

# REHABILITACIÓN DE ÁREAS DISTURBADAS CON ESPECIES ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS EN CLIMA ÁRIDO

**Rodolfo Mendoza<sup>1</sup> y René Portal<sup>2</sup>**

1. MUSEO ARGENTINO DE CIENCIAS NATURALES (CONICET). Av. Ángel Gallardo  
470. C1405DJR. Ciudad de Buenos Aires. T.E. y Fax: 4790 0316.

E-mail: emendoza@mail.retina.ar

2. TOTAL AUSTRAL S.A. Moreno 877. 1091. Buenos Aires. T.E. 4346-6400.

## *Sinopsis*

Las zonas de emplazamiento de los Yacimientos “Aguada Pichana” (AP) y “Loma Las Yeguas” (LLY), de Total Austral en Neuquén tienen clima árido con suelos disturbados por remoción y rellenos, pedregosos y alcalinos, con baja profundidad efectiva, escasos niveles de materia orgánica y nutrientes, y aguas disponibles de baja calidad para riego. En estas condiciones extremas, se planteo realizar sendas plantaciones con riego utilizando especies arbóreas y arbustivas que pudieran adaptarse a las condiciones edafoclimáticas existentes. En ambos Yacimientos, el lugar elegido para rehabilitar se encontraba disturbado y rellenado con suelo de baja calidad para el crecimiento vegetal. La falta de agua con calidad para riego hizo necesario el empleo de agua del Río Neuquén, transportada y almacenada para regar mediante un sistema de goteo. En AP (agosto 2000 y 2001), se plantaron 218 individuos; 133 falsos olivos; 28 piracantas, 18 retamas, 10 olmos, 11 pinos, 16 álamos y 6 tamariscos. La supervivencia del 96% en el 2do año. En LLY la situación edafoclimática es aún más extrema que en AP. Por tal motivo, se realizó la remoción total y reemplazo del suelo existente por suelo de mejor calidad agronómica, transportado y depositado en zanjones de 1 m ancho, 1.5 m profundidad y 350 m de largo. En LLY (agosto 2003 y 2004), se plantaron 168 individuos; 143 falsos olivos, 7 olmos, 4 cipreses, 4 álamos y 10 tamariscos; que tuvieron una supervivencia del 92%.

En AP, el riego provocó el lavado del Na, reemplazo por Ca en el complejo de cambio del suelo, y disminución del pH, conductividad eléctrica y PSI con la consecuente mejora de las condiciones para el crecimiento vegetal y ecosistema en general. En LLY existen problemas de erosión, fuertes vientos con arrastre de arena y sal que provocan un efecto abrasivo y requieren una aplicación permanente de nuevas técnicas y estrategias de control y manejo.

## **Desarrollo**

Las zonas de emplazamiento de los Yacimientos de “Aguada Pichana” (AP) y “Loma Las Yeguas” (LLY), de Total Austral en Neuquén, tienen clima árido (CFI, 1975), con suelos disturbados por remoción y rellenos, pedregosos y alcalinos, con baja profundidad efectiva, escasos niveles de materia orgánica y nutrientes, y aguas disponibles de baja calidad para riego. Ambas Plantas se encuentran equidistantes a 45 Km de la Localidad de Añelo hacia el sudoeste (AP) y noroeste (LLY), esta última ubicada en el bajo de Añelo. En estas condiciones extremas de clima y suelo, se planteo realizar sendas plantaciones con riego utilizando especies arbóreas y arbustivas que pudieran adaptarse a las condiciones edafoclimáticas existentes.

Sobre la base de toda la información recogida y de los estudios previos realizados en ambos Yacimientos, se llevaron a cabo diversas tareas con métodos apropiados y diseñados para implantar especies arbustivas y arbóreas en las áreas donde se han construido las Plantas de AP y LLY.

### Disponibilidad de agua

Las Plantas de AP y LLY cuentan con tres tipos de agua denominadas comúnmente: a) agua de incendio: se trata del agua obtenida de perforaciones y almacenada en tanque para ser usada en caso de incendio; b) agua de consumo: es el agua de incendio que se trata en un equipo de osmosis inversa y se utiliza para el consumo del personal, aunque no se recomienda para beber; y c) agua de efluente: es el agua de desecho que genera la actividad humana, y luego se la somete a tratamiento antes de su eliminación. Según muestras de los tres tipos de agua y de los análisis realizados sobre las mismas, se determinó que ninguna de las aguas disponibles resultaron ser apropiadas para utilizarlas en el riego de especies vegetales (USDA, 1975). Las mismas han sido clasificadas como NO APTAS para riego (Tabla 1). De este modo se plantearon distintas alternativas para disponer de agua de buena calidad para riego, requisito indispensable para la iniciación del proyecto de forestación.

Sobre la base de las alternativas planteadas y la disponibilidad de Total Austral, se decidió utilizar agua del Río Neuquen (Tabla 1) y construir un tanque de cemento premoldeado de 45.000 litros de capacidad para su almacenamiento y posterior utilización para riego. El agua del Río se transporta en camión cisterna, desde Añelo distante a 45 km de la Planta, en volúmenes de 20.000 litros por viaje.

Los resultados de la Tabla 1 indican que en el agua de incendio, los valores de pH, conductividad eléctrica, y la concentración de Na, son altos al igual que el RAS. Esta calidad de agua resulta inapropiada para riego, es salino-sódica y se la califica como C4S4. El agua de consumo tiene un pH algo inferior, pero tanto la conductividad eléctrica como el Na y el RAS, no han bajado lo suficiente como para obtener agua de una calidad tal que permita utilizarla para riego. Esta calidad de agua también se la calificó como C4S4 y tampoco es apta para riego. El agua de efluente tiene el menor valor de pH y cercano a la neutralidad, sin embargo la cantidad de sales, la concentración de Na y el RAS siguen siendo altas (C3S4 y C4S4) como para calificarla como apta.

Tabla 1. Análisis químicos del agua de: Incendio, Consumo, Efluente y Riego existentes en la Plantas de Aguada Pichana (AP) y Loma Las Yeguas (LLY).

| Agua            | pH  | CE<br>(mS/cm) | Cationes         |                              |                 |                | Aniones                      |                                          |                 |                              | RAS   | Clase |
|-----------------|-----|---------------|------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|------------------------------------------|-----------------|------------------------------|-------|-------|
|                 |     |               | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup><br>(cmol/l) | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> | CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup><br>(me/l) | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> |       |       |
| Incendio AP     | 9.0 | 3.22          | 0.10             | 0.08                         | 45.1            | 0.10           | 7.9                          | 10.1                                     | 10.0            | 7.5                          | 150.3 | C4S4  |
| Consumo AP      | 8.1 | 2.61          | 0.10             | 0.02                         | 15.0            | 0.07           | ---                          | 12.3                                     | 9.8             | 13.3                         | 61.2  | C4S4  |
| Efluente AP     | 7.6 | 3.10          | 0.20             | 0.09                         | 33.6            | 0.64           | ---                          | 12.0                                     | 9.5             | 12.0                         | 88.2  | C4S4  |
| Incendio LLY    | 8.9 | 3.45          | 0.17             | 0.12                         | 37.6            | ---            | 1.2                          | 3.8                                      | 11.6            | 21.5                         | 98.8  | C4S4  |
| Consumo LLY     | 7.6 | 0.80          | 0.04             | 0.01                         | 7.3             | nd             | nd                           | 1.6                                      | 2.6             | 3.6                          | 46.1  | C3S4  |
| Efluente LLY    | 7.3 | 3.05          | 0.25             | 0.10                         | 35.4            | ---            | ---                          | 10.1                                     | 10.0            | 12.0                         | 84.6  | C4S4  |
| Riego (Río Nqn) | 7.4 | 0.39          | 1.70             | 0.30                         | 1.2             | 0.10           | ---                          | 1.5                                      | 1.3             | 1.1                          | 1.2   | C2S1  |

Finalmente, ninguno de estos tres tipos de agua existentes en la Planta de Aguada Pichana se las considera recomendables para riego de especies vegetales, las tres se las califica como NO APTAS.

Contrariamente, el agua proveniente del Río Neuquen utilizada para riego posee mayores valores de Ca y Mg y los menores niveles en todas las otras características medidas (Tabla 1). El agua del Río almacenada en el tanque, resulta ser de una buena calidad para riego y puede utilizarse en la mayoría de los cultivos y plantas con bajo peligro a la salinidad y sin peligro de sodicidad. Se la califica como C2S1 y resulta conveniente que exista un grado moderado de lavado cuando se la aplica en suelos salinos y/o alcalinos (Richards, 1974).

### Plantación

En Agosto de 2000 y 2001 se plantaron en AP, 218 plantas y se regó una planta nativa por goteo con agua del Río Neuquen (Tabla 2). La supervivencia al 2do año alcanzó el 95%.

Tabla 2. Supervivencia de las especies plantadas luego del 2do año en AP y LLY.

| Especie    | Planta Mortandad | Plantadas | Plantas |  | Supervivencia |  | Plantas |     |
|------------|------------------|-----------|---------|--|---------------|--|---------|-----|
|            |                  |           | Vivas   |  | (%)           |  | Muertas | (%) |
| Olivillos  | AP               | 133       | 133     |  | 100           |  | 0       | 0   |
| Piracantas | AP               | 28        | 26      |  | 93            |  | 2       | 7   |
| Retamas    | AP               | 18        | 16      |  | 89            |  | 2       | 11  |
| Álamos     | AP               | 16        | 12      |  | 75            |  | 4       | 25  |
| Olmos      | AP               | 10        | 10      |  | 100           |  | 0       | 0   |
| Pinos      | AP               | 7         | 5       |  | 71            |  | 2       | 29  |
| Tamariscos | AP               | 6         | 6       |  | 100           |  | 0       | 0   |
| Jarrilla   | AP               | 1         | 1       |  | 100           |  | 0       | 0   |
| <hr/>      |                  |           |         |  |               |  |         |     |
| Total      | AP               | 219       | 209     |  | 96            |  | 10      | 4   |
| <hr/>      |                  |           |         |  |               |  |         |     |
| Olivillos  | LLY              | 143       | 128     |  | 89            |  | 15      | 11  |
| Cipreses   | LLY              | 4         | 2       |  | 50            |  | 2       | 50  |
| Olmos      | LLY              | 7         | 7       |  | 100           |  | 0       | 0   |
| Álamos     | LLY              | 4         | 0       |  | 0             |  | 4       | 100 |
| Tamariscos | LLY              | 10        | 10      |  | 100           |  | 0       | 0   |
| <hr/>      |                  |           |         |  |               |  |         |     |
| Total      | LLY              | 168       | 147     |  | 87            |  | 21      | 13  |
| <hr/>      |                  |           |         |  |               |  |         |     |
| TOTAL      | AP+LLY           | 387       | 356     |  | 92            |  | 31      | 8   |

Tabla 3. Nombre vulgar y científico, y cantidad de individuos plantados en AP y LLY.

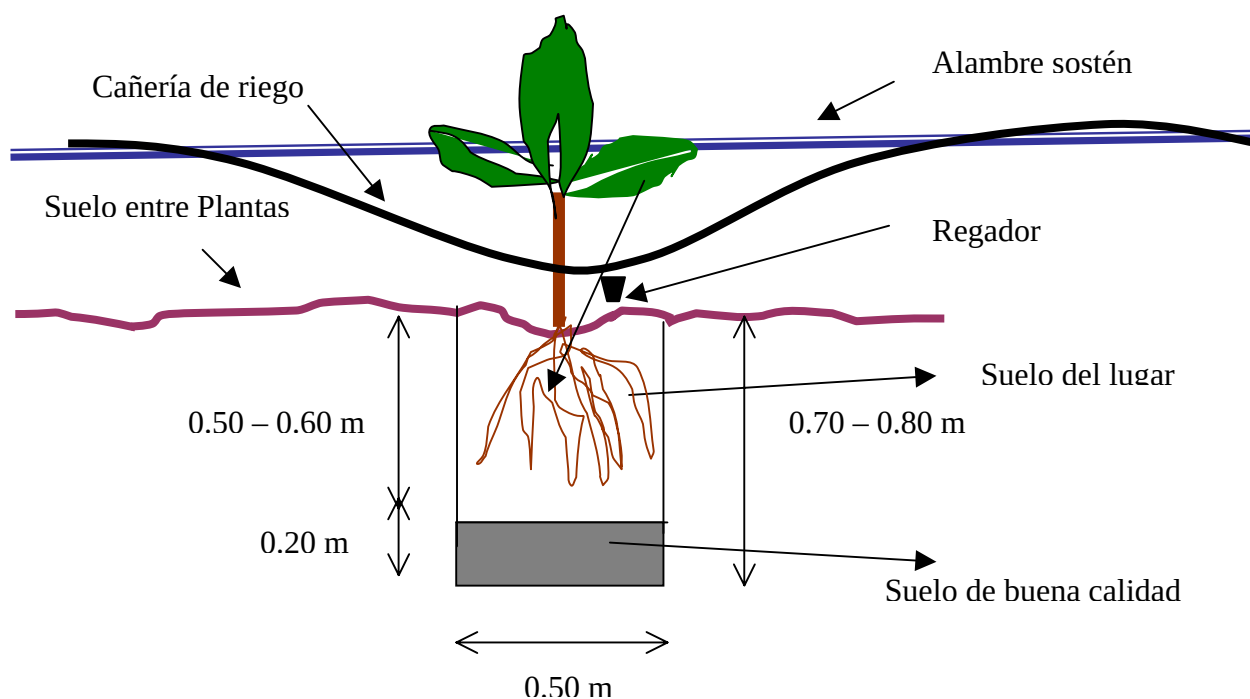
| No.                 | Nombre vulgar    | Nombre científico              | Tipo    | Origen       | Cantidad |
|---------------------|------------------|--------------------------------|---------|--------------|----------|
| 1                   | Falso Olivo      | <i>Eleagnus angustifolia</i>   | Arbórea | Introducida  | 276      |
| 2                   | Piracanta        | <i>Pyracantha atalantoides</i> | Arbusto | Introducida  | 28       |
| 3                   | Retama           | <i>Spartium junceum</i>        | Arbusto | Introducida  | 18       |
| 4                   | Pino halepense   | <i>Pinus halepensis</i>        | Arbórea | Introducida  | 7        |
| 5                   | Olmo             | <i>Ulmus pumila</i>            | Arbórea | Introducida  | 17       |
| 6                   | Tamarisco        | <i>Tamarix gallica</i>         | Arbusto | Naturalizada | 16       |
| 7                   | Álamo            | <i>Populus</i> sp.             | Arbórea | Introducida  | 20       |
| 8                   | Ciprés variegado | <i>Cupresus</i> sp.            | Arbórea | Introducida  | 4        |
| 9                   | Jarrilla         | <i>Larrea divaricata</i>       | Arbusto | Nativa       | 1        |
| Totales en AP + LLY |                  |                                |         |              | 387      |

La cantidad total de individuos plantados en AP y LLY ascendió a 387, distribuidas en especie introducidas, naturalizadas y exóticas (Tabla 3), con una supervivencia promedio del 92% al 2do año (Tabla 2).

El método de plantación fue en todos los casos el mismo (Fig. 1) y se realizó a 2 x 2 metros entre planta y planta de acuerdo al esquema presentado en la figura 1, con la diferencia que en el caso de LLY el suelo del lugar fue totalmente removido y reemplazado por suelo de Añelo de buena calidad agronómica. En AP los hoyos en donde se plantaron las especies elegidas se realizaron con punzón para poder atravesar la pedregosidad del suelo y hasta alcanzar una profundidad de 80 cm y un diámetro no menor a los 50 cm (Fig. 1). Se incorporaron 0.20 m de tierra de buena calidad en el fondo del pozo de plantación para favorecer el crecimiento de las raíces y la nutrición de la planta en la etapa inicial del período de crecimiento luego de la plantación.

En LLY, se removió el suelo existente con una retroexcavadora y se construyó una zanja de 340 m de largo totales, 1 m de ancho y 1.5 m de profundidad. La zanja se cubrió con polietileno de 200 micrones y luego se depositó dentro suelo de buena calidad agronómica transportado desde Añelo a 45 km del lugar. Los hoyos de plantación tuvieron similares dimensiones pero en este caso se realizaron a pala y sin mayores inconvenientes pues se trataba de suelo suelto.

Figura 1. Esquema del pozo de plantación, cañerías y suelo.



### *Sistema de riego*

Los sistemas de riego en AP y LLY, constan de una bomba de 1 HP trifásica y electroválvulas de 220 volts, con automatización en la descarga y carga de la bomba. Además, el equipo de riego puede ser utilizado de manera manual o automática según sea el caso. En líneas generales, el sistema de riego cuenta con una cañería principal de PVC enterrada que conduce el agua desde la bomba a dos cañerías secundarias y estas a su vez a otras cañerías terciarias que transportan agua a distinto lugares de la plantación. Se instaló 1 regador de 3 litros por hora por planta según figura 1.

El tiempo y caudal de riego por planta se determinó de manera tal que el bulbo húmedo formado en el suelo se encuentre siempre en niveles cercanos a la capacidad de campo. Se pudo calcular la cantidad de agua requerida para los distintos meses del año sobre la base del consumo de la planta, lluvias caídas y evapotranspiración del lugar. En la Tabla 4 se presenta el programa de riego correspondiente a un ciclo de 3 meses.

Tabla 4. Programa de riego anual para ciclos de 3 meses en AP y LLY a partir de Setiembre 2005.

CICLO DE RIEGO DE 3 (tres) MESES en AP para un total de 219 regadores

| Turno                                              | Meses       | Tiempo de riego                  | Consumo de agua | Cargas (x) |
|----------------------------------------------------|-------------|----------------------------------|-----------------|------------|
| 1                                                  | DIC-ENE-FEB | 4 hs por día (7-9 y 19-21)       | 2628 lts/día    | 12         |
| 2                                                  | MAR-ABR-MAY | 3 hs por día (7.30-9 y 19.30-21) | 1971 lts/día    | 9          |
| 3                                                  | JUN-JUL-AGO | 2 hs por día (7-9)               | 1314 lts/día    | 6          |
| 4                                                  | SET-OCT-NOV | 3 hs por día (7.30-9 y 19.30-21) | 1971 lts/día    | 9          |
| CONSUMO ANUAL APROXIMADO EN AP: 709.560 litros/año |             |                                  |                 | 36         |

CICLO DE RIEGO DE 3 (tres) MESES en LLY para un total de 168 regadores.

| Turno                                                             | Meses       | Tiempo de riego                  | Consumo de agua | Cargas (x) |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------|-----------------|------------|
| 1                                                                 | DIC-ENE-FEB | 4 hs por día (7-9 y 19-21)       | 2016 lts/día    | 9          |
| 2                                                                 | MAR-ABR-MAY | 3 hs por día (7.30-9 y 19.30-21) | 1512 lts/día    | 7          |
| 3                                                                 | JUN-JUL-AGO | 2 hs por día (7-9)               | 1008 lts/día    | 5          |
| 4                                                                 | SET-OCT-NOV | 3 hs por día (7.30-9 y 19.30-21) | 1512 lts/día    | 7          |
| CONSUMO ANUAL APROXIMADO en LLY: 544.320 litros/año               |             |                                  |                 | 28         |
| CONSUMO TOTAL ANUAL APROXIMADO EN AP + LLY: 1.253.826 litros/año. |             |                                  |                 | 64         |

(x) Cargas = cantidad de cargas de camión cisterna de 20.000 lts/carga para reponer agua de riego del Río Neuquen en tanque en el período indicado.

*Características químicas del suelo*

En AP y luego de transcurrido un año de la plantación se llevaron a cabo una serie de estudios para evaluar cambios en las características químicas del suelo. Luego de 1 año, se recolectaron muestras de suelo de los distintos sectores y zonas de plantación. En cada zona se tomaron 5 submuestras de los primeros 0.10 – 0.15 m de profundidad entre las plantas en la hilera (Entre Planta) donde se encuentra el suelo original y dentro del pozo de plantación alrededor del cuello de la planta (Planta), donde se encuentra el suelo original y en el fondo del hoyo de plantación en suelo de buena calidad como base (Fig. 2, Tabla 5). En ambos casos las muestras que se tomaron correspondieron entonces al mismo suelo del lugar y las principales diferencias en los primeros 0.10 – 0.15 m que pudieran existir, corresponderían al efecto creado por el riego recibido durante el período de 1 año.

En LLY, también se tomaron submuestras de los distintos sectores para evaluar la situación inicial del suelo disturbado existente anteriormente a la plantación (Tabla 5).

Las submuestras de cada sector se mezclaron de manera homogénea y se tamizaron por malla de 2 mm para su análisis. Se midió: pH (agua, 1:2.5); Conductividad eléctrica (CE, ds/m); Carbono total (Ct, %); Nitrógeno total (Nt, %); Capacidad de intercambio catiónico (CIC, cmol/kg); Ca, Mg, Na y K, (cmol/kg). Se calculó también el Na intercambiable (PSI, %); y la materia orgánica total (MO, %) de acuerdo con análisis de rutina (Jackson, 1970).

En la Tabla 5 y la figura 2, se observan los principales análisis realizados en el suelo de AP y se pueden comparar los valores correspondientes a las muestras de suelo recolectadas al lado del cuello de la planta dentro del hoyo de plantación (Planta), y entre las plantas a lo largo de la hilera que corresponde al suelo existente en el lugar. En todos los casos se observa que el pH, CE, Na y

PSI tuvieron mayores valores en el suelo recolectado en el espacio entre plantas que en aquél recolectado en el mismo pozo de plantación donde recibió riego durante el período de un año (Fig. 2 y Tabla 5). El Ct que indica la presencia de MO fue mayor en el suelo del pozo comparado con el suelo del espacio entre plantas. Asimismo, al estudiar la variabilidad de las mediciones realizadas por efecto del riego, se observó que Ct, Nt, Mg, MO y la relación C/N, fueron mayores en el suelo contenido en el hoyo de plantación que en el recolectado entre las plantas que no fueron regado (Fig. 2). Otras propiedades como el P, CIC y Ca no mostraron grandes diferencias entre los suelos recolectados en el hoyo de plantación y entre plantas (Fig. 2, Tabla 5).

En caso del suelo existente en LLY se observa claramente que las características químicas de fertilidad resultaron aún de inferior calidad agronómica respecto al existente en AP, con valores de pH, CE y Na, extremadamente altos para el crecimiento vegetal, y de fertilidad extremadamente bajos (Tabla 5). Prácticamente se trataba de suelo de cantera que seguramente se utilizó durante las construcciones de la Planta y resulta no APTO para el crecimiento vegetal. Por esta razón se decidió la remoción total del suelo y su reemplazo por suelo de mejor calidad agronómica transportado desde la localidad de Añelo.

Este suelo, utilizado también como base en el fondo del hoyo de plantación en AP y como reemplazo del existente en LLY, presenta a las propiedades de relación más directa con la materia orgánica y fertilidad (pH, CE, Ct, Nt, P), con valores de mejor calidad agronómica respecto de los existentes en AP y LLY (Tabla 5).

El suelo sin recibir riego en AP (Entre Planta) posee condiciones químicas deficientes para el crecimiento vegetal. Solamente el Ca y el K parecen ser las únicas propiedades que no muestran grandes diferencias entre las dos situaciones. Este suelo puede ser calificado como SALINO-SÓDICO por tener valores de CE superiores a 4 dS/cm y de PSI muy superiores a 15% (Richards, 1974). Sin embargo, el efecto de lavado por agua de riego sobre el mismo suelo dentro del hoyo de plantación ha determinado una significativa mejoría de las condiciones químicas y una evolución de la calificación del suelo a la condición de APTO para el crecimiento vegetal desde el punto de vista de su contenido en sales y Na. En este caso, los valores de CE y PSI fueron inferiores a 4 dS/m y 15% respectivamente (Tabla 5, Fig. 2). El efecto del riego recibido durante un año en el suelo del hoyo ha determinado el lavado de gran parte del Na, y su reemplazo por Ca en el complejo de cambio, y en consecuencia una disminución del pH, CE y PSI en AP. El Ct y Nt también fueron mayores en el suelo dentro del hoyo de plantación e indicarían la existencia de mayor actividad microbiana y mejores condiciones físicas que en el suelo de la hilera entre plantas. Este aumento en los valores de Ct podría deberse al reciclado de MO proveniente de gramíneas y malezas que crecen dentro del pozo de plantación alrededor del cuello de la planta debido a la humedad aportada por el riego. En la fig. 2 también se observa como referencia las condiciones químicas del suelo de Añelo utilizado en los 0.20 m dentro del hoyo de plantación (Fig. 1), para favorecer el crecimiento inicial de raíces. Se observa que los valores que definen principalmente la fertilidad del suelo (P, Nt, Ct y MO) son superiores en el suelo de Añelo respecto al suelo ubicado en el hoyo y regado, y al ubicado entre las plantas (Fig. 2).

#### *Balance Hidrológico Climático (BHC) y evapotranspiración real (ER) y potencial (EP)*

Se realizó un balance hidrológico con datos basados en promedios de 10 años (1981-1990), que fueron suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional dependiente de la Fuerza Aérea Argentina en Aeropuerto de Neuquén y que posteriormente fueron corregidos a la Latitud correspondiente de Añelo, distante a 45 km de ambos Yacimientos.

En la figura 3 se muestra el Balance Hidrológico Climático (BHC) donde se observan los valores de las precipitaciones (PP), evapotranspiración potencial (EP), evapotranspiración real (ER) y la situación hídrica del suelo (SH) que define a las deficiencias y/o excesos (Thornthwaite y Mather, 1955).

Tabla 5. Características químicas de los suelos disturbados existentes en AP y LLY; en el suelo cercano a la planta influenciado por el riego luego de 1 año de riego en AP (Planta); del suelo de

Añelo utilizado como base en el hoyo de plantación en AP y también empleado en el volumen total de la zanja de plantación en LLY.

| Suelo         | pH  | C.E<br>(dS/m) | Ct<br>(%) | Nt<br>(%) | C/N  | P<br>(ppm) | CIC  | Ca   | Mg<br>(cmolc/kg) | Na   | K<br>(%) | PSI  |
|---------------|-----|---------------|-----------|-----------|------|------------|------|------|------------------|------|----------|------|
| AP existente  | 8.8 | 5.67          | 1.23      | 0.16      | 7.69 | 2.03       | 7.5  | 21.0 | 0.37             | 3.53 | 0.35     | 47.1 |
| AP (Planta)   | 8.0 | 0.80          | 2.29      | 0.24      | 9.54 | 3.34       | 8.5  | 21.5 | 0.90             | 0.37 | 0.27     | 4.4  |
| LLY existente | 9.5 | 7.13          | 0.60      | 0.09      | 6.67 | 1.97       | 6.5  | 18.5 | 0.30             | 4.20 | 0.12     | 64.6 |
| Añelo         | 7.9 | 0.46          | 3.98      | 0.40      | 9.95 | 6.90       | 10.6 | 19.2 | 1.00             | 0.30 | 0.40     | 2.8  |

El BHC muestra que en las condiciones naturales reinantes en AP y LLY, el suelo permanece con déficit hídrico durante todo el año (Fig. 3), y solo durante Junio y Julio se observa que no existe ni déficit ni exceso de agua en el suelo y la SH es igual a 0. Este último período coincide con el receso vegetativo de las plantas y con las temperaturas más bajas. Los picos de PP tienen lugar en Marzo y Setiembre, y la mayor EP y déficit ocurren en Enero (Fig. 3).

#### *Medidas hídricas del suelo y del riego suministrado*

Las características del suelo y las condiciones actuales dentro de AP (Tabla 6a) y LLY (Tabla 6b) permiten mostrar algunas características importantes del clima, del suelo y del riego.



Tabla 6a. Algunas características hídricas del suelo y del riego suministrado en AP.

| Característica                                                               | Valores                 |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Profundidad efectiva del perfil:                                             | 0.80 m                  |
| Densidad aproximada suelo disturbado:                                        | 1.42 g/cm <sup>3</sup>  |
| Humedad en Capacidad de Campo (CC):                                          | 18 % en peso.           |
| Humedad en Punto de Marchitez (PM):                                          | 11 % en peso.           |
| Capacidad de almacenaje del perfil (CA):                                     | 204 mm de agua.         |
| Evapotranspiración potencial (EP):                                           | 784 mm anuales.         |
| Precipitación (PP):                                                          | 130 mm anuales.         |
| Déficit (EP – PP):                                                           | 654 mm anuales.         |
| Cantidad de plantas totales:                                                 | 219.                    |
| Cantidad de regadores totales:                                               | 219.                    |
| Caudal por regador:                                                          | 3 litros por hora.      |
| Cantidad total de litros de agua por hora (219 x 3):                         | 657 litros.             |
| Lámina de agua suministrada por planta por m <sup>2</sup> por hora de riego: | 3 mm.                   |
| Cantidad de agua suministrada por año:                                       | 709.560 litros por año. |
| Cantidad de cargas de camión cisterna con 20.000 litros                      | 36 cargas por año.      |
| Cantidad de agua suministrada por planta por m <sup>2</sup> :                | 3240 litros por año.    |
| Lámina de agua suministrada por año:                                         | 3240 mm anuales.        |
| Lámina de agua real (suministro – evapotransp; 3240-654)                     | 2586 mm anuales.        |

Tabla 6b. Algunas características hídricas del suelo y del riego suministrado en LLY.

| Característica                                                               | Valores                 |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Profundidad efectiva del perfil:                                             | 1.5 m                   |
| Densidad aproximada suelo disturbado:                                        | 1.17 g/cm <sup>3</sup>  |
| Humedad en Capacidad de Campo (CC):                                          | 25 % en peso.           |
| Humedad en Punto de Marchitez (PM):                                          | 14 % en peso.           |
| Capacidad de almacenaje del perfil (CA):                                     | 439 mm de agua.         |
| Evapotranspiración potencial (EP):                                           | 784 mm anuales.         |
| Precipitación (PP):                                                          | 130 mm anuales.         |
| Déficit (EP – PP):                                                           | 654 mm anuales.         |
| Cantidad de plantas totales:                                                 | 168.                    |
| Cantidad de regadores totales:                                               | 168.                    |
| Caudal por regador:                                                          | 3 litros por hora.      |
| Cantidad total de litros de agua por hora (168 x 3):                         | 504 litros.             |
| Lámina de agua suministrada por planta por m <sup>2</sup> por hora de riego: | 3 mm.                   |
| Cantidad de agua suministrada por año en ciclo de 3 meses:                   | 544.320 litros por año. |
| Cantidad de cargas de camión cisterna con 20.000 litros                      | 28 cargas por año.      |
| Cantidad de agua suministrada por planta por m <sup>2</sup> :                | 3240 litros por año.    |
| Lámina de agua suministrada por año:                                         | 3240 mm anuales.        |
| Lámina de agua real (suministro – evapotransp; 3240-654)                     | 2586 mm anuales.        |



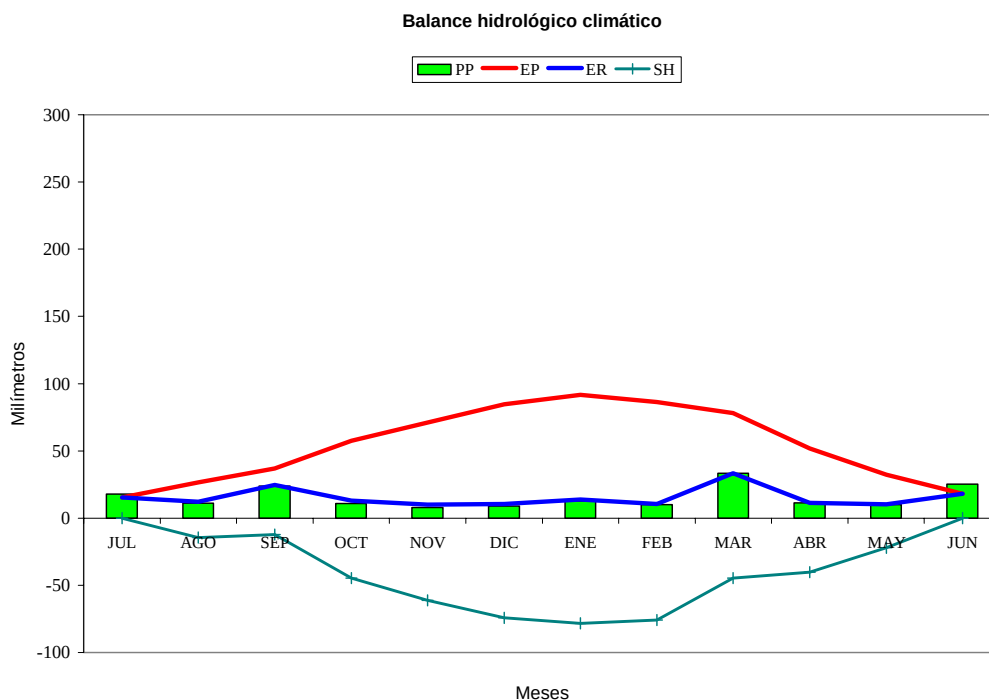


Figura 3. Balance hidrológico climático para las condiciones de la Latitud de Añelo distante a 45 km de ambos Yacimientos donde se grafican los valores de precipitaciones medias mensuales (PP), evapotranspiración potencial media mensual (EP), evapotranspiración real media mensual (ER) y la situación hídrica media mensual del suelo (SH).

## Conclusiones

La implantación con riego de especies introducidas y naturalizadas en áreas disturbadas por remoción y relleno de material pedregoso, salitroso y alcalino, ha sido satisfactoria con un 96% de supervivencia luego del 2do año en AP y del 92% en LLY.

El Olmo (*Ulmus pumila*), Olivillo (*Eleagnus angustifolia*) y tamarisco (*Tamarix gallica*) han sido las especies que tuvieron mejor respuesta y adaptación a los suelos y clima del lugar tanto en AP como en LLY.

En AP, el riego con agua del Río Neuquén transportada 45 km semanalmente ha determinado un desplazamiento del Na del complejo de cambio del suelo a la solución, su reemplazo por Ca, y la lixiviación y eliminación de mismo del perfil del suelo. Este mecanismo determinó una disminución considerable del pH, CE y PSI del suelo, con una consecuente mejora de las condiciones químicas y físicas para el crecimiento vegetal.

En LLY las condiciones de clima y suelo, significativamente inferiores a las de AP para el crecimiento vegetal, determinaron la remoción total del suelo a 1.5 m de profundidad y su reemplazo por suelo de apropiada calidad agronómica.

La cantidad de agua suministrada por el programa de ciclos de 3 meses resultó suficiente como para mantener a las plantas sin déficit hídrico en el suelo durante todo el año tanto en AP como en LLY. El consumo total de agua anual fue de 710 y 544 m<sup>3</sup>, para un total de 219 y 168 individuos en AP y LLY respectivamente.

En LLY, a diferencia de AP, existen mayores problemas de erosión por vientos que arrastran arena y salitre provocando un efecto abrasivo en hoja y tallo, y un déficit hídrico en el follaje. Estos inconvenientes requieren una aplicación permanente de nuevas técnicas y estrategias de control y manejo.

## **Bibliografía**

- CFI (1975). Consejo Federal de Inversiones. Suelos y Clima de la Provincia de Neuquen.
- Jackson, M.L. (1970) Análisis químico de suelos. 2da. ed. Ed. Omega. Barcelona. 662 pp.
- Richards, L.A. (1974). Diagnóstico y rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. 171 pp. Editorial Limusa. México.
- Thornthwaite, C.W. y J.R. Mather (1955). The water balance. Publications in Climatology. Drexel Inst. of Thenology. New Jersey. VIII (I): 104 pp.
- USDA, (1975). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Servicio Meteorológico Nacional (1977). Fuerza Aérea Argentina. Datos Climáticos.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen al personal de Total Austral destacado en Aguada Pichana y Loma Las Yeguas por su hospitalidad y el permanente apoyo recibido durante la realización de los trabajos. Asimismo, desean también destacar su valiosa participación y colaboración en el desarrollo del proyecto.

Figura. 2. Luego de 1 año de riego en  
Propiedades químicas del suelo al pie de la planta y entre plantas

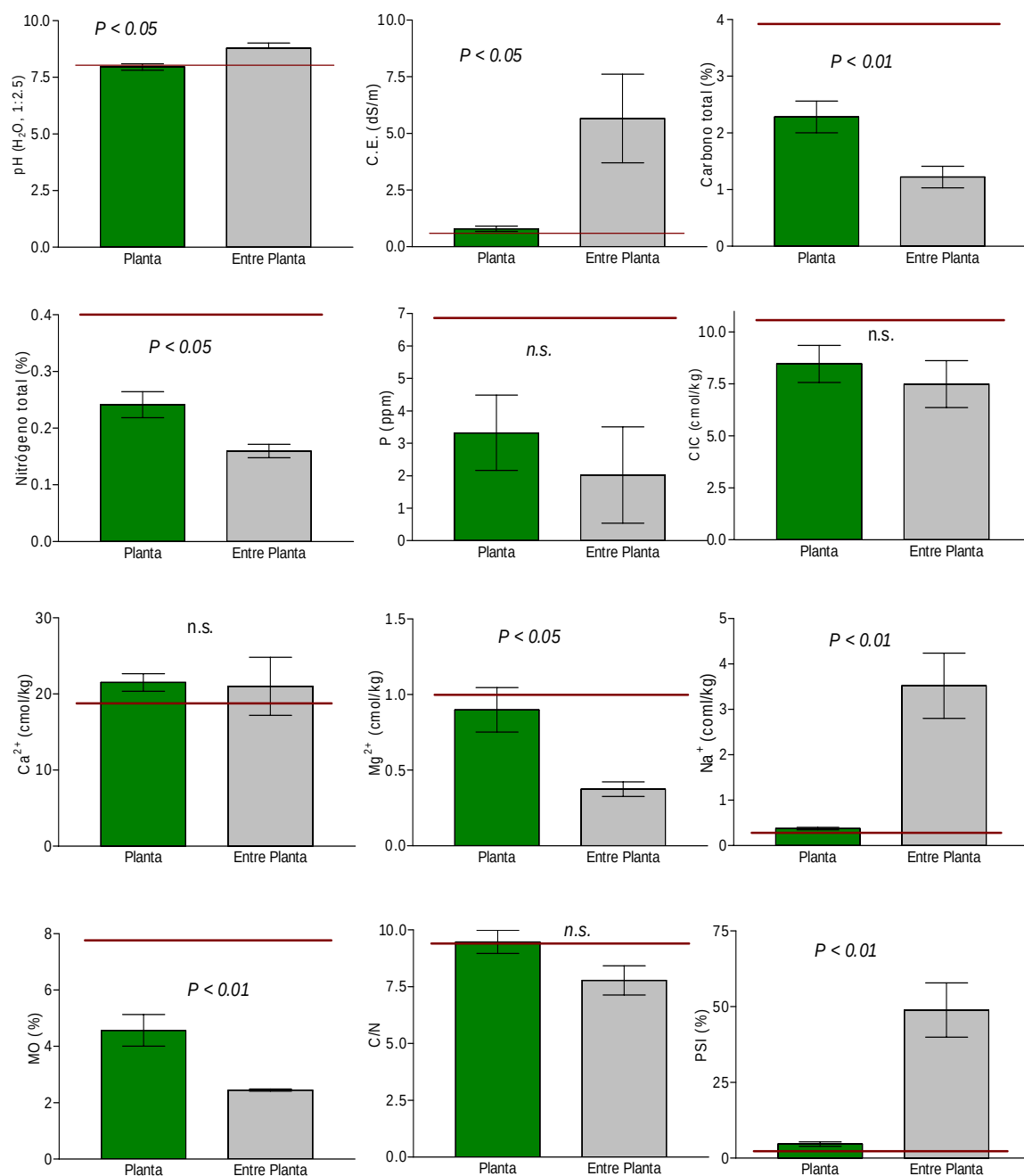


Figura 2

Principales propiedades químicas del suelo a 10 cm de profundidad proveniente de los cuatro sectores (repeticiones) y muestreado en Agosto de 2001, al lado de la planta dentro del pozo de plantación donde recibe riego (■); en comparación con: a) aquél ubicado en la hilera y entre plantas donde no recibe riego (■), y b) con el suelo proveniente de la localidad de Añelo (—), de mejores características edáficas utilizado como suelo de base en el pozo y en el momento de plantación en Agosto de 2000.

## CURRICULUM DE LOS AUTORES

Rodolfo Mendoza

Ingeniero Agrónomo UBA.

Estudios de Post grado. Universidad de Western Australia.

Museo Argentino de Ciencias Naturales (CONICET).

Investigador Independiente (CONICET).

Profesor de Post grado. Facultad de Agronomía. UBA. Curso de Contaminación de Suelos.

Miembro del Comité Editor del “*Bioremediation Journal*” USA.

Más de 50 publicaciones científicas.

René Portal

Master en Química. Cs. Ex. y Nat. BsAs.

Dr en Química. Fac. Cs. Ex. y Nat. BsAs.

Master en Higiene y Seguridad.

Jefe de Laboratorio de Química y Seguridad en CONEA y DUPONT ARGENTINA

Gerente de Higiene y Medio Ambiente de Total Austral S.A.

Más de 30 publicaciones en Química, Medio Ambiente y Seguridad en la Industria Petrolera.