

EFFECTO DEL USO DE OBRAS DE CONSERVACIÓN DE AGUA Y SUELO (OCAS) EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y EN LA RESPUESTA EN CRECIMIENTO DE PLANTAS AGROFORESTALES EN SECANO. REGIÓN DE COQUIMBO

Hernández, José¹; Gacitúa, Sandra¹; González, Marlene¹;
Silva, Sergio¹; Toro, Jorge² y, Montenegro Jaime¹.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto del uso de Obras de Conservación de Agua y Suelo (OCAS) en las propiedades físico-químicas e hídricas del suelo y su relación con el crecimiento y sobrevivencia de plantas agroforestales en zonas de secano de la región de Coquimbo, se estudió el crecimiento y sobrevivencia de plantas establecidas dentro de sectores con aplicación de OCAS y en sectores que no recibieron estas obras de conservación.

Se realizaron mediciones de crecimiento en altura ($\pm 0,1$ cm), diámetro ($\pm 0,1$ mm) y Supervivencia de las plantas (%) cada 3 meses, durante 17 meses, y se registraron propiedades físico – químicas e hídricas de los suelos. Las OCAS mostraron un efecto significativo en las variables mencionadas y también en las propiedades físicas e hídricas del suelo, reduciendo la densidad aparente independiente de la profundidad del suelo y mejorando los parámetros hídricos relacionados con la capacidad de retención de agua y la sobrevivencia de las plantas.

Palabras clave: Conservación de Suelos y Agua, Agroforestería, Zonas de Secano

SUMMARY

In order to evaluate the water and soils conservation practices effect on the physical, chemical and hydrological soil properties, and its relationship to the growth and survival of seedlings planted in agroforestry systems in the dryland zone of the Coquimbo region, experimental plantations were studied under these practices and without soil treatments as a control.

Plant responses in height (cm) and diameter (mm) growth, and survival average, were evaluated in 3 months periods during 17 months and soil physical, chemical and hydric properties were registered. The conservation practices showed a significative effect on the mentioned variables and also on the soil properties, reducing the apparent density, independently of soil depth, and improving the hydrological parameters related to water retention capacity and plants survival.

Key words: Soils and Water Conservation, Agroforestry, Dryland Zones

¹ Investigadores, Instituto Forestal, Chile. sgacitua@infor.cl

² Profesor Área Agroindustrial, Ingeniería Agrícola. INACAP, Sede Temuco.

INTRODUCCIÓN

En la zona norte de Chile, en particular en el secano de la región de Coquimbo, es necesario desarrollar una agricultura sustentable, dado que la actividad silvoagropecuaria depende principalmente de los niveles de precipitación. Este factor es la principal limitante climática y está caracterizada por presentar una fuerte estacionalidad, con precipitaciones concentradas en la época invernal y con recurrentes y prolongados períodos de sequía, situación que se ha visto agudizada por el cambio climático.

La agricultura de secano es desarrollada principalmente por pequeños propietarios campesinos y comunidades agrícolas, que en base al trabajo familiar generan distintos productos, siendo la ganadería la principal fuente de ingresos, complementada con algunos cultivos de cereales como trigo y cebada. Sin embargo, la productividad de sus unidades prediales ha disminuido gradualmente debido a una significativa pérdida de suelo causada por la aplicación de malas prácticas silvoagropecuarias.

En este contexto, el Instituto Forestal está desarrollado exitosamente diversos programas y proyectos asociados a la aplicación de tecnologías que permiten aprovechar al máximo la escorrentía superficial de las aguas lluvia, concentrando su disponibilidad en diferentes tipos de obras de conservación de agua y suelos (OCAS), con el propósito de mejorar su infiltración, evitar la erosión y aumentar la productividad en algunos sectores con especies forrajeras y madereras (Perret *et al.*, 2011).

A la fecha, no existen antecedentes técnicos sobre efecto del uso de las OCAS en las propiedades del suelo, factor abiótico importante en la gestión de los ecosistemas. Un manejo adecuado de este recurso permitiría, que las formaciones vegetales naturales prosperen y los cultivos obtengan los nutrientes y la humedad necesaria para su completo desarrollo.

OBJETIVOS

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del uso de Obras de Conservación de Agua y Suelo (OCAS) sobre las propiedades físico-químicas e hídricas del suelo y su relación con crecimiento y supervivencia de plantas agroforestales en zonas de secano de la región de Coquimbo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Unidad de Estudio

El estudio se estableció al sur de la región de Coquimbo, provincia de Choapa, comuna de Canela, en un sector correspondiente a la Comunidad Agrícola Carquindaño (Figura N° 1).

Los suelos de la comuna de Canela se encuentran entre los más antiguos del país, debido a lo cual la acumulación de arcillas que se observa en el perfil adquiere gran importancia, llegando a constituir duripanes que limitan la penetración de las raíces.

Además de esta condición general de baja productividad natural, la topografía dominante agrega riesgos de erosión y alteraciones locales a los patrones imperantes en el orden regional (CIREN, 2012).

Los suelos de la comuna en su mayoría son de clase IV, VI, VII y VIII, solo en algunos sectores cercanos a los drenes importantes del sistema hídrico como el río Choapa, quebrada de Atelcura, estero Millahue y estero Canela, se localizan en forma muy reducida suelos con mayor capacidad de uso, que en todo caso no superan la clase IIIs (GORE Coquimbo, 2016).

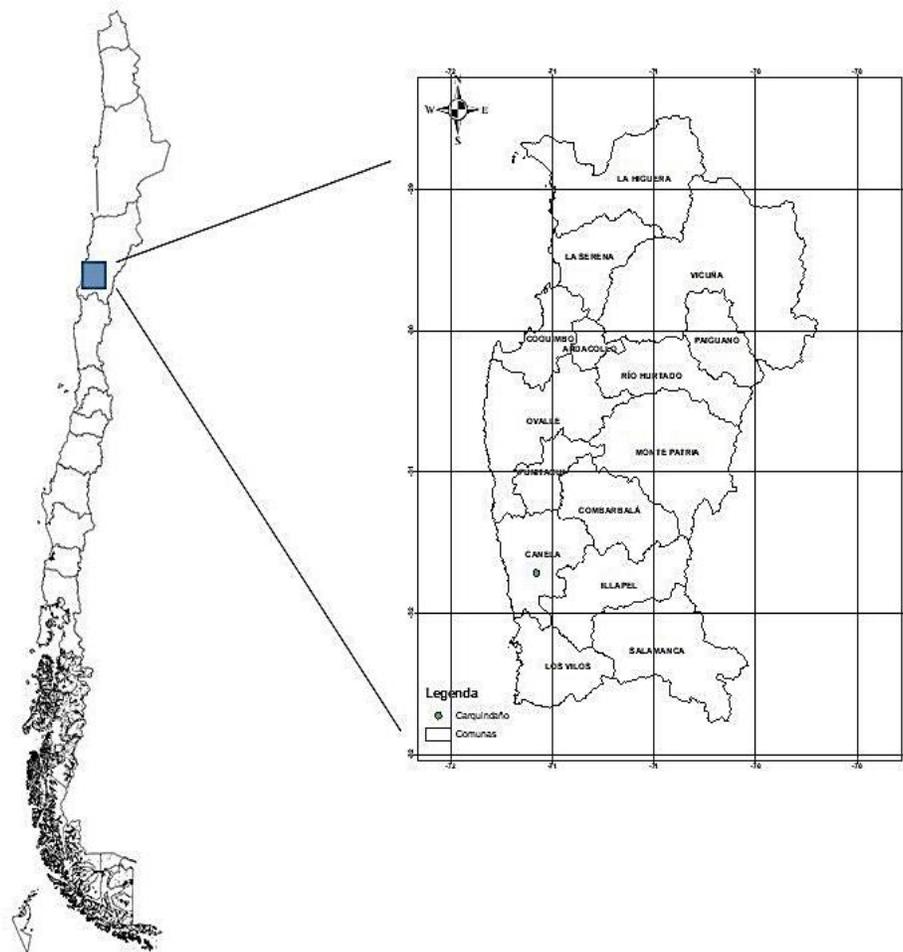


Figura N° 1
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL SITIO DE ESTUDIO
(COMUNIDAD AGRÍCOLA CARQUINDAÑO)

La erosión se presenta en la mayor parte de los suelos de la comuna, generando la pérdida de material orgánico en su estructura superficial, todo esto como resultado en gran medida del mal manejo dado por el sobrepastoreo, la extracción de leña, la aradura de suelos en pendientes y el monocultivo de cereales.

Todos estos factores inciden en la degradación del recurso, ya que quedan potencialmente expuestos a los efectos de la lluvia y escurrimiento superficial (GORE Coquimbo, 2016).

En julio del 2017 se seleccionó un área de una superficie aproximada de 1,0 ha donde se diseñaron y construyeron diferentes obras de conservación de agua y suelo (OCAS), entre ellas surcos en media luna, zanjias de infiltración y limanes (Figura N° 2).

En estas obras se forestó con diferentes especies vegetales seleccionadas mediante la colaboración de los integrantes de la Comunidad a través de encuestas y consultas (Figura N° 3).



Figura N° 2
DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN DE AGUA- SUELO



A. Área de estudio. B. Día de campo con integrantes de las Comunidad.
 C.Trabajo directo con la Comunidad Agrícola. D.Surco en media luna.
 E. Zanja de Infiltración. F. Liman

Figura N° 3
ACTIVIDADES CON LA COMUNIDAD AGRÍCOLA DE CARQUINDAÑO

En la unidad de estudio se registraron variables ambientales y de suelo, como humedad relativa (%), temperatura ambiental (°C), precipitación (mm), radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$), humedad (m^3/m^3) y temperatura del suelo (°C).

Estas variables fueron registradas mediante el uso de sensores marca DECAGON conectados a un *logger* de la misma marca. Para la variable humedad del suelo los sensores fueron instalados a 60 cm de profundidad del suelo (Figura N° 4).



Figura N°4
INSTALACIÓN DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Tipos de OCAS y Especies Vegetales Usadas

En cada OCA construida se establecieron diversas especies agroforestales, tales como *Portieria chilensis* I. M. Johnst. (Guayacán), *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz Emend. Burkart var. Chilensis (Algarrobo), *Cordia decandra* Hooker et Arn. (Carbonillo), *Senna candolleana* (Vogel) Irw. & Barn (Quebracho chileno), *Acacia caven* (Mol.) Mol (Espino), *Acacia saligna* (Labill.) H. Wendl. (Acacia azul), *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze. (Tara), *Schinus molle* var. *Areira* (L) (Molle), *Ficus carica* L. (Higuera) y *Olea europea* L. (Olivo) (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
TIPO, NÚMERO DE OCAS INSTALADAS Y PLANTAS ESTABLECIDAS

Tipo Ocas	Ocas (N°)	Plantas (N°)
Surco en media luna	30	37
Zanja de infiltración	31	35
Liman	2	8
Sin OCAS	0	31
Total	63	111

Diseño Experimental

- Altura, Diámetro y Supervivencia de las Plantas

Cada tres meses, durante 17 meses (30 de octubre del 2018 hasta el 30 de marzo del 2020), fueron realizadas mediciones de crecimiento en altura ($\pm 0,1$ cm), diámetro de cuello ($\pm 0,1$ mm) y supervivencia (%).

Las diferencias entre obras (surco en media luna, zanja de infiltración y liman) se evaluaron mediante análisis de la varianza (ANDEVA). El análisis se realizó por obra y no se consideró la especie utilizada (Cuadro N° 1).

La homogeneidad de varianza fue evaluada mediante la prueba de Levene ($P < 0,05$). El supuesto de normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilks ($P < 0,05$). Para detectar diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la prueba de comparación múltiple Tukey, con un 95 % de confianza.

- **Análisis Químico, Físico de Suelos (Densidad Aparente) e Hídrico (Curva de Retención de Humedad).**

Corresponde a un diseño completamente aleatorio con tres repeticiones, considerando como factor las OCAS (con Ocas y sin OCAS) y la profundidad de suelo (0-20 y 20-40 cm). La unidad muestral está compuesta por una muestra de suelo de 200 g para la realización de los análisis químicos, repetida 3 veces.

Las muestras con y sin OCAS fueron colectadas en el año 2019, y secadas a 65 °C hasta llegar a peso constante. Para el análisis de nitrógeno se utilizó un analizador de nitrógeno y carbono NC 2100 (NC 2100 Soil, CE Instruments Ltd., Hindley Green, Wigan, UK), y en el caso de fósforo con espectrómetro UV/VIS (marca Perkin). Para el potasio y el magnesio se realizó una digestión en ácido nítrico mediante el método descrito por Jones y Case (1990) y las concentraciones de determinaron mediante un espectrómetro de emisión atómica (marca Perkin).

El carbono se registró mediante IRMS (espectrómetros de masas de relaciones isotópicas) de marca Sercon. La determinación de materia orgánica en el suelo fue realizada mediante el método de pérdida de peso por ignición WLOI (*Weight-Loss-On-Ignition*), (Magdoff, 1995). Para ello, una alícuota de 10 g de suelo ($\pm 0,01$ g) fue secada por 24 horas en horno a 105 °C para obtener el peso seco del suelo ($\pm 0,01$ g).

Posteriormente, las muestras fueron calcinadas en una mufla a 450 °C por 24 horas y pesadas ($\pm 0,01$ g) para obtener el peso calcinado. Previo al pesaje, se permitió que las muestras alcanzaran temperatura ambiente en un desecador. Se realizó un replica cada 10 muestras como medida de control del procedimiento. El contenido de materia orgánica (MO %) se determinó utilizando la fórmula:

$$MO(\%) = \frac{PSS - PSC}{PSS} * 100$$

Dónde: PSS: Peso seco del suelo (g)
PSC: Peso calcinado del suelo (g)

La densidad aparente (D_a) se determinó mediante muestras por unidad experimental a profundidades de 0 a 20 cm y 20 a 40 cm, tomadas con un barreno para muestreo de D_a con cilindros de 5 cm de diámetro.

Determinando el volumen de cada cilindro midiendo el diámetro y el alto de cada cilindro ($\pm 0,01$ mm) y el peso seco del suelo ($\pm 0,1$ g), la D_a se estimó mediante la fórmula:

$$Da = \frac{PSS}{VC}$$

Dónde: PSS: Peso seco del suelo (g)
Vc: Volumen del cilindro (cm³)

Los análisis de curva de retención de humedad (punto de marchitez permanente y capacidad de campo) se realizaron según la metodología descrita por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2004).

Al final del período fueron realizados análisis de varianza (ANDEVA) para evaluar el efecto de las OCAS en crecimiento en altura (cm) y diámetro de cuello (mm), en la supervivencia (%), en el de punto marchites permanente, en la capacidad de campo y en los macronutrientes del suelo.

La homogeneidad de varianza fue evaluada mediante la prueba de Levene ($P < 0,05$). El supuesto de normalidad de los residuos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilks ($P < 0,05$).

Para detectar diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la prueba de comparación múltiple Tukey, con un 95 % de confianza.

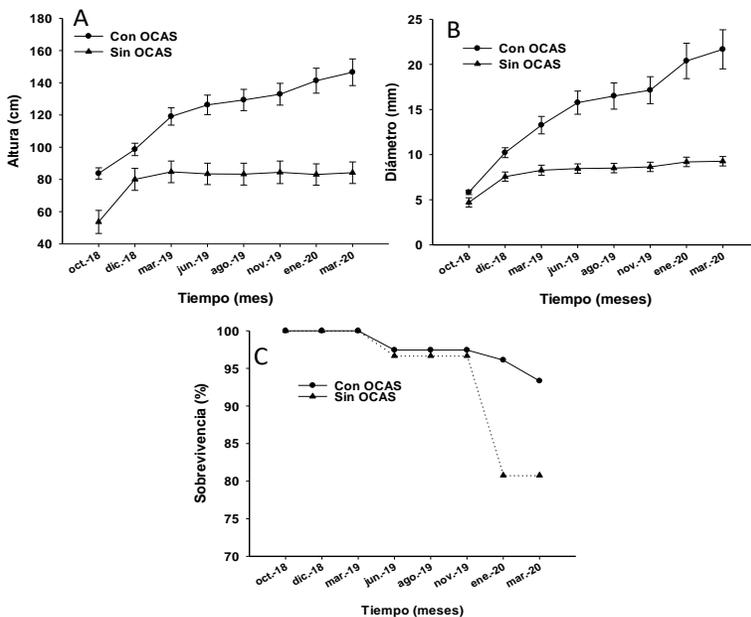
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las OCAS en el Crecimiento y Supervivencia de las Plantas

Las variables crecimiento en altura (cm), en diámetro (mm) y la supervivencia (%) de las plantas durante el periodo de evaluación (17 meses) se incrementaron significativamente (ANDEVA, $P \leq 0.001$) en las OCAS, variando desde 84 cm 9,2 mm y 81 % en plantas no establecidas en OCAS hasta 146 cm, 21,6 mm y 93 % en plantas establecidas en OCAS; un aumento de un 73%, 134 % y 14 % en el crecimiento altura, diámetro y sobrevivencia de las plantas, respectivamente (Figura N° 5).

Considerando el escenario edafoclimático existente, los resultados evidencian que los tratamientos utilizados en sectores intervenidos con OCAS generan un efecto significativo en la supervivencia (%) y en los crecimientos en diámetro (mm) y altura (cm), al ser comparados con aquellos sectores donde se realizó una plantación tradicional en casilla, es decir, sin OCAS (Figura N° 5).

El crecimiento de las plantas muestra una relación directa con las OCAS, reflejando la alta sensibilidad de las plantas a los posibles aumentos de contenido de humedad del suelo producto de estas obras.



- A.Efecto de las Ocas en el Crecimiento en Altura (cm)
 B.Efecto de las Ocas en el Crecimiento del Diámetro a la Altura de Cuello (mm)
 C.Efecto de las Ocas en la Supervivencia de las Plantas (%)

Figura N° 5
EFFECTO DE LAS OCAS EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE LAS PLANTAS

Investigaciones realizadas en la microcuenca del estero Barroso, en la región del Bio Bio arrojaron resultados similares a los obtenidos en este estudio, donde el contenido de humedad es superior en las situaciones donde se realizaron obras de conservación de aguas y suelo. A una profundidad de 15 cm, el contenido de humedad del suelo obtenido para las zanjas de infiltración y subsolado se incrementó en un 41% y 37%, respectivamente, al compararlos con áreas sin intervención (Pizarro y Saavedra, 1999).

Este incremento de la humedad tuvo un efecto significativo de las obras implementadas sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de *Pinus radiata*, el diámetro basal promedio y la altura de los árboles fue superior en el sector con zanjas en un 50% y un 64%, respectivamente (Pizarro y Saavedra, 1999). El patrón descrito por Pizarro y Saavedra (1999) fue reforzado por un estudio de Pérez (2001), quien documenta un incremento de 61% en la situación con zanjas de infiltración respecto a zona no intervenida.

Los resultados del presente estudio siguen el patrón descrito para el pino, y de esta manera refuerza la factibilidad técnica y los beneficios asociados al uso de estas obras para desarrollar y diversificar la productividad mediante modelos agroforestales.

Desde esta perspectiva, las OCAS son una estrategia que permite recuperar la capacidad productiva de los suelos altamente erosionados, permitiendo la oasisificación agroforestal de las zonas del secano de la región de Coquimbo, rescatando a su vez especies patrimoniales valiosas, con fines multipropósito (*Portieria chilensis*, *Cordia decandra*, *Prosopis chilensis*, *Senna Candolleana*, *Acacia caven*, *Acacia saligna*, *Caesalpinia spinosa* y *Schinus latifolius*, *Ficus Carica* y *Olea europea*).

Lo anterior, es de la mayor importancia considerando que, a nivel nacional, la Región de Coquimbo es una de las más afectadas por la desertificación y erosión de sus suelos (CIREN, 2012) siendo directamente afectados las comunidades agrícolas y pequeños agricultores quienes desarrollan y viven de la agricultura a familiar campesina en esta parte del país.

Por tanto, tras este estudio esta situación puede reconvertirse masificando, fomentando y fortaleciendo el capital productivo y social a través del uso de las OCAS y la Agroforestería, herramientas tecnológicas de Adaptación al cambio climático en zonas de secano para la región de Coquimbo.

Efecto de las OCAS en las Propiedades del Suelo y su Relación con Variables Climáticas

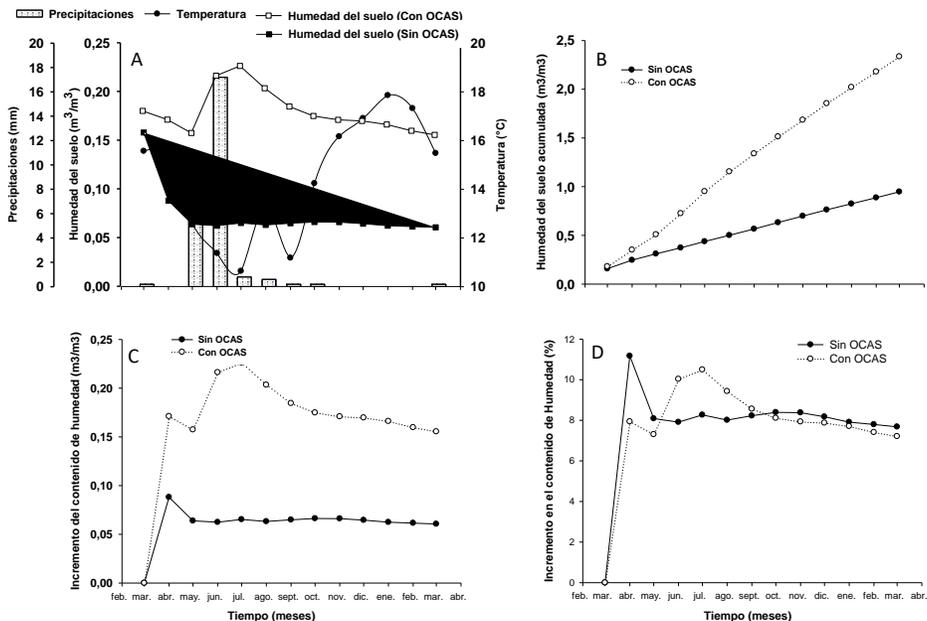
- Propiedades Hídricas del Suelo

Las variables edafoclimáticas evaluadas en el sector de estudio; temperatura ambiental, precipitación y humedad del suelo, presentaron fluctuaciones que inciden directamente en la disponibilidad del recurso hídrico en el suelo. En el año 2019, entre los meses de mayo y junio, se registraron las mayores precipitaciones (23,4 mm) y las menores temperaturas (2,6°C), con ello el mayor contenido de humedad en el suelo se registró en las OCAS en julio de 2019 (0,22 m³/m³), valor que disminuye a una tasa mensual promedio de 0,017 m³/m³, llegando a marzo de 2020 a un valor de 0,15 m³/m³ (Figura N° 6A).

La humedad en el suelo presentó un patrón de desarrollo correspondiente a una curva lineal en el tiempo. La asíntota superior alcanzada para la humedad fue de 2,3 y 0,94 m³/m³ para OCAS y Sin OCAS, respectivamente (Figura N° 6B). Los puntos de inflexión se alcanzaron en el mes de julio 2019, de 0,22 y 0,09 m³/m³ (Figura N° 6A), representando los puntos donde la aceleración del proceso cambia de signo pasando de una velocidad creciente a una decreciente.

Las curvas del contenido de humedad en el suelo se caracterizaron por una primera fase de desarrollo rápido, producto de las altas temperaturas del verano, provocando una rápida pérdida de humedad del suelo (marzo hasta mayo, 2019) registrándose condiciones promedio de temperaturas de 14 °C y 0 mm de precipitaciones. En la segunda fase de las curvas se encontraron diferencias en humedad (con OCAS y sin OCAS). Con OCAS se produce un aumento del contenido de humedad de 0,22 m³/m³ en el mes de julio, producto de las precipitaciones (17,2 mm) en el mes de junio, contrario a lo que acontece en el sector sin OCAS que independiente de las precipitaciones el contenido de humedad disminuyó (Figura N° 6C).

El contenido de Humedad Relativa (%) presentó diferencias en el patrón entre OCAS y sin OCAS. En mayo - julio 2019 se produjo una inflexión en el sector con OCAS en donde la humedad registrada fue de 3,1 % (Figura N° 6D), no existiendo respuesta en sin OCAS. Esto indicaría que las OCAS favorecieron el aumento de la retención del agua y el contenido de humedad del suelo, y prolongaron su periodo de humedad por un período de 4 meses.

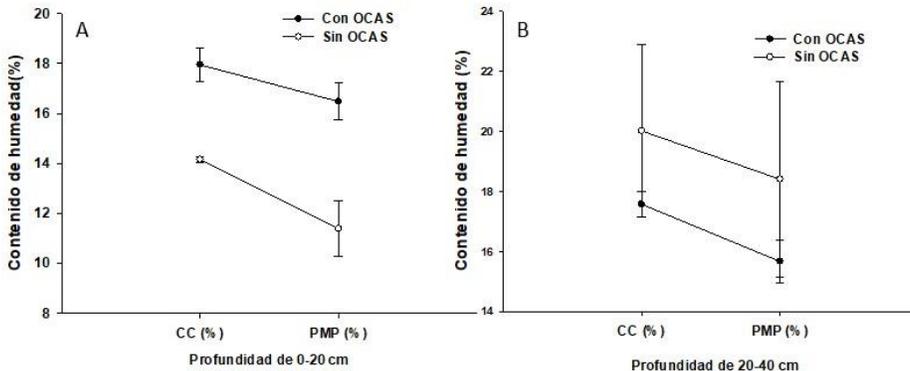


- A. Variables climáticas y efecto de las OCAS en el contenido de humedad del suelo (m^3/m^3)
- B. Efecto de las OCAS en la humedad de suelo acumulada (m^3/m^3)
- C. Efecto de las OCAS en el Incremento del contenido de humedad en el suelo (m^3/m^3)
- D. Efecto de las OCAS en el Incremento del contenido de humedad en el suelo (%)

Figura N° 6
VARIABLES CLIMÁTICAS Y HUMEDAD DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO (2019-2020)

De forma complementaria, fueron construidas las curvas de retención de humedad para el sector en estudio, con y sin OCAS y a diferentes profundidades de suelo. En la Figura N° 7A y 7B se puede observar que, independiente de la profundidad del suelo, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente fueron mayores en sectores con OCAS en un 3% en promedio con respecto al suelo sin OCAS.

Al disminuir la densidad aparente del suelo producto de la construcción de las OCAS, se disminuye la compactación, aumentan las condiciones de retención de humedad y disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas, aumentando a su vez el crecimiento de las raíces (Dick, 2004).



A.Efecto de las OCAS en el contenido de humedad del suelo (%) entre 0-20 cm de profundidad.
 B.Efecto de las OCAS en el contenido de humedad del suelo (%) entre 20-40 cm de profundidad.

Figura N° 7
PROPIEDADES HÍDRICAS DEL SUELO EN SECTOR CON OCAS Y SIN OCAS
A DIFERENTES PROFUNDIDADES

- Propiedades Químicas del Suelo

Las propiedades químicas del suelo no presentaron diferencias significativas en su respuesta a la instalación de las obras de conservación de suelo ($P \geq 0,05$) en las diferentes profundidades de suelo (0-20 y 20-40 cm), sin embargo, se registraron diferencias en sus valores absolutos.

Analizando los valores absolutos promedio, que se observan en el Cuadro N° 2, la concentración de materia orgánica (2,2%) y fósforo (4,7 mg/kg) es mayor en las OCAS en un 61 y 21%, respectivamente, independiente de la profundidad, no existiendo diferencias entre las profundidades (0-20, 20-40 cm) en un mismo tratamiento (OCAS, sin OCAS).

Para el caso del potasio (Cuadro N° 2) los valores sin OCAS son superiores a los valores para las áreas con OCAS, la concentración promedio de potasio para todos los datos fue de 116 mg/kg.

La concentración de nitrógeno es menor en las obras de conservación de suelo (0,01%), sin embargo, en la profundidad de 20-40 cm se iguala la concentración al caso sin OCAS (0,04%). Al analizar la relación C/N esta es mayor (32,2%) en la obra de conservación de suelo a una profundidad de 0-20 cm, disminuyendo a 8,8 % a la profundidad de 20-40 cm.

La implementación de las OCAS durante su primer año de establecidas no modificó, significativamente las propiedades químicas del suelo, pero si favoreció el crecimiento y desarrollo de las plantas establecidas, lo cual beneficiaría paulatinamente la recuperación del suelo degradado.

Las raíces de las plantas leguminosas al encontrar más humedad en el suelo propician

un ambiente más favorable en la rizósfera y logran una mejor simbiosis con las bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrizicos (Freeman, 2011). De este modo, se produce un “efecto cascada”, aumentando el contenido de nitrógeno inorgánico a partir de la segunda temporada de crecimiento. Las estructuras del suelo, bajo la influencia de la materia orgánica, comienzan a ser más estables, mejoran la tasa de aireación y de infiltración (Waring y Schlesinger, 1985).

La ecología del suelo se va haciendo más compleja lentamente, aumentan las poblaciones de microorganismos benéficos y se inicia un ciclaje de nutrientes vital para el mantenimiento de la vida, ya que es el único proceso que permite el reciclaje masivo de elementos químicos en el ecosistema posibilitando su renovación (Bowen y Nambiar, 1985).

Cuadro N° 2
VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN SECTOR
CON OCAS Y SIN OCAS A DOS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-20 y 20-40 cm)

Tratamientos	Profundidad (cm)	pH	CE	P	K	Mg	Ca	Na	M.O	C	N	C/N
			(μ S/cm)	(mg/kg)						(%)		
OCAS	0-20	7,1 (0,11)	108 (17)	4,8 (1,4)	114 (16)	197 (28)	1433 (100)	67 (8,4)	2,2 (0,5)	0,3 (0,1)	0,01(0,01)	33 (16)
	20-40	7,2 (0,13)	63 (15)	3,1 (0,4)	110 (14)	254 (96)	1487 (121)	76 (13,0)	2,0 (0,4)	0,3 (0,1)	0,04(0,01)	8,8 (1,7)
Sin OCAS	0-20	6,7 (0,01)	93 (28)	3,0 (1,4)	116 (2,8)	122 (10)	937 (104)	42 (7,0)	0,5 (0,2)	0,6 (0,1)	0,07(0,02)	9,1 (0,8)
	20-40	6,9 (0,19)	83 (26)	1,9 (0,9)	125 (4,5)	277 (56)	1711 (429)	108(47,6)	1,0 (0,6)	0,5 (0,1)	0,04(0,01)	15 (3,3)

*En paréntesis son los valores de los errores estándar de la media. (n = 12, P \geq 0,05).

- Propiedades Físicas del Suelo

El movimiento de suelo que se realiza al instalar las OCAS provoca una disminución de la densidad aparente del suelo y mejora la tasa de infiltración de agua y de intercambio gaseoso. Según Taboada y Alvarez (2008) la buena calidad física del suelo determina un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces, además del ingreso y almacenamiento óptimo del agua necesaria para el crecimiento de estas.

Los resultados obtenidos en este estudio (Cuadro N° 3) demuestran cambios significativos en la densidad aparente entre las profundidades de 0-20 y 20-40 cm, reflejando una modificación en la estructura del suelo, afectando al crecimiento de las plantas debido al afecto que tienen a la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, cambios que limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos (Ingaramo et al., 2003).

Según Thompson y Troeh (2002) los valores obtenidos de densidad aparente en suelo sin OCAS a las diferentes profundidades estudiadas son altos y corresponden a los de un suelo altamente compactado. La diferencia en densidad entre los tratamientos (con y sin OCAS) es de 0,16 y 0,66 g/cm³, para las profundidades de 0-20 y 20-40 cm, respectivamente.

La alteración de la porosidad, la compactación del suelo y la capacidad del suelo para infiltrar y retener agua son cambios asociados a los primeros horizontes de suelos degradados, que limitan el desarrollo y elongación del sistema radical y son críticos para el normal desarrollo de un cultivo (Arriaga y Lowery, 2003; Bengough et al., 2006), propiedades que son modificadas mediante la construcción de las OCAS.

Los resultados obtenidos en la densidad aparente en el caso sin OCAS, indican que el suelo fue seriamente afectado por el laboreo continuo y el sobrepastoreo. Además, se suma la pérdida de los horizontes superiores más ricos en materia orgánica, que también han influido en que se presenten valores altos de densidad aparente.

Donoso (1994) señala al respecto que la MO contribuye a rebajar los valores de la densidad aparente y facilitar la granulación de los suelos. Independiente de la profundidad del suelo, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente fueron mayores en las OCAS en un 3% en promedio con respecto al suelo desnudo (Cuadro N° 3).

Al disminuir la densidad aparente del suelo producto de la elaboración de las OCAS se disminuye la compactación, aumentan las condiciones de retención de humedad (Haddad, 2004) y disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas, aumentando a su vez el crecimiento de las raíces (Salamanca y Sadeghiank, 2004).

Cuadro N° 3
VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN SECTOR CON OCAS
Y SIN OCAS A DOS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-20 y 20-40 cm)

Tratamiento	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase Textural	DA (g/cm ³)	
						Cilindro	Torrón
OCAS	0-20	68,2 a (6,20)	12,6 a (2,44)	68,2 a (6,20)	Franco arenoso	1,49 b (0,11)	1,06 b (0,07)
	20-40	62,4 ab (0,73)	13,1 a (0,68)	62,4 ab (0,73)	Franco arenoso	1,45 b (0,11)	0,96 b (0,05)
Sin OCAS	0-20	67,1 b (1,10)	9,7 a (3,09)	67,1 b (1,10)	Franco arenoso	1,64 a (0,26)	1,05 a (0,02)
	20-40	56,7 ab (3,37)	18,4 a (5,47)	56,7 ab (3,37)	Franco arenoso	2,12 ab (0,26)	1,02 ab (0,00)

*Letras diferentes, muestran diferencias significativas entre los tratamientos (n=12, P≤0,1). En paréntesis los valores de los errores estándar de la media. (n = 12, P≤0,1).

CONCLUSIONES

El uso de Obras de Conservación de Suelo y Agua (OCAS) en el sector de seco de la región de Coquimbo, presentó un efecto significativo sobre las propiedades físicas e hídricas del suelo, reduciendo la densidad aparente independiente de la profundidad y mejorando los parámetros hídricos relacionados con la capacidad de retención de agua, mejorando así, el crecimiento en diámetro, altura y la supervivencia de las plantas agroforestales.

Se verifica la factibilidad técnica y los beneficios asociados al uso de estos colectores (OCAS) para desarrollar y diversificar la productividad mediante modelos agroforestales. Desde esta perspectiva, las OCAS son una estrategia que permite recuperar la capacidad productiva de los suelos altamente erosionados, permitiendo la oasisificación agroforestal de las zonas del seco de la región de Coquimbo, rescatando a su vez especies patrimoniales valiosas, con fines multipropósito, como guayacán, carbonillo, algarrobo, quebracho, espino, acacia azul, tara, molle, higuera y olivo.

Lo anterior, es de la mayor importancia considerando que, a nivel nacional, la región de Coquimbo es una de las más afectadas por la desertificación y erosión de suelos, situación que se

ve acentuada en las zonas de secano que es donde las comunidades agrícolas y pequeños agricultores viven en torno a la agricultura familiar campesina. Estos propietarios podrían ser los mayores beneficiarios tras esta investigación, dado que la situación puede reconvertirse masificando, fomentando y fortaleciendo el capital productivo y social a través del uso de las OCAS y la agroforestería, herramientas tecnológicas de adaptación al cambio climático en zonas de secano de la región.

RECONOCIMIENTOS

La presente publicación presenta los resultados del proyecto Modelos Agroforestales para la Diversificación de las Opciones Productivas de Pequeños Propietarios del Secano de la Región de Coquimbo (PYT-2016-0071), ejecutado por el Instituto Forestal (INFOR) durante los años 2016-2020, con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y en colaboración con Comunidades Agrícolas, MUCECH, INDAP y CONAF.

REFERENCIAS

Arriaga, F. J. y Lowery, B., 2003. Erosion and Productivity. New York: Encyclopedia of Water Science 2nd ed. pp. 222 – 224.

Bengough, A. G.; Bransby, M. F.; Hans, J.; Mackenna, S. J.; Roberts, T. J. y Valentine, T. A., 2006. Root Responses to Soil Physical Conditions, Growth Dynamics from Field to Cell. *Journal of Experimental Botany* 57: 437-447.

Bowen, G.D., y Nambiar, S., 1985. Nutrition of Plantation Forest. Academic Press. 515 p.

CIREN, 2012. Estado Actual de los Suelos de la Región de Coquimbo. Uso y Degradación. Capítulo 5. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/2033/PC17613.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dick, R. P., 2004. Soil Biological, chemical, and physical dynamics during transition to nonthermal residue management grass seed systems. Online Internet. Oregon, GSCSSA, 2004. Progress reports FY00. Disponible en: <http://gscssa.wsu.edu/progress/00/100.htm>.

Donoso C., 1994. Ecología Forestal: El Bosque y su Medio Ambiente. Cuarta Edición. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 369 p.

Freeman, S., 2011. Biological Science. Vol. 1: The Cell, Genetics & Development. Fourth Ed. Pearson Benjamín Cummings, Pub. 415p.

GORE, Coquimbo., 2016. Anexo: Descripción y Caracterización de la Comuna de Canela y sus Comunidades Agrícolas, Región de Coquimbo. Disponible en: https://www.gorecoquimbo.cl/site/cos_aguas_lluvias_tomo_i_anexo_4. Visitada en junio de 2020.

Haddad, N., 2004. Introduction- Why Study Earth System Science. Online Internet Cambridge. TERC, 2004.

Ingaramo, O. E.; Paz González, A.; Dugo Paton, M., 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.

Jones, J. y Case, V., 1990. Sampling, Handling and Analyzing Plant Tissue Samples. In Westerman RL Eds. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, Estados Unidos. p. 389-428.

Magdoff, F. R., 1995. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. *Book Rev. Am. 1. Altern. Agric.* 10:46.

Perret, S.; Gacitúa, S. y Montenegro, J., 2011. Técnicas de cosecha de aguas lluvia y conservación de suelos para la oasisificación del norte Chileno. Instituto Forestal. Manual 44. Disponible en <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12>

Pérez, H., 2001. Evaluación de Productividad de *Pinus radiata* (D.Don) Asociada a Zanjas de Infiltración. Llongocura, VII Región del Maule. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Forestales. Universidad de Talca. Chile.

Pizarro, R. y Saavedra, J., 1999. Análisis Comparativo de Técnicas de Recuperación de Suelos en Áreas Degradadas; Efectos en la Humedad del Suelo la Supervivencia y Crecimiento de *Pinus radiata* (D. Don). Microcuenca del Estero Barroso, VII Región. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal, Universidad de Talca. Talca. Chile.

Salamanca, J. y Sadeghiank S., 2004. La Densidad Aparente en Suelos de la Zona Cafetera y su Efecto sobre el Crecimiento del Cafeto. Avance Técnicos Cenicafe N°326:1-8.

Thompson, L. y Troeh, F., 2002. Los Suelos y su Fertilidad. Cuarta Edición. Editorial Reverté. Barcelona. España. 639p.

Taboada, M. A. y Alvarez, C. R., 2008. Fertilidad Física de los Suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

USDA., 2004. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. United States Department of Agriculture. En: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf (Consulta: 25-05-2020).

Waring, R. y Schlesinger, W., 1985. Forest Ecosystems: Concepts and Management. Academic Press, INC. Toronto, Canadá. 340 p.