....	64
Tabla 23: Cronograma de las actividades del proyecto de rehabilitación del ex vertedero	74
Tabla 24: Presupuesto del proyecto de rehabilitación del ex vertedero. ....	75

## Índice de figuras

Figura 1: Ubicación del ex vertedero de San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro, Argentina. Fuente: elaboración propia a partir de imagen Satelital Bing, en Qgis. ....	24
Figura 2: Ubicación del Centro de Residuos Urbanos Municipal (CRUM) de San Carlos de Bariloche. Predio donde se encuentra el ex vertedero y la celda actual de disposición final de residuos. Fuente: elaboración propia a partir de imagen Satelital Google, 2019 en Qgis.....	25
Figura 3: División del área del ex vertedero en diferentes sectores. Sector plano y sector oeste área de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de imagen Satelital Google, 2019 en Qgis. ....	26
Figura 4: Detalles de la técnica de enramado (a) Restos de ramas de poda urbana de la especie <i>Prunus cerasifera</i> , ciruelo (b) Enramado construido sobre marco de madera, a partir de ramas de poda urbana. Fuente: propia. ....	29
Figura 5: Medición con Ceptometro de la luz fotosintéticamente activa (RFA) que atraviesa el enramado. Fuente: propia. ....	29
Figura 6: Aspecto de las especies utilizadas en la plantación: (a) <i>Acaena splendens</i> (b) <i>Baccharis magellanica</i> (c) <i>Haplopappus glutinosus</i> y (d) <i>Oenothera odorata</i> . Fuente: propia. ....	31
Figura 7: Esquema de ubicación de los tratamientos en el sector plano. Se ubican los 10 tratamientos en filas, cada fila corresponde a una repetición del tratamiento (octubre, 2018). Fuente propia.....	34
Figura 8: Ubicación de los tratamientos en el sector plano. Se ubican los 10 tratamientos en filas, cada fila corresponde a una repetición del tratamiento (octubre, 2018). Fuente: propia.....	35
Figura 9: Esquema de ubicación a campo de los 5 tratamientos en el sector talud oeste, las repeticiones de cada tratamiento se ubican de forma consecutiva formando una sola fila. Fuente: elaboración propia.....	36
Figura 10: Ubicación a campo de los 5 tratamientos en el sector talud oeste, las repeticiones de los tratamientos se ubican de forma consecutiva formando una sola fila. Fuente: propia.....	36
Figura 11: Aspecto de las parcelas del tratamiento (a) (compost + plantación + riego) en octubre, 2018 y del mismo tratamiento (b) (compost + plantación + riego) marzo, 2019. Nota: En las dos imágenes se observa una regla de 30 cm, como referencia de escala. Fuente: propia.....	40
Figura 12: (a) Aspecto del simulador de lluvia sobre las microparcels de hidrosiembra. (b) microparcels de hidrosiembra con geotextil de coco en el simulador de lluvia. Fuente: propia.....	43

- Figura 13: Porcentaje del contenido de humedad del sustrato, en los diferentes meses a lo largo de la estación de crecimiento. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor de humedad de los diferentes meses ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia. ....46
- Figura 14: Temperatura del sustrato ( $^{\circ}\text{C}$ ) del ex vertedero en los diferentes meses de la estación de crecimiento. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor de temperatura de los diferentes meses ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia. ....47
- Figura 15: Evaluación de la cobertura vegetal total (%) al final de la estación de crecimiento (marzo, 2019) para cada tratamiento (T, TR, BR, CBR, CBER, CH, CHR, CHRE, CP, CPR) en el sector plano. Letras diferentes indican diferencias significativas en el (%) de cobertura vegetal de los diferentes tratamientos ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia... ..50
- Figura 16: Evaluación de la cobertura vegetal total (%) al final de la estación de crecimiento (abril, 2019) para cada tratamiento (T, CH, CHR, CHGR, CPR) en el sector talud oeste. Letras diferentes indican diferencias significativas en el (%) de cobertura vegetal de los diferentes tratamientos ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.....50
- Figura 17: (a) Aspecto de ejemplar de *Oenothera odorata* en flor, (b) Aspecto de un ejemplar de *Haplopappus glutinosus*, delante de éste y en primer plano se observa una rama de *Brassica nigra* en flor (marzo, 2019). Fuente: propia .....57
- Figura 18: Esquema de implementación de las técnicas de rehabilitación en el ex vertedero. Alternativa teórica. Fuente: elaboración propia.....71
- Figura 19: Esquema de implementación de las técnicas de rehabilitación en el ex vertedero. Alternativa práctica. Fuente: elaboración propia..... 71

## 1 INTRODUCCIÓN

---

Los problemas asociados a los residuos se remontan a tiempos en que los seres humanos comenzaron a establecerse en tribus, aldeas y comunidades; dado que la generación y acumulación de residuos surge como consecuencia de las actividades humanas cotidianas (Tchobanoglous et al., 1998). Sin embargo, desde la revolución industrial, surgieron marcados cambios sociales, políticos, demográficos y por sobre todo cambios económicos, que generaron un nuevo escenario y un marcado aumento en la producción de residuos (Romero Álvarez, 2015). A la vez, el aumento del consumo, las migraciones desde el campo a la ciudad y el incremento de la población a nivel mundial generaron más y mayores concentraciones urbanas, originando así mayor volumen de residuos (Romero Álvarez, 2015). Siendo la industria y la urbanización las dos causas principales de la generación de residuos a nivel mundial (Kiely, 1999). A partir del año 2008, y por primera vez en la historia de la humanidad, la población mundial se volvió predominantemente urbana (ONU Medio Ambiente, 2018).

La disposición final de los residuos sólidos urbanos representa uno de los problemas urbanos más graves a nivel mundial (Ares, 2016; Farreras, 2017). En la mayoría de las ciudades de América Latina la disposición final se realiza en basurales a cielo abierto o vertederos, con ausencia de controles ambientales (González, 2011). Estos sitios carecen de infraestructura necesaria para controlar la contaminación originada por los residuos enterrados y en consecuencia impactan el ambiente, afectan la salud y el bienestar de la población (Farreras, 2017). A diferencia de los basurales a cielo abierto, en los rellenos sanitarios, la disposición de los residuos es de forma controlada y segura mediante instalaciones específicas. (D'hers, 2013; NSW EPA, 2016). Por lo tanto, a nivel mundial, se recomienda que la disposición final sea en rellenos sanitarios, y que se erradiquen los basureros a cielo abierto debido a los riesgos de contaminación asociados (ISWA, 2015; ONU Medio Ambiente, 2018).

En Argentina, al igual que como ocurre en otras partes del mundo, la disposición final de los residuos representa una problemática urbana, asociada al crecimiento demográfico, aumento en el número y tamaño de las ciudades y una mayor generación *per cápita* de los residuos (ISWA, 2015). Con el fin de implementar estrategias que permitan disminuir los impactos de esta problemática, en el año 2005 la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), desarrolló la Estrategia Nacional de Residuos Sólidos Urbanos denominada ENGIRSU (González, 2011). Dicha estrategia es considerada, como la base y

el inicio del desarrollo en Argentina de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) (González, 2011). El cierre definitivo de los vertederos es una de las etapas de la GIRSU y se encuentra dentro de los objetivos propuestos en la ENGIRSU.

Para el cierre definitivo de los vertederos debe realizarse un plan de clausura y post clausura (Ley N° 25.916, 2004), con operaciones dirigidas a minimizar la exposición de residuos sólidos urbanos (RSU) con el ambiente, la presencia de vectores sanitarios, la infiltración de lixiviados, como también controlar la dispersión de RSU por arrastre de aguas de escorrentía, y vientos (SECTUR, 2007). A su vez, es necesario realizar monitoreos ambientales después de la clausura, debido a que la descomposición de los residuos enterrados, y sus riesgos asociados continúan luego del cese de la disposición de los residuos (Tchobanoglous et al., 1998). En consecuencia, los vertederos representan un pasivo ambiental a corto, mediano y largo plazo (Tchobanoglous et al., 1998). Hoy en día se ha comprobado que, la emisión de contaminantes puede extenderse más allá de 20 años después de cerrado los vertederos (Cortázar, 2015).

Los vertederos que han agotado su capacidad y por lo tanto su vida útil están degradados y esto los convierte en un área para recuperar. En situaciones de degradación muy severas, se pierden elementos del ecosistema original tanto abióticos (físicos y químicos) como, bióticos (biológicos), entre los que se pueden mencionar pérdida de suelo o de las características fisicoquímicas del sustrato original y la pérdida de especies (Consejo Canadiense de Parques, 2008). En estos escenarios con umbrales irreversibles, la recuperación del ecosistema será prácticamente imposible aún con diversas intervenciones (Aronson et al., 1993). Estas intervenciones, pueden tener como objetivo direccionar y/o asistir al ecosistema hacia una trayectoria en la que pueda reiniciar o continuar con los procesos de la sucesión natural (Aronson et al., 1993). El elemento central de la recuperación del sitio es el sellado del vertedero, que además de aislar la masa de residuos, proporciona una superficie apta para la posterior revegetación, que, a su vez, será el soporte para la fauna (Gómez Orea, 2004).

Las intervenciones para recuperar los vertederos clausurados pueden implementarse con un plan de rehabilitación. La rehabilitación de estos sitios, ocasiona un cambio positivo en el bienestar de la sociedad (Farreras, 2017), dado que contribuyen a la mejora de la salud de la población y la preservación del ambiente (González, 2011). La rehabilitación pretende llevar el espacio degradado a una situación que se considera aceptable y útil desde el punto de vista del entorno, sin pretender ninguna aproximación al estado inicial, antes de la degradación (Gómez Orea, 2004). Los objetivos de tales intervenciones

consisten en: supresión de la proliferación de vectores sanitarios, reducción de la generación de lixiviados, protección hidrológica, limitación del potencial de incendios, control de gases, estabilización física del vertedero, recuperación paisajística, control y vigilancia post-clausura (Gómez Orea, 2004).

Para la rehabilitación de vertederos clausurados la revegetación es considerada un proceso primario para el logro de los objetivos (Hernández y Pastor, 2000). La erosión de la cobertura ocasiona cárcavas en la superficie y la exposición de los residuos al ambiente, que en contacto con el agua de las precipitaciones generan lixiviados con concentraciones elevadas de contaminantes (Hernández y Pastor, 2000). La revegetación de un vertedero clausurado cumple con múltiples funciones, las plantas ayudan a estabilizar la superficie, disminuir la erosión de la cobertura, y mejorar visualmente el sitio (Cortázar, 2015). Además, pueden retener en la biomasa posibles contaminantes presentes en el sustrato de cobertura (López et al., 2011). Por lo tanto, se debe lograr mantener la mayor superficie de suelo cubierta con el fin de disminuir los procesos de erosión. Los vertederos son considerados epicentros de especies invasoras, dichas especies que pueden alterar los regímenes de incendios, producir efectos tóxicos, competir y desplazar a las especies nativas, convertirse en plagas y conducir a pérdidas económicas muy importantes (Kim y Lee, 2004; Plaza et al., 2018). La utilización en particular de especies nativas para la revegetación del sitio disminuye el riesgo de incrementar las perturbaciones en los ecosistemas del entorno (Hernández y Pastor, 2000).

En ambientes muy degradados, para lograr la recomposición de vegetación es necesario aplicar técnicas de bioingeniería. La bioingeniería ha demostrado ser eficaz para controlar la erosión del suelo, ya que aprovecha los efectos mecánicos e hidrológicos que produce una comunidad de plantas para cumplir una función de ingeniería. La vegetación puede aumentar la resistencia del suelo al agrietamiento, proteger al mismo de la erosión laminar y retener las partículas que se deslizan en el área (CSAC, 2013). La bioingeniería es una disciplina constructiva que emplea materiales vegetales vivos, plantas o partes de plantas y comunidades vegetales, solas, o, en combinación con materiales inertes y/o biodegradable como, rocas, tierra y geotextiles (Sánchez et al., 2011; CSAC, 2013; Hernández et al., 2014). Aprovecha los recursos naturales y utiliza técnicas constructivas de bajo impacto ambiental (Sánchez et al., 2011; CSAC, 2013).

La ciudad de San Carlos de Bariloche, no es ajena a lo expuesto anteriormente a nivel mundial, dado que presenta un marcado aumento de la población y de la generación de residuos, con una gran problemática en la gestión y sitio de disposición final de los mismos.

El ex vertedero de la ciudad se estableció en el área de una antigua cantera en los años '70 (Roncallo y Rovere, 2018). En el año 2011 se declaró en estado de emergencia hasta que se realice la remediación total del vertedero (Ordenanza N° 2147, 2011). El ex vertedero estuvo activo hasta el año 2015, luego se realizaron diferentes actividades para su clausura definitiva, sin embargo, desde su cierre no se realizó un plan para su revegetación, ocasionando pérdida por erosión de parte del sustrato dispuesto y colonización parcial y en forma espontánea por algunas especies, principalmente hierbas anuales exóticas (Zenz, 2018).

Por todo lo expuesto, se considera indispensable realizar una evaluación a campo de las alternativas para cubrir y consolidar el sustrato de la cubierta superior del ex vertedero de San Carlos de Bariloche y en función de esta información diseñar un proyecto de rehabilitación con técnicas de bioingeniería.

## 2 MARCOTEÓRICO

---

Para la selección de las técnicas de bioingeniería a utilizar en la rehabilitación de un sitio degradado, constituye un elemento fundamental en la toma de decisiones, el conocimiento que se tenga del mismo, (Hernández et al., 2014). Específicamente en el sitio de estudio, el ex vertedero de San Carlos de Bariloche, se dispone de información de base sobre el estado del sustrato y cobertura de la vegetación naturalmente establecida (Zenz, 2018). Los vertederos clausurados presentan limitaciones ambientales que pueden afectar el vigor y la supervivencia de las plantas. Dichas limitaciones están dadas por las características del material de relleno, el desplazamiento del oxígeno del suelo por gases y lixiviados producidos en la degradación de los residuos enterrados (Lanfranco et al., 2012). Es importante considerar que cada sitio a rehabilitar posee condiciones locales características (climatología, tipo de suelo, etc.) y el desarrollo de la vegetación estará condicionado por dichas características (Cortázar, 2015). Por ello, resulta complejo establecer indicaciones generales de siembra o plantación, siendo necesario realizar un ensayo piloto para cada situación en particular (Cortázar, 2015).

Este trabajo propone realizar un ensayo piloto, para luego diseñar un proyecto de rehabilitación a escala de toda la superficie del ex vertedero de Bariloche. La rehabilitación tiene como meta la reparación de los procesos, la productividad y los servicios de un ecosistema, sin considerar el restablecimiento de la integridad biótica preexistente en términos de composición de especies y estructura de la comunidad (SER, 2004).

El objetivo de la revegetación es lograr una comunidad vegetal estable de la que se esperan funciones muy diversas y complementarias de importancia variable según los casos, tales como, estabilizar y proteger el suelo, evitar voladuras de material y la erosión hídrica, integrar un espacio en el paisaje circundante, proporcionar alimentos y refugio a comunidades de fauna (Gómez Orea, 2004). La creación de una cubierta vegetal, en la totalidad o parte de su superficie, es un tratamiento generalmente inevitable en la recuperación de cualquier espacio degradado, cuyo éxito dependerá del acierto con que se proyecte y de los cuidados que se le dediquen en los procesos de evolución y desarrollo (Gómez Orea, 2004). Dicha intervención requiere aplicar técnicas específicas proyectadas a partir del conocimiento de la biología de las plantas a introducir, del manejo que requieren, del medio en el que se van a instalar, todo ello formando parte de un plan cuidadoso en términos espaciales y temporales (Gómez Orea, 2004).

Entre las técnicas para manipular o modificar los umbrales abióticos se encuentran, el agregado de nutrientes, escarificado del suelo, aplicación de compost, o mejoras de las condiciones microclimáticas tales como enramados adición de hidrogeles, riego, sombra entre otros (Hobbs y Norton, 1996; Kowaljow y Rostagno, 2013). Luego de recuperar los elementos abióticos es necesario incluir o restablecer los elementos bióticos (Consejo Canadiense de Parques, 2008), mediante siembra, plantación o traslado de suelo con bancos de semillas (Gómez Orea, 2004; Ceccon, 2013).

El traslado de suelo con bancos de semilla se fundamenta en que la capa superior del suelo de ambientes no degradados contiene nutrientes, microorganismos, propágulos (rizomas, tubérculos, y semillas), que pueden utilizarse para el restablecimiento de la biodiversidad, en ambientes degradados próximos (Holmes y Richardson, 1999). Por esta técnica se reintroducen propágulos de los sitios o ecosistemas de referencia, que son sitios aledaños al área degradada, pero en buen estado de conservación (Hobbs y Norton, 1996; SER, 2004). Dicho traslado o transferencia de suelo, permite la colonización en el área degradada de una diversidad de micro, meso y macro organismos capaces de iniciar un área núcleo sucesional (Reis et al., 2003). Además de ser una técnica de bajo costo, es simple de implementar (Reis et al., 2003) y tiene la ventaja de recomponer el sustrato degradado no solamente con semillas, sino además con otros propágulos una gran diversidad de organismos (Dalmasso y Ciano, 2015). En la práctica, el traslado de suelos con bancos de semillas o la colocación de enramados en el área degradada, no se realiza en toda la superficie degradada, sino que en un 5 a 10% de la misma (Ceccon, 2013). De esta manera se forman áreas núcleos de biodiversidad, islas de biodiversidad inmersas en la matriz degradada, que con el tiempo dispersarán propágulos en su entorno (Reis et al., 2003; García Martí y Ferrer, 2013). La implementación de revegetación por técnica de nucleación presenta menor costo, dado que se trabaja intensamente en un área acotada y no en toda el área degradada (Ceccon, 2013). También se ha documentado que, en el traslado de suelo con bancos de semillas viables, estas pueden no germinar si el área degradada no presenta micrositos con condiciones adecuadas de humedad y temperatura (Massara Paletto et al., 2013). Por ello, con frecuencia se pueden combinar técnicas, por ejemplo, en la rehabilitación de explanadas petroleras en zonas semiáridas de Monte, se ha implementado la escarificación del suelo junto con el enramado (Escartín y Zuleta, 2015). Los enramados son estructuras para la cubierta, realizadas con ramas entrelazadas, que cubren y brindan cobertura al sustrato degradado, siendo una técnica factible y de bajo costo (Escartín y Zuleta, 2015). La construcción de enramados favorece la retención de

semillas y la incorporación de materia orgánica, creando condiciones térmicas y de humedad más favorable (Zuleta y Li Puma, 2013). La técnica de enramados produce un microambiente beneficioso para el desarrollo de la vegetación. La aplicación de ramas y riego en sitios muy alterados ocasiona un aumento notable en el establecimiento de gramíneas y acelera la recuperación de la cobertura vegetal, disminuyendo en forma indirecta la erosión del suelo (Kowaljow y Rostagno, 2013). En sitios con presencia de herbívoros, los enramados también protegen a las plantas del pisoteo y la herbivoría (Zuleta y Li Puma, 2013). La técnica de los enramados es de bajo costo, dado que emplea material que generalmente se encuentra cerca del área degradada (Kowaljow y Rostagno, 2013).

El compost es un elemento clave en trabajos de rehabilitación o restauración de ambientes degradados dado que aporta materia orgánica al suelo mejorando sus propiedades físicas (contribuye a mejorar la estabilidad, capacidad de retención hídrica), químicas (aporta macronutrientes N, P, K y aumenta la capacidad de intercambio de cationes del suelo) y su actividad biológica (Mazzarino y Satti, 2012). Para la implantación de la siembra, debe prepararse el soporte edáfico (cama de siembra) que puede ser compost, luego el aporte de semillas puede realizarse en forma manual o mecanizada, por último, se procede al tapado de semillas con tierra, mantillo u otros materiales y debe aplicarse riego en caso que se haya planificado, como así también una clausura anti-herbivoría si es necesario (Gómez Orea, 2004). En sitios con pendiente o de difícil acceso es útil el uso de la técnica de hidrosiembra, en la que se proyecta a presión una mezcla de agua, semillas y otros aditivos entre los que se encuentra fertilizantes, adhesivos y estabilizadores para las semillas (Gómez Orea, 2004; Valladares et al, 2011; Correa, 2015). La hidrosiembra se puede implementar con maquinaria pesada o bombas sembradoras portátiles de menor impacto en el área (Correa, 2015). Para tener éxito, este proceso debe ser realizado con un equipo específico, por personas con experiencia, con semillas de buena calidad y con una selección de especies adaptadas a las condiciones estresantes del ambiente en particular (Ceccon, 2013). En ocasiones puede aplicarse también una capa mulch o redes orgánicas, geotextiles o biomantas de yute y/o coco como soporte de hidrosiembra (Gómez Orea, 2004).

Otro de los criterios prioritario es minimizar el mantenimiento, que puede lograrse en parte con aplicado de enramados y geotextiles; y la mínima aplicación de riego (Gómez Orea, 2004). Se debe implementar riego solo cuando sea necesario, dado que el agua es un recurso costoso y en general no se encuentra disponible en los sitios.

Entre los distintos criterios para la selección de especies para utilizar en la revegetación se encuentran criterios biogeográficos, climáticos y edáficos para los cuales es conveniente elegir especies nativas (Cortázar, 2015). Si hay presencia de algún tipo de contaminante derramado en el área degradada, es conveniente controlar la contaminación y luego plantar o sembrar alguna especie nativa que sea fitorremediadora (Roncallo, 2017). En particular en vertederos clausurados es importante que las especies seleccionadas presenten raíces someras (Tchobanoglous et al., 1998), dado que de lo contrario puede correrse el riesgo que las raíces de tipo pivotante atraviesen la capa del sellado o geomanta (Gómez Orea, 2004). Otro criterio de selección de especies para la rehabilitación de áreas degradadas, se obtiene observando las especies que colonizaron de manera espontánea el sitio (Pérez et al., 2010). Se considera que las especies instaladas de forma natural es decir que han colonizado naturalmente el sitio degradado, poseen adaptaciones que le permitieron germinar, establecerse y sobrevivir (Lanfranco et al., 2012). La implantación de especies nativas, que no hayan colonizado de forma natural el sitio, pero sean aptas para integrarse satisfactoriamente al ecosistema altamente degradado como los rellenos sanitarios, puede ser otro recurso de selección (Lanfranco et al., 2012). A su vez, la utilización de plantas perennes favorece la estructura del suelo y el aumento de la porosidad e infiltración de los suelos degradados (Kowaljow y Rostagno, 2013). Las facilidades para la dispersión de semillas que tienen las especies se considera otra característica importante a tener en cuenta en la selección de especies para la revegetación (Hernández y Pastor, 2000). Las semillas dispersadas por el viento, es decir por anemocoría, son las que presentan mayor distancia de dispersión (Meli, 2003) y por lo tanto podrían ser de gran utilidad en la implementación de áreas núcleo.

Existen factores limitantes para el crecimiento y desarrollo de la vegetación. Las temperaturas del sustrato junto con otros factores, como por ejemplo la humedad, son de gran importancia para todos los procesos vitales de la zona radical (Fischer et al., 1997.). La temperatura del sustrato, es un factor limitante para la germinación de las semillas, establecimiento de la vegetación, absorción de nutrientes y agua, transformación microbiana de sustancias orgánicas en el suelo, crecimiento de las raíces, etc. (Fischer et al., 1997). Existen valores de temperatura del sustrato a partir de los cuales la germinación y el establecimiento de la vegetación no es posible. El contenido de humedad del suelo se encuentra relacionado con el desarrollo de las plantas, el agua es el vehículo en el que, generalmente disueltos, se encuentran los nutrientes, la falta de humedad en la zona radical, impide el desarrollo de la planta, pudiendo llegar a provocar la muerte (Gómez Orea,

2004). La erosión del sustrato puede también limitar el éxito de la revegetación (Dalmasso y Ciano, 2015), disminuir la productividad de los suelos y afectar la salud de los ecosistemas (Gaitán et al., 2017). La erosión de suelos es un problema que se acentúa aún más en superficies como los taludes, que presentan pendientes elevadas y escasa cobertura vegetal. En particular la erosión hídrica es un proceso complejo de separación del material en partículas individuales (arcilla, limo y arena) y pequeños agregados por acción del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo; luego las partículas desprendidas son arrastradas pendientes abajo por el escurrimiento superficial, lo cual produce, a su vez, el desprendimiento de nuevo material; produciendo finalmente el depósito de las partículas del suelo por una disminución de la energía del escurrimiento (Gaitán et al., 2017).

## Marco legal

Desde el marco normativo es importante destacar que, en la Constitución Nacional Argentina, reformada en 1994, en su Artículo 41 menciona que “Todos los habitantes tienen derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano”. En el ámbito nacional la Ley General del Ambiente Nº 25.675 establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. La reciente incorporación del ambiente como un “bien jurídico”, en la actualización del Código Civil de Argentina le otorga el derecho de los ciudadanos para exigir la implementación de la prevención de la degradación y/o medidas de restauración de ecosistemas (Zuleta et al., 2015). En particular la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Argentina se encuentra regulada por la Ley de Protección Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Domiciliarios de Nº 25.916, promulgada en el año 2004, y resultando la misma obligatoria para provincias y departamentos.

A nivel provincial, en La Constitución de Río Negro en su artículo Nº 84 señala el derecho de los habitantes “a gozar de un medio ambiente sano, libre de factores nocivos para la salud, y el deber de preservarlo y defenderlo”. Prevé que el Estado “previene y controla la contaminación del aire, agua y suelo, manteniendo el equilibrio ecológico”. Las leyes ambientales, de la provincia, que podrían tener vinculación con los pasivos ambientales que representan los vertederos clausurados, son la Ley Nº 1556 (sobre protección del Suelo), Ley Nº 4052 (sobre protección de la atmósfera) y Leyes Nº 2952 y Nº 3183 sobre gestión de recursos hídricos). En la Provincia de Río Negro, fue creado un

Plan Estratégico Provincial (PEP) de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en el año 2015. El Plan Estratégico Provincial es el instrumento que debe desarrollar la provincia, con la debida participación de los municipios, para planificar una gestión de residuos sustentable en su territorio (PEP Río Negro, 2015). El propósito de estos planes es establecer un sistema que mejore sustancialmente el manejo de los RSU en cada provincia desde el punto de vista ambiental, económico y social. Sin embargo, cada jurisdicción debe desarrollar las regulaciones pertinentes en sus propios territorios, ya que la provisión de los servicios vinculados con la gestión de residuos se encuentra bajo su responsabilidad (PNEC, 2015) el manejo de los RSU en Argentina, es de incumbencia municipal, sobre cuyos gobiernos recae la responsabilidad de su gestión (ENGIRSU, 2005).

Específicamente La Carta Orgánica de la Ciudad de San Carlos de Bariloche mediante el artículo 29, garantiza la recolección de residuos, y su adecuado tratamiento y disposición final, y la limpieza e higiene general en el ejido municipal. Se han encontrado ordenanzas que refieren a la necesidad de clausura del antiguo vertedero, como por ejemplo la Ord. N° 2147-CM-2011, donde se declara la situación de emergencia del ex vertedero y la implementación del sistema de tratamiento de residuos.

A pesar del marco normativo presente que regula el cuidado del ambiente y define las responsabilidades en materia de RSU, en la ciudad de San Carlos de Bariloche se evidencia gran preocupación social por el problema que constituyen tanto la gestión como la disposición final de los residuos sólidos urbanos. Diferentes notas periodísticas de la ciudad son evidencia de ello, donde se menciona la proliferación de vectores de enfermedades, las quemas no controladas en el vertedero y la contaminación del aire (El Cordillerano, 2019). Así como también problemáticas sociales relacionadas a la recuperación de material reciclado y búsqueda de alimentos en los sitios de deposición (Bariloche 2000, 2010; ADN Río Negro, 2018).

### 3 OBJETIVOS

---

- I. Comparar tratamientos, que combinan técnicas de rehabilitación, que permitan superar los umbrales abióticos y bióticos a fin de cubrir y consolidar la actual cubierta del ex vertedero.
- II. Diseñar un proyecto ingenieril para cubrir y consolidar el sustrato de la cubierta del ex vertedero que permita su cierre definitivo.

## 4 HIPÓTESIS

---

Los tratamientos que obtengan un mayor éxito en el ensayo de rehabilitación serán adecuados para diseñar un proyecto ingenieril que asista al establecimiento de la vegetación sobre la cubierta denudada del ex vertedero, a fin de reducir el tiempo de recuperación de la cobertura y estructura de la vegetación.

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

---

### 5.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al ex vertedero de la ciudad de San Carlos de Bariloche, la misma se ubica al sudoeste de la provincia de Río Negro en la República Argentina. El ejido municipal tiene una superficie de 27.470 ha y se extiende longitudinalmente más de 60 kilómetros a lo largo del margen sur del Lago Nahuel Huapi (POT, 2011). La población registrada en el último censo fue de 113.500 habitantes (INDEC, 2010). El ejido de Bariloche, se encuentra rodeado por el Parque Nacional Nahuel Huapi, motivo por el cual, las acciones de desarrollo que se producen dentro de la ciudad, generan efectos sobre el área protegida lindante (POT, 2011). La región exhibe una marcada fragilidad frente a las acciones antrópicas, destacándose entre los principales peligros de tipo mixto (natural-antrópico) los incendios y contaminación de aguas y suelos; que degradan el paisaje, la vegetación y los suelos (POT, 2011). La principal actividad económica en la región es la turística. San Carlos de Bariloche recibe una masiva afluencia de turistas de aproximadamente medio millón de personas por año (MTCyD, 2014), atraídos por los paisajes que el entorno del Parque Nacional Nahuel Huapi ofrece (Chebez, 2005).

El clima de la región es templado-frío y húmedo con lluvias y nevadas principalmente en invierno, de abril a septiembre, continuando con un período más seco de octubre a marzo (Dzendoletas et al., 2006). El régimen de precipitaciones varía entre 2000 mm a 800 mm anuales en sentido O-E del ejido (DPA, 2011). Cuenta con una temperatura media anual de 8,0°C (DPA, 2011). Los vientos son predominantes del oeste, con una velocidad media anual de 4,51 Km/h, según la topografía, y máximos promedio de 64,4 Km/h datos de DPA (2011).

Dentro del ejido municipal de San Carlos de Bariloche, el ex vertedero, se ubica en el sector sur (41° 10' 30" S y 71° 21' 17" O), dentro del predio del Centro de Residuos Urbanos Municipales denominado CRUM (Figura 1). El acceso al ex vertedero, desde la ciudad, es a través de la ruta Nacional N° 40, ubicado a 1,6 km de la rotonda de intersección de la ruta Nacional N° 40 y la ruta N° 258 en dirección suroeste. Esta identificado catastralmente como parcela 19-2-N-N 10-01A, en el km 2029,76 de la Ruta Nacional N° 40 (Plan GIRSU, 2008). El asentamiento urbano más cercano, es el Barrio Pilar II, se encuentra a 150 m aproximadamente, mientras que los Barrios, 34 Hectáreas, 245 viviendas y Villa Arelauquen se encuentran a poco más de un 1 km.



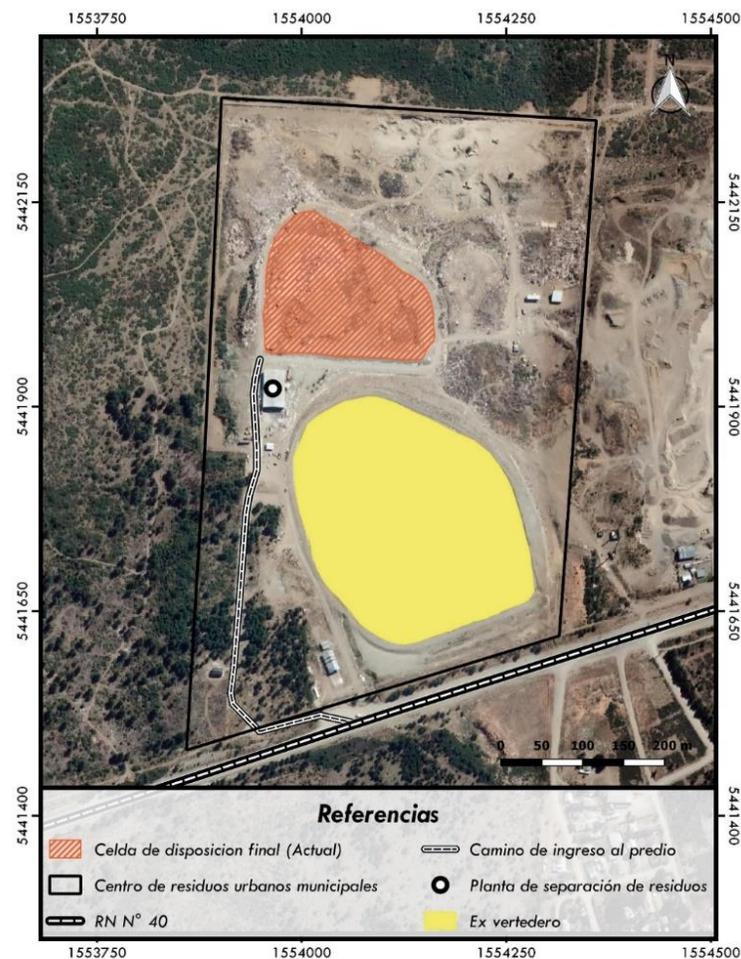
**Figura 1:** Ubicación del ex vertedero de San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro, Argentina. Fuente: elaboración propia a partir de imagen Satelital Bing, en Qgis.

El ex vertedero se estableció en el área de una antigua cantera en los años ´70, cuyo material se utilizó en la construcción de la Ruta Nacional 40. Luego de la explotación de áridos, la misma se rellenó con RSU, sin medidas de protección ambiental. Presentaba originalmente 10 m de profundidad, y luego del relleno con los RSU se agregó 10 m más llegando a una altura final actual, igual a 10 m por encima de la cota natural del terreno, almacenando así, un gran volumen de residuos (IATASA, 2011; Painehual et al., 2017). Antes de su clausura, el ex vertedero se encontraba al final de su vida útil, con nula capacidad de recibir RSU, y en estado de emergencia (Ordenanza N° 2147, 2011).

El Centro de Residuos Urbanos Municipales, se encuentra en la zona, delimitada por el valle comprendido entre los cerros Otto, Ventana, Ñireco y Carbón, conocida como la Pampa de Huenuleo (Plan GIRSU, 2008). La vegetación aledaña corresponde a estepa herbáceo-arbustiva y/o estepa arbustiva con árboles dispersos (Pereyra et al., 2005;

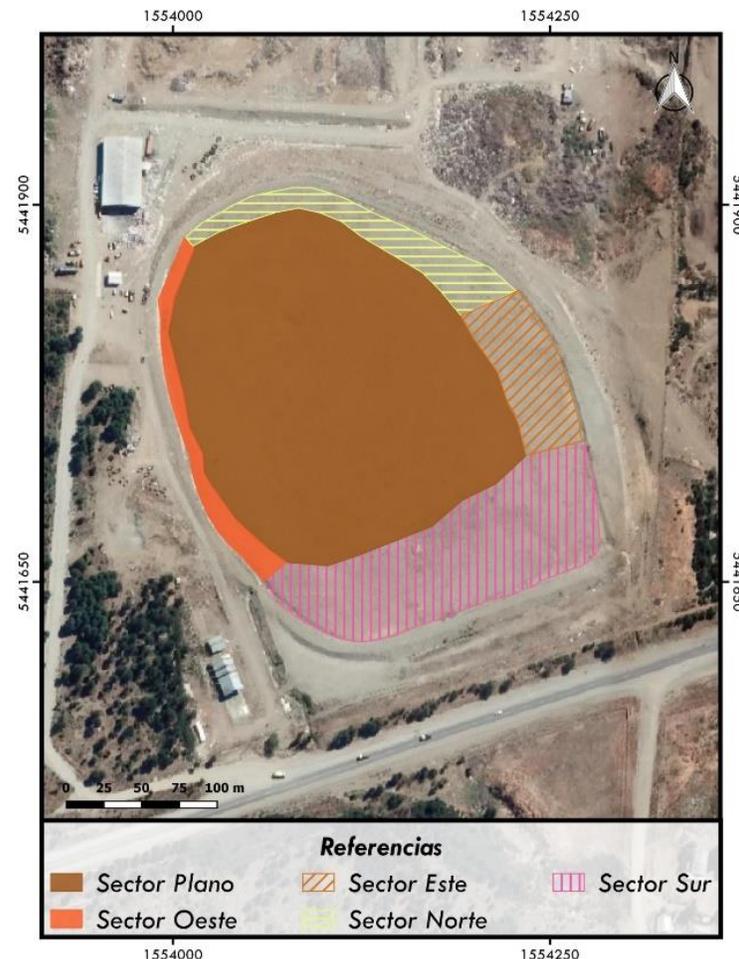
Dzendoletas et al., 2006). Las precipitaciones en la zona corresponden con la isohieta de 1.200 mm y posee un promedio de 222 días con heladas al año (Plan GIRSU, 2008). En relación a los cuerpos de agua próximos, el sitio de estudio, se encuentra a 250 m sobre la altura del Lago Nahuel Huapi y a 8,2 km del mismo en situación de pendiente negativa continua; aproximadamente a 220 m sobre el Lago Moreno, a una distancia de 2,5 km; se encuentra a más de 230 m sobre el río Ñireco y a 5,5 km de distancia; se sitúa sobre la línea divisoria de aguas entre las cuencas Ñireco Inferior alto Occidental y Gutiérrez Oriental (Plan GIRSU, 2008).

En el CRUM, además del ex vertedero, se localiza la actual celda de disposición final donde son dispuestos diariamente los residuos de la ciudad y de Dina Huapi, la planta de separación y reciclaje de materiales, Instalaciones de control, pesaje y vigilancia, alambrado perimetral y la planta de tratamiento de líquidos lixiviados (Figura 2).



**Figura 2:** Ubicación del Centro de Residuos Urbanos Municipal (CRUM) de San Carlos de Bariloche. Predio donde se encuentra el ex vertedero y la celda actual de disposición final de residuos. Fuente: elaboración propia a partir de imagen Satelital Google, 2019 en Qgis.

Para desarrollar este trabajo final se utilizó la división del ex vertedero propuesta por Zenz (2018), en 5 sectores con diferentes características: un sector central (sector plano) y cuatro sectores que corresponden a los taludes orientados hacia los puntos cardinales (sector sur, sector norte, sector este, y sector oeste) (Figura 3).



**Figura 3:** División del área del ex vertedero en diferentes sectores. Sector plano y sector oeste área de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de imagen Satelital Google, 2019 en Qgis.

Cada sector presenta diferente exposición, pendiente y área, lo que ocasiona a su vez sectores con diferentes niveles de erosión y cobertura de sustrato: **a-** el sector plano, posee un área de 2,8 ha, 0° de pendiente, 15 cm de profundidad del sustrato apto para revegetar y 68% de cobertura vegetal; **b-** el sector norte posee un área de 0,5 ha, 15° de pendiente, 25 cm de profundidad del sustrato y 9% de cobertura; **c-** el sector sur posee un área de 1,5 ha, 6° de pendiente, 13 cm de profundidad del sustrato y 24% de cobertura; **d-** el sector este posee un área de 0,7 ha, 8° de pendiente, 25 cm de profundidad del sustrato

y 30% de cobertura; **e-** el sector oeste, posee un área de 0,5 ha, 28° de pendiente, 15 cm de profundidad del sustrato y 10% de cobertura (Zenz, 2018). Considerando las características específicas de cada sector, se decidió delimitar como área de estudio para el trabajo de campo, solo dos sectores: el sector plano dado, que representa una alta superficie del total (47%); y el sector oeste, que corresponde al talud oeste, por ser el de mayor pendiente, presentar bajos valores de cobertura vegetal y ser el más expuesto a los vientos y precipitaciones predominantes del oeste.

## 5.2 METODOLOGÍA DEL OBJETIVO I: COMPARAR TRATAMIENTOS, QUE COMBINAN TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN, QUE PERMITAN SUPERAR LOS UMBRALES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS A FIN DE CUBRIR Y CONSOLIDAR LA ACTUAL CUBIERTA DEL EX VERTEDERO

En esta fase experimental del trabajo se seleccionaron siete técnicas de rehabilitación diferentes: aplicación de compost, enramados, geotextil de fibra de coco, riego asistido, traslado de suelo con banco de semillas, hidrosiembra y plantación de especies nativas. En base a los beneficios potenciales de cada una, se diseñaron y ensayaron a campo distintos tratamientos, en los que se combinaron diferentes técnicas con el fin de evaluar su efecto para superar los umbrales bióticos y abióticos y lograr la revegetación de la actual cubierta del ex vertedero. Se realizaron dos ensayos para condiciones diferentes, en la zona plana del ex vertedero se compararon 10 tratamientos, mientras que en el área del talud oeste se compararon 5 tratamientos.

### 5.2.1 Técnicas de rehabilitación

#### 5.2.1.1 Aplicación de compost

Se utilizó compost proveniente de la Planta de Compostaje de Lodos Cloacales (Biosólidos) de la ciudad. Este compost de biosólidos, utilizado como enmienda orgánica, aporta materia orgánica al sustrato y favorece la retención de la humedad (Mazzarino y Satti, 2012). La incorporación de materia orgánica al suelo, lo protege del secado intenso (Beider, 2012), incrementa, además, la rugosidad superficial, que permite la reducción de la velocidad de escorrentía, aumentando el tiempo de contacto del agua con el suelo (Beider, 2012).

#### 5.2.1.2 Enramados

Para la construcción de enramados se utilizó como guía la metodología planteada en Zuleta y Li Puma (2013). Considerando criterios de accesibilidad, abundancia y disponibilidad, se seleccionó la especie *Prunus cerasifera*, el ciruelo ornamental que se encuentra como parte del arbolado público en el casco urbano de S. C. de Bariloche. En octubre de 2018, se recogieron ramas de los montículos con restos de la poda urbana depositados sobre las veredas. Si bien es una especie exótica, la reproducción vegetativa de esta especie no es frecuente en condiciones desfavorable como las del sitio de estudio, por lo cual no es un riesgo que las ramas enraícen durante el ensayo (Martha Riat, comunicación personal). A partir de este material se construyeron enramados de forma

cuadrada de 1 m x 1m, empleando un total de 1,5 kg de ramas para cada uno, que según Zuleta y Li Puma, (2013) son denominados laxos, a diferencias de los densos que tienen más de 4 kg por m<sup>2</sup>. Para su construcción, se colocaron ramas en posición longitudinal y se entrelazaron con otras dispuestas en forma perpendicular a las primeras y sujetaron entre sí para formar una red firme de cobertura de ramas (Figura 4).

Se evaluó la luz debajo de los enramados, con el Ceptometro BAR-RAD DUAL, que emplea el método PPF (Photosynthetic Photon Flux.), que integra el flujo de fotones provenientes de la radiación solar, recibidos en un metro lineal. Específicamente para estos enramados laxos armados con ramas de ciruelo, la luz fotosintéticamente activa (RFA) fue ( $256,30 \pm 6,93 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) casi un 40% menos que la luz a cielo descubierto ( $416,00 \pm 6,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). La medición se realizó en octubre de 2018, un día despejado al mediodía (Figura 5).



**Figura 4:** Detalles de la técnica de enramado (a) Restos de ramas de poda urbana de la especie *Prunus cerasifera*, ciruelo (b) Enramado construido sobre marco de madera, a partir de ramas de poda urbana. Fuente: propia.



**Figura 5:** Medición con Ceptometro de la luz fotosintéticamente activa (RFA) que atraviesa el enramado. Fuente: propia.

### 5.2.1.3 Geotextil de fibra de coco

Para el control de la erosión, se utilizó un geotextil coco, compuesto por un entramado de hilos de cocos con hilos de nylon. Se lo clasifica como degradable de larga duración debido a que proporciona una protección contra la erosión y protección durante el establecimiento de la vegetación desde 8 hasta 36 meses (Correa, 2015). Con respecto a la luz fotosintéticamente activa, de las mediciones debajo del geotextil de coco se obtuvo un valor de  $67,80 \pm 7,06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , valor que representa un 84% menos que a cielo descubierto ( $416,00 \pm 6,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

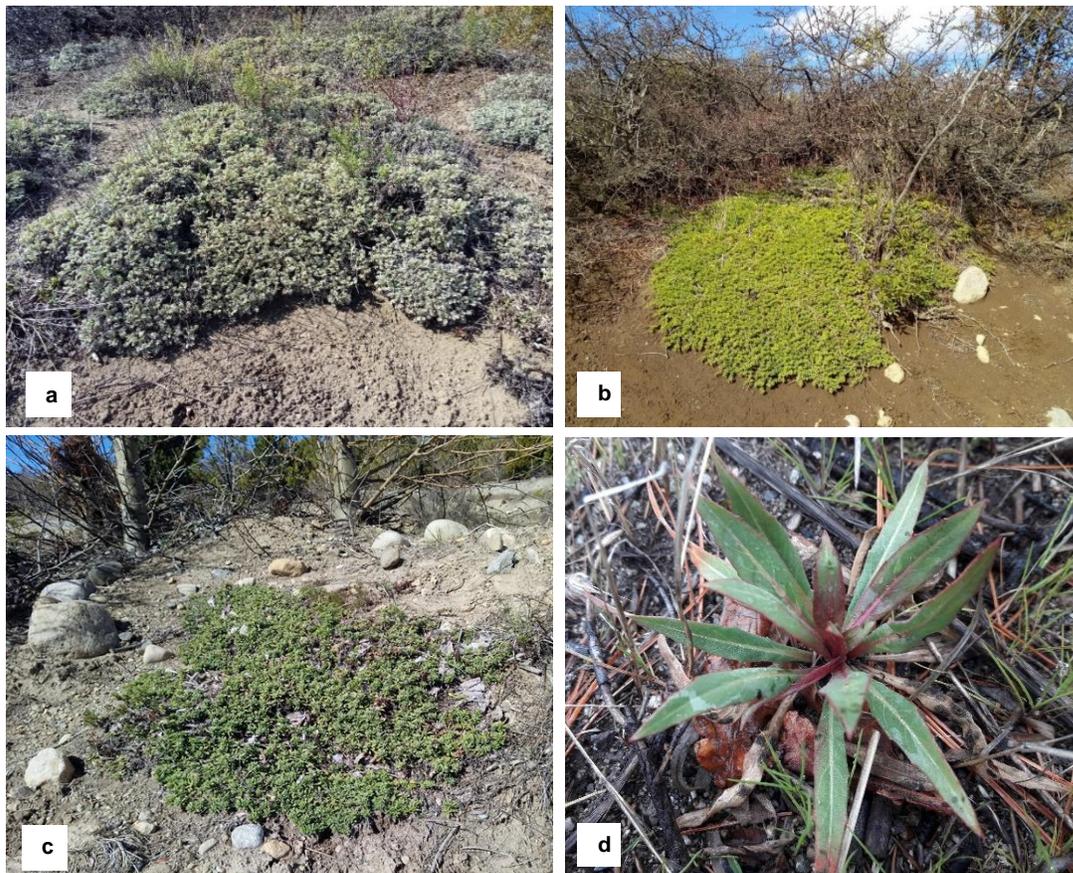
### 5.2.1.4 Especies utilizadas en Plantación

En la técnica de plantación se utilizaron plantas de cuatro especies nativas, *Acaena splendens* se seleccionó ya que naturalmente se encuentra colonizando la superficie del ex vertedero, mientras que *Baccharis magellanica*, *Oenothera odorata* y *Haploppapus glutinosus* se seleccionaron por estar en el área de referencia y ser especies colonizadoras (Zenz, 2018). A su vez se conoce que *Oenothera odorata* es una especie fitorremediadora (Chichizola et al., 2018). Las principales características de las especies utilizadas se muestran en la Tabla 1 y su aspecto en la Figura 6.

**Tabla 1:** Características de las especies en estudio: nombre científico, nombre vulgar, familia, origen y forma de vida, tipo de dispersión de sus semillas.

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia Botánica	Origen y forma de vida	Tipo de dispersión
<i>Acaena splendens</i>	Cepa caballo	Rosaceae	Nativa, Hierba perenne	Ectozoocoria
<i>Baccharis magellanica</i>	Mosaiquillo	Asteraceae	Nativa*, Arbusto perenne	Anemocoria
<i>Haploppapus glutinosus</i>	Buchú	Asteraceae	Nativa*, Arbusto perenne	Anemocoria
<i>Oenothera odorata</i>	don Diego de la noche	Onagraceae	Nativa*, Hierba anual-bianual	Autocoria

Nota: \* Indica que además es endémica



**Figura 6:** Aspecto de las especies utilizadas en la plantación: (a) *Acaena splendens* (b) *Baccharis magellanica* (c) *Haplopappus glutinosus* y (d) *Oenothera odorata*. Fuente: propia.

Los ejemplares de *Baccharis magellanica* y *Haplopappus glutinosus*, fueron producidas en el vivero de la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN). Los ejemplares de *Oenothera odorata* y *Acaena splendens* fueron rescatados de una zona urbana destinada a espacio verde, donde parte de la vegetación natural remanente fue reemplazada por césped. Una vez rescatados, los plantines fueron acondicionados y rustificados en vivero durante tres semanas previas a la plantación.

#### 5.2.1.5 Hidrosiembra

Para la hidrosiembra se preparó una mezcla homogénea de 5 litros de agua, 0,025 kg de linaza como sustancia adhesiva y 0,015 kg de pasta de papel a fin retener humedad, 0,002 litros de fertilizante líquido de origen vegetal, de marca comercial MYR P, el cual aporta Nitrógeno (N) Fósforo (P) y Potasio (K) en concentraciones de 3,0% Nitrógeno

orgánico total, 30,0% Fósforo total (como pentóxido  $P_2O_5$ ), 15% Potasio soluble (óxido de potasio  $K_2O$ ) y mezcla de semillas.

En la mezcla de semillas, se utilizaron semillas de 3 especies, 0,001  $kg/m^2$  *Oenothera odorata*, una hierba nativa; 0,025  $kg/m^2$  de *Avena sativa*, una hierba exótica, ampliamente cultivada por su rápido crecimiento, producción de biomasa, ciclo corto y plasticidad para la germinación. Se destaca que *Avena sativa* se utiliza para césped en la región por su rápido crecimiento y adaptación al clima. La tercera especie utilizada fue *Festuca arundinacea* con 0,025  $kg/m^2$ , una hierba exótica perenne que también se seleccionó por su rápida implantación. Las semillas fueron hidratadas en agua, veinticuatro horas previo a la siembra. Se destaca, que la sustancia adhesiva linaza, es un compuesto natural que no interfiere en la germinación de las semillas de *Oenothera odorata* según se determinó en un ensayo de germinación realizado previo al ensayo (Adriana Rovere, comunicación personal).

#### 5.2.1.6 Traslado de suelo con banco de semillas

El traslado de suelo con banco de semillas consiste en la transposición de pequeñas porciones de suelo (mantillo + los primeros 5 cm de suelo) de un área no degradada hacia el área degradada (Reis et al., 2003).

Las técnicas descritas anteriormente, se seleccionaron teniendo en cuenta su potencial para superar los umbrales abióticos y bióticos que influyen en el desarrollo de una cubierta vegetal sobre el ex vertedero (Tabla 2).

**Tabla 2:** Aporte abiótico o biótico de las técnicas de rehabilitación seleccionadas: aplicación de compost, riego asistido, enramado, geotextil de fibra de coco, traslado de suelo con banco de semillas, hidrosiembra y plantación con especies nativas.

Técnicas de rehabilitación	Aporte abiótico	Aporte biótico
Aplicación de compost	✓	
Riego asistido	✓	
Enramado	✓	
Geotextil de fibra de coco	✓	
Traslado de suelo con banco de semillas		✓
Hidrosiembra		✓
Plantación con especies nativas		✓

## 5.2.2 Tratamientos e Implementación en el ex vertedero

En octubre de 2018, se instalaron todos los tratamientos a evaluar sobre el sector plano y el sector talud oeste del ex vertedero. Cada tratamiento fue diseñado previamente combinando técnicas eficaces para superar los umbrales bióticos o abióticos de acuerdo a las características del sector a rehabilitar. Para la instalación de los tratamientos en el ex vertedero, cada técnica se colocó según corresponda y siguiendo un orden establecido en el diseño.

En el sector plano, se aplicó compost en primer lugar sobre la cubierta actual, utilizado como enmienda y soporte edáfico. Luego, sobre la capa de compost se aplicaron las técnicas que incorporaban propágulos al sitio, ya sea traslado de suelo con banco de semillas, hidrosiembra o plantación de especies nativas. Por último, se colocó el enramado sobre el traslado de suelo con banco de semillas e hidrosiembra, con el fin de que actué como red de cobertura de las técnicas que incorporan semillas al sitio protegiéndolas contra herbivoría y brindando un microambiente favorable para su germinación y desarrollo. En el sector talud oeste, en todos los tratamientos se aplicó compost en primer lugar utilizado como enmienda y soporte edáfico. Luego de la capa de compost se aplicaron las técnicas de plantación de especies nativas e hidrosiembra, en este sector no se utilizó la técnica de traslado de suelo con banco de semillas debido a las limitaciones que presenta el sitio en cuanto a la pendiente.

En el sector oeste se colocó como red de cobertura un geotextil de fibra de coco, luego de aplicar la hidrosiembra. El geotextil es un material de cobertura ampliamente utilizado en sitios con pendientes pronunciadas como taludes debido a los beneficios que aporta para controlar la erosión. Su estructura permite una mayor adaptabilidad y cobertura del terreno, brindando sombra y mejores condiciones de humedad para la germinación y desarrollo de las semillas.

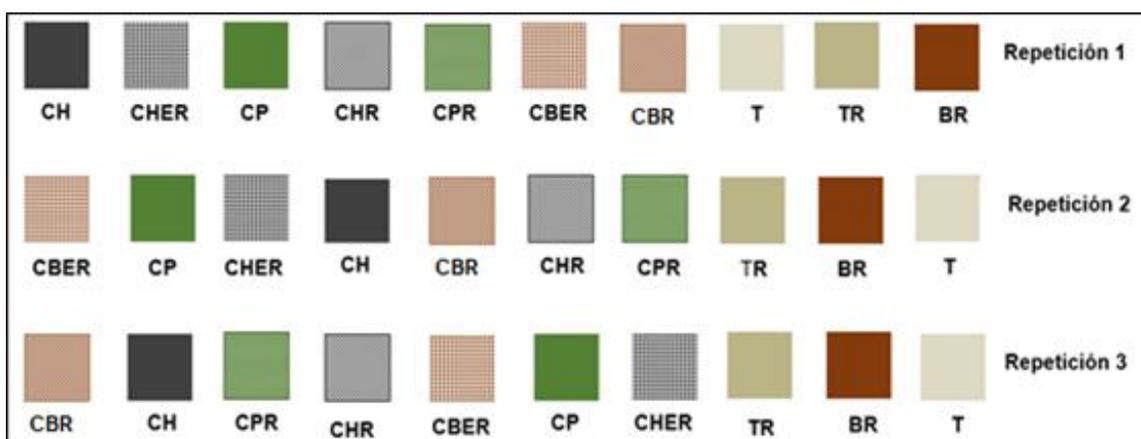
Para una misma combinación de técnicas, en la mayoría de los tratamientos, se estableció un tratamiento con y otro tratamiento sin riego, con el fin de comprobar si existen diferencias en el éxito de revegetación asociadas al riego. La aplicación de riego, encarece los costos de los proyectos de rehabilitación y por ello es deseable que la revegetación pueda establecerse naturalmente sin riego.

### 5.2.2.1 Sector plano

En el sur del sector plano se instalaron 10 tratamientos (Tabla 3) con tres repeticiones cada uno, se eligió trabajar sobre el área sur dado que era de fácil acceso, considerando la cantidad de material que se debió trasladar para los experimentos. Cada tratamiento se implementó en parcelas de 1 m x 1 m, delimitadas por marcos de madera y separadas entre sí aproximadamente por 2 m de distancia. Se ubicaron las parcelas al azar en 3 filas horizontales de 10 tratamientos cada fila (30 parcelas en total) como se observa en el esquema de la Figura 7 y en la imagen a campo de la Figura 8.

**Tabla 3:** Número, abreviatura y nombre de los tratamientos implementados en el sector plano del ex vertedero, según secuencia de implementación.

Sector plano		
N°	Abreviatura	Tratamiento
1	T	Testigo
2	TR	Testigo + riego
3	BR	Traslado de suelo con banco de semillas + riego
4	CBR	Compost + traslado de suelo con banco de semillas + riego
5	CBER	Compost + traslado de suelo con banco de semillas + enramado + riego
6	CH	Compost + hidrosiembra
7	CHR	Compost + hidrosiembra + riego
8	CHER	Compost + hidrosiembra + enramado + riego
9	CP	Compost + plantación
10	CR	Compost + plantación + riego



**Figura 7:** Esquema de ubicación de los tratamientos en el sector plano. Se ubican los 10 tratamientos en filas, cada fila corresponde a una repetición del tratamiento (octubre, 2018).

Fuente: propia.



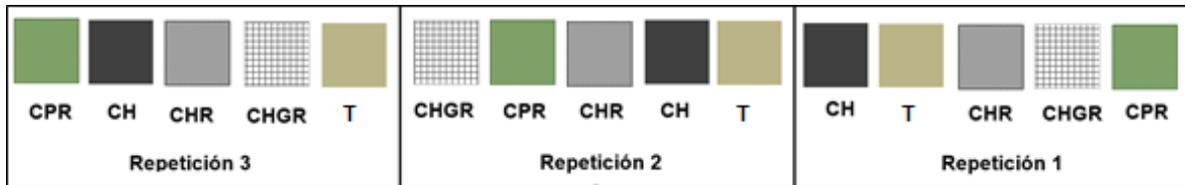
**Figura 8:** Ubicación de los tratamientos en el sector plano. Se ubican los 10 tratamientos en filas, cada fila corresponde a una repetición del tratamiento (octubre, 2018). Fuente: propia.

#### 5.2.2.2 Sector talud oeste

En el sector talud oeste, se instalaron en la parte superior, 5 tratamientos (Tabla 4) con tres repeticiones cada uno. Cada tratamiento se implementó en parcelas de 1m x 1m delimitadas por estacas con cintas de colores, y separadas entre sí aproximadamente por 2 m de distancia. Las parcelas se ubicaron en tres filas horizontales de 5 tratamientos cada una (15 parcelas en total), cada fila corresponde a una repetición, y fueron dispuestos de forma consecutivas, como se observa en el esquema de la Figura 9 y en la imagen a campo de la Figura 10.

**Tabla 4:** Número, abreviatura y nombre de los tratamientos implementados en el sector talud oeste del ex vertedero, según secuencia de implementación.

Sector talud oeste		
N°	Abreviatura	Tratamiento
11	T	Testigo
12	CH	Compost + hidrosiembra
13	CHR	Compost + hidrosiembra + riego
14	CHGR	Compost + hidrosiembra + geotextil + riego
15	CPR	Compost + plantación + riego



**Figura 9:** Esquema de ubicación a campo de los 5 tratamientos en el sector talud oeste, las repeticiones de cada tratamiento se ubican de forma consecutiva formando una sola fila. Fuente: elaboración propia.



**Figura 10:** Ubicación a campo de los 5 tratamientos en el sector talud oeste, las repeticiones de los tratamientos se ubican de forma consecutiva formando una sola fila. Fuente: propia.

#### 5.2.2.3 Aplicación de compost

Se utilizó un total de 1,02 m<sup>3</sup> de compost de biosólidos. Se aplicó el compost distribuido de manera uniforme, sobre el sustrato actual, en una capa de 6 cm de espesor en los tratamientos correspondientes del sector plano y del sector talud oeste. La cantidad de compost utilizado en cada parcela, es equivalente a una dosis alta de aplicación de 600 m<sup>3</sup>/ha. Este tipo de dosis altas resultan compatibles con los requerimientos de sitios degradados, a diferencia de las dosis generalmente utilizadas para uso agronómico que suelen ser de aproximadamente 100 m<sup>3</sup>/ha (Martha Riat, comunicación personal).

#### 5.2.2.4 Traslado de suelo con banco de semillas

El suelo con banco de semillas utilizado fue extraído del sitio de referencia, cercano al ex vertedero (Zenz, 2018). Se eligió un sector en el que se estaba eliminando la vegetación para la apertura de calles vecinales. Se extrajo con pala plana un volumen de 0,18 m<sup>3</sup> de suelo que equivale a 1 m<sup>2</sup> de área y 2 cm de espesor, dado que en los primeros 2 cm del suelo se encuentra gran parte del banco de semillas (Massara Paletto, et al. 2013). El suelo con bancos de semilla recolectado en el área de referencia se colocó en bolsas

para facilitar su traslado al ex vertedero. El mismo se aplicó y fue distribuido de manera uniforme, sobre el compost, en los tratamientos que correspondían sobre el sector plano.

#### 5.2.2.5 Hidrosiembra

La hidrosiembra se aplicó de forma manual, dispersando la mezcla desde 2 botellas plásticas de 2,5 litros por parcela, a 1 m de altura del sustrato y colocando las botellas de forma horizontal paralela al sustrato permitiendo el ingreso de aire. Se implementó en parcelas del sector plano y del sector talud oeste.

#### 5.2.2.6 Plantación con especies nativas

Se plantó en cada parcela, seis ejemplares de especies nativas: uno de *Baccharis magellanica*, uno de *Haplopappus glutinosus*, dos de *Oenothera odorata* y dos de *Acaena splendens*. La plantación se realizó de forma manual y se colocaron equidistante entre sí dentro de cada parcela correspondiente del sector plano y sector talud oeste.

#### 5.2.2.7 Geotextil de fibra de coco

El geotextil de fibra de coco se utilizó únicamente como soporte de cobertura de la hidrosiembra en el sector talud oeste. Luego de aplicar la hidrosiembra se cubrió la zona sembrada con el geotextil y se sujetó al sustrato con seis ganchos en forma de U de alambre galvanizado de 16 cm de largo y 5 mm de diámetro.

#### 5.2.2.8 Enramados

Se utilizaron en combinación con técnicas de traslado de suelo con banco de semillas, e hidrosiembra se implementó en diferentes tratamientos y se sujetó al sustrato por medio de ganchos en forma de U realizados con alambre de aluminio galvanizado de 5 mm de diámetro y rocas del sitio, que se colocaron sobre el marco, sin interferir sobre la cobertura del enramado. Se realizaron en total 6 enramados.

#### 5.2.2.9 Aplicación de riego

El riego fue realizado de forma manual y se aplicó al momento de implementar las técnicas a campo y una vez por mes durante toda la estación de crecimiento (octubre-marzo). Se utilizaron 2,5 litros de agua para cada parcela, empleando botellas plásticas para el riego, debido a que no se contó con el recurso disponible en el sitio. El volumen

utilizado equivale a una lámina de riego de 25 mm por parcela cada 30 días, con una lámina de riego total aplicada de 150 mm.

### 5.2.3 Monitoreos

Para la evaluación del éxito de los tratamientos implementados, se realizaron monitoreos y evaluaciones de los indicadores abióticos y bióticos, inmediatamente después de la implantación de los tratamientos a campo, y hasta el final de la estación de crecimiento. Se realizaron 6 monitoreos mensuales (octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo), aproximadamente cada 30 días. Estos se realizaron luego de más de 5 días sin lluvia en el sitio. Durante cada monitoreo se evaluaron tanto variables abióticas (temperatura del sustrato, humedad de sustrato) como bióticas (evaluación de la vegetación especies y cobertura, la biomasa solo se evaluó en el último monitoreo dado que fue un muestreo con remoción de la vegetación). Se realizó, además, ex situ un ensayo con un simulador de lluvia sobre microparcels para evaluar la protección de la cubierta vegetal de los diferentes tratamientos sobre la erosión hídrica.

### 5.2.4 Evaluación de indicadores abióticos

#### 5.2.4.1 Humedad del sustrato durante la estación de crecimiento

Para determinar la humedad del sustrato, se utilizó el método gravimétrico, método que permite obtener de manera directa la humedad gravimétrica (HG), forma de expresar el contenido hídrico del suelo (Santos et al., 2012). Para ello, se tomó una muestra compuesta por 10 submuestras de sustrato, a 10 cm de profundidad, en el sector plano del ex vertedero. Se pesaron las submuestras y secaron en estufa a 105°C hasta peso constante, luego se determinó el peso seco (Santos et al., 2012). El procedimiento se realizó una vez por mes durante la estación de crecimiento desde octubre de 2018 a marzo de 2019. La humedad gravimétrica se expresa en porcentaje de humedad en función a la masa de suelo seco:

$$HG(\%): \frac{Msh - Mss}{Mss} * 100$$

Dónde HG: humedad gravimétrica (g), Msh: masa de suelo seco (g) y Mss: masa de suelo seco (g).

La humedad puede expresarse también, en forma volumétrica, donde, se expresa la fracción de agua como el volumen de agua que se encuentra en un volumen dado de

suelo. La humedad volumétrica (HV) del sustrato, se calculó mediante la siguiente fórmula (Conti y Giuffré, 2014):

$$HV(\%): \frac{HG * \rho APs}{\rho agua}$$

Dónde HV: humedad volumétrica (%), HG: humedad gravimétrica (%),  $\rho APs$ : densidad aparente del sustrato ( $g/cm^3$ ) y  $\rho agua$ : densidad del agua ( $g/cm^3$ ).

Con el objetivo de obtener la profundidad de riego, se estimó una diferencia de humedad, Delta de HV% del suelo entre la actual y la HV % a CC del suelo.  $\Delta H$ : humedad volumétrica (%)

$$\Delta H(\%): (CC - H_v)$$

Dónde  $\Delta H$ : delta de humedad volumétrica (%), CC: capacidad de campo (%) y HV: humedad volumétrica a capacidad de campo (%).

Finalmente, para calcular la profundidad de riego se utilizó la siguiente fórmula (Conti y Giuffré, 2014):

$$P(\text{cm}): \frac{L * 100}{\Delta H}$$

Dónde P profundidad del sustrato (cm), L: lamina de riego aplicada (cm) (g) y  $\Delta H$ : humedad volumétrica (%).

El valor de densidad aparente del sustrato del ex vertedero utilizado para los cálculos se obtuvo de Zenz (2018). El valor de capacidad de campo se extrajo de Israelsen y Hansen (1979), a partir de los datos de textura del sustrato determinados en Zenz (2018).

#### 5.2.4.2 Temperatura del sustrato durante la estación de crecimiento

La temperatura del sustrato se midió con un termómetro de inserción, *in situ* en el sector plano del ex vertedero. Se realizaron tres mediciones a 10 cm de profundidad. El procedimiento se llevó a cabo una vez por mes durante los monitoreos realizados a lo largo la estación de crecimiento.

#### 5.2.4.3 Humedad gravimétrica y temperatura del sustrato de los tratamientos

Además de medir la humedad del sustrato en cada mes de la estación de crecimiento, se midió en el mes de febrero de 2019 (por ser el mes de mayor déficit hídrico) la humedad

del sustrato de todos los tratamientos del sector plano y del sector talud oeste. Para ello se tomó una muestra de sustrato compuesta por 3 submuestras de cada parcela. Para evaluar la temperatura, se midió con un termómetro de inserción la temperatura de cada una de las parcelas en los diferentes tratamientos.

## 5.2.5 Evaluación de indicadores bióticos

### 5.2.5.1 Evaluación de la vegetación

Cobertura total, cobertura relativa y cobertura acumulada. Riqueza de las especies

La cobertura de una especie es la proporción de terreno ocupada por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos de las especies consideradas, se expresa como porcentaje de la superficie total (Matteucci y Colma, 2002). La cobertura vegetal se evaluó, utilizando el método de Braun-Blanquet (Matteucci y Colma, 2002). Se analizó visualmente a campo y se corroboró con fotografías tomadas de cada parcela una vez por mes durante la estación de crecimiento (Figura 11). Se determinó, al final de la estación de crecimiento: la cobertura acumulada por mes, la cobertura final total, y cobertura relativa final de cada especie. Se recolectaron muestras de las especies que aparecieron en la cubierta en los diferentes tratamientos, a fin de identificarlas botánicamente en el laboratorio.



**Figura 11:** Aspecto de las parcelas del tratamiento (a) (compost + plantación + riego) en octubre, 2018 y del mismo tratamiento (b) (compost + plantación + riego) marzo, 2019. Nota: En las dos imágenes se observa una regla de 30 cm, como referencia de escala. Fuente: propia.

### 5.2.5.2 Supervivencia de especies utilizadas en plantación

Por única vez, al final de la estación de crecimiento en marzo de 2019, se identificó en el sector plano y en el sector talud oeste, plantas muertas. Los resultados se expresan como porcentaje de supervivencia.

### 5.2.5.3 Aporte potencial de semillas de las especies utilizadas en la plantación

Se evaluó el valor promedio de semillas que aporta una planta, de cada una de las cuatro especies nativas utilizadas en la plantación. Para ello entre los meses de febrero a marzo, según la fenología de fructificación de cada especie, se seleccionaron 10 ejemplares del sitio de referencia, de cada especie utilizada y se contó el número de frutos por planta. Luego se cosecharon 10 frutos de cada planta y se contó el número de semillas por fruto. De esta forma se calculó el aporte potencial de semillas de las especies utilizadas en la plantación. Asimismo, también se calculó el aporte potencial de semillas para *Brassica nigra* que es la especie exótica e invasora más abundante que se encuentra establecida en forma espontánea sobre la cubierta del ex vertedero.

### 5.2.5.4 Biomasa aérea

La biomasa aérea es toda la biomasa viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas (FAO, 2004). La biomasa o peso seco del material vivo por unidad de área, se determinó para cada tratamiento, en febrero de 2019. Se utilizó un método directo, destructivo (Matteucci y Colma, 2002). Para la toma de muestras se cortó todo el material vegetal aéreo, al ras del suelo dentro de la unidad muestral de 0,25 m x 0,25 m, dispuesta al azar dentro de cada parcela y se recolectó en bolsas de papel rotuladas según el tratamiento y repetición. Las muestras fueron llevadas al laboratorio y se secaron en estufa a 65°C hasta peso constante. Luego se registró el peso seco de cada muestra, mediante el pesaje de estas en balanza analítica. Los valores obtenidos en cada unidad muestral, se extrapolaron a 1m<sup>2</sup>, dado que no se quiso remover toda la vegetación establecida. El resultado de la biomasa desarrollada en cada tratamiento se informó en g masa seca /m<sup>2</sup>. La biomasa aérea se calculó de la siguiente manera:

$$BA(g/m^2): \frac{PSPA}{AM}$$

Dónde BA: biomasa aérea (g masa seca /m<sup>2</sup>), PSPA: peso seco de la parte aérea de las plantas presente (g) y AM: área de muestreo (m<sup>2</sup>).

### 5.2.6 Efectividad de los tratamientos en el control de la erosión: Experimento de lluvia simulada

Para evaluar la efectividad de los tratamientos en el control de la erosión hídrica, se realizó un ensayo con un simulador de lluvia. El ensayo se llevó a cabo en abril de 2019, utilizando el simulador de lluvia (Figura 12), y metodología diseñada por Ramírez (2018) y Ramírez y Ferreira (2018). El simulador de lluvia es un equipo que consta de un prisma con un cilindro adosado que genera una lluvia simulada sobre microparcels. Permite evaluar infiltración, escorrentía superficial (ES) y sub-superficial (ESS), coeficiente de escorrentía (C) y producción de sedimentos. El ensayo se realizó en microparcels, debido a las limitaciones que presentaba realizar el ensayo en el campo, para instalar el simulador de lluvia, era necesario perforar el sustrato en los márgenes de cada tratamiento para ubicar los colectores de drenaje, lo cual podría ocasionar daños en la Geomanta “Geosintethic Clay Liner” (GCL) de 1,2 mm de espesor dispuesta como barrera aislante de los residuos. Considerando, además, la falta de disponibilidad de los volúmenes de agua necesarios para realizar el ensayo y los riesgos asociados de permanecer por gran cantidad de horas en el ex vertedero (Tabla 5).

Para el ensayo, se prepararon 11 microparcels de (20x32x20 cm) correspondiente a los tratamientos con riego implementados en el ex vertedero. Cada microparcela se implementó en recipientes plásticos, sin perforaciones en la base, solo con perforaciones en los dos colectores de escorrentía. Cada una se diseñó con dos colectores para volúmenes de escorrentía superficial (ES) y sub-superficial (ESS). Para el colector de escorrentía se colocó un tubo de drenaje de 15 mm de diámetro de PVC que se colocó en las microparcels utilizando conectores de PVC para uso eléctrico. Colocando un sellador de tipo Fastix en los bordes de la unión para evitar filtraciones.

En el simular de lluvias, se utilizó una intensidad de lluvia de 140 mm/h (que equivale a una lluvia torrencial o severa). Se determinó la ES por medición volumétrica mediante probetas graduadas del agua de escorrentía recolectada en cada microparcels. Todo el volumen recogido en la ES y para cada tratamiento y repetición se almaceno en botellas de plásticos rotuladas. Para la producción o pérdida de sedimentos en cada ensayo, se filtraron las muestras de agua de escorrentía de los ensayos, utilizando papel de filtro (previamente pesado en balanza digital), dispuestos sobre embudos. Luego de filtrar el agua de escorrentía de cada tratamiento, los papeles de filtro con sedimentos se secaron en estufa a 30 °C y se volvieron a pesar a fin de determinar por diferencia de pesaje, el peso de los sedimentos perdidos o producidos para cada muestra. Luego se calcularon los valores de

sedimentos en g/l generados por la lluvia simulada. En laboratorio se pesó y se calculó de la siguiente manera:

$$Ps(g/l) = \frac{Pf - Pfms}{VES}$$

Dónde: Ps: pérdida de sedimentos (unidades g/l) Pf: peso del filtro (g) Pfms: peso del filtro seco con muestra (g) VES: volumen de escorrentía superficial.

$$CES = \frac{VES}{VP}$$

Dónde: CES: coeficiente de escorrentía superficial, VES: volumen de escorrentía superficial VP: Volumen de la precipitación utilizado en el ensayo.



**Figura 12:** (a) Aspecto del simulador de lluvia sobre las microparcels de hidrosiembra. (b) microparcela de hidrosiembra con geotextil de coco en el simulador de lluvia. Fuente: propia.

### 5.2.7 Medidas de seguridad e higiene en trabajo de campo

A partir del conocimiento de las características del predio y de la información brindada por responsable del CRUM, se identificaron los riesgos asociados a las actividades implicadas durante el trabajo de campo en la etapa experimental (Tabla 5). Para ello, se utilizó el Decreto Reglamentario N° 351/79 que regula la Ley Nacional N°19.587 Ley De Higiene y Seguridad en el Trabajo. Área delimitada para la evaluación del riesgo: sector plano y sector talud oeste del ex vertedero.

**Tabla 5:** Medidas de Seguridad e Higiene en el trabajo de campo: actividades realizadas en el trabajo de campo, riesgos identificados y medidas preventivas.

Actividad	Riesgos identificados	Medidas preventivas
Monitoreo de indicadores y toma de muestras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ataque de perros en jauría</li> <li>• Inhalación de gases tóxicos</li> <li>• Exposición a bajas temperatura y/o insolación</li> <li>• Golpes y cortes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar los muestreos en grupos de 4 personas o más</li> <li>• Dar aviso a la persona responsable al entrar y salir del predio, especificando área de trabajo</li> <li>• Contar con seguro de salida, brindado por la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN)</li> <li>• Minimizar el tiempo de permanencia en el sitio, no realizar tareas que en su totalidad demanden un tiempo mayor a 2 horas</li> <li>• Utilizar elementos de seguridad: mascara de gases, ropa de trabajo, guantes, protección del pie</li> </ul>
Manipulación de compost	Exposición potencial a patógenos en compost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar elementos de seguridad: ropa de trabajo, guantes, protección del pie</li> </ul>

El tiempo de trabajo estimado para realizar el ensayo de lluvia simulada fue mayor a 20 horas continuas y para la evaluación de la vegetación de las parcelas mayor a 2 horas. Considerando el tiempo máximo de permanencia en el sitio establecido en las medidas de prevención, el ensayo de lluvia simulada no se realizó sobre los tratamientos en el ex vertedero, sino *ex situ* sobre microparcels. La evaluación de la vegetación se realizó preliminarmente a campo y se completó por medio de registro fotográfico de cada parcela tomado en cada fecha de muestreo.

### 5.2.8 Análisis de datos

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa SPSS 23, paquete para Windows. Este análisis se realizó para los datos obtenidos de, medición del humedad y temperatura del sustrato, biomasa y cobertura vegetal total. Debido a que las variables no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se compararon las medianas de los tratamientos con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis de muestras independientes. En los casos donde se encontraron diferencias significativas se aplicaron comparaciones múltiples de a pares de los rangos promedios.

### 5.3 METODOLOGÍA DEL OBJETIVO II: DISEÑAR UN PROYECTO INGENIERIL QUE PERMITA EL CIERRE DEFINITIVO DEL EX VERTEDERO

#### 5.3.1 Evaluación del éxito de los distintos tratamientos

Los criterios de éxito de la rehabilitación deben establecerse claramente (Ruiz y Aide, 2005). Para evaluar del éxito de los tratamientos de rehabilitación implementados en este trabajo, se consideraron los dos atributos del ecosistema planteados por, Ruiz y Aide, (2005): (I) diversidad y (II) estructura de la vegetación. Para cada uno de los atributos, se midieron diferentes indicadores. En la diversidad se utilizaron tres indicadores: riqueza total de especies, número de especies nativas y número de especies exóticas. Para la estructura de la vegetación, se midieron dos indicadores: cobertura vegetal total y biomasa aérea.

#### 5.3.2 Diseño del proyecto bioingenieril de rehabilitación para consolidar el sustrato de la cubierta superior del ex vertedero

El diseño del proyecto se realizó a partir de la información obtenida en las etapas anteriores de los tratamientos más adecuados para cubrir y consolidar la cubierta actual del ex vertedero. Se diseñaron las etapas del proyecto y finalmente se realizó un esquema de implementación en el predio con los tratamientos de rehabilitación a implementarse en el área total del ex vertedero.

#### 5.3.3 Cronograma de trabajo

Para realizar el cronograma de trabajo se estimaron los tiempos necesarios de ejecución de las actividades propuestas en el diseño del proyecto de rehabilitación del ex vertedero.

#### 5.3.4 Presupuesto del proyecto

A partir de las actividades identificadas en el cronograma de trabajo, se calculó el costo real en pesos y en dólares para cada una de ellas. El presupuesto realizado brinda información del costo total aproximado que implica ejecutar el proyecto de rehabilitación diseñado que permita cubrir y consolidar la cubierta superior.

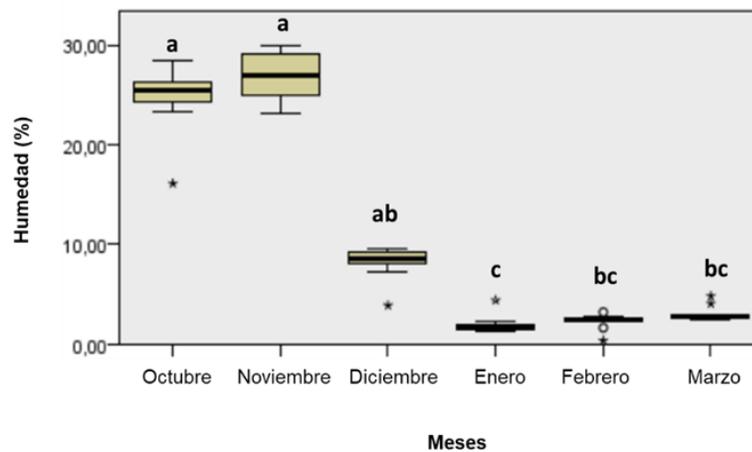
## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL OBJETIVO I: COMPARAR TRATAMIENTOS, QUE COMBINAN TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN, QUE PERMITAN SUPERAR LOS UMBRALES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS A FIN DE CUBRIR Y CONSOLIDAR LA ACTUAL CUBIERTA DEL EX VERTEDERO.

#### 6.1.1 Evaluación de indicadores abióticos

##### 6.1.1.1 Humedad del sustrato durante la estación de crecimiento

Los resultados del contenido de humedad gravimétrica del sustrato, calculado como porcentaje de humedad durante los meses de la estación de crecimiento se observan en la Figura 13.



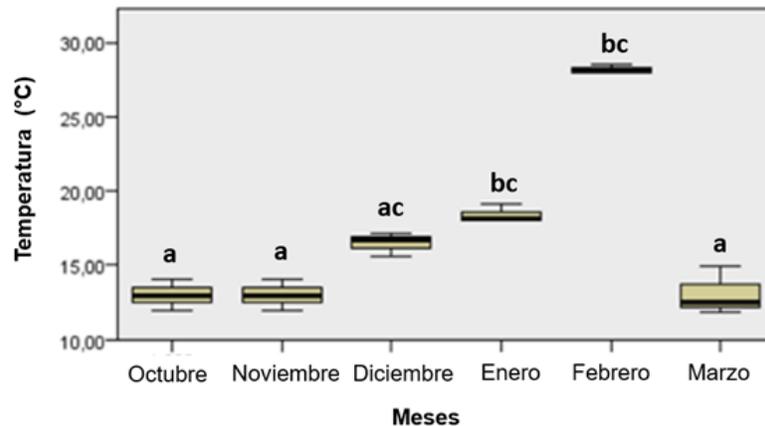
**Figura 13:** Porcentaje del contenido de humedad del sustrato, en los diferentes meses a lo largo de la estación de crecimiento. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor de humedad de los diferentes meses ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.

Se registraron diferencias significativas entre la humedad del sustrato, en los diferentes meses analizados ( $H=52,218$ ;  $p < 0,0001$ ). Los meses de mayor humedad fueron octubre y noviembre.

El contenido de humedad del sustrato, afecta el desarrollo de la vegetación (Santos et al., 2012). Es importante contar con valores de contenido de humedad del sustrato a lo largo de la estación de crecimiento, ya que es un factor limitante para la germinación de las semillas y el crecimiento de la vegetación (Santos et al., 2012). Se obtuvo además como resultado una profundidad de riego del sustrato de 22cm.

### 6.1.1.2 Temperatura del sustrato durante la estación de crecimiento

Los resultados de la temperatura del sustrato durante los meses de la estación de crecimiento se observan en la Figura 14.



**Figura 14:** Temperatura del sustrato (°C) del ex vertedero en los diferentes meses de la estación de crecimiento. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor de temperatura de los diferentes meses ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.

Se registraron diferencias significativas en la temperatura del sustrato entre los meses analizados ( $H=14,763$ ;  $p < 0,011$ ). Los meses de enero y febrero presentaron las mayores temperaturas.

Las temperaturas del sustrato obtenidas fueron acordes a las temperaturas ambiente esperadas para la estación climática respectiva a cada fecha de muestreo (DPA, 2011). Según Fischer et al. (1994), en general el rango de temperatura para la germinación y establecimiento de la vegetación tiene valores máximos entre 25-35°C y mínimos entre 8 y 15°C. Considerando que los resultados obtenidos se encuentran dentro de este rango, se podría decir que la temperatura del sustrato no representaría un factor limitante para la revegetación del sitio. A su vez, estos resultados coinciden con los rangos térmicos propios de cada especie implementada. Por ejemplo, para *Avena sativa* se encuentra entre 5 y 30°C con un óptimo de 17,5°C (Ruiz et al., 2013). En el sitio del ex vertedero, el registro de la temperatura radical es fundamental, ya que la misma podría verse modificada por factores como la descomposición de los residuos enterrados bajo la cubierta y las transformaciones químico-biológicas de la materia orgánica (Fischer et al., 1994).

### 6.1.1.3 Comparación de Humedad y temperatura de los tratamientos

La humedad gravimétrica y temperatura de los tratamientos del sector plano y del sector talud oeste, en febrero de 2019 (mes de mayor déficit hídrico de la región), se observan en la Tabla 6 y Tabla 7.

**Tabla 6:** Porcentaje de humedad gravimétrica (media  $\pm$  desvío estándar) y valor de la temperatura ( $^{\circ}$ C) (media  $\pm$  desvío estándar) del sustrato de todos los tratamientos del sector plano.

Tratamientos del sector plano	Humedad gravimétrica (%) media $\pm$ desvío estándar	Temperatura ( $^{\circ}$ C) media $\pm$ desvío estándar
Testigo	1,91 $\pm$ 0,58	28,2 $\pm$ 1,9
Testigo + riego	2,33 $\pm$ 0,14	29,2 $\pm$ 1,4
Traslado de suelo con banco de semillas + riego	2,33 $\pm$ 0,14	28,9 $\pm$ 2,1
Compost + traslado de suelo con banco de semillas + riego	2,25 $\pm$ 0,00	27,1 $\pm$ 1,3
Compost + traslado de suelo con banco de semillas + enramado + riego	2,25 $\pm$ 0,00	25,7 $\pm$ 1,4
Compost + hidrosiembra	2,41 $\pm$ 0,14	25,8 $\pm$ 0,9
Compost + hidrosiembra + riego	2,33 $\pm$ 0,14	26,6 $\pm$ 2,3
Compost + hidrosiembra + enramado + riego	2,25 $\pm$ 0,00	26,2 $\pm$ 0,7
Compost + plantación	2,33 $\pm$ 0,14	25,5 $\pm$ 0,9
Compost + plantación + riego	2,00 $\pm$ 0,66	26,8 $\pm$ 3,2

**Tabla 7:** Porcentaje de humedad gravimétrica (media  $\pm$  desvío estándar) y valor de la temperatura ( $^{\circ}$ C) (media  $\pm$  desvío estándar) del sustrato de todos los tratamientos del sector talud oeste.

Tratamientos del sector talud oeste	Humedad gravimétrica (%) media $\pm$ desvío estándar	Temperatura ( $^{\circ}$ C) media $\pm$ desvío estándar
Testigo	2,25 $\pm$ 0,00	25,2 $\pm$ 0,3
Compost + hidrosiembra	2,41 $\pm$ 0,14	25,6 $\pm$ 1,5
Compost + hidrosiembra + riego	2,33 $\pm$ 0,14	26,9 $\pm$ 0,3
Compost + hidrosiembra + riego+ geotextil	2,42 $\pm$ 0,14	25,8 $\pm$ 2,3
Compost + plantación + riego	2,37 $\pm$ 0,18	26,0 $\pm$ 2,3

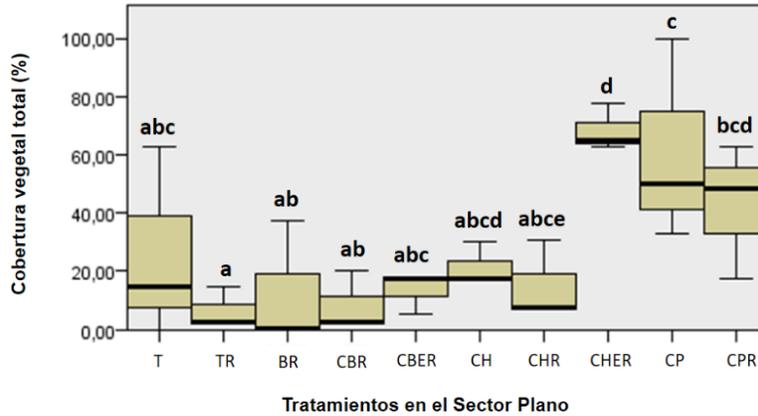
No se registraron diferencias significativas de la humedad del sustrato entre los diferentes tratamientos del sector plano ( $H=7,632$ ;  $p<0,572$ ) y del sector talud oeste ( $H=14,763$ ;  $p<0,396$ ). No se observa diferencia en la humedad del sustrato del sector plano entre el (testigo), (testigo + riego) y los demás tratamientos. En una primera instancia de evaluación realizada en el mes de febrero, no se pudieron registrar diferencias en la humedad del sustrato entre tratamientos. Se esperaba valores más elevados en los tratamientos con enramado (Escartín y Zuleta, 2015), agregado de compost y geotextil de coco, ya que una de sus funcionalidades consiste en retener humedad. Respecto a la temperatura del sustrato entre los tratamientos del sector plano no se registraron diferencias significativas ( $H=14,763$   $p<0,396$ ), como así tampoco en el sector talud oeste ( $H=7,632$   $p<0,572$ ). Se destaca que la comparación del contenido de humedad y temperatura entre tratamientos, se realizó únicamente en el mes de febrero, dado que como se mencionó previamente es el mes de mayor déficit hídrico en la región, mes en el que sería más evidente las diferencias en las condiciones abióticas (humedad y temperatura) entre tratamientos. En futuros ensayos sería conveniente comparar la humedad y temperatura de todos tratamientos mensualmente durante toda la estación de crecimiento, a fin de realizar ajustes en la metodología, por ejemplo, en la aplicación de riego

A pesar de que no se registraron diferencias significativas de los valores de humedad y temperatura de los diferentes tratamientos, se observa en el sector plano que el tratamiento (testigo + riego) registro altos valores de temperatura y bajo contenido de humedad. Es importante contar con un registro de humedad en los meses con menores valores de precipitación, debido a que este periodo es el de mayores temperaturas en la región durante toda la estación de crecimiento.

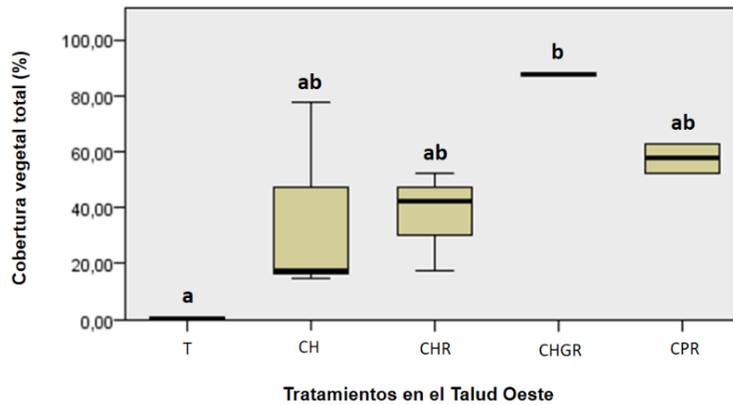
## 6.1.2 Evaluación de indicadores bióticos

### 6.1.2.1 Evaluación de la vegetación

Los resultados de la cobertura vegetal total correspondientes a los tratamientos del sector plano y del sector talud oeste, se observan en las Figuras 15 y 16 respectivamente.



**Figura 15:** Evaluación de la cobertura vegetal total (%) al final de la estación de crecimiento (marzo, 2019) para cada tratamiento (T, TR, BR, CBR, CBER, CH, CHR, CHRE, CP, CPR) en el sector plano. Letras diferentes indican diferencias significativas en el (%) de cobertura vegetal de los diferentes tratamientos ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.



**Figura 16:** Evaluación de la cobertura vegetal total (%) al final de la estación de crecimiento (abril, 2019) para cada tratamiento (T, CH, CHR, CHGR, CPR) en el sector talud oeste. Letras diferentes indican diferencias significativas en el (%) de cobertura vegetal de los diferentes tratamientos ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.

Respecto a la cobertura vegetal total entre los tratamientos en el sector plano, se registraron diferencias significativas ( $H=17,039$ ;  $p < 0,048$ ), la comparación de a pares entre los diferentes tratamientos a *posteriori*, se observa en la Figura 14. Se observa que el tratamiento (compost + hidrosiembra + enramado + riego) fue el que mayor cobertura (68%) alcanzó al finalizar la estación de crecimiento.

En el sector talud oeste también se registraron diferencias significativas de la cobertura vegetal total entre los tratamientos ( $H=11,010$ ;  $p<0,026$ ). El tratamiento (compost + hidrosiembra + geotextil + riego) registro el mayor valor de cobertura (88%) vegetal total (Figura 15).

La cobertura vegetal registrada previamente por Zenz (2018) en el área de referencia estudiada, fue de 112 %, valor muy superior a los registrados en la cobertura lograda en los tratamientos del sector plano y del sector talud oeste del presente trabajo. Observando las tendencias, en el sector plano el tratamiento que presentó mayor cobertura vegetal fue (compost + hidrosiembra + enramado + riego). Este resultado puede relacionarse con los beneficios que aportan las sustancias que se incorporan en la mezcla de la hidrosiembra que ayudan al establecimiento de la semilla, en combinación con técnicas que favorecen retención de la humedad para la germinación de las semillas y desarrollo de las plantas. Le siguen en orden de cobertura, los tratamientos que utilizaron la técnica de plantación (compost + plantación, compost + plantación + riego) con 61% y 43% respectivamente. La hidrosiembra sin enramado (compost + hidrosiembra, compost + hidrosiembra + riego) presentaron valores intermedios de cobertura vegetal (22% y 15% respectivamente). Finalmente, los tratamientos en los que se utilizó traslado de suelo con banco de semillas registraron los menores valores de cobertura, ya sea con riego (13%), sobre compost y con riego (8%), o con compost, riego y enramado (14%), valores menores incluso que el testigo sin riego (26%). Se ha documentado que un banco de semillas aún con semillas viables puede no germinar si el área no presenta micrositios con características adecuadas condiciones de humedad y temperatura (Massara Paletto et al., 2013). Se observó, además, que el tratamiento testigo + riego, presentó menor cobertura (7%) que el testigo sin riego (26%), contrario de lo esperado para estos tratamientos, ya que el riego favorece el establecimiento de la vegetación. Este resultado puede deberse a la frecuencia del riego y a los pulsos de crecimientos de las raíces, dado que aquellos tratamientos con riego pueden haber desarrollado más raíces superficiales, mientras que los tratamientos sin riego pueden haber desarrollado raíces más profundas. En los tratamientos con riego y posiblemente con mayor desarrollo de raíces superficiales, las plantas pudieron presentar mayor estrés hídrico que en los tratamientos sin riego (Martha Riat, comunicación personal).

Es importante destacar que, en caso de haberse realizado la implementación de los tratamientos en el mes de agosto o principios de septiembre, fechas con mayor disponibilidad natural de agua de lluvia, podrían haberse obtenido mayores valores de cobertura vegetal y por lo tanto mejores resultados.

### Cobertura vegetal acumulada

Los resultados del porcentaje de cobertura vegetal acumulada durante los meses de la estación de crecimiento, para el sector plano se presentan en la Tabla 8 y para el sector talud oeste en la Tabla 9.

**Tabla 8:** Porcentaje de cobertura vegetal acumulada, media  $\pm$  desvío estándar, de los tratamientos del sector plano, durante los meses de la estación de crecimiento.

Tratamiento del sector plano	Cobertura vegetal acumulada (%) media $\pm$ desvío estándar					
	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo
Testigo	2 $\pm$ 1	6 $\pm$ 8	13 $\pm$ 21	18 $\pm$ 19	26 $\pm$ 32	26 $\pm$ 33
Testigo + riego	1 $\pm$ 1	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	3 $\pm$ 0	7 $\pm$ 7	7 $\pm$ 7
Traslado de suelo con banco de semillas + riego	1 $\pm$ 1	1 $\pm$ 1	1 $\pm$ 1	5 $\pm$ 8	13 $\pm$ 21	13 $\pm$ 22
Compost +traslado suelo con de banco de semillas + riego	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	2 $\pm$ 1	11 $\pm$ 9	4 $\pm$ 2	8 $\pm$ 10
Compost +traslado de suelo con banco de semillas + enramado + riego	0 $\pm$ 0	1 $\pm$ 2	3 $\pm$ 2	8 $\pm$ 8	13 $\pm$ 8	14 $\pm$ 7
Compost + hidrosiembra	0 $\pm$ 0	6 $\pm$ 8	20 $\pm$ 7	25 $\pm$ 9	25 $\pm$ 9	22 $\pm$ 7
Compost + hidrosiembra + riego	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	16 $\pm$ 1	15 $\pm$ 0	22 $\pm$ 9	15 $\pm$ 13
Compost + hidrosiembra + enramado + riego	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	27 $\pm$ 34	32 $\pm$ 29	36 $\pm$ 36	68 $\pm$ 8
Compost + plantación	13 $\pm$ 9	13 $\pm$ 11	10 $\pm$ 11	16 $\pm$ 12	28 $\pm$ 29	62 $\pm$ 35
Compost + plantación + riego	5 $\pm$ 3	6 $\pm$ 3	8 $\pm$ 5	8 $\pm$ 5	25 $\pm$ 23	43 $\pm$ 24

**Tabla 9:** Porcentaje de cobertura vegetal acumulada media  $\pm$  desvío estándar, de los tratamientos del sector talud oeste, durante los meses de la estación de crecimiento.

Tratamiento del sector talud oeste	Cobertura vegetal acumulada (%) media $\pm$ desvío estándar					
	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo
Testigo	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
Compost + hidrosiembra	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	23 $\pm$ 13	31 $\pm$ 27	31 $\pm$ 27	31 $\pm$ 35
Compost + hidrosiembra + riego	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	14 $\pm$ 8	34 $\pm$ 19	38 $\pm$ 18	38 $\pm$ 18
Compost + hidrosiembra + geotextil + riego	0 $\pm$ 0	3 $\pm$ 0	63 $\pm$ 25	88 $\pm$ 0	88 $\pm$ 0	88 $\pm$ 0
Compost + plantación + riego	5 $\pm$	7 $\pm$ 1	11 $\pm$ 2	50 $\pm$ 11	58 $\pm$ 11	58 $\pm$ 7

En el sector plano, se observó que todos los tratamientos lograron un aumento en la cobertura vegetal a lo largo de la estación de crecimiento. Los tratamientos con plantación fueron los únicos que registraron cobertura al momento de la implantación en el mes de octubre (fecha de implantación de las técnicas).

En los tratamientos del sector talud oeste, se observó que el testigo, a diferencia de todos los demás tratamientos no logro cobertura vegetal a lo largo de la estación de crecimiento. Al igual que en el sector plano, los tratamientos con plantación fueron los únicos en registrar cobertura en el mes de octubre (fecha de implantación de las técnicas).

### Cobertura vegetal relativa

Los resultados de la cobertura vegetal total, de especies nativas y de especies exóticas, para los tratamientos del sector plano se observa en la Tabla 10 y para los tratamientos del sector talud oeste en la Tabla 11.

**Tabla 10:** Porcentaje de cobertura vegetal total, porcentaje de cobertura de especies nativas y porcentaje de especies exóticas, para los tratamientos del sector plano, al finalizar la estación de crecimiento.

<b>Tratamiento del sector plano</b>	<b>Cobertura total (%)</b>	<b>Cobertura de nativas (%)</b>	<b>Cobertura de exóticas (%)</b>
Testigo	26	0	26
Testigo + riego	7	0	7
Traslado de suelo con banco de semillas + riego	13	0	13
Compost +traslado de suelo con banco de semillas + riego	8	0,5	7,5
Compost +traslado de suelo con banco de semillas + enramado + riego	14	0	14
Compost + hidrosiembra	22	0	22
Compost + hidrosiembra + riego	15	0	15
Compost + hidrosiembra + enramado + riego	68	0	68
Compost + plantación	61	42	19
Compost + plantación + riego	56	45	11

**Tabla 11:** Porcentaje de cobertura vegetal total, porcentaje de especies nativas, y porcentaje de especies exóticas, para los tratamientos del sector talud oeste, al finalizar la estación de crecimiento.

Tratamiento del sector talud oeste	Cobertura total (%)	Cobertura de nativas (%)	Cobertura de exóticas (%)
Testigo	0	0	0
Compost + hidrosiembra	31	0	31
Compost + hidrosiembra + riego	38	0	38
Compost + hidrosiembra + geotextil + riego	88	0	88
Compost + plantación + riego	58	35	27

Los valores de cobertura relativa permiten identificar qué porcentaje de cobertura total corresponde a especies nativas y qué porcentaje a especies exóticas. Se observa que, como se mencionó en los resultados anteriores, el tratamiento que obtuvo mayor cobertura vegetal total en el sector plano fue (compost+ hidrosiembra + enramado + riego) de la cual un 100% son especies exóticas (Tabla I en Anexo I), con predominancia del 90% de *Avena sativa*, escasa cobertura de *Brassica nigra* (7%) y casi nula cobertura de *Festuca arundinacea* (1%), (ver mayores detalles en la Tabla II en Anexo I).

*Solidago chilensis* fue la única especie nativa que se asentó de forma espontánea con bajos valores de cobertura relativa (10%), en el tratamiento de (compost+ traslado de suelo con banco de semillas + riego) (Tabla II en Anexo I).

Únicamente en los tratamientos de plantación con especies nativas, éstas mantuvieron e incrementaron su cobertura. La especie exótica *Brassica nigra* se estableció en todos los tratamientos, siendo mayor su cobertura relativa (100%) en el testigo.

En el sector talud oeste no se estableció ninguna especie nativa de forma espontánea. Al igual que en el sector plano, la especie exótica *Brassica nigra* se estableció en todos los tratamientos, siendo mayor su cobertura relativa (75%) en el compost+ hidrosiembra (Tabla II en Anexo I).

#### Riqueza de especies presentes

Los resultados obtenidos de la evaluación del número de especies por tratamiento (riqueza de especies), número de especies nativas y número de especies exóticas en el sector plano se observan en la Tabla 12. Los resultados obtenidos para los tratamientos del sector talud oeste se observan en la Tabla 13.

**Tabla 12:** Riqueza de especies presentes en los tratamientos en el sector plano, número de especies nativas y número de especies exóticas, al finalizar la estación de crecimiento.

Tratamiento del sector plano	Riqueza total	Riqueza de nativas	Riqueza de exóticas
Testigo	1	0	1
Testigo + riego	2	0	2
Traslado de suelo con banco de semillas + riego	1	0	1
Compost +traslado de suelo con banco de semillas + riego	3	1	2
Compost +traslado de suelo con banco de semillas + enramado + riego	3	0	3
Compost + hidrosiembra	2	0	2
Compost + hidrosiembra + riego	3	0	3
Compost + hidrosiembra + enramado + riego	3	0	3
Compost + plantación	6	4	2
Compost + plantación + riego	7	3	4

**Tabla 13:** Riqueza de especies presentes en los tratamientos en el sector talud oeste, número de especies nativas y número de especies exóticas, al finalizar la estación de crecimiento.

Tratamiento del sector talud oeste	Riqueza total	Riqueza de nativas	Riqueza de exóticas
Testigo	1	0	1
Compost + hidrosiembra	2	0	2
Compost + hidrosiembra + riego	3	0	3
Compost + hidrosiembra + geotextil + riego	1	0	1
Compost + plantación + riego	9	4	5

La riqueza de especie es un indicador de la diversidad. Coincidiendo con los resultados previos, tanto en el sector plano como en el sector talud oeste, solo los tratamientos de plantación incorporaron la mayor riqueza de nativas. Se destaca que, de no realizarse una revegetación con especies nativas, de forma natural solo se establecerán especies exóticas con los inconvenientes que ocasionan en el sitio degradado y su entorno. Según Plaza et al. (2018) los vertederos son epicentros de especies invasoras en todo el mundo, que producen impactos económicos, ambientales y sanitarios, los vertederos pueden favorecer la propagación de estas especies al paisaje circundante, pero también a sitios distantes. Por lo tanto, es importante tener en cuenta todas estas consideraciones en

el proyecto de rehabilitación, Hernández y Pastor (2000) documentan que la utilización de especies nativas para la revegetación de un sitio degradado, disminuye el riesgo de incrementar las perturbaciones en los ecosistemas cercanos.

#### Supervivencia de ejemplares en el ensayo de plantación

Los resultados de supervivencia de las especies utilizadas se observan en la Tabla 14.

**Tabla 14:** Porcentaje promedio de supervivencia de ejemplares de las especies nativas utilizadas en plantación en los tratamientos con y sin riego.

Especies nombre científico	Supervivencia (%)	
	c/riego	s/ riego
<i>Acaena splendens</i>	0±0	33±29
<i>Baccharis magellanica</i>	100±0	100±0
<i>Haplopappus glutinosus</i>	100±0	100±0
<i>Oenothera odorata</i>	84±29	100 0

La supervivencia de las plantas de especies nativas fue alta tanto en los tratamientos con y sin riego para tres especies *Baccharis magellanica*, *Haplopappus glutinosus* y *Oenothera odorata*; y baja para *Acaena splendens*. Posiblemente estos resultados se deban a la calidad de las plantas, dado que como se mencionó en la metodología los plantines de *Baccharis magellanica*, *Haplopappus glutinosus* presentaban un buen desarrollo de vivero y un buen tamaño de envase, mientras que los plantines de *Oenothera odorata* y *Acaena splendens*, fueron rescatados de vegetación remanente y tuvieron un corto tiempo de viverización. Estos resultados coinciden con Beider (2012), quien menciona que para poner en práctica las tareas de revegetación es necesario disponer de grandes cantidades de plantas y de buena calidad, producidas en viveros ya que de ello dependerá en gran medida el éxito de la plantación.

#### Aporte potencial de semillas de las especies utilizadas en la plantación

Los resultados del aporte potencial de semillas de las especies utilizadas en la plantación, se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15:** Aporte potencial de semillas: número de frutos por planta, número de semillas por fruto y número de semillas por planta.

Especies Nombre científico	Nombre vulgar	Nro. de frutos por planta (media ± desvío)	Nro. de semillas por fruto (media ± desvío)	Aporte de Semillas por especie
<i>Acaena splendens</i>	Cepa caballo	21 ± 14	1 ± 0	21
<i>Baccharis magellanica</i>	Mosaiquillo	2 ± 2	37 ± 5	74
<i>Haplopappus glutinosus</i>	Buchú	1 ± 0	60 ± 40	60
<i>Oenothera odorata</i>	Dondiego de la noche	20 ± 8	176 ± 49	3.520
<i>Brassica nigra</i> *	Mostaza negra	60 ± 16	5 ± 2	300

\*No se plantó, pero al ser la especie exótica más abundante se evaluó su potencial aporte de semillas.

*Oenothera odorata* es la especie nativa que potencialmente, de establecerse sobre la cubierta, aportaría un gran número de semillas por planta, seguida por la exótica *Brassica nigra*. Las especies nativas *Acaena splendens*, *Baccharis magellanica* y *Haplopappus glutinosus* presentan valores menores y similares entre sí de aporte potencial de semillas. La importancia de este dato se debe a su función como potenciales fuentes de propágulos. Solo dos especies nativas florecieron y fructificaron luego de su implantación a campo: *Oenothera odorata* y *Haplopappus glutinosus* (Figura 17).



**Figura 17:** (a) Aspecto de ejemplar de *Oenothera odorata* en flor, (b) Aspecto de un ejemplar de *Haplopappus glutinosus*, delante de éste y en primer plano se observa una rama de *Brassica nigra* en flor (marzo, 2019). Fuente: propia.

### 6.1.2.2 Biomasa aérea

Los resultados de biomasa aérea para los tratamientos del sector plano se observan en la tabla 16 y de los tratamientos del sector talud oeste, en la Tabla 17.

**Tabla 16:** Biomasa aérea ( $\text{g/m}^2$ ) media  $\pm$  desvío estándar de los tratamientos en el sector plano al finalizar la estación de crecimiento.

Tratamiento del sector plano	Biomasa aérea ( $\text{g/m}^2$ ) media $\pm$ desvío estándar
Testigo	51,03 $\pm$ 88,39
Testigo + riego	0 $\pm$ 0
Traslado de suelo con banco de semillas + riego	9,25 $\pm$ 16,03
Compost +traslado de suelo con banco de semillas + riego	42,81 $\pm$ 10,08
Compost +traslado de suelo con banco de semillas + enramado + riego	21,06 $\pm$ 8,40
Compost + hidrosiembra	57,50 $\pm$ 31,86
Compost + hidrosiembra + riego	24,63 $\pm$ 12,55
Compost + hidrosiembra + enramado + riego	29,82 $\pm$ 28,25
Compost + plantación	74,92 $\pm$ 67,24
Compost + plantación + riego	97,87 $\pm$ 38,99

**Tabla 17:** Biomasa aérea ( $\text{g/m}^2$ ) media  $\pm$  desvío estándar de los tratamientos en el sector talud oeste al finalizar la estación de crecimiento.

Tratamiento del sector talud oeste	Biomasa aérea ( $\text{g/m}^2$ ) media $\pm$ desvío estándar
Testigo	21,19 $\pm$ 19,61
Compost + hidrosiembra	61,70 $\pm$ 46,25
Compost + hidrosiembra + riego	65,30 $\pm$ 62,55
Compost + hidrosiembra + riego+ geotextil	65,87 $\pm$ 14,54
Compost + plantación + riego	56,76 $\pm$ 70,10

En este sector plano no se registraron diferencias significativas del contenido de biomasa aérea entre los diferentes tratamientos ( $H=15,665$   $p<0,074$ ), al igual que en los tratamientos del sector talud oeste que no registraron diferencias significativas ( $H=3,882$   $p<0,422$ ). En ambos sectores se observan altos valores de desvío estándar para cada tratamiento, aspecto que indica alta variabilidad en la biomasa aérea en las tres repeticiones de cada tratamiento.

### 6.1.3 Efectividad de los tratamientos en el control de la erosión: Experimento de lluvia simulada

Las mediciones en el experimento de lluvia simulada dieron como resultado, volúmenes de infiltración, de escorrentía total (E total), escorrentía superficial (ES) para cada microparcela. Estos resultados se expresaron en porcentaje (%) y se observan en la Tabla 18, junto con el Coeficiente de Escorrentía superficial (CES). Los resultados de la pérdida de sedimentos de cada microparcela, se observan en la Tabla 19. Se presenta únicamente la pérdida de sedimentos de la ES, ya que este tipo de escorrentía es la más importante en los procesos erosivos que ocurren en el ex vertedero, genera pérdida del sustrato de cobertura por arrastre superficial de las partículas desprendidas, estas son arrastradas pendientes abajo por el escurrimiento superficial, lo cual produce, a su vez, el desprendimiento de nuevo material.

**Tabla 18:** Porcentaje de volumen de Infiltración, volumen de escorrentía total (E total) en porcentaje, volumen de escorrentía superficial (ES) en porcentaje y Coeficiente de escorrentía superficial (CES).

Tratamientos en microparcels	Infiltración (%)	E total (%)	ES (%)	CES
Testigo + riego	0	100	100	100
Traslado de suelo con banco de semillas + riego	0	100	100	100
Compost + traslado de suelo con banco de semillas + riego	26	74	68	68
Compost + traslado de suelo con banco de semillas + riego + enramado	4	96	92	92
Compost + hidrosiembra + riego	11	89	58	58
Compost + hidrosiembra + enramado + riego	6	94	72	72
Compost + plantación + riego (Hg)	36	64	51	51
Compost + plantación + riego (O.o)	12	88	41	41
Compost + plantación + riego (As)	0	100	28	28
Compost + plantación + riego (Bm)	5	95	85	85
Compost + hidrosiembra + geotextil + riego	15	85	0	0

Los tratamientos testigo, compost + traslado de suelo con banco de semillas + riego, compost + plantación + riego (As) fueron los que presentaron valores máximos ET (100%) lo que significa nula infiltración. Considerando además que el 100% de la ET correspondió a la ES, el tipo de escorrentía que mayor importancia tiene en los procesos erosivos en el ex vertedero. El tratamiento de hidrosiembra con geotextil fue el que logro los mejores resultados en comparación con el resto de los tratamientos, obtuvo nula ES y el valor de CES que representa menor erosión (CES: 0). El tratamiento de compost + plantación + riego (As) logro también buenos resultados (28%) de ES.

**Tabla 19:** Pérdida de sedimentos en la ES (g/l) medido en el ensayo de lluvia simulado sobre los tratamientos en microparcels.

Tratamientos en microparcels	Sedimentos de ES (g/l)
Testigo + riego	0,72
Traslado de suelo con banco de semillas + riego	1,38
Compost + traslado de suelo con banco de semillas + riego	0,19
Compost + traslado de suelo con banco de semillas + enramado + riego	1,06
Compost + hidrosiembra + riego	0,38
Compost + hidrosiembra + enramado + riego	0,33
Compost + plantación + riego (Hg)	1,16
Compost + plantación + riego (O.o)	1,34
Compost + plantación + riego (As)	1,12
Compost + plantación + riego (Bm)	0,22
Compost + hidrosiembra + geotextil + riego	0

En la protección contra la erosión los volúmenes de escorrentía superficial son de gran importancia, al igual que la perdida de sedimentos. En el ensayo realizado, las técnicas que presentaron mayores volúmenes de Escorrentía superficial (ES) fueron aquellos tratamientos sin ninguna trama o red de cobertura. El tratamiento de traslado de suelo con banco de semillas + riego fue el que produjo mayores sedimentos en oposición al compost + hidrosiembra + geotextil + riego, que no produjo sedimentos, considerándolo el tratamiento más apto para el control de la erosión hídrica. El geotextil es un método de protección activa contra la erosión por lo que se esperaba que el tratamiento con geotextil obtenga los mejores resultados.

Las microparcels donde se simularon los tratamientos con plantación de nativas tuvieron mayor pérdida de sedimentos. Si bien se considera a la cobertura vegetal como

una de las principales variables para evitar la erosión hídrica (Dalmasso y Ciano, 2015), la misma también depende del área foliar de las especies presentes. Si bien las microparcels en las que se evaluó la erosión hídrica superficial mediante el ensayo de lluvia simulada, no presentan idénticas condiciones de cobertura y área foliar que, en las parcelas a campo, nos brinda información sobre la dinámica del agua en el sustrato y permite evaluar la erosión hídrica de cada tratamiento. El ensayo de lluvia simulada no pudo realizarse directamente a campo, dado el tiempo de cada simulación y los riesgos de estar tantas horas en el ex vertedero como se mencionó previamente, a la falta de agua e infraestructura para trabajar, como así también a la imposibilidad de perforar la capa superior del vertedero para colocar los colectores de escorrentía.

A fin de comprender e interpretar los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas en el objetivo I del trabajo, con el fin de utilizarlos en la etapa siguiente, se resumen en las Tablas I y II del Anexo III los resultados de mayor relevancia en la toma de decisiones del objetivo II del trabajo.

## 6.2 RESULTADOS Y DISCUSION DEL OBJETIVO II: DISEÑAR UN PROYECTO INGENIERIL QUE PERMITA EL CIERRE DEFINITIVO DEL EX VERTEDERO

### 6.2.1 Evaluación del éxito de los distintos tratamientos

Los resultados obtenidos de la evaluación del éxito de los tratamientos, a través de los atributos del ecosistema, (I) estructura de la vegetación y (II) diversidad, se observan en la Tabla 20 para el sector plano y en la Tabla 21 para el sector talud oeste. A partir de los resultados del objetivo I del presente trabajo, se evaluó para cada indicador si los valores obtenidos brindaban un aporte a la rehabilitación del sitio.

De los resultados obtenidos en el sector plano se concluye que los tratamientos que lograron mayores aportes para la rehabilitación fueron: (compost + hidrosiembra + enramado + riego), logro la mayor cobertura vegetal ( $68 \pm 8\%$ ) con una riqueza total de especies igual a 3, aunque no registro presencia de especies nativas, el tratamiento (compost + plantación) obtuvo una cobertura vegetal del ( $61 \pm 35\%$ ), y una riqueza total de especies de 6 y 4 especies nativas. Por lo tanto, ambos tratamientos complementan sus aportes y potencian así los beneficios de su implementación, (el mayor porcentaje de cobertura vegetal con el mayor número de especies nativas).

En el sector talud oeste, el tratamiento de (compost+ hidrosiembra + geotextil + riego) obtuvo la máxima cobertura vegetal ( $88 \pm 0$ ) con riqueza de especies igual a 1 y sin presencia de especies nativas, el tratamiento (compost+ plantación + riego), obtuvo una cobertura vegetal de ( $58 \pm 7\%$ ) con riqueza total de especies igual a 9 y 4 especies nativas. Ambos tratamientos se complementan al igual que en el sector plana

**Tabla 20:** Indicadores de éxito en función de los tratamientos aplicados en el sector plano: cobertura vegetal total (%), riqueza total de especies, riqueza de nativas y riqueza de exóticas.

Indicador de la evaluación del éxito de los tratamientos	Testigo	Testigo + riego	Traslado de suelo con banco de semillas + riego	Compost +traslado de suelo con banco de semillas + riego	Compost +traslado de suelo con banco de semillas + riego + enramado	Compost + hidrosiembra	Compost + hidrosiembra + riego	Compost + hidrosiembra + riego + enramado	Compost + plantación	Compost + plantación + riego
	T	TR	BR	CBR	CBRE	CH	CHR	CHER	CP	CPR
Cobertura vegetal total (%)	si	si	si	si	si	si	si	si <sup>a</sup>	si	si
Biomasa acumulada (g/m <sup>2</sup> )	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si
Riqueza total	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si <sup>b</sup>
Riqueza de nativas	no	no	no	si	no	no	no	no	si <sup>b</sup>	si <sup>b</sup>
Riqueza de exóticas	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si

Nota: si<sup>a</sup> indica que se encontraron diferencias significativas, indica el mayor aporte. si<sup>b</sup> no se realizó análisis estadístico, indica el mayor número de especies.

**Tabla 21:** Indicadores de éxito en función de los tratamientos aplicados en el sector talud oeste: cobertura vegetal total (%), riqueza total de especies, riqueza de nativas y riqueza de exóticas.

Indicador para la evaluación del éxito de los tratamientos	Testigo	Compost + hidrosiembra	Compost + hidrosiembra + riego	Compost + hidrosiembra + geotextil + riego	Compost + plantación + riego
	T	CH	CHR	CHGR	CPR
Cobertura vegetal total (%)	no	si	si	si <sup>a</sup>	si
Biomasa acumulada (g/m <sup>2</sup> )	si	si	si	si	si
Riqueza total	si*	si	si	si	si <sup>b</sup>
Riqueza de nativas	no	no	no	no	si <sup>b</sup>
Riqueza de exóticas	si	si	si	si	si <sup>b</sup>

Nota: si<sup>a</sup> indica que se encontraron diferencias significativas, indica el mayor aporte. si<sup>b</sup> no se realizó análisis estadístico, indica el mayor número de especies.

### 6.2.2 Diseño del proyecto bioingenieril de rehabilitación para consolidar el sustrato de la cubierta superior del ex vertedero

El proyecto de rehabilitación presentado a continuación tiene como objetivo consolidar la cobertura actual del ex vertedero, incluyendo el establecimiento de la cobertura vegetal y la integración del sitio con el paisaje. El proyecto está conformado por tres etapas principales y un total de 16 actividades (Tabla 22).

**Tabla 22:** Etapas y actividades del proyecto de rehabilitación de la cubierta superior del ex vertedero.

<b>Etapas</b>	<b>N°</b>	<b>Actividad</b>
<b>I: Acondicionamiento del predio del ex vertedero y colocación de la capa de sustrato faltante apta para revegetar</b>	1	Colocar cartelería informativa del proyecto de rehabilitación en las áreas de trabajo dentro del predio
	2	Acondicionar caminos internos del predio para facilitar el ingreso al ex vertedero
	3	Retirar los residuos de las canaletas de desagote del ex vertedero y retirar los residuos volados sobre la cubierta superior
	4	Inspeccionar y reparar tubos de venteo
	5	Transportar y colocar una capa de sustrato de 10 cm de espesor sobre la cubierta actual, en áreas donde sea necesario
	6	Transportar y colocar una capa de compost de biosólidos de 20 cm de espesor sobre la capa de sustrato
<b>II: Revegetación</b>	1	Plantar especies nativas en áreas núcleo previamente delimitadas
	2	Realizar hidrosiembra de especies herbáceas en áreas núcleo previamente delimitadas
	3	Colocar los enramados en áreas núcleo previamente delimitadas
	4	Colocar el geotextil de coco en la parte superior del sector talud oeste y sector talud norte
<b>III: Programa de monitoreo y mantenimiento</b>	1	Evaluar la erosión del sustrato y realizar acciones correctivas de ser necesario
	2	Evaluar el estado de las canaletas de desagote del ex vertedero y retirar los residuos de ser necesario
	3	Evaluar la supervivencia de los ejemplares plantados y reemplazar los mismos de ser necesario
	4	Evaluar el crecimiento de la siembra y re sembrar de ser necesario
	5	Evaluar el estado de los enramados y corregir de ser necesario
	6	Evaluar el estado del geotextil de coco y reemplazar partes dañadas de ser necesario

### 6.2.2.1 ETAPA I: Acondicionamiento del predio del ex vertedero y colocación de la capa de sustrato faltante apto para revegetar

Detalle de las actividades de esta etapa:

#### 1. Colocar cartelería informativa del proyecto de rehabilitación en las áreas de trabajo dentro del predio

Se deben colocar carteles informativos dentro del predio para informar a los trabajadores de la rehabilitación y las personas externas al proyecto que circulen por el predio del CRUM. Deben señalizarse las áreas de circulación de caminos internos, zonas de descarga de materiales, movimiento de maquinarias y los posibles riesgos a los que están expuestos los trabajadores.

#### 2. Acondicionar caminos internos del predio para facilitar el ingreso al ex vertedero

Con el objetivo de facilitar la circulación y permitir el acceso a los diferentes sectores del trabajo del ex vertedero, se deberán mejorar las condiciones de los caminos existentes, mejorando anchos, banquetas y limpieza de caminos de circulación y sus inmediaciones.

#### 3. Retirar los residuos de las canaletas de desagote del ex vertedero y retirar los residuos volados sobre la cubierta superior

Es importante retirar los residuos que obstruyen las canaletas de desagote para el correcto escurrimiento de las aguas superficiales, evitando así el estancamiento del agua de las precipitaciones y su posible infiltración en el terreno.

#### 4. Inspeccionar y reparar tubos de venteo

Se deberá realizar una inspección ocular del estado de los tubos de venteo que se encuentran sobre la cubierta del ex vertedero, en caso de encontrarse daños, se deberá repararlos con el fin de evitar que ingrese el agua de las precipitaciones en el interior de la celda y entre en contacto con los residuos. Es importante que el sistema de venteo funcione correctamente debido a que permite disminuir el efecto de los gases producidos en la descomposición anaeróbica sobre el desarrollo y establecimiento de la vegetación de la cubierta.

5. Transportar y colocar una capa de sustrato de 10 cm de espesor sobre la cubierta actual, en áreas donde sea necesario

Se recomienda que el sustrato a colocar sobre la capa actual del ex vertedero, sea material extraído de excavaciones del predio del CRUM. La celda de disposición final actual se encuentra llegando al final de su vida útil, en caso de la apertura de una nueva celda de disposición, el material extraído en la excavación de la misma será apto para colocar sobre la cubierta actual. El sustrato de excavación se colocará en la superficie total del ex vertedero con un espesor aproximado de 10 cm, lo que equivale a un volumen de 6.000 m<sup>3</sup>.

Para la colocación del sustrato en toda la superficie, se deberá transportar el material desde el sitio de extracción ubicado dentro del CRUM hacia los diferentes sectores del ex vertedero, su distribución y nivelación se realizará en función de las pendientes del terreno, con el fin de permitir la evacuación de las aguas de las precipitaciones. El objetivo del correcto escurrimiento y de evitar zonas de anegamiento consiste en disminuir el ingreso de agua a la masa de residuos enterrados. La capa de sustrato actual que se encuentra sobre la superficie del ex vertedero presenta heterogeneidades en su espesor (Zenz, 2018), por lo tanto, en aquellos sitios donde se observe la geomanta aislante descubierta, será necesario la colocación de mayores cantidades de sustrato.

6. Transportar y colocar una capa de compost de biosólidos de 20 cm de espesor sobre la capa de sustrato

Para esta capa se utilizará compost proveniente de la planta de Compostaje de Biosólidos de la CEB. Se colocará sobre la capa de sustrato de excavación, en toda la superficie del ex vertedero con un espesor aproximado de 20 cm equivalente a un volumen de 12.000 m<sup>3</sup> de compost y tendrá como principal fin el aporte de materia orgánica, y de las condiciones necesarias para la revegetación del sitio. En este caso, al igual que en la colocación de la capa anterior, la disposición en el sitio deberá ser en función de las pendientes del terreno. Considerando los grandes volúmenes necesarios de compost, su traslado y colocación, representaran la actividad que demande mayores recursos y tiempo del proyecto.

#### 6.2.2.2 ETAPA II: Revegetación

Para realizar la revegetación del ex vertedero se propone dividirlo en dos zonas, cada una incluye los siguientes sectores:

- Zona 1: incluye el área del sector plano, sector este y sector sur
- Zona 2: incluye el área del sector talud oeste y sector talud norte

En el proyecto se proponen dos alternativas posibles para implementar en la zona 1, la primera alternativa denominada teórica, con áreas núcleo circulares, hidrosiembra con enramados y una segunda alternativa denominada práctica con áreas núcleo rectangulares, siembra y sin la utilización de enramados. La alternativa teórica prioriza fundamentos ecológicos. Es la opción mediante la cual se alcanzaría una mayor superficie y mejores resultados en la colonización de los espacios sin revegetar y evitaría los efectos bordes ocasionados en áreas de mayor tamaño y con otro tipo de forma. A pesar de que se esperarían mejores resultados de revegetación, su implementación en un proyecto de rehabilitación sería compleja y poco factible. Por tal motivo se presentó la alternativa práctica que, si bien, pueden resultar menos eficiente al momento de la dispersión y colonización de las áreas no revegetadas, su operatividad es significativamente mayor y le otorgaría factibilidad de ejecución a la etapa de revegetación.

Ambas alternativas presentan el mismo diseño de implementación de la vegetación para la zona 2, solo varía la utilización de hidrosiembra en la alternativa teórica y la utilización de siembra en la alternativa práctica.

#### Metodología de revegetación en la zona 1: Sector plano, sector este y sector sur:

##### Alternativa teórica:

Se propone realizar la revegetación mediante la técnica de nucleación en el 20% del área total. Considerando que el área total ha revegetar en esta zona es de 5 ha (sector plano: 2,8 ha + sector sur: 1,7 ha + sector este: 0,5 ha), el 20% de la misma corresponde a 1 ha, equivalente a 10.000 m<sup>2</sup>.

Se revegetarán en total 5.000 m<sup>2</sup> con plantación de especies nativas y 5.000 m<sup>2</sup> con hidrosiembra y enramados. La implementación de ambas técnicas se realizará mediante unidades de áreas núcleo, cada unidad tendrá forma circular, un radio de 5 m y un área de 78,5 m<sup>2</sup>. Teniendo en cuenta dimensiones de cada sector, se diseñó un esquema de implementación en todo el pedio (Figura 18), que consiste en un total de 128 unidades de

áreas núcleo, 64 unidades para hidrosiembra con enramado y 64 unidades para plantación con especies nativas. Las unidades de áreas núcleos se ubicarán en filas a 10 m de distancia aproximadamente entre cada fila.

Alternativa practica:

En esta alternativa se considerará el mismo concepto de áreas núcleo con la misma superficie a revegetar que en la alternativa teórica (10.000 m<sup>2</sup>), pero con diferente forma y dimensión para cada unidad de área núcleo. Cada unidad tendrá forma rectangular de bandas, de 200 m de largo y 10 m de ancho con un área de 2.000 m<sup>2</sup> cada una. Dichas dimensiones se seleccionaron con el fin de facilitar su implementación en la zona 1, si bien pueden resultar menos eficientes al momento de la dispersión y colonización de las áreas no revegetadas, su operatividad es significativamente mayor. Se implementarán en total de 5 unidades de áreas núcleo, 2,5 unidades de siembra con especies herbáceas y 2,5 unidades de plantación con especies nativas. La distancia entre cada banda será de 35 m aproximadamente. En la Figura 19 se observa el esquema de implementación mediante esta alternativa. Además de disminuir el número de áreas núcleo a implementar, se utilizará siembra en lugar de hidrosiembra y no se colocarán enramados.

Metodología de revegetación en la zona 2: Sector talud oeste y sector talud norte:

El área total a revegetar en esta etapa es de 1ha equivalente a 10.000m<sup>2</sup> (sector talud oeste: 0,5 ha + sector talud norte: 0,5). En la alternativa teórica se realizará hidrosiembra con geotextil de coco sobre toda la superficie 10.000 m<sup>2</sup> debido a que el geotextil de coco debe colocarse de forma continua para lograr los efectos de protección de taludes contra la erosión hídrica y no en áreas núcleo. En la alternativa practica se realizará siembra en lugar de hidrosiembra. La plantación en cambio se realizará en áreas núcleo sobre la parte baja del talud únicamente que corresponden a 500 m<sup>2</sup> en cada sector, en total 1.000 m<sup>2</sup> para plantación de especies nativas, cada área núcleo de plantación será igual a las utilizadas en la zona 1 (forma circular, radio de 5m área total de 78,5 m<sup>2</sup>) en total 13 áreas núcleo, 7 en cada sector (Figura 19).

Detalle de actividades a realizar en la Etapa II de la revegetación:

1. Plantar especies nativas en áreas núcleo previamente delimitadas

En base a la información obtenida de los ensayos sobre la cubierta del ex vertedero, se deberá realizar la plantación con las siguientes especies nativas: *Acaena splendens*, *Baccharis magellanica*, *Haplopappus glutinosus* y *Oenothera odorata*. El área total a revegetar con plantación es igual a 6.000 m<sup>2</sup> (5.000 m<sup>2</sup> en la zona 1 + 1.000 m<sup>2</sup> en la zona 2). Considerando la superficie de cada unidad de área núcleo, en total las áreas núcleo destinada a plantación son 90 (64 en la zona 1 y 26 en la zona 2). Se colocará un plantin cada 2 m de distancias, es decir un plantin por cada 4 m<sup>2</sup>, por lo tanto 20 plantines en cada unidad de área núcleo, serán necesarias en total la producción de 1.540 plantines para la revegetación del ex vertedero. La calidad de los plantines deberá ser adecuada al sitio, para lograr obtener buenos resultados en el establecimiento de la vegetación, por lo tanto, se sugiere que la producción de los plantines esté a cargo del vivero de la Universidad Nacional de Río Negro, fortaleciendo además el vínculo de la institución con trabajos de rehabilitación. El tiempo necesario para la producción de los plantines de las especies nativas seleccionadas se debe tener en cuenta al momento de implementar el proyecto.

2. Realizar hidrosiembra de especies herbáceas en áreas núcleos circulares previamente delimitadas en la alternativa teórica

La hidrosiembra se aplicará mediante áreas núcleo de forma circular y con enramados en la zona 1 en la alternativa teórica, en la zona 2. A partir de la información obtenida de los ensayos realizados en el ex vertedero, se propone utilizar una mezcla de hidrosiembra compuesta por dos especies herbáceas de rápido crecimiento, *Avena sativa* y *Festuca arundinacea*, con una densidad de siembra de 30g/m<sup>2</sup>, la mezcla comercial estará compuesta además por fertilizantes y aditivos. El área total a cubrir con hidrosiembra es de 10.000 m<sup>2</sup> (5.000 m<sup>2</sup> en la zona 1 y 10.000 m<sup>2</sup> en la zona 2). Se aplicará mediante camión de hidrosiembra.

3. Realizar siembra de especies herbáceas en áreas núcleos con diseño de bandas en la alternativa practica

A partir de la información obtenida de los ensayos realizados en el ex vertedero, se deberá utilizar dos especies herbáceas de rápido crecimiento, *Avena sativa* y *Festuca Arundinacea*, con una densidad de siembra de 30 g/m<sup>2</sup> equivalente a 300 kg/ha, El área total a cubrir con siembra es de 15.000 m<sup>2</sup> (5.000 m<sup>2</sup> en la etapa 1 y 10.000 m<sup>2</sup> en la etapa 2). Se aplicará mediante maquina sembradora. Para su aplicación puede contratarse

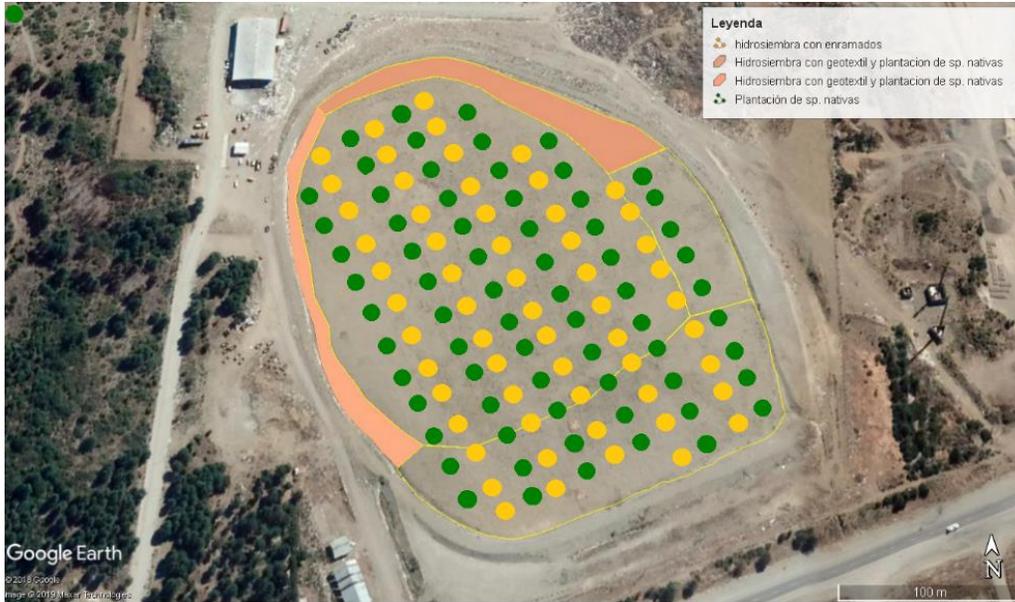
personal de la ciudad, sin necesidad de comprar la mezcla ni de colocarla teniendo en cuenta que no existen empresas en la ciudad o cercanías que realicen dicho trabajo. Se disminuye en costos, esfuerzos y recursos de aplicación, pero se pierde los beneficios de la hidrosiembra en comparación con la siembra tradicional.

#### 4. Colocar los enramados en áreas núcleo previamente delimitadas

Los enramados se utilizan en combinación con la hidrosiembra en la zona 1. Para su construcción se emplearán ramas de poda urbana de la ciudad, de la especie *Prunus cerasifera*, las ramas deben ser trasladadas desde el centro de la ciudad hasta el predio del ex vertedero y descargadas próximos a los sitios de colocación. Una vez descargados deben trasladarse a los diferentes sectores de la cubierta del ex vertedero, con maquinaria liviana (minipala cargadora o tractor de carga frontal). La construcción y colocación será en cada área núcleo correspondiente al sector plano, sector talud sur y sector talud este, donde se halla realizado previamente hidrosiembra. La forma de los enramados y sus dimensiones serán igual a las áreas núcleo, forma circular con radio de 5m. La densidad de ramas debe ser 1,5 kg/m<sup>2</sup> para construir enramados de tipo laxos, considerando que la superficie total de cada área núcleo es 78,5 m<sup>2</sup>, se necesitarán 52,3 kg de ramas para la construcción de cada enramado. Considerando los 64 enramados a realizar, se necesitarán en total 3.392 kg de ramas para todo el ex vertedero. Es importante que los enramados sean sujetos de forma correcta al sustrato, con el fin de evitar que las ramas sean separadas y desplazadas por el efecto del viento, para eso deben sujetarse con estacas de fijación en los extremos y la sujeción entre ramas será con alambre de aluminio galvanizado.

#### 5. Colocar el geotextil de coco en la parte superior del sector oeste y talud sector norte

Se determinó utilizar el geotextil de coco únicamente en los sectores talud oeste y talud sur, por ser los que presentan mayores signos de erosión y mayores pendientes (máximas de 30°). Ambos taludes tienen una altura aproximada de 30 m, con el fin de disminuir los efectos erosivos del arrastre de sedimento ocasionados por el escurrimiento superficial, se colocará el geotextil en toda la superficie, será necesario un total de 10.000 m<sup>2</sup> de geotextil de coco. La colocación se debe hacer luego de la hidrosiembra, se realiza una zanja en la parte superior (en el sector plano) para enterrar parte del geotextil y se desenrolla sobre el talud pendiente abajo, luego se utilizan ganchos de fijación para sujetarlo al sustrato, es recomendable que no existan espacios sin cubrir con el geotextil.



**Figura 18:** Esquema de implementación de las técnicas de rehabilitación en el ex vertedero. Alternativa teórica. Fuente: elaboración propia.



**Figura 19:** Esquema de implementación de las técnicas de rehabilitación en el ex vertedero. Alternativa práctica. Fuente: elaboración propia.

### 6.2.2.3 ETAPA III: Programa de monitoreo y mantenimiento

Esta etapa tiene como objetivo final asegurar el éxito de la revegetación, ya que brinda la información necesaria para evaluar y ajustar las prácticas, de modo que puedan ser modificadas. Si los resultados obtenidos en los tratamientos aplicados son negativos, se pueden realizar acciones tendientes a mejorar los resultados obtenidos, potenciar a largo plazo la diversidad biológica y la regeneración del ecosistema más parecido a lo natural. Es importante considerar además de los monitoreos y el mantenimiento necesario de los primeros años para asegurar el éxito de la revegetación, que los ex vertederos luego de su clausura deben monitorearse en un periodo de 25 años post clausura.

Detalles de las actividades:

#### 1. Evaluar la erosión del sustrato y realizar acciones correctivas de ser necesario

Debe realizarse una evaluación de la erosión del sustrato, dado que la cubierta de la superficie puede agrietarse y producirse desniveles principalmente, por erosión del agua de lluvia y nieve, como así también descender con asentamientos diferenciales por el proceso de transformación de los residuos. Estos efectos deben ser periódicamente corregidos mediante la nivelación y aporte de sustrato, a efectos de mantener el escurrimiento de las aguas pluviales y evitar la acumulación y penetración del agua. Se sugiere que el suelo necesario para las correcciones de asentamientos diferenciales, agrietamientos, sea del predio del CRUM. Se considera que la cobertura superficial del ex vertedero requiere de un mantenimiento durante los primeros cinco años del período de post clausura.

#### 2. Evaluar el estado de las canaletas de desagote del ex vertedero y retirar los residuos de ser necesario

Se deben mantener las pendientes de las canaletas de desagote que formen parte del escurrimiento del predio, retirar los residuos que se encuentren en las mismas ya que además de contribuir a evitar la infiltración en el predio, su buena conservación contribuirá a evitar la erosión de caminos.

#### 3. Evaluar la supervivencia de los ejemplares plantados y reemplazar los mismos de ser necesario

Es necesario realizar una evaluación de la revegetación a efectos de fomentar su desarrollo y los procesos sucesionales, que sirva a la consolidación de la cobertura. Por ello, una vez concluida la implantación se debe realizar fundamentalmente en los primeros

años o en las etapas de revegetación primaria y secundaria, un remplazo de las plantas muertas o que no se han desarrollados según las condiciones exigidas.

No se sugiere eliminar las especies exóticas, ya que considerando el estado de degradación del ex vertedero se prioriza el aporte de cobertura y fijación del sustrato que brindan dichas especies. Únicamente eliminar de forma manual aquellas ejemplares de especies arbóreas por tener raíces pivotantes que podrán afectar la geomembrana impermeable.

#### 4. Evaluar el crecimiento de la siembra y resembrar de ser necesario

En las áreas sembradas deben evaluarse, fallos de germinación, o de competencia y resembrar aquellas especies que se hayan establecido en un número que se considere insuficiente.

#### 5. Evaluar el estado de los enramados y corregir de ser necesario

En los enramados debe evaluarse principalmente la pérdida de ramas por desprendimiento y arrastre del viento, en caso de encontrarse deteriorados agregarán ramas y se reforzará su anclaje al sustrato. Es importante destacar que los enramados además de sus beneficios para el establecimiento de la vegetación, brindan protección de las semillas y hierbas contra herbívoros.

#### 6. Evaluar el estado del geotextil de coco y reemplazar partes dañadas de ser necesario

Debe evaluarse principalmente si existen roturas en el geotextil y desprendimientos del lugar fijado, en caso de ser necesario se deberán arreglar dichas roturas o reemplazar el geotextil. Al igual que el enramado funcionan como sistema de cobertura, en este caso de la siembra por lo tanto estas acciones favorecen al establecimiento de la vegetación protección contra herbivoría y erosión.

### 6.2.3 Cronograma de actividades

El cronograma de las actividades para lograr consolidar la cubierta actual del ex vertedero y su rehabilitación se presentan para un año 1 año y medio de trabajo (Tabla 23).

**Tabla 23:** Cronograma de las actividades del proyecto de rehabilitación del ex vertedero.

Etapa	Actividad	Marzo abril	Junio julio	Agosto septiembre	Octubre noviembre	Diciembre enero	Febrero marzo	Abril mayo	Junio julio	Agosto septiembre
I	1. Colocar cartelería	x								
	2. Acondicionar caminos	x								
	3. Retirar los residuos de las canaletas	x								
	4. Inspeccionar y reparar tubos de venteo	x								
	5. Transportar y colocar una capa de sustrato de excavación		x	x						
	6. Transportar y colocar una capa de compost de biosólidos		x	x						
II	1. Plantar especies nativas en áreas núcleo			x	x					
	2. Realizar hidrosiembra de especies herbáceas			x	x					
	3. Colocar los enramados en áreas núcleo			x	x					
	4. Colocar el geotextil de coco			x	x					
III	1. Evaluar la erosión del sustrato y realizar acciones correctivas de ser necesario				x		x			x
	2. Evaluar el estado de las canaletas de desagote				x		x			x
	3. Evaluar la supervivencia de los ejemplares plantados				x		x			x
	4. Evaluar el estado de la siembra				x		x			x
	5. Evaluar el estado de los enramados				x		x			x
	6. Evaluar el estado de geotextil de coco				x		x			x

## 6.2.4 Presupuesto para la rehabilitación del ex vertedero

Las implementaciones de las actividades previstas para el proyecto demandaran un costo total de \$\$16.823.968 equivalente a U\$S 289.769<sup>(1)</sup> (Tabla 24).

**Tabla 24:** Presupuesto del proyecto de rehabilitación del ex vertedero.

<b>Eta</b>	<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Maquinaria</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Sub total (ARS)</b>	<b>Sub total (DOLAR) <sup>(1)</sup></b>	
I	1   Comprar cartelería <sup>(2)</sup>	10 carteles		800\$	8.000	137,81	
		8 horas		/cartel	1.600	27,55	
		Colocar cartelería		200\$/h			
	2	Acondicionar caminos del predio	A determinar				
	3	Retirar residuos de las canaletas de desagote <sup>(3)</sup>	90 m <sup>3</sup> de residuos	18 Volquetes de 5m <sup>3</sup>	1500\$/volquete	27.000	465,12
			4 horas	Pala cargadora	500\$/h	2.000	34,45
	4	Inspeccionar y reparar tubos de venteo 16 en total <sup>(4)</sup>	16 Caños de PVC		200\$/U	3.200	55,12
			16 tapas de aluminio		50\$/U	800	13,78
			16 horas		200\$/h	3.200	55,12
	5	a) Compra de capa de sustrato <sup>(5)</sup>	6.000 m <sup>3</sup>		0	0	0
		b) Transportar capa de sustrato <sup>(6)</sup>	6.000 m <sup>3</sup>	Camión volcador	800\$/m <sup>3</sup>	4.800.000	82.673
		c) Colocar capa de sustrato <sup>(6)</sup>	120 horas	Tractor con carga frontal	500\$/h	60.000	1.033,6
6	a) Comprar de compost de biosólidos <sup>(7)</sup>	12.000m <sup>3</sup>		0	0	0	
	b) Transportar compost de biosólidos <sup>(6)</sup>	12.000m <sup>3</sup>	Camión volcador	800\$/m <sup>3</sup>	9.600.000	165.374,7	
	c) Colocar compost de biosólidos <sup>(6)</sup>	120 horas	Tractor con carga frontal	500\$/h	60.000	1.033,6	
II	1   a) Comprar plantines de especies nativas <sup>(9)</sup>	1.540 plantines		90\$/plantin	138.600	1.612,1	
	b) Trasladar plantines de especies nativas <sup>(8)</sup>	1.540 plantines	6 Camiones 6m <sup>3</sup>	1500/viaje	5.000	86,1	
	c) Plantación de especies nativas	90 horas		\$200/h	26.000	447,81	

Etapa	Actividad	Cantidad	Equipamiento	Precio unitario	Sub total (ARS)	Sub total (DÓLAR) <sup>(11)</sup>	
II	a) Comprar mezcla de hidrosiembra <sup>(10)</sup>	10.000m <sup>2</sup>		\$104,5 /m <sup>2</sup>	1.045.000	17.998,62	
	2 b) Trasladar hidrosiembra	170 litros 16 horas	Camión de hidrosiembra	46\$/l 200\$/h	7.820 3.200	134,68 55,11	
	c) Aplicar hidrosiembra <sup>(10)</sup>	10.000m <sup>2</sup>	Camión de hidrosiembra	\$87,09 /m <sup>2</sup>	870.900	15.500	
	3	a) Trasladar ramas <sup>(7)</sup>	3.392 kg	3 camiones	\$1500/ viaje	4.500	129,17
		b) Colocar y fijar enramados	96 horas		\$200/h	19.200	330,7
			1280 estacas de aluminio galvanizado		\$2/U	2.560	22
	4	a) Comprar geotextil <sup>(10)</sup>	5.000 m <sup>2</sup> de geotextil		127,63 \$/m <sup>2</sup>	638,150	10.991,21
		b) Envío del geotextil					
		c) Colocar geotextil de coco <sup>(10)</sup>	10.000 ganchos de fijación		2\$/U	20.000	344,5
	III	1	Evaluar el estado del sustrato y realizar acciones correctivas	96 horas	\$200/h	19.200	330,7
2		Evaluar el estado de canaletas de desagote	48 horas	\$200/h	9.600	165,4	
3		Evaluar la vegetación, cobertura vegetal y supervivencia de ejemplares	48 horas	\$200/h	9.600	165,4	
4		Evaluar el crecimiento de la siembra	48 horas	\$200/h	9.600	165,4	
5		Evaluar el estado de los enramados	48 horas	\$200/h	9.600	165,4	
6		Evaluar el estado del geotextil de	48 horas	\$200/h	9.600	165,4	

	coco				
	Coordinación y supervisión <sup>(11)</sup>	150 horas	\$317/h	47.550	818,90
<b>Total</b>					<b>\$16.823.968 U\$S 289.769</b>

- (1) 1U\$: 58,06 \$ARS (Cotización del Banco Central de la República Argentina del 11 de octubre del año 2019)
- (2) Consultado en página online Mercado libre.
- (3) Presupuesto otorgado por la empresa Volquetes Sur, San Carlos de Bariloche
- (4) Cantidad de tubos de venteo existentes en el ex vertedero, información obtenida de informe del ex vertedero realizado en la cátedra de Química y Contaminación Ambiental, en el año 2017, a cargo de la docente Natalia D Amico
- (5) Se propone utilizar sustrato de extracción del predio del CRUM, sin costo de compra
- (6) Presupuesto otorgado por la empresa Movimiento de suelo Arena del Sur, San Carlos de Bariloche
- (7) Se propone utilizar compost proveniente de la planta de Biosólidos de San Carlos de Bariloche, mediante convenio entre la CEB y la Municipalidad de San Carlos de Bariloche (MSCB), el material no tiene costo de compra
- (8) Comunicación personal con Fletes Norberto Garate, San Carlos de Bariloche
- (9) Comunicación personal con Marta Riat
- (10) Presupuesto otorgado por la empresa Coripa S.A, Buenos Aires, (incluye IVA en el presupuesto)
- (11) Honorarios del Colegio de Ambiente de la provincia de Neuquén

## 7 CONCLUSIONES

---

- El ex vertedero de San Carlos de Bariloche, representa un pasivo ambiental y es un riesgo para la salud de la población y el ambiente.
- Es necesario que se realicen acciones que permitan la consolidación definitiva de la cubierta actual del ex vertedero y se lleve a cabo un plan de rehabilitación con el fin de mitigar los impactos negativos y contribuir a la integración con el paisaje circundante.
- El ensayo a campo realizado en el presente trabajo sobre la cubierta actual del ex vertedero permitió evaluar la potencialidad de diferentes técnicas, y la combinación de ellas (tratamientos) para rehabilitar el sitio. La aplicación de hidrosiembra con geotextil de coco presento la mayor cobertura vegetal y la mayor protección contra la erosión hídrica en el sector talud oeste, la plantación con especies nativas logro buena cobertura vegetal y mayor aporte de especies a la diversidad, por lo tanto, la combinación de ambos tratamientos resulta adecuada para aplicar en los taludes de mayor pendiente. En el sector plano, la hidrosiembra con enramado, logro los valores más altos en cobertura vegetal mientras que la plantación aporto, al igual que en el talud, mayor diversidad.
- El trabajo realizado brinda una primera aproximación de las acciones necesarias para la rehabilitación del ex vertedero, pretende brindar información útil que contribuya en la mejora de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos de la ciudad.
- Se considera imprescindible para la realización de este proyecto la vinculación entre los diferentes actores dentro de la gestión de los residuos sólidos urbanos tanto a nivel local como regional, el acceso a créditos internacionales de financiación, el compromiso de políticas públicas y la vinculación y concientización social de la problemática.

## 8 RECOMENDACIONES

---

- Colocar capa de sustrato faltante sobre la cubierta actual que sea apta para la revegetación.
- Realizar la revegetación inmediatamente después de colocado la capa de sustrato faltante para evitar pérdidas de material por erosión.
- Implementar los tratamientos mediante áreas núcleo.
- Revegetar con las siguientes especies nativas: *Acaena splendens*, *Baccharis magellanica*, *Haplopappus glutinosus* y *Oenothera odorata*, que lograron valores altos de supervivencia y cobertura vegetal en el ex vertedero.
- Utilizar plantines de buena calidad en la plantación, ya que se determinó que el estado de los mismos influye significativamente en su supervivencia.
- Aplicar un único riego al momento de realizar la plantación y no durante todo el proceso de rehabilitación.
- Realizar hidrosiembra con las especies herbáceas: *Avena sativa* y *Festuca arundinacea* que lograron altos valores de cobertura vegetal en el ex vertedero.
- Utilizar geotextil de coco para cubrir la hidrosiembra, en los taludes de mayor pendiente.
- Realizar un plan de higiene y seguridad y de control de riesgos para el personal que realice las actividades del proyecto de rehabilitación del ex vertedero.
- Realizar monitoreos de parámetros ambientales que permitan un seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas, superficiales y del aire.
- Realizar monitoreo y mantenimientos periódicos en los primeros dos años luego de implementadas los tratamientos, y realizar un seguimiento del éxito de la rehabilitación en los próximos 25 años como indica la bibliografía internacional.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

---

- ADN Río Negro. 2018. Diario ADN Río Negro: "Los nenes necesitan alimentos", 7-10-18. Disponible en: <https://www.adnrionegro.com.ar/2018/10/los-nenes-necesitanalimentos/> [Consulta: 12/10/2018].
- Ares, R. 2016. Un planeta: el desafío de vivir con lo que produce un único planeta. 1 ed. Vázquez Mazzini Ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Aronson, J.; Floret, C.; Le Floc'h, E.; Ovalle, C. y Potanier, R. 1993. Restoration and rehabilitation arid and semiarid lands, view from south. *Restoration Ecology* 1 (1): 8-17.
- Benayas, J.M.R; Bullock, J.M y Newton, A.C. 2008. Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(6): 329-336.
- Bariloche 2000. 2010. Diario Bariloche 2000: "El problema de la basura en Bariloche dice la ARB"5-11-10. Disponible en: <https://www.bariloche2000.com/noticias/leer/elproblema-de-la-basura-es-de-bariloche-dice-arb/54541> [Consulta: 03/10/2018].
- Beider, A. 2012. Viverización de Especies Nativas de Zonas Áridas. *Experimentia*, revista de transferencia científica. Dalmaso, A D. Ed. Mendoza, Argentina. ISSN 1853-905X
- Carta Orgánica. 2007. San Carlos de Bariloche. Segunda parte, Título primero, Capítulo Único, Artículo 29. Disponible [http://www.bariloche.gov.ar/upload/carta\\_organica\\_2007.pdf](http://www.bariloche.gov.ar/upload/carta_organica_2007.pdf) [Consulta: 05/03/2019]
- Ceccon, E. 2013. Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. 1 ed. Díaz de Santos. Ed. Madrid, España. ISBN: 978-84-9969-615-7
- Chebez, J.C. 2005. Guía de las reservas naturales de la Argentina: Patagonia Norte. 1 ed. Albatros. Buenos Aires. ISBN:9789502410562
- Chichizola, G.A.; Rovere, A.E. y González, S.L. 2018. Germination of *Oenothera odorata*, endemic ruderal Onagraceae from Argentina. *Phyton International Journal of Experimental Botany* 87: (in press).
- Conti, M. y Giuffré, L. 2014. Edafología bases y aplicaciones ambientales argentinas. 2 ed. Editorial Facultad de Agronomía, 656 pp. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- CSAC. 2013. Compilación de documentos publicados por la Cooperación Suiza en América Central. Manual de Bioingeniería reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático. 33-40

- Consejo Canadiense de Parques. 2008. Principios y Directrices para la RESTAURACIÓN ECOLÓGICA en las Áreas Protegidas Naturales de Canadá. Librería & Archivos de Canadá ISBN 978-0-662-03298-4 Número de catálogo R62-401/2008Sp-PDF Disponible en: <http://parkscanadahistory.com/publications/ecological-restoration-s.pdf> [Consulta: 11/06/2019].
- Constitución Nacional Argentina. Art. 41 Disponible en [https://www.mininterior.gov.ar/provincias/archivos\\_cuencas/normativas/CONSTITUCIONNACIONAL.pdf](https://www.mininterior.gov.ar/provincias/archivos_cuencas/normativas/CONSTITUCIONNACIONAL.pdf) [Consulta: 07/10/2018].
- Correa, J.L. 2015. Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Civil. Influencia de biomantos de fibra vegetal en la germinación de hidrosiembra en taludes de alta pendiente. Universidad del BíoBío, Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Disponible en: [http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/659/1/Villafa%C3%B1a\\_Silva\\_Ariel\\_Alejandro.pdf](http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/659/1/Villafa%C3%B1a_Silva_Ariel_Alejandro.pdf) [Consulta: 11/06/2019].
- Cortázar, A.; Narea, M. y Llamas, S. 2015. Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos. Experiencias en Iberoamérica Rev. Int. Contam. Amb. 32 (Especial Residuos Sólidos) 123-139. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2016.32.05.09>
- Dalmaso, A.D y Ciano, N. 2015. Restauración de Taludes con especies nativas para zonas áridas y semiáridas. Revista de transferencia científica Experimentia. Mendoza, Argentina. ISSN 1853-905X
- Decreto Reglamentario N° 351/1979. Reglamento de la Ley Nacional N° 19.587/1972
- D'hers, V. 2013. Asentamientos sobre Basurales a Cielo Abierto. Explotación, Segregación y Expulsión en el manejo de los residuos. DELOS Revista Desarrollo Local Sostenible, Vol. 6 (16) Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/15693> [Consulta: 06/06/2019].
- DPA. 2011. Departamento Provincial de Aguas. Planificación y evaluación de los Recursos Hídricos. Resumen Meteorológico 1999-2011, Estación San Carlos de Bariloche.
- Dzendoletas, M. A.; Cavallaro, S.; Crivell, E. y Pereyra, F. 2006. Mapa de vegetación del ejido municipal de S.C. de Bariloche y alrededores, Río Negro Patagonia Argentina. Ecología (20):65-88.
- El Cordillerano, 2019. Diario El Cordillerano: "Tramitan Amparo Colectivo presentado por la problemática de los incendios en el Vertedero". 21/02/2019. Disponible en: <https://www.elcordillerano.com.ar/noticias/2019/02/21/76003-tramitan-amparo-colectivo-presentado-por-la-problematika-de-los-incendios-en-el-vertedero>
- ENGIRSU. 2005. Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. República Argentina. Ministerio de Salud y Ambiente. Secretaría de Ambiente y

Desarrollo Sustentable. Disponible en:  
<http://www.gobiernolocal.gob.ar/sites/default/files/engirsu-2mb1.pdf>. [Consulta:  
05/10/2018]

- Escartín, C. y Zuleta, G.A. 2015. Diseño EEMO para restaurar montículos en el Monte Austral en locaciones petroleras de Norpatagonia. Restauración ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina. 2 ed. Mendoza, Argentina.
- Farreras, V. 2017. Valoración económica de la remediación de los efectos de la contaminación de un basural a cielo abierto. El caso de El Pozo de Godoy Cruz, Mendoza, Argentina. Cuyonomics. Investigaciones en Economía Regional Año 1, Número 1. Segundo semestre 2017. Mendoza, Argentina. Disponible en: <http://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/cuyonomics/article/view/1082>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2004 Actualización de la evaluación de los recursos forestales mundiales a 2005 términos y definiciones. Departamento de Montes. Roma.
- Fischer, G.; Torres Carvajal, F. y Torres, B. 1997. Efecto de la temperatura del suelo sobre la planta, 1 crecimiento y desarrollo. Revista Colmafi, Volumen XXIV, Número 3, 78-93.
- Gaitán, J.; Navarro, M. F.; Vuegen, L. T.; Pizarro, M. J.; Carfagno, P y Rigo, S. Editores. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. 1 ed. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- García Martí, X. y Ferrer, P.P. 2013. La creación de núcleos de dispersión y reclamo como modelo de restauración ecológica forestal. "Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación". Valencia. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/264524785\\_La\\_creacion\\_de\\_nucleos\\_de\\_dispersion\\_y\\_reclamo\\_como\\_modelo\\_de\\_restauracion\\_ecologica\\_forestal](https://www.researchgate.net/publication/264524785_La_creacion_de_nucleos_de_dispersion_y_reclamo_como_modelo_de_restauracion_ecologica_forestal)
- Gómez Orea, D. 2004. Recuperación de espacios degradados. Mundi-Prensa Ediciones. 583 pp. Madrid, España.
- González, G. L. 2011. Residuos sólidos urbanos Argentina. Tratamiento y Disposición Final: situación actual y alternativas futuras. FODECO. 1 ed. Buenos Aires. Disponible en: <http://biblioteca.camarco.org.ar/libro/residuos-solidos-urbanos-en-argentina-situacion-actual-y-alternativas-futuras/> [Consulta: 05/10/2018].
- Hernández, T. y Columbié, R.F. 2014. Control de erosión mediante bioingeniería en presas de colas de la industria del níquel Minería y Geología. 30 (4): 55-69. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa 'Dr Antonio Nuñez Jiménez' Holguín, Cuba
- Hernández, A. y Pastor, J. 2000. La revegetación de vertederos de residuos urbanos basada en principios ecológicos. Ecología latinoamericana.
- Hobbs, R.J. y Norton D.A. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology (4):93-110.

- Holmes, P.M y Richardson, D.M. 1999. Protocols for Restoration Based on Recruitment Dynamics, Community Structure, and Ecosystem Function: Perspectives from South African Fynbos. *Restoration Ecology* 7(3): 215
- IATASA. 2011. Ingeniería y Asistencia Técnica Argentina. Estudio de impacto ambiental centro de tratamiento y disposición final de San Carlos de Bariloche. Programa de gestión integral de residuos sólidos urbanos en municipios turísticos BID 1868/OC-AR. Gestión integral de residuos sólidos urbanos en los municipios de San Carlos de Bariloche y Dina Huapi, Provincia de Río Negro
- INDEC. 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. 526 Argentina. Disponible en: [http://www.indec.gob.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P2-528\\_D\\_62\\_21.pdf](http://www.indec.gob.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P2-528_D_62_21.pdf). [Consulta: 28/09/2018]
- Israelsen, O.W y Hansen, V.C. 1979. Principios y aplicaciones del riego. 3 ed. Trad. Por A 396p. Barcelona.
- ISWA. 2015. International Solid Waste Association. Global Waste Management Outlook ISBN: 978-92-807-3479-9 DTI /1957/JA
- Kiely, G.1999. Ingeniería Ambiental. McGraw-Hill. 1 ed. Capítulo 14 Tratamiento de residuos sólidos 843-1112p. España.
- Kim, K.R y Lee, E.L. 2004. Soil seed bank of the waste landfills in South Korea Plant and Soil 271: 109–121 Springer 2005 DOI 10.1007/s11104-004-2159-2.
- Kowaljow, E. y Rostagno, M. 2013. Enramado y riego como alternativas de rehabilitación de regiones semiáridas afectadas por el tendido de ductos *Ecología Austral* 23:62-69. Asociación Argentina de Ecología.
- Lanfranco, J.W.; Giraldes, J.B. y Bossio, S. 2012. Rehabilitación de Rellenos Sanitarios con Especies Vegetales Espontáneas y Especies Nativas Implantadas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. *Ciencia*, Vol. 7 (25)
- Ley Nacional Nº 19.587/ 1972.Higiene y Seguridad en el Trabajo en la República Argentina. Disponible: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/15000-19999/17612/norma.htm>
- Ley Nacional Nº 25.916. 2004. Ley de Gestión de Residuos Domiciliarios. Disponible en:<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/9500099999/98327/norma.htm> [Consulta: 28/09/2018]
- Ley Nacional Nº 25.675. Ley General del Ambiente. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79980/norma.htm> [Consulta: 28/09/2018]

- López, E.D.; Ramírez, A. G.; García, F. P.; Ibarra, J.R.V. y Sandoval, O.A. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Trop. subtrop. agroecosyt vol.14 (2)
- Matteucci, S. D. y Colma, A. 2002. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaria General de la Organización de los estados americanos. 159 pp. Washington, D.C.
- Massara Paletto, V., Beider A., Buono, G. y Ciano, N. 2013. Banco de semillas y su relación con la revegetación natural en taludes.
- Mazzarino, M. J. y Satti, P. 2012. Compostaje en la Argentina: experiencias de producción, calidad y uso. Universidad Nacional de Río Negro-Orientación Gráfica Editora S.R.L.
- Meli, P. 2003. Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. Inerciencia vol. 28 nº 10.
- MTCyD. 2014. Ministerio de turismo, cultura y deporte de Río Negro. Subsecretaria de Planificación estratégica y programas. Informe de estadísticas: periodo diciembre 2012- julio 2013. Disponible en: <http://www.rionegro.gov.ar/?contID=13195>. [Consulta: 6/10/2018].
- NSW EPA. 2016. State of New South Wales and the Environment Protection Authority. Environmental Guidelines Solid waste landfills. 2 ed. Sydney. Disponible en: <https://www.epa.nsw.gov.au/~media/EPA/Corporate%20Site/resources/waste/solid-waste-landfill-guidelines-160259.ashx>
- ONU Medio Ambiente. 2018. Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá, Panamá. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/26448>
- Ordenanza Nº 2147. 2011. Declaración Emergencia Actual Vertedero. Proceso Implementación Sistema de Tratamiento Residuos Regional. Disponible en: <http://www.concejobariloche.gov.ar/index.php/164-biblioteca/ordenanzas/62390-11-2147> [Consulta: 11/10/2018].
- Ordenanza Nº 2062. 2010. Aprobación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Consejo Municipal.
- Painehual, M.; Ertola F.; Torres Curth, M. y Méndez, L. 2017. *Un día más...ARB*, una historia de conciencia y dignidad Universidad Nacional del Comahue. Educo Editorial de la Universidad Nacional del Comahue. 186p. Neuquén.
- Pereyra, F.; Albertoni J.; Bréard C.; Cavaliaro S.; Coccia M.; Ducós E., Dzendoletas, M.; Fookes S.; Getino E.; Helms F; Kruck. W; R. López; C. Muzio; D. Roverano; M. Tobio; M. Toloczyki y Wilson, C. 2005. Estudio Geocientífico 591 aplicado al Ordenamiento Territorial: San Carlos de Bariloche. Anales Nº 42. 592 Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Buenos Aires.

- Pérez, D.R; Rovere, A.E. y Farinaccio, F.M. 2010. Rehabilitación en el desierto. Ensayos con plantas nativas en Aguada Pichana, Neuquén, Argentina. Vázquez Mazzini Editores. 80 p.
- PEP Río Negro. 2015. Plan Provincial de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos para la Provincia de Río Negro. Gestión residuos.
- Plan GIRSU. 2008. Plan de gestión integral de residuos sólidos urbanos. Municipalidad de San Carlo de Bariloche.
- Plaza, P. I.; Speziale, K. L. y Lambertucci, S. A. 2018. Rubbish dumps as invasive plant epicentres. *Biological Invasions*, 1-7.
- PNEC. 2015. Plan Nacional de Economía Circular de Residuos formulación de un plan estratégico provincial de gestión de residuos hacia la economía circular. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Argentina. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ambiente-plan-estrategico-provincial-gestion-residuos.pdf> [Consulta: 08/10/2018].
- POT. 2011. Plan de Ordenamiento Territorial. Políticas instrumentos y proyectos para el ordenamiento territorial de San Carlos de Bariloche. Municipalidad de San Carlos de Bariloche. Provincia de Río Negro.
- Ramírez, L. P. 2018. Construcción de un simulador de lluvias para estimación de infiltración, escorrentía y sedimentos en microparcels. Tesina de grado Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Salta.
- Ramírez, L. P. y Ferreira Padilla, S. 2018. Ensayos en microparcels con simulador de lluvias en suelo desnudo y con 100 % de cobertura vegetal para estimar erosión hídrica en salta, capital. En: Actas IV Taller Regional sobre Rehabilitación y Restauración en la Diagonal Árida en la Argentina. I Taller Internacional de Restauración Ecológica. Salta, del 9-11 de octubre de 2018
- Reis, A.; Bechara, F.C.; Espindola, M.B.; Vieira, N.K. y Souza, L.L. 2003. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. *Natureza & Conservação* 1 (1): 28-36, 85-92.
- Resolución N° 650, UNRN. 2014. Ministerio de educación. Universidad Nacional de Río Negro. Sede Andina. Disponible en: [https://www.unrn.edu.ar/images/Res.\\_ME\\_650-14\\_-\\_Ing.\\_Ambiental.pdf](https://www.unrn.edu.ar/images/Res._ME_650-14_-_Ing._Ambiental.pdf) [Consulta: 08/10/2018].
- Romero Álvarez, P. P. 2015. Incidencia de los sitios de disposición final de residuos sólidos domiciliarios y su situación actual a nivel nacional: problemáticas y consecuencias. (Tesis para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo Escuela de Geografía). Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/134379>

- Roncallo, L. 2017. Canteras de San Carlos de Bariloche: Evaluación de la situación actual y propuestas para el plan de cierre de una cantera. Proyecto Final Integrador. Requisito para optar por el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Río Negro.
- Roncallo, L. y Rovere, A.E. 2018. Minería urbana en San Carlos de Bariloche: identificación y caracterización de canteras. Serie Correlación Geológica 34 (1): 24 -34.
- Ruiz, J. y Aide T. M. 2005. Restoration Success: How Is It Being Measured? Restoration Ecology Vol. 13, No. 3, pp. 569–577.
- Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y Martínez, R.A. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. 564 p. Tepatlán de Morelos, Jalisco, México.
- Sánchez, M.; Martínez, F.; Martín M y Zamacola, A. 2011. Optimización de técnicas de bioingeniería para la mejora del estado ecológico y estabilización de márgenes de ríos. Congreso Ibérico de restauración fluvial Restaurarios.
- Santos, D.J; Wilson, M. G. y Ostinelli, M. Ed. 2012. Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo: protocolos básicos comunes. 2 ed. Ediciones INTA. 146 p. Entre Ríos.
- SECTUR. 2007. Secretaria de Turismo de la Nación, Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en Municipios Turísticos, Manual operativo y de procedimientos - subprograma 1 - Préstamo BID 1868 OC-AR. Argentina.
- SER. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Tchobanoglous, G.; Theisen, H. y Vigil, S. A. 1998. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen II. McGraw- Hill/Interamericana de España S.A. 1107 p.México.
- Valladares, F.; Balaguer, L; Mola, I.; Escudero, A. y Alfaya, V. Ed. 2011. Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas. Fundación Biodiversidad, Madrid, España.
- Zenz, E. N. 2018. Cobertura final del ex basurero de san Carlos de Bariloche: evaluación de su estado actual y propuesta de rehabilitación. Tesis para optar por el título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional de Río Negro.
- Zuleta, G.A.; Rovere, A. E.; Pérez, D.; Campanello, P. I.; Johnson, B. G.; Escartín, C.; Dalmaso, A.; Renison, D. y Aronson, J. 2015. Establishing the ecological restoration network in Argentina: from Rio1992 to SIACRE2015 Restoration Ecology Vol. 23, No. 2, pp. 95–103.

Zuleta, G.A. y Li Puma, M.G. 2013. Diseño de enramados para rehabilitar montículos naturales en locaciones petroleras del Monte Austral, Norpatagonia. En: Restauración ecológica en la diagonal árida de la Argentina. 1 ed. Buenos Aires, Argentina.

## 10 ANEXOS

### 10.1 ANEXO I

**Tabla I:** Nombre científico, nombre común, familia botánica, forma de vida y origen, de las especies identificadas en la evaluación de la vegetación de los tratamientos implementados en el ex vertedero.

Nombre científico	Nombre común	Familia botánica	Forma de vida	Origen
<i>Acaena splendens</i>	Cepa caballo	Rosaceae	Arbusto perenne	Nativa
<i>Avena sativa</i>	Avena	Poaceae	Hierba anual	Exótica
<i>Baccharis magellanica</i>	Mosaiquillo	Asteraceae	Arbusto perenne	Nativa*
<i>Brassica nigra</i>	Mostaza negra	Brassicaceae	Hierba anual	Exótica
<i>Carduus thoermeri</i>	Cardo	Asteraceae	Hierba anual	Exótica
<i>Chenopodium album</i>	Quinoa	Chenopodiaceae	Hierba Anual	Exótica
<i>Cytisus scoparius</i>	Retama	Fabaceae	Arbusto perenne	Exótica
<i>Diptotaxis tenuifolia</i>	Ruculeta	Brassicaceae	Hierba perenne	Exótica
<i>Festuca arundinacea</i>	Festuca	Poaceae	Hierba Perenne	Exótica
<i>Haplopappus glutinosus</i>	Buchú	Asteraceae	Arbusto Perenne	Nativa
<i>Matricaria inodora</i>	Manzanilla	Asteraceae	Hierba anual	Exótica
<i>Oenothera odorata</i>	Dondiego de la noche	Onagraceae	Hierba anual	Nativa
<i>Solidago chilensis</i>	Vara de oro	Asteraceae	Hierba Perenne	Nativa

## 10.2 ANEXO II

**Tabla I:** Porcentaje de cobertura relativa de especies (%) de los tratamientos del sector plano, cobertura vegetal total (%), cobertura de especies nativas (%), nombre científico de la especie.

Tratamientos en el sector plano	Cobertura vegetal total (%)	Cobertura de nativas (%)	Cobertura de exóticas (%)	Nombre científico de la especie	Cobertura relativa (%)
Testigo	26	0	26	<i>Brassica nigra</i>	100
Testigo + riego	7	0	7	<i>Brassica nigra</i> <i>Cytissus scoparius</i>	25 75
Traslado de suelo con banco de semillas + riego	13	0	13	<i>Brassica nigra</i>	100
Compost+traslado de suelo con banco de semillas + riego	8	0,5	7,5	<i>Brassica nigra</i> <i>Matricaria inodora</i> <b><i>Solidago chilense</i></b>	80 10 10
Compost+traslado de suelo con banco de semillas + riego + enramado	14	0	14	<i>Brassica nigra</i> <i>Matricaria inodora</i> <i>Chenopodium álbum</i>	80 1 19
Compost+hidrosiembra	22	0	22	<i>Avena sativa</i> <i>Brassica nigra</i>	69 31
Compost+hidrosiembra + riego	15	0	15	<i>Avena sativa</i> <i>Brassica nigra</i> <i>Festuca arundinacea</i>	44 44 12
Compost+hidrosiembra + riego + enramado	68	0	68	<i>Avena sativa</i> <i>Brassica nigra</i> <i>Festuca arundinacea</i>	91 7 1
Compost+plantación	61	42	19	<b><i>Acaena splendens</i></b> <b><i>Baccharis magellanica</i></b> <i>Brassica nigra</i> <b><i>Haplopappus glutinosus</i></b> <b><i>Oenothera odorata</i></b> <i>Cytissus scoparius</i>	2 25 11 25 18 21
Compost+plantación + riego	56	45	11	<i>Avena sativa</i> <b><i>Baccharis magellanica</i></b> <i>Brassica nigra</i> <i>Carduus thoermeri</i> <i>Diplotaxis tenuifolia</i> <b><i>Haplopappus glutinosus</i></b> <b><i>Oenothera odorata</i></b>	2 27 16 16 1 <1 27 27

**Tabla II:** Porcentaje de cobertura relativa de especies de los tratamientos del sector talud oeste, cobertura vegetal total (%), cobertura de especies nativas (%), nombre científico de la especie.

Tratamiento del sector talud oeste	Cobertura vegetal total (%)	Cobertura de nativas (%)	Cobertura de exóticas (%)	Nombre científico de la especie	Cobertura relativa (%)
Testigo	0	0	0		
Compost+ hidrosiembra	31	0	31	<i>Avena sativa</i> <i>Brassica nigra</i>	25 75
Compost+ hidrosiembra+ riego	38	0	38	<i>Avena sativa</i> <i>Brassica nigra</i> <i>Cytissus scoparius</i>	70 15 10
Compost+ hidrosiembra+ geotextil de coco + riego	88	0	88	<i>Avena sativa</i>	100
Compost+ plantación + riego	58	35	27	<b><i>Acaena splendens</i></b> <i>Avena sativa</i> <b><i>Baccharis magellanica</i></b> <i>Brassica nigra (mostaza negra)</i> <i>Diplotaxis tenuifolia (ruculeta)</i> <b><i>Haplopappus glutinosus (Buchú)</i></b> <i>Matricaria inodora (manzanilla)</i> <b><i>Oenothera odorata (dondiego de la noche)</i></b> <i>Chenopodium álbum (quinoa)</i>	<b>0</b> 5 <b>40</b> 60 5 <b>35</b> 15 <b>25</b> 15

### 10.3 ANEXO III

**Tabla I:** Resultados del objetivo I del sector plano: cobertura vegetal total (%), biomasa aérea (g/m<sup>2</sup>), riqueza total de especies, riqueza de nativas y riqueza de exóticas.

Indicador para la evaluación del éxito de los tratamientos	Tratamiento del sector plano									
	Testigo	Testigo + riego	Traslado de suelo con banco de semillas + riego	Compost +traslado de suelo con banco de semillas + riego	Compost +traslado de banco de suelo con semillas + riego + enramado	Compost + hidrosiembra	Compost + hidrosiembra + riego	Compost + hidrosiembra + riego + enramado	Compost + plantación	Compost + plantación + riego
	T	TR	BR	CBR	CBRE	CH	CHR	CHER	CP	CPR
Cobertura vegetal total (%)	26 ± 33	7 ± 7	13 ± 22	8 ± 10	14 ± 7	22 ± 7	15 ± 13	68 ± 8	61 ± 35	43 ± 24
Biomasa aérea (g/m <sup>2</sup> )	51,03 ± 88,39	0 ± 0	9,25 ± 16,03	42,81 ± 10,08	21,06 ± 8,40	57,50 ± 31,86	24,63 ± 12,55	29,82 ± 28,25	74,92 ± 67,24	97,87 ± 38,99
Riqueza total	1	2	1	3	3	2	3	3	6	7
Riqueza de nativas	0	0	0	1	0	0	0	0	4	3
Riqueza de exóticas	1	2	1	2	3	2	3	3	2	4

**Tabla II:** Resultados del objetivo I del sector talud oeste: cobertura vegetal total (%), biomasa aérea (g/m<sup>2</sup>), riqueza total de especies, riqueza de nativas y riqueza de exóticas.

Indicador para la evaluación del éxito de los tratamientos	Tratamiento del sector talud oeste				
	Testigo	Compost + hidrosiembra	Compost + hidrosiembra + riego	Compost + hidrosiembra + geotextil + riego	Compost + plantación + riego
	T	CH	CHR	CHGR	CPR
Cobertura vegetal total (%)	0 ± 0	37 ± 35	38 ± 18	88 ± 0	58 ± 7
Biomasa aérea (g/m <sup>2</sup> )	21,19 ± 19,61	61,70 ± 46,25	65,30 ± 62,55	65,87 ± 14,54	56,76 ± 70,10
Riqueza total	1	2	3	1	9
Riqueza de nativas	0	0	0	0	4
Riqueza de exóticas	1	2	3	1	5