

Diseño de enramados para reconstruir montículos naturales en explanadas petroleras abandonadas del Monte Austral, NW Patagonia

María Cecilia Li Puma^{1,2} y Gustavo A. Zuleta^{1,2,3}

¹ Centro de Estudios Ambientales, Universidad Maimónides. Buenos Aires, Argentina.

² Dpto. de Ecología, Genética y Evolución, Fac. Cs. Exactas y Naturales, Univ. de Buenos Aires. Argentina.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET).

TE/ FAX: +(54-11) 4982-8181/8188 internos 180 y 185

E-Mails: ecologia@maimonides.edu.ar, li_puma@yahoo.com

SINOPSIS

Cuando las explanadas de petróleo y/o gas son abandonadas, las condiciones ambientales de los ecosistemas semiáridos de NorPatagonia retornan muy lentamente (> 40-50 años) a la situación original. Uno de los componentes clave en la dinámica y mantenimiento del ecosistema es la conformación de “montículos”, ya que facilita acumulación de nutrientes y retención de humedad (factores más limitantes en ecosistemas áridos) generando condiciones microambientales que favorecen el establecimiento y crecimiento de la vegetación. En marzo-abril de 2002, a fin de reconstruir artificialmente montículos, se inició un experimento de “enramados, consistente en pilas entrelazadas de ramas. Se utilizó una explanada petrolera recientemente abandonada, ubicada en el Área Agua Salada (Río Negro) y operada por Tecpetrol SA. En base a la experiencia adquirida al cabo de 17 meses de funcionamiento adecuado del experimento, se describen los componentes relevantes del diseño e instalación de esta técnica a tener en cuenta en futuros proyectos: (1) preparación del terreno (técnicas auxiliares para reducir compactación), (2) forma del enramado (circular o rectangular), (3) cantidad de ramas (para aumentar la eficiencia y minimizar el consumo de ramas), (4) tamaño, (5) selección de la especie proveedora de ramas (para minimizar costos y daños ambientales), (6) sistema de montaje de ramas (para maximizar la resistencia) y (7) sistema de soporte (para minimizar riesgos de destrucción por vientos intensos). Se discuten los protocolos de las variables respuesta que deben ser evaluadas para determinar la efectividad de este método de rehabilitación ambiental.

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO. ¿PORQUÉ RECOMPONER MONTÍCULOS ES CLAVE PARA RESTAURAR EXPLANADAS?

En la ecoregión del Monte Austral, como en la mayoría de los ecosistemas áridos y semiáridos del mundo, la vegetación y las propiedades de los suelos varían marcadamente en su distribución espacial, conformando montículos donde se concentran recursos y vegetación ("islas de fertilidad"), rodeados por una matriz de suelo relativamente infértiles (Schlesinger *et al.* 1996, Maestre *et al.* 2001). La estructura de montículos es clave en el funcionamiento y mantenimiento de estos ecosistemas (Tabla 1) ya que facilitan procesos claves (infiltración de agua, la acumulación de semillas, hojarasca y nutrientes) y disminuyen la radiación que alcanza al suelo (Aguilar & Sala 1997) generando microambientes favorables para el desarrollo biológico.

En los ecosistemas áridos de Patagonia, la **actividad petrolera** representa uno de los dos factores de perturbación más importantes y produce la pérdida de los montículos y la eliminación de la cobertura vegetal asociada a ellos, afectando gravemente tanto a la estructura global como a los procesos del ecosistema. Una vez que las prácticas petroleras cesan o se abandona la infraestructura en superficie, el proceso de recuperación natural hacia una condición ecológicamente aceptable, no es menor a un período de 40- 60 años (Fernández *et al.* 2002, Reichmann *et al.* 2003). Este período de regeneración natural prolongado, convierte al uso de técnicas de rehabilitación ambiental, en opciones altamente viables para acelerar dicho proceso.

ANTECEDENTES DE RECONSTRUCCIÓN DE MONTÍCULOS

Hasta el momento la reconstrucción de montículos como técnica de rehabilitación prácticamente no ha sido explorada en zonas áridas de Argentina; sin embargo, en la última década se han comenzado a utilizar, a nivel internacional, distintas técnicas de reconstrucción de montículos naturales ya sea en base a ramas (enramados) o en base a arena.

En experiencias en ecosistemas áridos de Australia, por ejemplo, se reconstruyeron montículos naturales mediante el emplazamiento de estructuras artificiales en base a pilas entrelazadas de ramas (o enramados). Al cabo de tres años esta técnica favoreció un aumento en el contenido de N y C en el suelo, la capacidad de intercambio del mismo, las tasas de infiltración de agua, la tasa de respiración de microorganismos y la moderación de temperaturas extremas (Tongway & Ludwig 1996). Dichos cambios en suelo, promovieron a su vez, el establecimiento y crecimiento de pastos perennes y los enramados funcionaron como refugios para plantines ante sequías (Ludwig & Tongway 1996). En esta experiencia, los enramados resultaron efectivos incluso en presencia de ganado. Hasta el momento, y para los montículos artificiales en base a ramas, no se han hecho experimentos de prueba de sistemas de soporte, ya que las zonas donde se han llevado a cabo estas experiencias carecen de vientos intensos y los mismos se vuelven innecesarios.

En EEUU, en experiencias de restauración en el desierto de Yuha, California, se construyeron montículos artificiales en base a arena y, en este caso, se probaron distintos sistemas de soporte: geomantas de fibra de coco, coberturas de compostaje vegetal, y cercos de plástico a sotavento. Luego de cuatro años de investigación, se pudo concluir que los soportes más estables eran los dos últimos (Bainbridge 1999).

En sistemas áridos de Patagonia, para la elección del tipo de montículo artificial a utilizar debe considerarse previamente la disponibilidad de arena y/o ramas en el ambiente en relación a la cantidad necesaria, así como la incidencia de los factores de riesgo de restauración.

En este trabajo, se seleccionó como técnica de rehabilitación la técnica de enramado sobre la de montículos artificiales en base a arena debido a su menor costo, mayor facilidad de transporte, mayor disponibilidad de ramas y mayor accesibilidad (<5 km) en la zona de trabajo.

DESARROLLO

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es evaluar la resistencia de enramados a los principales factores de riesgo de destrucción (vientos intensos -riesgo natural- y pisoteo de ganado -riesgo antrópico-) y calibrar aspectos técnicos del método, de modo tal de brindar una solución realista de rehabilitación considerando el contexto ambiental y social de la región (p.e. imposibilidad de excluir ganado) .

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en una explanada abandonada en el año 2000, en el área de explotación de hidrocarburos “Agua Salada”, yacimiento La Jarilla, operado por Tecpetrol S.A. Ubicada en la provincia de Río Negro (39° 00' S, 68° 30' W), el área pertenece a la unidad fitogeográfica del Monte (Cabrera & Willink 1973), subunidad Monte Austral (León et al. 1998).

DISEÑO DEL ENRAMADO, CONSTRUCCIÓN Y TÉCNICAS DE INSTALACIÓN

En abril de 2002, se montaron en la explanada 20 enramados artificiales imitando a los montículos naturales. La técnica de enramado fue calibrada en base a siete componentes principales, dos de ellos experimentales:

Preparación del Terreno

Forma (experimental)

Cantidad de Ramas (experimental)

Tamaño

Selección de la Especie para la Construcción de Enramados

Sistema de Montaje de ramas

Sistema de soporte

La forma (circular o rectangular) y la cantidad de ramas (25 vs 50 kg) de los enramados son los factores que están siendo evaluados experimentalmente.

Componente 1. Preparación del Terreno

En las explanadas petroleras la compactación del suelo es cuatro veces mayor que en el área natural (Tchilinguirian com. pers). Al aumentar la densidad del suelo, disminuye la infiltración de agua y de nutrientes, aumenta el escurrimiento superficial y el crecimiento de raíces vegetales en profundidad se ve impedido. Por lo tanto para iniciar trabajos de restauración de explanadas petroleras, es imprescindible preparar el terreno.

En este trabajo, la compactación del suelo se alivió manualmente (por remoción hacia los laterales) hasta 10/15 cm de profundidad, previo a la instalación de los montículos artificiales. Ya que es fundamental, a los efectos de la rehabilitación ecológica, lograr un buen drenaje del agua de lluvia y una buena acumulación de recursos limitantes hacia los enramados, sobre el reborde de arena formado por la remoción (dentro del cual se emplazarán las ramas), se construyeron canaletas para drenaje cada 1 m. En esta experiencia, no se utilizó maquinaria para la descompactación ya que no era necesario para cumplir el objetivo planteado previamente.

Para la práctica de restauración real (no experimentos), es recomendable utilizar un subsolador (SERG 2001.b) a fin de eliminar la compactación en profundidad que, por ser muy extrema, puede impedir el crecimiento de raíces. El subsolado se realiza con pasadas sucesivas cada 0,50 m y a una profundidad de 0,20 a 0,40 m, según la profundidad del horizonte petrocálcico. En el área de estudio, dicho horizonte se encuentra, entre 0,2 a 0,5 m de profundidad según la explanada.

Componentes 2 y 3 (experimentales). Forma y Cantidad de Ramas

La **forma** es un componente relevante a considerar al construir enramados, ya que varía naturalmente en los distintos ecosistemas áridos y semiáridos (Aguiar & Sala 1997) y podría condicionar fuertemente las funciones de rehabilitación clave del enramado.

En ecosistemas áridos de Norteamérica, África y Australia (Alice Spring, Australia Central; Lake Mere, este de Australia; Burao, Somalia; Jebel Mandara, Sudan; desierto de Chihuahua, Mexico) la vegetación se dispone en forma de bandas (más similares a rectángulos); mientras que en regiones de Norte y Sudamérica (Río Mayo y Puerto Madryn, Argentina; Los Dominicos, Chile; Saguaro National Park, USA) la vegetación se dispone de manera circular (Aguiar & Sala 1997).

Sin embargo, en Australia se ha detectado que la “forma tipo bandas” puede variar en un área muy pequeña desde continua hasta círculos, presentando las formas más alargadas una mayor eficiencia en la captura del agua de escurrimiento con relación a las formas más circulares (Tongway & Ludwig 1999). Si bien esto puede deberse a que esta forma es más propicia en Australia, en este experimento, se probaron ambas formas de montículos (circular y rectangular), a fin de determinar cuál es la más adecuada para rehabilitar explanadas en el Monte Austral.

Por otro lado, al construir enramados es importante tener en cuenta la **cantidad de ramas** (estimada en peso) porque, si puede lograrse el mismo efecto de rehabilitación con una menor cantidad de ramas, se evitan impactos acumulativos por corte innecesario de ramas de plantas pertenecientes al área natural. En nuestro trabajo, se pesaron en el campo las ramas del área efectiva (área total menos área de amortiguación a vientos intensos, ver **Figura 3.**

En base a estos criterios, se instalaron en la explanada cuatro tipos de enramados, cada uno de los cuales posee un área de amortiguación (construida con el propósito de evitar la destrucción del área núcleo o efectiva) y un área de rehabilitación efectiva que ubicada dentro de aquella:

- (1) **enramado circular**: posee un área total de 4 m de diámetro y un área efectiva de 3.5 m de diámetro.
 - a- enramado circular laxo: 23.9 kg de ramas.
 - b- enramado circular denso: posee el doble de peso, 43.7 kg.
- (2) **enramado rectangular**: posee un área total de 2 x 7 m y un área efectiva de 1.5 x 6.5 m.
 - a- enramado rectangular laxo: se completó con 26.6 kg de ramas.
 - b- enramado rectangular denso: posee el doble de peso, 53.2 kg.

Para validar experimentalmente los cambios producidos en función de estos dos componentes, en un área de 60 x 106 m de dicha explanada, se ubicaron al azar sobre una transecta o línea, estos cuatro tipos de enramados (a, b, c y d) y una parcela control, replicados cinco veces.

Componente 4 . Tamaño

La superficie que ocupa el enramado podría afectar la ocurrencia de procesos clave dentro del mismo ya que al cambiar el tamaño, varía el perímetro y se ve modificado el “efecto borde”. El tamaño de los montículos naturales en el Monte Austral varía 6 y 40 m² (Asorey 2001).

En este experimento, cada uno de los enramados se construyó con un área efectiva de 10 m² y un área de amortiguación al viento de 0, 25 m de ancho. El área total de los enramados es de 12 m² -en el caso de los círculos- y de 14,6 m² -en el caso de los rectángulos- (Figura 1).

Componente 5. Selección de la Especie para la Construcción de Enramados

Al seleccionar la especie para la construcción de enramados se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- accesibilidad o cercanía a las explanadas: de esta manera se reducen los costos de transporte;
- tiempo medio de degradación: de forma que las ramas no se degraden demasiado lento ni demasiado rápido como para que no lleguen a asentarse los montículos;
- abundancia o disponibilidad: debe ser alta; de esta manera se reducen los costos para su obtención (tiempo de búsqueda);
- evitar impactos acumulativos: la especie no debe ser explotada a gran escala por los pobladores de la zona, de esta manera se evita la sobreexplotación de una especie en particular;
- tasa de crecimiento del arbusto: debe ser relativamente alta a fin de evitar un agotamiento del recurso;
- origen: especie nativa o exótica, de no ser nativa se fomentaría el cultivo de especies exóticas en la zona produciendo impactos acumulativos.

En nuestro caso, teniendo en cuenta todos esos aspectos, la especie finalmente escogida para la construcción de enramados fue la jarilla (*Larrea divaricata*; aunque también pueden utilizarse ejemplares del mismo género de *L. cuneifolia* según cuál sea el microhábitat). Esta especie fue seleccionada debido a que es una de la más abundantes en la zona de estudio junto con *Atriplex lampa* (Reichmann *et al* 2003). Además es una especie que no es explotada a gran escala por los pobladores de la zona, como sucede con otras especies tales como *Prosopis alpataco* y *Monthea aphyla* (matasebo), que son comercializadas como leña y cuya abundancia se ve afectada por ser arbustos de baja tasa de crecimiento. La jarilla tendría un tiempo de degradación medio y se iría asentando con el tiempo. Además, la jarilla es un arbusto con una tasa de crecimiento mayor que los otros arbustos propuestos y puede ser podada teniendo la precaución de no dañarlas. Para la poda se toma como patrón general un corte de no más de tres (3) ramas grandes por ejemplar y se realizan cortes al bies, de modo que el agua de lluvia no humedezca los cortes promoviendo el ataque de hongos y patógenos.

Se contempló además la posibilidad de utilizar restos de tala de álamo (especie exótica) para la construcción de los mismos, pero fue descartada ya que es una madera con mayor contenido de lignina (más dura) y de mayor dificultad de degradación que la jarilla. Además presenta la desventaja de estar más alejada de los sitios experimentales lo cual incrementa el costo de transporte de material.

Componente 6. Sistema de montaje de ramas

Para maximizar la resistencia del enramado a los fuertes vientos patagónicos (100-150 km/h), al pisoteo por parte del ganado y otros agentes que podrían causar destrucción, es fundamental utilizar un buen sistema de montaje, el cual, en base a la experiencia adquirida, debería considerar tres factores:

- longitud de las ramas colocadas,
- formas de aumentar la resistencia del enramado,
Soluciones posibles:
 - a- instalar una zona de refuerzo de ramas para amortiguación de los vientos patagónicos
 - b- entrelazar las ramas
 - c- colocar las ramas de manera alterna
- formas de disminuir el rozamiento del viento,
Soluciones posibles:
 - a- enterrar la base de las ramas,
 - b- disponer las ramas de manera cóncava (minimizando las ramas sobresalientes)
 - c- posicionar las ramas teniendo en cuenta la dirección de los vientos predominantes.

En nuestro caso particular, en la zona de amortiguación al viento, se colocaron 12 ramas de tamaño similar en sentido antihorario y perfectamente entrelazadas entre sí.

En la zona efectiva, en el caso de los enramados rectangulares, se tuvo en cuenta la longitud de las ramas seleccionadas dado que las ramas ubicadas en orientación SW debían ser más cortas que las ubicadas en la posición opuesta y se seleccionó una proporción de ramas de distinta longitud. En el caso de enramados densos, se seleccionaron 30 ramas largas y 30 cortas, y en el caso de los enramados laxos se seleccionaron 20 ramas largas y 6 cortas. Para los enramados circulares no se tuvo en cuenta la longitud de las ramas pero sí la cantidad de las mismas. Para los enramados circulares densos se pesaron 44 ramas y para los enramados laxos, 20 ramas aproximadamente. Las ramas se colocaron de manera alterna, cóncava, entrelazadas entre sí y enterrando, en la medida de lo posible, la base de las mismas. Además fueron colocadas en una disposición determinada según el tipo de enramado (Figura 3 y Figura 4)).

Componente 7. Sistema de soporte

Un sistema de soporte adecuado en ambientes donde el viento es intenso y/o existen otros agentes de destrucción potenciales, como por ejemplo el pisoteo por ganado, puede aumentar en gran medida la estabilidad de los enramados. La elección del sistema de soporte dependerá de la intensidad de los vientos, la intensidad de la luz solar y otros agentes de destrucción en la zona de trabajo y está acotada al tipo de material con el que se construyó el montículo. Si se utilizó arena, deberá emplearse un soporte de enramado fino, en cambio si se utilizaron sólo ramas deberá utilizarse uno de enramado grueso que permita la acumulación de sedimentos y materia orgánica en el mismo.

Existen diversos tipos de sistemas de soporte que podrían utilizarse (ver Tabla 2), en caso de que éste sea necesario. En nuestro caso, al elegir el sistema de soporte contemplamos la posibilidad de utilizar tres tipos de sistema de soporte que incluían geomantas, geogrillas y un sistema de alambre y estacas. Finalmente seleccionamos el último tipo en base a los siguientes criterios:

- 1- Costo: el costo intrínseco de los materiales alambre y estacas es menor y su menor peso disminuye los costos de transporte.
- 2- Tamaño de “grilla”: más adecuado, el montículo artificial en base a ramas debe estar asociado a un sistema de soporte que permita la entrada y acumulación de sedimentos y hojarasca. Una geomanta lo impide seriamente y es más útil para restauración de otro tipo de ecosistemas.
- 3- Facilidad de montaje: mayor.
- 4- Facilidad de transporte: el alambre y las estacas son más manipulables que los rollos de geotextil y geomantas fundamentalmente por ser materiales más livianos y de menor porte.
- 5- Cantidad de material no degradable agregado al sistema: menor. Las geomantas de fibra de coco que son fotodegradables, no están diseñadas para resistir en el ambiente el tiempo necesario para reconstruir montículos, las geogrillas por tener un tamaño de grilla pequeño implican el uso de una gran cantidad de material no degradable, en cambio el alambre y las estacas involucran una cantidad de material introducido al sistema mucho menor.

Los enramados fueron sostenidos mediante

- ocho estacas de acero perimetrales de 17 cm de longitud cada una, enterradas por completo en el suelo, sobre las cuales se tensó el alambre de manera firme
- una estaca central, en la cual se colocó el número de enramado; y alambre galvanizado .

ESTIMACIÓN DE COSTOS

Los costos se calculan considerando las siguientes especificaciones:

- 1- Maquinaria agrícola disponible a menos de 50Km del área a rehabilitar y subsolado de 1ha
- 2- Trabajo de poda con motosierra
- 3- Arbustos a menos de 5 Km del área de rehabilitación.
- 4- Cuadrilla de tres jornaleros durante 6 días (incluye transporte de ramas, pesaje, construcción de enramados e instalación del sistema de soporte)

A- Personal

Para una hipotética práctica de rehabilitación que incluyó la construcción de 20 enramados se calculan los siguientes costos:

Requerimientos	Especificación	Unidad	Cantidad requerida
Subsolado	1	días/hombre	0.5
Poda de ramas	2	días/hombre	1
Transporte de ramas	3,4	días/hombre	0.5
Construcción de enramados	4	días/hombre	18
Total		días/hombre	20

Total por enramado (días / hombre)	1
--	---

B- Materiales

Requerimientos	Unidad	Cantidad requerida	Costo unitario (U\$S)	Costo (U\$S)
Alambre galvanizado	M	35	0.33	11.5
Estacas de hierro	Estaca	8	0.69	5.5

Total por enramado	U\$S 17
---------------------------	----------------

RESULTADOS

Al cabo de 17 meses de funcionamiento, los cuatro tipos de montículos artificiales han resistido no sólo a los vientos patagónicos (ráfagas > 100 km/h), sino también a la perturbación recurrente ocasionada por el ganado presente en el sitio.

Se observó la **presencia de cabras, caballos y vacas** alimentándose de las plantas de mayor altura presentes en los enramados, sin embargo, las mismas no fueron dañadas severamente, gracias a la protección que le proporcionan las ramas. Además, los enramados, en su mayoría se mantuvieron intactos, siendo éste un buen indicador de resistencia.

Los ocho enramados circulares poseen ocho alambres tensados cada uno y los ocho enramados rectangulares poseen 10 alambres tensados cada uno. Esto constituye un total de 146 alambres tensados de los cuales sólo se encontraron dos cortados, uno en un círculo laxo y otro en un círculo denso. Esto establece un 98,6% de eficiencia de resistencia de los alambres al pisoteo y a las fuertes ráfagas patagónicas (110 km/h). Por otro lado, los alambres están tensados en ocho estacas por enramado, lo que constituye un total de 128 estacas, de las cuales sólo dos se soltaron, mostrando un 98,4 %de resistencia.

Estos hechos destacan la elevada firmeza y resistencia del sistema de soporte frente a las agresiones del viento y el ganado.

Respuesta de la vegetación y la fauna a los montículos artificiales

La respuesta ecológica a los enramados, que está siendo evaluada simultáneamente (Zuleta *et al.* 2003), mostró que esta técnica mejora la condición del hábitat tanto para la vegetación (aumento significativo de la cobertura) como para la fauna (mayor actividad de reptiles, aves y mamíferos), en comparación con los sitios no rehabilitados (controles). Este hecho podría aumentar la cantidad de materia orgánica aportada al suelo tanto en forma de hojarasca como de heces por parte de la fauna.

CONCLUSIONES

Los enramados representan una técnica adecuada para reconstruir montículos resistentes a los factores regionales de riesgo que amenazan su integridad estructural y, al menos durante los primeros 17 meses, un método efectivo para acelerar significativamente el establecimiento y crecimiento de la vegetación en ambientes semiáridos severamente perturbados. Además, se presenta como una opción alentadora de rehabilitación, utilizada tanto como técnica principal o como técnica complementaria, debido a que con un costo relativamente bajo y alta eficiencia comparativos, podría aumentar la eficacia de rehabilitación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, M.R. and Sala. O.E. 1997. Seed distribution constrains the dynamics of the Patagonian steppe, *Ecology*. 78: 93-100.
- Asorey, 2001. "Análisis de las características morfológicas de los montículos de arena y su relación con la vegetación en el área Agua Salada, Provincia de Río Negro"
- Bainbridge, David. Mesquite Dune Experiments Area in the Yutha Desert, California. Soil Ecology Restoration Group. December 1999.
- Cabrera A. L. And A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington. 122 pp.
- Erwig, Kern. 2002. Mounding as a technique for Restoration of Prairie on a Capped Landfill in the Puget Sound Lowlands. *Restoration Ecology* 10, 2: 289-296.
- Fernández A. 2002. Respuesta de la fauna modificadora del suelo a la regeneración natural de explanadas petroleras del Monte. Universidad Maimónides. Buenos Aires. 54 págs.
- León, R. J. C., D. Bran, M. Collantes, J. M. Paruelo and A. Soriano. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral* 8: 125-144.
- Ludwig, J. A. and Tongway. 1996. Rehabilitation of semiarid landscapes in Australia. II. Restoring Vegetation Patches. *Restoration Ecology* 4: 398-406.
- Ludwig, J. A., Tongway D. J and Mardsen S. G. 1999. Stripes, strands or stripplles: modelling the influence of three landscape banding patterns on resourcecapture and productivity in semiarid woodlands, Australia. *Catena* 37: 257-273.
- Maestre F.T, S. Bautista, J. Cortina and J. Bellot. 2001. Potencial for using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications*, 11(6): 1641-1655.
- Noy- Meir. 1973. Desert ecosystems environment and producers *Annual Review Ecol. Syst.* 4: 25-41
- Noy- Meir. 1981. Spatial effects in modeling arid ecosystems, in *aridland ecosystem structure, functioning and management (Vol 2)* (Goodall, D.W. and Perry, R. A. eds), pp 411-432. Cambridge university press
- Paruelo, J. M, E. G. Jobbágy and O. E. Sala. 1998. Biozones of Patagonia (Argentina). *Ecología Austral* 8: 145-153.
- Reichmann, L.G., G.A. Zuleta and S.B. Perelman. 2003.b. Floristic changes and natural habitat regeneration of semiarid shrub steppes in abandoned oil fields, Patagonia, Argentina. 15th Annual International Conference of the Society for Ecological Restoration (Austin, Texas, USA).
- Schlesinger W.H., J. A Raikes, A. E. Hartley and A. F. Cross. 1996. On the special pattern of soil nutrients in desert ecosystems.
- SERG 2000 . Revegetation And Erosion Control Valley Of Death / Hill 760 Project Areas At National Training Center Fort Irwin Ca 92310. Final Project Report. www.serg.sdsu.edu.
- SERG, 2001 a. Revegetation And Erosion Control Nelson Lake Project Area at National Training Center (Ntc) Fort Irwin, Ca. Final Project Report. www.serg.sdsu.edu
- SERG, 2001 b. Surface shaping to improve grass establishment. www.serg.sdsu.edu
- Tongway, D. J. and J. A. Ludwig. 1996. Rehabilitation of semiarid Landscapes in Australia. I. Restoring Productive Soil Patches. *Restoration Ecology* 4: 388-397.
- Zuleta G. A., M. C. Li Puma, A. D. Bustamante Leiva. 2003. Initial effects of branching designs to restored semiarid shrub steppes in abandoned oil and gas locations of Patagonia, Argentina. SER's 15th Annual International Conference. Assembling the Pieces: Restoration, Landscape Ecology & Design. Austin, Texas, USA.

Tabla 1. Criterios de funciones clave de los montículos

Acumulación de sedimentos y materia orgánica
Captura de semillas
Aumento de humedad en el suelo
Atenuación de temperaturas extremas
Atenuación de daños por radiación solar
Protección (de semillas y plantines) contra herbivoría
Retención de nutrientes

Tabla 2. Sistemas de soporte

Tipo de sistema de soporte	Fuente
Geomantas Filamentos gruesos de poliamida (nylon) aleatoriamente dispuestos, fundidos en los puntos de contacto forman una estructura tridimensional densa con un 90% de su volumen constituido por espacios vacíos	
(a) de polipropileno o etileno (menor densidad)	
(b) de fibra de coco (fotodegradables)	Bainbridge 1999
Geogrillas	
(a) de poliéster revestida en PVC	
(b) de poliéster revestida en látex	
Alambre galvanizado y estacas (para el caso de reconstrucción de montículos en base a ramas únicamente)	
Coberturas de compost vegetal	Bainbridge 1999
Cercos de plástico a sotavento	Bainbridge 1999

Figura 1. Detalle del área total y el área efectiva de los dos tipos de enramados.

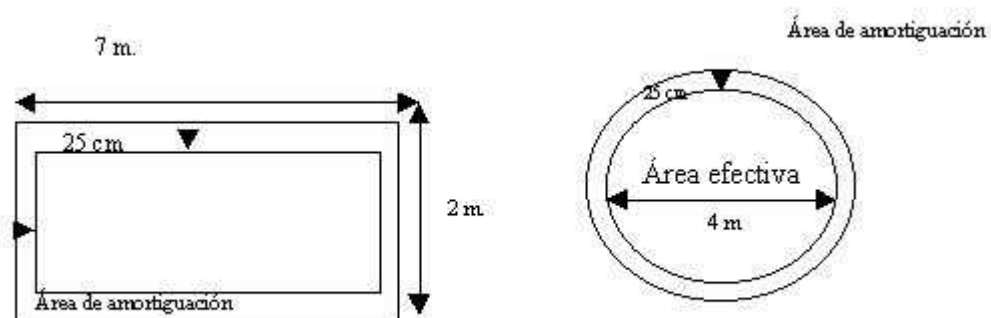
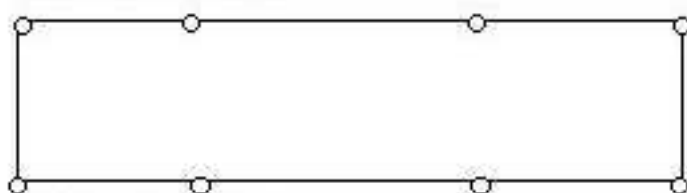


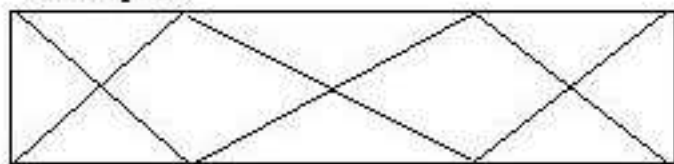
Figura 2. Instalación del sistema de soporte de enramados.

Colocación de estacas:

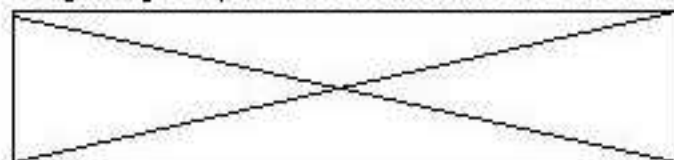


Colocación de alambre:

Primer paso:



Segundo paso: (El alambre también se tensó en la estaca central)



Tercer paso:



Diseño final:

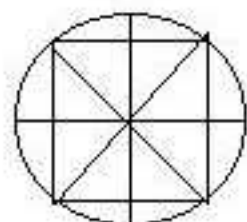
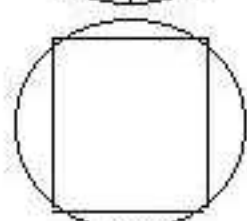
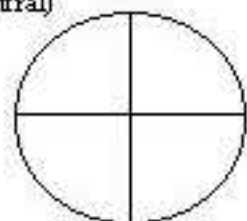
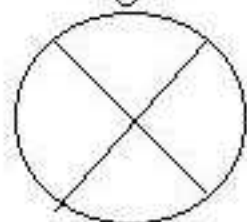
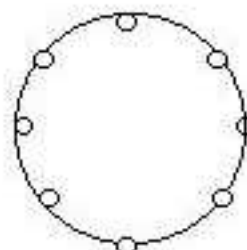
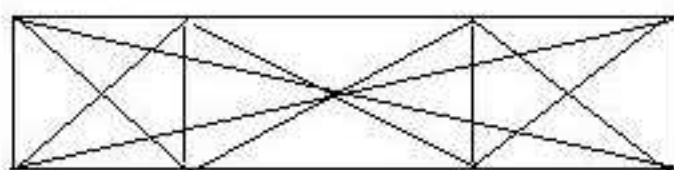


Figura 3. Sistema de montaje de ramas en los enramados rectangulares

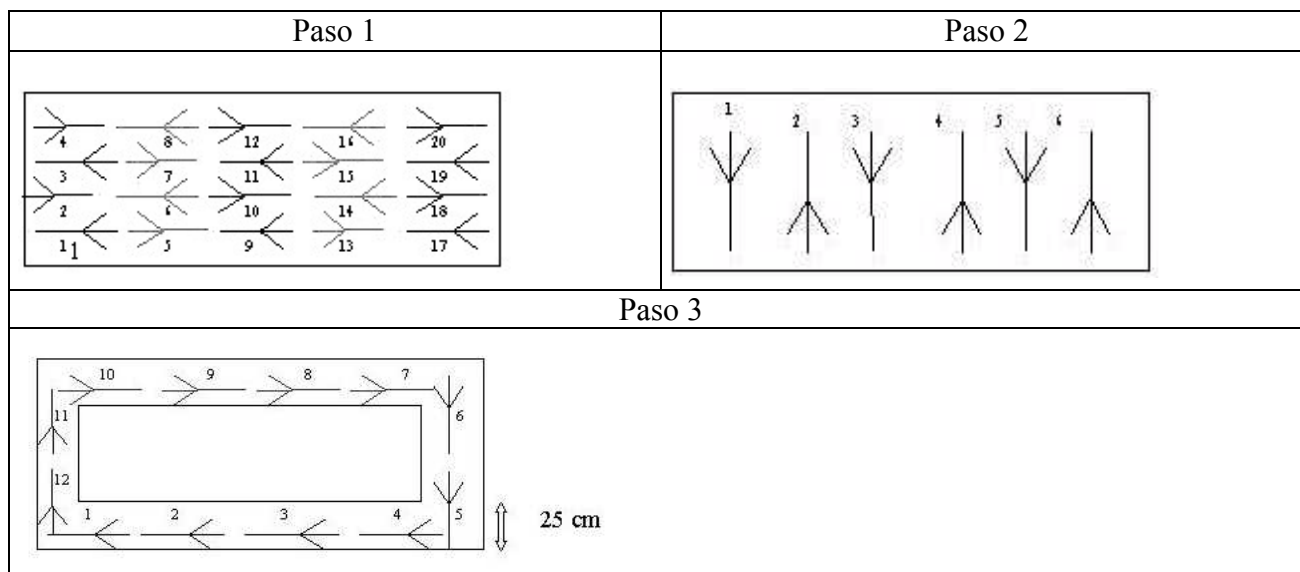
Rectángulo laxo:

Paso 0: Pesaje de ramas.

Paso 1: Ubicación de 20 ramas largas de a 4 por columna formando 5 columnas

Paso 2: Ubicación de 6 ramas cortas de manera transversal y cóncava de manera que sujeten las ramas colocadas previamente

Paso 3: Colocación de 12 ramas en el área de amortiguación, bien entrelazadas, de tamaño similar, en sentido antihorario (no se incluyeron en el peso total).



Rectángulo denso:

Paso 0: Pesaje de ramas.

Paso 1: Ubicación de 20 ramas largas de a 4 por columna formando 5 columnas del mismo modo que en el rectángulo laxo.

Paso 2: Ubicación de 30 ramas cortas en 2 capas de manera transversal y cóncava de manera que sujeten las ramas colocadas previamente

Paso 3: Colocación de las 10 ramas largas restantes

Paso 4: Colocación de colocaron 12 ramas en el área de amortiguación, bien entrelazadas de tamaño similar (Ver Paso 3 enramado rectangular laxo)

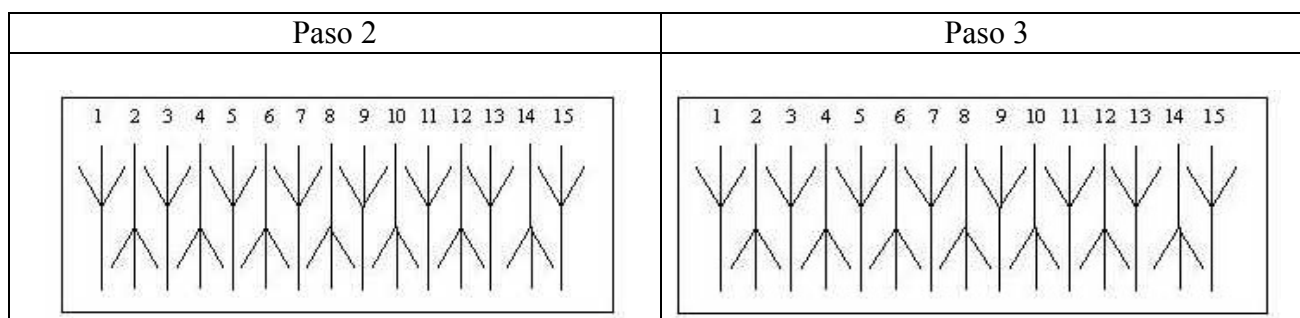


Figura 4 Sistema de montaje de ramas en los enramados circulares

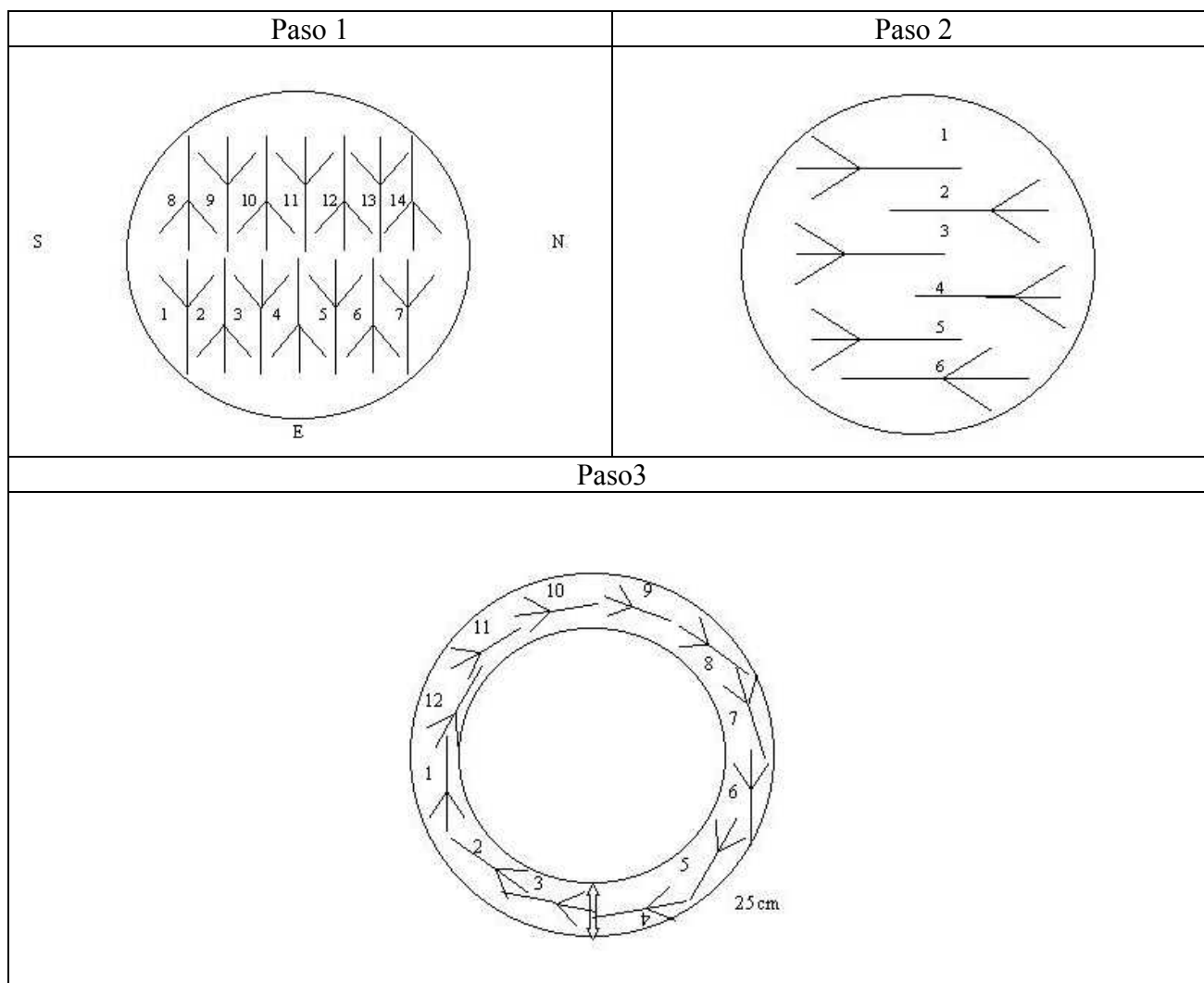
Círculo laxo:

Paso 0: Pesaje de ramas.

Paso 1: Ubicación de 14 ramas en dos filas de 7 ramas cada una. Las ramas enfrentadas se entrelazan entre sí.

Paso 2: Colocación de las 6 ramas restantes de manera cóncava sobre las anteriores de manera que sujeten las ramas colocadas previamente.

Paso 3: Colocación de 12 ramas en el área de amortiguación, bien entrelazadas, de tamaño similar, en sentido antihorario (no se incluyeron en el peso total).



Círculo denso:

Paso 0: Pesaje de ramas.

Paso 1: Ubicación de 24 ramas de igual manera que en el círculo laxo pero en dos filas enfrentadas de 12 ramas cada una. Las ramas enfrentadas se entrelazan entre sí.

Paso 2: Colocación de 10 ramas no enfrentadas, con los cabos hacia afuera y de manera cóncava sobre las anteriores de manera que sujeten las ramas colocadas previamente.

Paso 3: 10 ramas se colocaron no enfrentadas, con los cabos hacia adentro y de manera cóncava sobre las anteriores de manera tal que sujetasen las ramas colocadas previamente.

Paso 4 : Colocación de 12 ramas en el área de amortiguación, bien entrelazadas, de tamaño similar, en sentido antihorario (no se incluyeron en el peso total), (Ver Paso 3 enramado circular laxo).

