

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final Presentado para Optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo”

**EFECTO DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA SOBRE LA
SALINIDAD Y NIVEL FREÁTICO EN TIERRAS DEL
SUR CORDOBÉS**

Alumno: Angeli, Ariel Ricardo.

29.144.747.

Directora: Ing. Agr. Msc Carmen Cholaky.

Co-Director: Ing. Agr. Msc Alberto Cantero.

Río Cuarto - Córdoba.

Junio de 2006.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Efecto de la vegetación arbórea sobre la salinidad y nivel freático en tierras del sur cordobés

Autor: Ariel Ricardo Angeli.

DNI: 29.144.747.

Directora: Ing. Carmen Cholaky.

Co-Director: Ing. Alberto Cantero.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

Ing. Omar Plevich _____

Ing. Américo Degioanni. _____

Ing. Miguel Reynero _____

Fecha de presentación: ____/_____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
SUMMARY	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	3
CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	3
ANTECEDENTES	7
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	12
HIPÓTESIS	12
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	13
DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES	13
1. SITIO EXPERIMENTAL 1: RUTA PROVINCIAL E-86 (EX RUTA 24) EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	14
Ubicación	14
Caracterización climática	14
Ambiente geomorfológico	14
Caracterización edáfica	15
2. SITIO EXPERIMENTAL 2: NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	15
Ubicación	15
Ambiente geomorfológico	16
Caracterización edáfica	16
3. SITIO EXPERIMENTAL 3: 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	17
Ubicación	17
Condiciones agroclimáticas	17
Ambiente geomorfológico	17
Caracterización edáfica	18
MÉTODOS	18
DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS	20
RELACIONES ENTRE VARIABLES	21

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **22**

SITIO EXPERIMENTAL 1. RUTA PROVINCIAL E-86 (EX RUTA 24) EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	22
CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS AGROECOSISTEMAS	22
Caracterización del agroecosistema agrícola	22
Caracterización de la cortina forestal	22
CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA GENERADA EN LOS ECOSISTEMAS	23
PROFUNDIDAD FREÁTICA	23
GRADIENTE DE NIVEL FREÁTICO	26
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	28
pH	31
HUMEDAD	33
SITIO EXPERIMENTAL 2. NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	36
CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS AGROECOSISTEMAS	36
Caracterización agrícola	36
Caracterización forestal	36
CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA GENERADA EN LOS ECOSISTEMAS	36
PROFUNDIDAD FREÁTICA	37
GRADIENTE DE NIVEL FREÁTICO	39
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	41
pH	43
HUMEDAD	44
SITIO EXPERIMENTAL 3: 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	47
CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS AGROECOSISTEMAS	47
Caracterización situación pastizal	47
Caracterización cortina forestal	47
CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA GENERADA EN LOS ECOSISTEMAS	48
PROFUNDIDAD FREÁTICA	49
GRADIENTE DE NIVEL FREÁTICO	51
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	52
pH	54
HUMEDAD	55

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES **58**

CAPÍTULO V. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN SUGERIDAS. **59**

**APÉNDICE 1. RELACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN RELACIÓN 1:1,
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN.** **65**

APÉNDICE 2. FOTOGRAFÍAS DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES **68**

**SITIO EXPERIMENTAL 1: RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA
CATALINA Y RUTA E-86** **68**

SITIO EXPERIMENTAL 2: NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA. **70**

SITIO EXPERIMENTAL 3: 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA. **73**

**APÉNDICE 3. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA Y DATOS ANALÍTICOS DE LOS
PERFILES DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES.** **77**

**SITIO EXPERIMENTAL 1. RUTA PROVINCIAL E-86 (EX RUTA 24) EN EL CRUCE CON EL
ARROYO SANTA CATALINA** **77**

SITUACIÓN FORESTAL **77**

Descripción del perfil **77**

Datos analíticos **78**

SITUACIÓN AGRÍCOLA **78**

Descripción del perfil. **78**

Datos analíticos. **80**

SITIO EXPERIMENTAL 2. NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA **80**

Descripción del perfil **80**

Datos analíticos **81**

SITIO EXPERIMENTAL 3. 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA **81**

Descripción del perfil **81**

Datos analíticos **82**

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PORCENTAJE DE COBERTURA SUPERFICIAL EN LAS SITUACIONES AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	23
TABLA 2: COBERTURA SUPERFICIAL GENERADA POR EL MANTILLO EN LAS SITUACIONES FORESTAL Y AGRÍCOLA. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	23
TABLA 3: CORRECCIÓN DE LA PROFUNDIDAD MEDIDA DE LA CAPA FREÁTICA A PARTIR DEL PROMEDIO DE COTAS TERRENO. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	24
TABLA 4: PROFUNDIDAD MEDIDA Y CORREGIDA DE LA CAPA FREÁTICA, COTA TERRENO. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	25
TABLA 5: GRADIENTE DE NIVEL FREÁTICO CORREGIDO ENTRE LA SITUACIÓN FORESTAL Y LA SITUACIÓN AGRÍCOLA. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	27
TABLA 6: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN PROFUNDIDADES ESTANDARIZADAS PARA LA SITUACIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	29
TABLA 7: VALOR DE pH PONDERADO EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD PARA LA SITUACIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	32
TABLA 8: HUMEDAD EN PROFUNDIDADES PONDERADAS PARA LA SITUACIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA	33
TABLA 9: COBERTURA (%) GENERADA POR EL MANTILLO EN LAS SITUACIONES FORESTAL Y AGRÍCOLA. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	36
TABLA 10: COBERTURA GENERADA (KG MS.HA ⁻¹) POR EL MANTILLO EN LAS SITUACIONES AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	37
TABLA 11: CORRECCIÓN DE LA PROFUNDIDAD MEDIDA DE LA CAPA FREÁTICA A PARTIR DE LA ALTURA DEL HILO MEDIO. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	38
TABLA 12: PROFUNDIDAD MEDIDA Y CORREGIDA DE LA CAPA FREÁTICA, COTA TERRENO. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	39

TABLA 13: GRADIENTE DE NIVEL FREÁTICO, CON PROFUNDIDAD CORREGIDA. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	40
TABLA 14: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN PROFUNDIDADES PONDERADAS. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	41
TABLA 15: pH EN PROFUNDIDAD PONDERADA EN LAS SITUACIONES AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	43
TABLA 16: HUMEDAD EN PROFUNDIDAD PONDERADA EN LAS SITUACIONES AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA	45
TABLA 17: COBERTURA (%) GENERADA POR EL MANTILLO EN LAS SITUACIONES FORESTAL Y AGRÍCOLA. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM. AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	48
TABLA 18: COBERTURA (KG MS.HA ⁻¹) GENERADA POR EL MANTILLO EN LA SITUACIÓN FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	48
TABLA 19: CORRECCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA FREÁTICA MEDIDA EN LAS SITUACIONES GANADERA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	49
TABLA 20: PROFUNDIDAD DE LA CAPA FREÁTICA MEDIDA, COTA TERRENO Y PROFUNDIDAD DE CAPA FREÁTICA CORREGIDA SEGÚN TOPOGRAFÍA EN LOS USOS AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	50
TABLA 21: GRADIENTE DE NIVEL FREÁTICO, CON PROFUNDIDAD CORREGIDA. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	51
TABLA 22: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN PROFUNDIDADES PONDERADAS. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	52
TABLA 23: pH EN PROFUNDIDADES PONDERADAS. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	54
TABLA 24: HUMEDAD EN PROFUNDIDADES PONDERADAS. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	56
TABLA 25: DATOS ANALÍTICOS SITUACIÓN FORESTAL, SITIO EXPERIMENTAL 1	78
TABLA 26: DATOS ANALÍTICOS SITUACIÓN AGRÍCOLA, SITIO EXPERIMENTAL 1	80
TABLA 27: DATOS ANALÍTICOS SITUACIÓN AGRÍCOLA, SITIO EXPERIMENTAL 2.	81
TABLA 28: DATOS ANALÍTICOS SITUACIÓN PASTIZAL, SITIO EXPERIMENTAL 3.	82

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

GRÁFICO 1: COTAS TERRENO Y COTAS NIVEL FREÁTICO DE LAS SITUACIONES AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA.	27
GRÁFICO 2: PERFIL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO PONDERADA EN RELACIÓN SUELO AGUA 1:1. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA.	31
GRÁFICO 3: PERFIL DE PH PONDERADO EN RELACIÓN SUELO AGUA 2,5:1. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA.	33
GRÁFICO 4: PERFIL DE HUMEDAD PROMEDIO PONDERADA. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA.	35
GRÁFICO 5: COTAS TERRENO Y COTAS NIVEL FREÁTICO DE LAS SITUACIONES AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA.	40
GRÁFICO 6: PERFIL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO PONDERADA EN RELACIÓN SUELO AGUA 1:1. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA.	43
GRÁFICO 7: PERFIL DE PH PROMEDIO PONDERADO EN RELACIÓN SUELO AGUA 2,5:1. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA.	44
GRÁFICO 8: HUMEDAD PROMEDIO PONDERADA. SITIO EXPERIMENTAL NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA.	46
GRÁFICO 9: COTAS TERRENO Y COTAS NIVEL FREÁTICO DE LAS SITUACIONES AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA	51
GRÁFICO 10: PERFIL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LAS SITUACIONES AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA.	54
GRÁFICO 11: PERFIL DE PH DEL SUELO PARA LAS SITUACIONES AGRÍCOLA Y FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA.	55
GRÁFICO 12: PERFIL DE HUMEDAD DE LOS SUELOS. SITIO EXPERIMENTAL 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA.	57
GRÁFICO 13: RELACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN RELACIÓN 1:1 Y EN EXTRACTO DE SATURACIÓN. SITUACIÓN FORESTAL. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA.	65

GRÁFICO 14: RELACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN RELACIÓN 1:1 Y EN EXTRACTO DE SATURACIÓN. SITUACIÓN AGRÍCOLA. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA.

66

GRÁFICO 15: RELACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN RELACIÓN 1:1 Y EN EXTRACTO DE SATURACIÓN. SITIO EXPERIMENTAL RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA

67

RESUMEN

Existen en el centro-sur de Córdoba entre 1,5 y 2,2 x 10⁶ hectáreas sometidas a procesos de hidrohalomorfismo. La hipótesis del trabajo fue que una cortina forestal de árboles del género *Eucalyptus* deprime el nivel freático respecto a una situación de uso agrícola y/o ganadera colindante y disminuye la salinidad del perfil en sus capas superiores. El objetivo general fue evaluar el efecto de la cortina forestal sobre el nivel freático y salinidad del perfil en tres ambientes del sur de Córdoba, Sitio 1: Ruta E-86, cruce con el arroyo Santa Catalina, Sitio 2: Norte de la localidad de La Cautiva y Sitio 3: Sur de la localidad de Río Bamba, donde se evaluaron la profundidad freática, conductividad eléctrica, pH y humedad edáficas y cobertura superficial. Los resultados del sitio 1 (Entisol, con freática de ligera salinidad) mostraron una leve tendencia a la reducción del nivel freático en la cortina forestal, aunque no significativa, con un incremento en concentración de sales desde 40 cm debajo de los *Eucalyptus*. No se observaron diferencias en el pH superficial entre los sitios. La cobertura generada por la cortina forestal fue mayor que la encontrada en la situación agrícola. En el sitio 2 (Haplustol údico, con freática de escasa salinidad) se observó una tendencia similar al sitio 1 en el nivel freático, y se encontró mayor concentración de sales debajo del árbol en todo el perfil. Se observó un marcado descenso de pH hasta los 20 cm en la cortina forestal y ausencia de diferencias en la cobertura superficial. En el sitio 3 (Natracualf típico, con freático de alta salinidad) las diferencias en el nivel freático fueron algo menores y no significativas, y se encontraron diferencias importantes en la conductividad entre 0-5 cm. Se observó un marcado descenso de pH debajo del árbol hasta los 20 cm. La cobertura mostró valores significativamente mayores debajo del árbol. Se concluye que los árboles generan una ligera depresión de la freática para las condiciones estudiadas, de entre 20 y 30 cm, mayor hacia el centro de la cortina, aunque sin diferencias estadísticas, se verifica una desconexión capilar en sitios con capa freática salina a profundidad crítica y salinización del suelo debajo del árbol en situaciones con freática ligeramente salina, y un incremento significativo de la acidez del suelo en los primeros centímetros debajo de la broza forestal.

Palabras clave: hidrohalomorfismo, profundidad de capa freática, salinidad, *Eucalyptus*, biodrenaje.

SUMMARY

In southern Cordoba, Argentina, there are 1,5 to 2,2 x 10⁶ hectares under hydrohalomorphic process. The hypothesis of this work was that a plantation of *Eucalyptus*

lowers the freatic level and reduces the salinity of the shallow layers of the profile in relation to an agricultural site. The general objective was the evaluation of the effects of afforestation on the water table level and the salinity of the profile in comparison to the contiguous agricultural land use in three experimental stands, Stand 1: E-86 route, in the cross with the stream Santa Catalina, Stand 2: north of La Cautiva and Stand 3: south of Río Bamba. In this stands, the water table depth, electrical conductivity, pH, moisture of the profile's layers and cover were evaluated. The results of the Stand 1 (Entisol, with low salinity water table) showed a light tendency to the lowering of the freatic level under the plantation, though it wasn't significant, and it was found salt concentration after 40 cm under *Eucalyptus*. The pH value didn't show differences between land uses. The shallow cover (%) under trees was greater than the cover under agricultural use. In the Stand 2 (Haplustol údico, with low salinity water table), a similar tendency of the water table depth was found and salt concentration was observed under trees in the entire profile. A pronounced lowering in pH from 0-20 cm in the forest and absence of differences in shallow cover was found. In the Stand 3 (Natracualf típico, with a shallow and saline water table), the differences in the water table depth were smaller than in the other sites, and it was observed a significant dissimilitude in the 0-5 cm electrical conductivity. A pronounced drop in pH in the forest site in the first 20 cm of the profile was found. The shallow cover showed a significant difference, being greater in the forestal site. It is concluded that the trees produce a light lowering in the freatic level, which is greater in the center of the forest. There is capillary disconnection in the stand with saline and shallow water table, and salinization of the ground under trees in stands with lightly saline water tables.

Keywords: hydrohalomorfism, water table depth, salinity, *Eucalyptus*, biodrainage.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

Existen en la República Argentina en el orden de $3,4 \times 10^7$ has sometidas a excesos de agua y sales (FECIC, 1996). Cisneros (1994) resalta la relevancia económico-social de estos procesos en el centro-sur de Córdoba, debido a la superficie afectada, a su ritmo de evolución, a las restricciones de la productividad de las tierras y a la carencia de conocimientos científicos y tecnológicos operativos desarrollados en el área. Algunas estimaciones sitúan esta superficie en la mencionada región entre $1,5$ y $2,2 \times 10^6$ hectáreas. (INTA, 1990, en Cisneros *et al.*, 1998 c).

La región centro-sur de la provincia de Córdoba está conformada por cinco grandes Unidades Ambientales, las que se diferencian entre sí por sus características climáticas, geológicas, geomorfológicas e hidrológicas (Cantero, *et al.*, 1998). El área bajo estudio se encuentra, según los mismos autores, en la Unidad Ambiental *Llanuras mal drenadas*, que se caracteriza por presentar condiciones cíclicas o permanentes de salinización, alcalinización, anegamiento-inundación y sedimentación, debido a que es receptora final de todos los sistemas hídricos de la región. Dentro del ambiente de Planicies y Depresiones salino-sódicas, de acuerdo a los mismos autores, se encuentran suelos cuya característica es una conexión permanente de la superficie con el agua salina de la capa freática. Predominan los suelos afectados por sales y sodio en una distribución muy compleja de modo tal que pueden estar sometidos a salinización o a alternancia de salinización-inundación-sedimentación. Estas mismas limitaciones fueron encontradas por Weir (1998), en los suelos halomórficos del sureste de la provincia.

Sin embargo, el análisis debe trascender la propia unidad mencionada, debido a que el sur de Córdoba presenta condiciones de relieve, topografía, suelos y uso de tierras que determinan una conjugación de ambientes, desde las áreas serranas y onduladas del oeste, emisoras de agua, sedimentos y solutos, hasta las planicies y depresiones receptoras en el centro y sureste de la región (Cantero y Cantú, 1980).

Los periódicos excesos hídricos, que afectan al sur cordobés, acarrearán una compleja trama de perjuicios a las tierras y por ende a la producción y economía regional. Desde el punto de vista edáfico, el ascenso de la capa freática genera la salinización y sodificación del suelo, simultáneamente su atmósfera se altera en sus fases suelo/agua/aire, llegando a provocar la asfixia radical (Pappalardo, 1998).

En este sentido, la presencia de una capa freática salina vinculada capilarmente con la superficie y en la que la concentración de sales en el perfil y en la superficie resulta de un equilibrio dinámico de flujos ascendentes y descendentes, constituye la principal limitación de las tierras de la región (Cisneros *et al.*, 1998 a). Cantero *et al.* (1996) informan que todos los suelos salinos y sódicos del área presentan conexión capilar debido a que la profundidad de la freática está por encima de la altura crítica para la salinización, esto es, aquella profundidad de capa freática desde la cual llega la suficiente cantidad de sales disueltas a la superficie para provocar salinización (corresponde a un flujo capilar de 1 mm.día^{-1}). Por ello, la concentración y composición iónica de la solución del suelo está estrechamente relacionada a la de la freática, ya que en condiciones de clima húmedo o subhúmedo, la principal vía de aportes de sales al suelo es el agua subterránea (Cisneros, 1994).

Las condiciones para la formación de suelos afectados por sales son, por un lado, un contacto del mismo con una fuente de sales solubles y por el otro, que los procesos de acumulación prevalezcan en forma periódica o permanente sobre los de lavado (Darab, 1981).

Cantero *et al.* (1996) mencionan que en la superficie del suelo, los procesos de evaporación producen una concentración adicional de sales, en especial cuando dichos suelos permanecen desnudos, por lo cual todos los suelos representativos del área muestran una tendencia de reducción de la salinidad superficial bajo cobertura.

La profundidad de la capa freática está en relación con las características topográficas del lugar. Su comportamiento no es estático, sino que tiene una dinámica que está gobernada por las recargas. Este comportamiento se caracteriza por la existencia de ciclos estacionales, relacionados a un balance hídrico local, con períodos de recarga (ascenso) en el semestre cálido y húmedo y de descarga (descenso) en el semestre frío y seco (Cisneros *et al.*, 1998 b).

En la escala regional existen dos tipos de recargas de los acuíferos: una vinculada directamente a los cursos y canales que llegan a la depresión, y otra relacionada a los flujos hipodérmicos que circulan por la corteza de alteración. Existe también una dinámica local de recargas relacionadas a las geoformas, a las condiciones de suelo (material originario y cobertura vegetal) y a las precipitaciones locales. Estas recargas pueden ser debidas a escurrimientos superficiales entre ambientes relacionados, o por escurrimientos hipodérmicos o recarga directa al freático (Cisneros, 1994).

La deposición de sedimentos y recarga de la capa freática por parte de los cursos de agua provenientes de los sectores ondulados conectados hidrológicamente en el ámbito de la

cuenca regional, incrementa la superficie sedimentada, anegada, salinizada e inundada (Cantero *et al.*, 1998).

Desde el punto de vista de su génesis, estos suelos se denominan hidromórficos por ser el agua el factor principal de su formación o también halo-(sales) mórficos por tener éstas, una gran actividad (Weir, 1998). Los suelos que contienen concentraciones excesivas de sales solubles, sodio intercambiable o de ambos, representan un problema que requiere la aplicación de medidas especiales y prácticas de manejo adecuadas (Richards, 1973).

En este sentido, y para la región bajo estudio, Cisneros *et al.* (2004) destacan que los severos procesos de inundación, anegamiento y salinización de ambientes mal drenados de todo el sur provincial, sumados a los cambios de uso en el suelo asociados a aumentos en las precipitaciones promedio anuales del área en los últimos 15 años, y la intensificación agrícola, hacen necesario seleccionar cuidadosamente el uso de la tierra para aprovechar las capas freáticas como fuentes de agua y evitar daños por anegamiento y salinización.

Al respecto y en relación al uso de las tierras de la región bajo estudio, puede observarse en estos últimos años un incremento en las superficies dedicadas a los rubros agrícolas y de laboreo sobre tierras no aptas (Cantero *et al.*, 1998). Este hecho puede agravar el problema, teniendo en cuenta que el uso y manejo del suelo puede ser determinante en su estado de salinidad y que el desconocimiento de la necesidad de aplicación de prácticas especiales de manejo puede resultar en un completo fracaso (Richards, 1973).

Las estrategias hasta ahora utilizadas para el drenaje de este tipo de áreas en el mundo, se enfocan frecuentemente en soluciones ingenieriles, como diques, drenaje vertical y horizontal. Esto, por un lado implica altos costos, y por el otro genera efluentes que al verterse en los cursos de agua pueden causar contaminación (Agriculture department, FAO, 2000). Este trabajo plantea que el biodrenaje, es decir el uso de vegetación para manejar los flujos de agua en el ambiente, es una de las técnicas más atractivas para remover el exceso de agua del suelo a través de la evapotranspiración.

Galetti (2003) destaca que la forestación puede ser una opción a analizar ya que ante abundancia de agua, un árbol puede evapotranspirar centenares y aún miles de litros diarios en un día caluroso y ventoso. Cantero *et al.* (1998) indican que si bien las limitantes del suelo son muy severas para la producción forestal, existen especies con posibilidades de adaptación a la salinidad que, además de brindar una alternativa productiva a las empresas y a la región, pueden determinar una depresión del nivel de la freática por una mayor transpiración y generar microclimas para la producción forrajera por la reducción de la salinidad del suelo. Ambos trabajos informan que las especies arbóreas más interesantes son aquellas de hoja ancha, raíces profundas y ramificadas y que mantienen las hojas todo el año,

ya que estas características favorecen la transpiración, con el consiguiente abatimiento de la capa freática.

Teniendo en cuenta este aspecto, se pueden considerar como especies más promisorias a las pertenecientes al género *Eucalyptus*, ya que además cumplen varias de las características citadas por Schofield (1992) como necesarias para adaptarse a un proceso de biodrenaje o mejoramiento de la calidad de un sitio anegable mediante el uso de árboles; estas son, adaptación a las condiciones locales, alto uso de agua que permita minimizar el área de plantación requerida, beneficio del árbol por su aceptación como madera para pulpa, leña o muebles, control de la erosión eólica e hídrica y efectos estéticos en el paisaje.

En base al problema previamente caracterizado y a las alternativas de solución enunciadas, se plantea la realización de un estudio de carácter exploratorio acerca de la influencia de la vegetación arbórea sobre la salinidad del suelo y el nivel freático en tierras del sureste cordobés, mediante la comparación de montes de *Eucalyptus sp.* de la región con situaciones agrícolas o ganaderas vecinas. La importancia del estudio, radica en la posibilidad de generar un primer aporte sobre la caracterización y diferenciación de la dinámica del agua y las sales en el mismo ambiente, pero con dos usos de la tierra distintos, y establecer la posible depresión del nivel freático y/o redistribución de sales en el perfil bajo la influencia de la vegetación forestal en la región bajo estudio.

ANTECEDENTES

Más de $7,6 \times 10^7$ hectáreas de tierras del mundo han pasado a tener afectación salina debido a las actividades humanas (Ghasseemi *et al.*, 1995, Oldman *et al.*, 1991, citado por Zohar y Schiller, 1999). Aunque la mayoría de la superficie afectada por sales se encuentra en áreas irrigadas, existen problemas de salinización secundaria en áreas de producción bajo secano (Pannell y Ewing, 2005).

Según Barret-Lennard (2002), Turner y Ward (2002) y George *et al.* (1999) el desarrollo de problemas de salinidad por el ascenso de la capa freática, es generado en la mayoría de los casos por el reemplazo de vegetación perenne nativa de alta profundidad radical por cultivos anuales de escasa profundidad de raíces.

Según Schofield (1992), este ascenso se debe a un cambio en el balance hídrico por el menor consumo de agua de estas últimas comunidades. Pannell y Ewing (2005) citan a Ferdowsian *et al.* (2001), quienes cuantifican una elevación de la capa freática del orden de los 10-30 cm anuales en el este de Australia ante estas de condiciones de cambio de vegetación nativa perenne por vegetación anual.

Ante este problema, estos autores citan la reintegración de plantas perennes a los sistemas productivos como una alternativa para generar el retorno de las funciones hidrológicas a su situación original.

Zohar y Schiller (1999) informan que existe evidencia experimental acerca de que las plantaciones de árboles pueden revertir el ascenso de la capa freática. En este sentido, numerosas especies de *Eucalyptus* que han mostrado sobrevivir y crecer en áreas inundables y salinas están siendo usadas para rehabilitar y utilizar suelos salinos, siendo una de las especies más apreciadas el *Eucalyptus camaldulensis* Dehn., debido a que es categorizada como una especie de rápido crecimiento, propiedad correlacionada con el uso del agua. Los mismos autores citan en su revisión que, en áreas donde la demanda atmosférica es alta y el agua del suelo está fácilmente disponible, las altas tasas de transpiración de estos árboles justifican su reputación de “bombas de agua” que pueden ser utilizadas en la rehabilitación de áreas mal drenadas.

En tanto, Schofield (1992) asume como primer requerimiento de las especies a utilizar, que el flujo evapotranspiratorio anual que generen, se iguale o exceda la precipitación. Para lograr este fin, plantea que usualmente se requieren plantaciones tanto en las áreas altas o de recarga como en las áreas bajas o de descarga de las cuencas, y cita a *Eucalyptus globulus* como una especie de alta preferencia para este planteo por su alto potencial de consumo de agua y por su rotación corta.

Chhabra y Thakur (1998) citan a Clader (1996), quien reportó que especies de *Eucalyptus* plantados en áreas donde la capa freática no es profunda, pueden usar una alta cantidad de agua porque no poseen control estomático cuando hay abundante cantidad de agua en la zona radical.

Es por estas razones, que los árboles han sido (y aún son) promovidos en numerosos países, entre ellos Australia, India e Israel, como una alternativa ambientalmente favorable para el control de capas freáticas de baja profundidad a través de su mayor tasa transpiratoria en comparación con cultivos anuales (Heuperman, 1999).

Según George *et al.* (1999), en Australia, millones de árboles son plantados cada año con la intención de controlar el ascenso de la capa freática inducido por el clareo y subsecuente reemplazo de vegetación nativa por cultivos anuales. Mientras tanto Barret-Lennard (2002), afirma que el efecto depresor de los árboles sobre el manto freático se presenta en numerosas condiciones de suelo.

High Level Expert Comité (1998) cita como un importante caso de estudio el Indira Gandhi Nahar Project en la India, donde franjas de 1.524 metros de largo y 261 metros de ancho fueron plantadas con árboles del género *Eucalyptus* a lo largo de un canal, con una densidad de 1.666 árboles/ha, logrando descensos de la capa freática de alrededor de 15 m durante la edad de 2-8 años, con tasas de extracción de agua de $34.460 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ (lo cual equivale a $3.446 \text{ mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$). Otra referencia citada al respecto en el mismo trabajo, menciona una evapotranspiración anual de una cortina forestal de *Eucalyptus sp.* en el oeste de Australia de 920 mm anuales en base a la información de 5 años.

En otro trabajo, Chhabra y Thakur (1998) encontraron un promedio de biodrenaje (evapotranspiración – evaporación) de 4.761 mm. anuales para una capa freática de baja salinidad (0,4 ds/m) a 1,5 m de profundidad, mientras que para igual profundidad y alta salinidad (12 ds/m), el biodrenaje se redujo a 2.762 mm. anuales, mostrando que este proceso es mayor a menor salinidad de la capa freática, pero que ante condiciones de alta salinidad se sigue manifestando. Sin embargo, esta reducción en el biodrenaje se acentúa con el tiempo debido a un incremento en la salinidad de las capas más bajas del suelo como resultado de la extracción de agua por las raíces.

Según los mismos autores, la cantidad de agua biodrenada puede ser calculada como la diferencia entre la evapotranspiración y la evaporación, aún cuando cabe la consideración que la evaporación debajo de los árboles será menor que en otras áreas debido al efecto del mulch generado por los árboles, al descenso de la temperatura, incremento de la humedad relativa y al menor contenido de humedad en el suelo superficial causado por la toma de agua de las raíces de los árboles.

Sin embargo, es actualmente reconocido que es mucho más difícil prevenir el ascenso freático y la salinización que lo que previamente se pensaba (Pannell y Ewing, 2005). Estos autores citan a George *et al.* (2001), quienes indican que el área de suelo bajo vegetación perenne necesita ser muy extensa (mayor al 50 %) para lograr control a escala de cuenca.

Según Schofield (1992), las observaciones más intensivas derivan del este de Australia. En una región de 700 mm de precipitación anual, se ha encontrado una muy cerrada relación entre los niveles freáticos y la proporción del área cubierta con árboles. En la situación extrema de máxima proporción de cubierta forestal, en una plantación que cubre el 70 % del área previamente clareada, los niveles freáticos descendieron 5,5 m en un período de 9 años, mientras que en el otro extremo, plantaciones que cubren menos del 15 % del área clareada, no muestran respuesta de reducción del nivel freático.

En el mismo sentido, George *et al.* (1999) citan que a menos que existan condiciones hidrológicas específicas, los datos sugieren que sólo plantaciones extensivas, tal vez influenciando 70-80 % del drenaje, generarán reducciones significativas en las capas freáticas y control de la salinidad, y que tanto en áreas de recarga o emisoras como de descarga o receptoras, las respuestas se encuentran positivamente relacionadas con el área revegetada con árboles.

Turner y Ward (2002) encontraron que en las condiciones del sur de Australia, se requiere una plantación de al menos 16-22 % de la superficie de las cuencas previamente clareadas para lograr una recarga de la freática similar a la situación prístina con predominio de vegetación perenne.

Además, George *et al.* (1999) señalan que las plantaciones en áreas de recarga (emisoras de escurrimientos o de tránsito) pueden generar reducciones significativas en los niveles freáticos si áreas importantes son plantadas, mientras que en las áreas de descarga (receptoras de escurrimientos), las probabilidades de depresión son menores y la magnitud de la respuesta más pequeña. Este hecho podría justificarse mediante los postulados de Thorburn (1997), citado en George *et al.* (1999) que indican que los árboles son más efectivos deprimiendo freáticas en ambientes de reducida salinidad (correspondientes a áreas de recarga) y en acuíferos locales, lo cual también concuerda con lo expresado por Pannell y Ewing (2001) quienes expresan que los sistemas regionales presentan menores respuestas a la intervención.

En referencia al efecto de los árboles sobre la profundidad de la capa freática fuera de los límites de las plantaciones, 77 de los 80 sitios revisados no tuvieron diferencias más allá de los 10-30 metros desde los árboles (George *et al.*, 1999). En el mismo sentido, High

Level Expert Committee (1998) informa que las respuestas encontradas en Victoria (Australia), con plantaciones de 3 años de *Eucalyptus botryoides*, *E. Grandis*, *E. camaldulensis*, *E. Globulus* y *E. insignia* se extienden sólo entre 5 y 90 metros desde los árboles, aún con respuestas importantes dentro de la plantación (entre 3 y 5 metros de depresión).

Mientras tanto, Heuperman (1999) encontró efectos de depresión de la freática hasta una distancia de 50 metros desde la plantación.

Schofield (1992) plantea también una falta de información acerca de las consecuencias de las plantaciones forestales sobre la calidad de agua freática y la salinidad del suelo.

En este sentido, George, *et al.* (1999) presentan como limitación de la utilización de los árboles, que si bien la respuesta se presenta bajo un amplio rango de condiciones ambientales, no ocurre en todos los sitios en donde los árboles son plantados y coincide con Heuperman (1999) en que el crecimiento de árboles en áreas con capa freática de baja profundidad puede resultar en acumulación de sales en el área próxima a la zona radical, precisamente en la parte más alta de la zona saturada por el frente capilar como consecuencia del gradiente hidráulico generado en el suelo hacia ese lugar.

Esto se debe, según Stirzaker *et al.* (1999), a que las raíces excluyen casi todas las sales durante el proceso de transpiración, lo cual genera serios problemas de acumulación de sales en el perfil, aún cuando el agua freática es moderadamente salina.

Este proceso de gradiente hidráulico inverso, exclusión de sales y acumulación en el perfil fue encontrado en 10 sitios sobre 16 monitoreados por Heuperman (1999), quien incluso muestra aumentos en la salinidad de las capas freáticas debajo de la plantación.

El mismo autor señala que los principales aumentos de salinidad coinciden con la zona de fluctuación de la freática más un frente capilar de aproximadamente un metro.

Sin embargo, las respuestas en relación a la salinidad se muestran ambiguas y dependientes del régimen de precipitaciones del lugar. Schofield *et al.* (1989) citado por George *et al.* (1999) observaron pequeñas reducciones en la salinidad en sitios con precipitaciones entre 700-900 mm/año, probablemente por el lixiviado de sales por parte del agua de lluvia, mientras que Stolte (1997) citado en el mismo trabajo, encontró significativos ascensos de la salinidad bajo regímenes de precipitación menores a 400 mm/año.

Chhabra y Thakur (1998) encontraron que para capas freáticas de entre 1 y 2 m de profundidad y salinidades entre 0,4 y 12 ds/m, no hubo un apreciable incremento de la salinidad en la zona radical debajo de los árboles, lo cual es fuertemente contrastante con la

pronunciada acumulación salina en los primeros 30 cm en el área sin ningún tipo de cobertura. Esto se debería a que las sales no llegan por capilaridad a la superficie debido a que son interceptadas por las raíces de los árboles. Esto también se muestra en el perfil de humedad, que marca menores contenidos de agua en los primeros 60 cm debajo de los árboles. Estos autores concluyen que el biodrenaje controla el fenómeno de salinización secundaria de la superficie, acumulándose las sales entre 45-120 cm y que el incremento de salinidad por la mayor evapotranspiración de los árboles se lava con el agua de lluvia hacia las capas inferiores o al propio acuífero deprimido.

Asimismo, en su revisión sobre el tema, George *et al.* (1999) plantea resultados obtenidos por Engel (1991) quien encontró que la salinidad del perfil descendió en el primer metro, se incrementó entre 1 a 2 m de profundidad y se mantuvo sin cambios debajo de esa profundidad.

Por otra parte, Woodall y Ward, citados en Turner y Ward (2002), mostraron que una línea de árboles provocó una reducción de los rendimientos de los cultivos hasta 20 metros de la misma, principalmente por la propia competencia por el agua, lo cual, por un lado confirma el mayor potencial de extracción de agua por parte de los vegetales, y por el otro, constituye una limitación a la disponibilidad de recursos para el sistema agrícola colindante.

Heuperman (1999), plantea como alternativa de uso ciclos forestales de entre 20-30 años, en los cuales se evita el impacto detrimental de la acumulación de sales en el perfil de suelo.

En este sentido, y tal lo observado por Schoefield (1992), la principal incertidumbre en la adopción de la técnica es la relación costo-beneficio, por lo que a menos que las plantaciones tengan alto valor comercial y puedan ser cosechadas, o se demuestre que la tierra a ser reforestada no incrementará su salinidad, habrá poco incentivo para el cambio de uso de las tierras.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

- La presencia de una población de árboles perennifolios de mediana edad del género *Eucalyptus*, implantados en tierras de las cuencas medias y bajas de los sistemas de arroyos Santa Catalina, El Gato y Ají de la región centro-sur de Córdoba, deprime el nivel de la capa freática respecto a una situación de uso agrícola y/o ganadero aledaña.

- La interrupción de la continuidad capilar generada por el mulch de hojarasca en la situación forestal, sumada a la depresión del nivel freático causado por el efecto del árbol, desconectan la capa freática de la superficie, disminuyendo el nivel de salinidad del perfil en sus capas superiores.

Objetivo general

- Evaluar el efecto del uso de la tierra forestal sobre el nivel de la capa freática y la salinidad del perfil en tres sitios de la región centro-sur de Córdoba, en relación al uso agrícola y/o ganadero predominante en esa región.

Objetivos específicos

Para los usos de suelo y sitios mencionados anteriormente:

- Determinar la profundidad de la capa freática.
- Evaluar la salinidad y pH del manto freático y del perfil de suelo.
- Analizar el frente de humedecimiento del perfil de suelo.
- Establecer la relación entre los usos de la tierra y variables bajo estudio para tres sitios específicos del sur de Córdoba.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en las cuencas medias y bajas del sistema de drenaje de los arroyos Santa Catalina, Del Gato y Ají, donde fueron seleccionadas tres situaciones representativas del área que presentan dos usos de la tierra próximos espacialmente: a) cortina forestal perennifolia de mediana edad y b) agrícola/ganadero.

DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

Los sitios seleccionados siguen un gradiente ambiental creciente en relación a la presencia de signos diagnósticos de hidrohalmorfismo en la vegetación, suelo, agua, etc., constituyendo ejemplos de condiciones: (1) levemente salinas, (2) moderadamente salinas y (3) fuertemente salinas. La figura 1 muestra la ubicación de cada uno de los sitios experimentales seleccionados dentro de la región centro sur de la provincia de Córdoba.

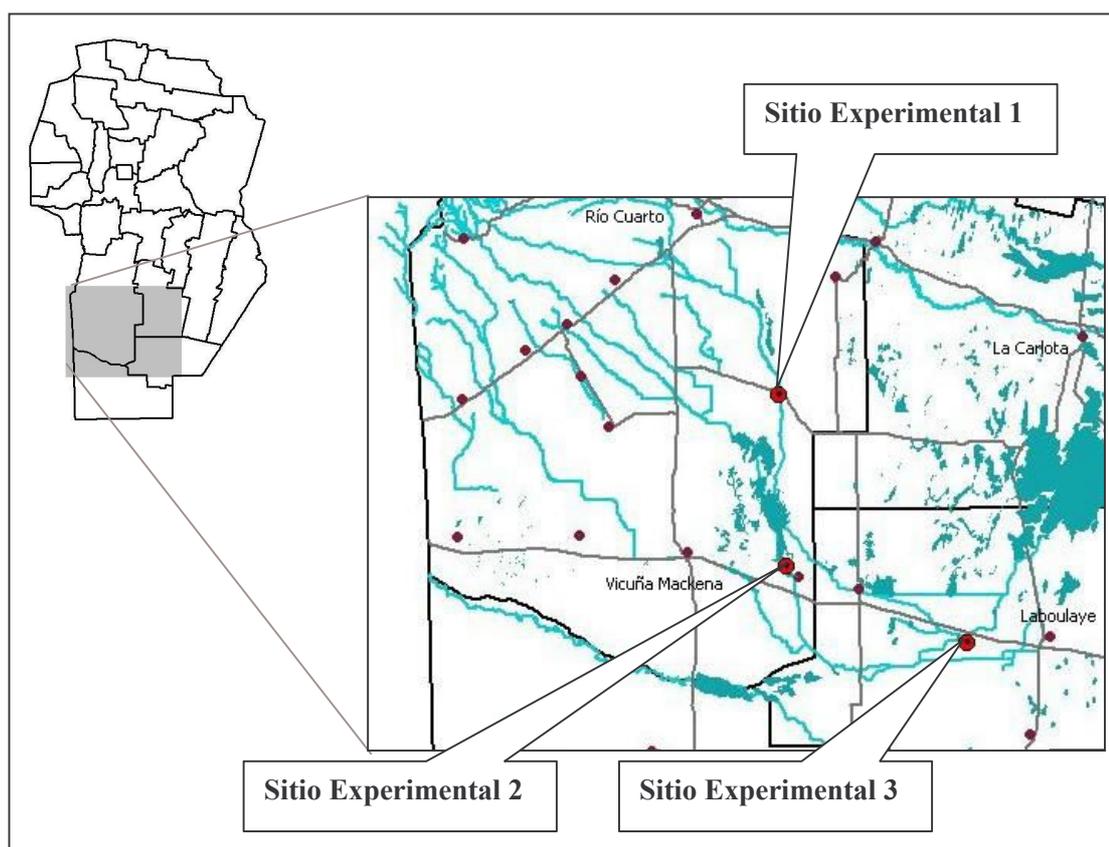


Figura 1: Localización de los sitios experimentales.

A continuación, se presenta una caracterización general del clima y ambiente geomorfológico y edáfico de cada una de ellas.

1. Sitio experimental 1: Ruta provincial E-86 (ex ruta 24) en el cruce con el arroyo Santa Catalina

Ubicación

El sitio experimental 1 se ubica en el Departamento Río Cuarto, Pedanía La Cautiva, más precisamente en el cruce de Arroyo Santa Catalina con la ruta provincial E-86 (ex ruta 24) (ver figura 1). Sus coordenadas geográficas son 33° 33' 28,02" S, 64° 07' 48,32" O, con un nivel sobre el mar de 272 metros.

Caracterización climática

Se presenta una síntesis de la información brindada por Cantero, *et al.* (1986) para el Departamento Río Cuarto para caracterizar los sitios experimentales 1 (Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina) y 2 (Norte de la localidad de La Cautiva), ubicados en el mencionado Departamento. Predomina el clima subhúmedo con estación seca invernal, mesotermal. El sitio experimental 1 se encontraría, según esta revisión, en una franja de precipitaciones entre 700-800 mm/año, mientras que en el sector sur del Departamento, correspondiente a la localidad de La Cautiva, las precipitaciones alcanzan valores de entre 600-700 mm/año. En todo el Departamento el régimen de precipitaciones es monzónico, concentrando alrededor del 80 % de la lluvia en el período de Octubre a Abril. En relación a las temperaturas, la temperatura del mes más cálido (Enero) es de 24,5 °C, mientras que para el mes más frío (Julio), la temperatura es de 8,7 °C, siendo la amplitud térmica de 15,8 °C. El período libre de heladas en el Departamento es de 240 días, desde el 11 de Septiembre al 11 de Mayo.

Ambiente geomorfológico

Tomando como referencia Agencia Córdoba D.A.C y T.S.E.M, e INTA (2003), la situación geomorfológica corresponde a la **Planicie periserrana distal** caracterizada por un relieve suavemente ondulado y constituida por sedimentos eólicos franco arenosos finos.

Las corrientes de agua superficial que la atraviesan siguen la pendiente regional hacia el Sudeste. En épocas muy lluviosas, estos arroyos llegan con importantes aportes hídricos hasta la pampa arenosa anegable, ya sea por la superficie o por flujos subterráneos de la capa freática.

El área bajo estudio, según Cantero *et al.* (1986), posee un relieve subnormal, suavemente ondulado, con pendientes medias y largas, uniformes, de dirección NO-SE con gradientes menores al 0,5 %.

Caracterización edáfica

Corresponde, según la Agencia Córdoba D.A.C y T.S.E.M, e INTA (2003) a la unidad cartográfica **Co-6**, compuesta por suelos indiferenciados, aluviales, algo excesivamente drenados, profundos, franco arenosos en superficie, moderadamente pobres en materia orgánica.

El suelo se encuentra en el margen oeste del arroyo Santa Catalina, es de génesis fluvial, por lo que sobre un suelo original oscuro y de material adhesivo por efecto del sodio intercambiable, se observa la deposición de distintas capas claras por su escaso material orgánico, franco arenosas a arenoso francas, constituidas de material arrastrado por los procesos fluviales, determinando límites abruptos en granulometría, consistencia y color. El perfil se encuentra desarrollado genéticamente a partir de los 87 a 115 cm. según la distancia respecto al arroyo, evidenciando acción de la capa freática de baja salinidad, pero alcalina por su riqueza en carbonatos y bicarbonatos, y sódica, lo que le confiere adhesividad y plasticidad a las capas cercanas al manto freático. Los colores grisáceos asociados a procesos de óxido-reducción de minerales de hierro y manganeso evidencian condiciones periódicas de saturación de la masa porosa con agua alternadas con condiciones de buena aireación de esa parte del perfil. Taxonómicamente es un Entisol, con aptitud agrícola, clase por capacidad de uso III.

La capa freática se encuentra entre 2 – 2,3 m, es decir por debajo de la profundidad crítica de salinización (que, según Cisneros (1994), se encuentra entre 1 a 1,5 metros para estos suelos) y es de baja salinidad. La recarga de la misma es de carácter regional rápida, ya que está marcadamente influenciada por el arroyo Santa Catalina.

Los perfiles edáficos tipo, descriptos en ambas situaciones de uso debido a la variable influencia del arroyo sobre cada una de ellas, se muestran en la foto 1 y 2 del apéndice 2 y sus respectivas caracterizaciones se presentan en el apéndice 3.

2. Sitio experimental 2: Norte de la localidad de La Cautiva

Ubicación

El sitio experimental 2 se encuentra en el Departamento Río Cuarto, pedanía La Cautiva, a un kilómetro al norte de la localidad homónima (Figura 1). Sus coordenadas geográficas son 33° 58' 33,16" S, 64° 04' 59,14" O, presentando un nivel sobre el mar de 195 metros.

Ambiente geomorfológico

Según la Agencia Córdoba D.A.C y T.S.E.M, e INTA (2003) se ubica en la **Pampa arenosa**. Este sector de la llanura cordobesa se caracteriza esencialmente por los materiales de origen eólico de textura franco arenosa fina.

Elevada tectónicamente, el relieve local dominante es de lomas muy suavemente onduladas, con proporciones menores de lomas medianosas, médanos estabilizados, lomas con hoyas medianosas pequeñas, planos deprimidos y cubetas de deflación.

La capa freática no está muy profunda, y la mayor parte de los bajos y fundamentalmente las cubetas asociadas a las áreas medianosas, son cuerpos de agua permanentes o semipermanentes alimentados por ella, con la consiguiente salinización y alcalinización de los suelos.

Dentro de esta unidad geomorfológica, el sitio se encuentra en una planicie alta de relieve normal, suavemente ondulado, con pendientes en general largas y uniformes, con orientación norte-sur y un gradiente menor al 0,5 %.

Caracterización edáfica

Corresponde, según Agencia Córdoba D.A.C y T.S.E.M, e INTA (2003), a la unidad cartográfica **Mnur-5**, con una clase por capacidad de uso de III, dentro de la cual se ubica en planos altos y lomadas (Haplustol udorthéntico, Serie Laboulaye), con suelos bien a algo excesivamente drenados, profundos, desarrollados a partir de sedimentos eólicos de textura franco arenosa, bien provistos de materia orgánica en su horizonte superficial (Ap), secuencia de horizontes Ap, A12, AC, C.

En el análisis del perfil, el suelo se muestra bien drenado y profundo, taxonómicamente Haplustol údico (diferencia con el material de referencia debido al desarrollo de horizonte B) de textura franca arenosa hasta los 38 cm y arenoso-franca a partir de esa profundidad, con aptitud de uso agrícola (clase por capacidad de uso III). La capa freática es levemente salina, evidenciando una recarga local lenta.

La caracterización del perfil edáfico típico en la condición de uso agrícola del suelo, se presenta en el apéndice 3. Las fotos 6 y 7 del apéndice 2 muestran los perfiles de ambas situaciones de uso de la tierra.

3. Sitio experimental 3: 3 km al sur de la localidad de Río Bamba

Ubicación

El sitio experimental 3 se encuentra en el Departamento Presidente Roque Sáenz Peña, Pedanía Amarga (Figura 1). Sus coordenadas geográficas son 34° 05' 30,82" S, 63° 44' 19,84" O, con un nivel sobre el mar de 154 metros.

Condiciones agroclimáticas

Debido a la cercanía con la localidad de Laboulaye y a la escasa variación espacial de los principales factores y elementos del clima, se tomó como referencia a esta localidad para la caracterización climática del sitio en cuestión. Según INTA (1987), la temperatura media anual es de 16,6 °C. La temperatura media del mes más cálido (Enero) es de 23,8 °C, siendo el mes más frío Julio, con una temperatura media de 9,1 °C, lo cual determina una amplitud térmica anual de 14,7 °C. La fecha media de primera helada es el 16 de Mayo y la de última helada es el 13 de Septiembre, resultando un período libre de heladas de 233 días. La precipitación media anual, según Cisneros *et al.* (2001) es de 798 mm (período 1903-1998), con oscilaciones extremas entre 384 y 1139 mm (INTA, 1987). Según los mismos autores, de la distribución estacional de las precipitaciones resulta el carácter monzónico del régimen pluviométrico, que concentra el 74 % de las lluvias en el semestre cálido (primavera-verano). El balance hídrico medio de la localidad muestra una evapotranspiración potencial de 1.034 mm y una evapotranspiración real de 733, con importantes deficiencias entre los meses de Noviembre y Febrero (INTA, 1987).

Ambiente geomorfológico

Según la Agencia Córdoba D.A.C y T.S.E.M, e INTA (2003) esta situación se ubica en la unidad geomorfológica **Pampa arenosa anegable**. Constituye un ambiente de cuenca cerrada que se caracteriza por su relieve plano-cóncavo, prácticamente sin pendiente.

Los suelos están constituidos por materiales eólicos franco arenosos, que en los bajos inundables se alternan con sedimentos finos de origen fluvial.

El sitio experimental se ubica en un relieve subnormal, plano-cóncavo, prácticamente sin gradiente de pendiente. El área está constituida por planos deprimidos de escurrimiento superficial lento y drenaje interno impedido por horizontes cementados en profundidad y por densificaciones superficiales y costras salinas en superficie que impiden los procesos de infiltración y redistribución del agua dentro del perfil.

Caracterización edáfica

Cartográficamente ubicado en la unidad **Mnur-9** (Agencia Córdoba D.A.C y T.S.E.M, e INTA, 2003), la cual se caracteriza por suelos de planos bajos, imperfectamente drenados, sódicos desde la superficie. Las principales limitaciones son, que el suelo permanece mojado por importantes lapsos de tiempo, la sodicidad moderada a fuerte que permite sólo el crecimiento de algunas plantas muy tolerantes y la manifestación de degradación física de los suelos. Los suelos que se desarrollan en estas áreas son Natracualfes típicos (Serie Villa Rossi), con aptitud de uso ganadero, clase por capacidad de uso VI.

Las capas freáticas son de alta salinidad (superior a 15 ds.m^{-1}) evidenciando una recarga regional (con agua proveniente desde fuera del área de análisis) lenta (debido a flujos subterráneos), y se encuentran por encima de la profundidad crítica de salinización, lo cual se evidencia por la presencia de costras salinas en los sitios del paisaje donde no existe cobertura. Las condiciones hidrohalomórficas (por efecto de las sales y el agua) e hidrofísicas (por efecto del sodio de intercambio) de los perfiles impiden que su uso potencial sea agrícola, quedando restringido para pastoreo. Su clase por capacidad de uso es VIsw.

En el apéndice 3 se presenta una descripción del perfil edáfico hasta el nivel del manto freático, caracterizado en la situación del pastizal. Las fotos 12 y 13 del apéndice 2 muestran los perfiles de las situaciones de uso forestal y de pastizal respectivamente.

MÉTODOS

Para cada una de los sitios experimentales seleccionados, se determinó un momento del año en el que el clima es más estable y ya hubieran ocurrido la mayor parte de las precipitaciones de la estación (entre Abril y Julio) y no hubiera habido disturbios meteorológicos o antrópicos recientes. Para cada uso de la tierra, se determinaron al azar puntos de muestreo en los cuales:

- Se realizó una caracterización morfológica del perfil edáfico hasta el nivel del manto freático tomando como información de base la caracterización de los suelos y su taxonomía del trabajo de la agencia Córdoba D.A.C Y T. S.E.M e INTA (2003), verificando estas clasificaciones a campo mediante las normas de reconocimiento de suelo propuestas por INTA (1998) y adoptando la clasificación de clases por pH (1:2,5) y salinidad (1:1) propuesta en USDA (1999) y de sodicidad en algunas capas del suelo, por porcentaje de sodio intercambiable propuesto por Porta Casanellas *et al.*, (1994). (Fotos 1-2, 6-7 y 12-13 en apéndice 2, perfiles edáficos de las situaciones en estudio, en apéndice 3). Asimismo, y

para complementar esta caracterización, se tomaron algunos horizontes del suelo donde se realizó una caracterización iónica de una de las muestras por situación siguiendo lo propuesto por Richards (1973), y que constó de determinaciones de a) Carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (CO_3H) por el método volumétrico de Winkler y Warder, b) Cloruros (Cl^-) mediante el método de Mohr c) Sulfatos (SO_4^-) por diferencia iónica, d) Calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) por espectrofotometría de llama y e) Potasio (K^+) y sodio (Na^+) por el método de emisión con fotómetro de llama.

- Se caracterizó la cortina forestal: especie, densidad real de la cortina, edad de la misma, altura media del árbol tipo mediante el uso de un hipsómetro, diámetro a la altura de pecho (DAP) del árbol tipo, superficie implantada, y otros datos que se consideraron de relevancia.

- Se caracterizó la situación agrícola-ganadera: especie, cobertura, densidad de plantas para los casos de cultivos agrícolas implantados, y otros datos que se consideraron de relevancia como rendimiento esperado en cultivos implantados o rendimientos obtenidos en cultivos ya cosechados.

Además, y para cada una de los sitios experimentales en estudio, se evaluaron las siguientes variables con tres repeticiones por uso de la tierra, en un diseño completamente aleatorizado, en el que el uso de la tierra fue considerado el tratamiento. El muestreo realizado fue al azar, a excepción de la última variable (gradiente espacial de nivel freático), para la cual los sitios de muestreo se definieron arbitrariamente:

- *Profundidad de la capa freática*: en la primera repetición, la determinación se realizó en la misma calicata que se utilizó para caracterizar el perfil edáfico, dejando estabilizar el ascenso del nivel freático, para luego tomar la lectura de la profundidad; para las restantes repeticiones, la determinación se realizó mediante barrenado. Dado que a partir del relevamiento topográfico realizado con el nivel de anteojos se pudo constatar que en la generalidad de las situaciones había una marcada diferencia entre la posición topográfica de la situación agrícola respecto a la forestal, se estableció un plano de referencia arbitrario, ubicado 10 metros por debajo del plano visual, desde el cual se establecieron las cotas del terreno y del manto freático y posteriormente calculó el promedio de las cotas terreno, valor al cual se le restó cada una de las cotas del nivel freático para obtener de esta manera la profundidad de la capa freática corregida por topografía.

- *Salinidad del perfil*: mediante un barreno se extrajeron muestras en las profundidades definidas en la descripción morfológica del perfil, a partir de las cuales se midió la conductividad eléctrica (método del conductímetro) en una relación suelo secado al aire/agua 1:1 (Smith y Doran, 1996). Luego, teniendo en cuenta que la conductividad es función de la salinidad y que esta es una propiedad aditiva y con el objetivo de realizar

comparaciones entre las situaciones con y sin árbol, estas profundidades se estandarizaron a 0-5; 5-20; 20-40; 40-80; 80-120 y más de 120 cm, realizando un promedio ponderado de los valores de conductividad medidos en los horizontes genéticos en función del espesor que cada uno de ellos ocupara de las capas estandarizadas. De esta manera se buscó lograr una solución de compromiso entre una correcta caracterización edáfica y consecuente toma de muestras de suelo por horizontes genéticos, con la obtención de un dato comparable entre situaciones de uso de la tierra.

- *Reacción del suelo*: en idénticas profundidades que para el caso de salinidad, se determinó el pH de las muestras (en relación suelo secado al aire/agua 1:2,5) por el método potenciométrico. De igual modo que para la determinación anterior, se estandarizaron las profundidades para poder establecer comparaciones entre los dos usos de la tierra considerados.

- *Humedad del perfil*: se determinó la humedad gravimétrica sobre base seca de las muestras extraídas para las determinaciones anteriores, a través del pesado y posterior secado en estufa a 105 °C. Los resultados fueron llevados, luego, a las profundidades preestablecidas y mencionadas precedentemente.

- *Cobertura superficial y biomasa aérea de mantillo*: para ambas situaciones de uso se estimó el porcentaje de cobertura superficial que genera el mantillo o cobertura superficial del terreno, mediante el método de la transecta (Laflen *et al.*, 1981) y se tomaron muestras de dicho mantillo (mulch) en una superficie de 0,25 m² para realizar una estimación de la materia seca de las mismas, la cual fue expresada en kg.ha⁻¹.

- *Gradiente espacial del nivel freático*: en cada una de las situaciones elegidas, se realizó una transecta desde la situación forestal a la situación agrícola/ganadera, donde en 6 puntos establecidos arbitrariamente, se midió la profundidad de la freática utilizando un barreno.

Esta última determinación se realizó de forma descriptiva en cada sitio experimental, sin repeticiones.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Para el análisis estadístico de los resultados, y una vez comprobado que las variables en cada situación analizada mostraban una distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilks modificada por Mahibbur y Govindarajulu (1997), citados en InfoStat (2002 b), se realizó un análisis de varianza (ANAVA) de los datos obtenidos en los distintos sitios con un nivel de significación de 0,05, utilizando el software InfoStat (InfoStat, 2002). La comparación de medias de las variables bajo estudio se realizó mediante la prueba LSD de

Fisher, utilizando el mismo software. El diseño experimental fue completamente aleatorizado en donde los usos del suelo fueron considerados tratamientos. Para la comparación de las variables entre tratamientos, se utilizó un nivel de significancia del 5%.

RELACIONES ENTRE VARIABLES

En el sitio 1, ruta E-86 y Arroyo Santa Catalina, se realizó la determinación de conductividad como indicador del tenor salino, tanto en relación 1:1 suelo-agua (CE 1:1) (Smith y Doran, 1996), como en extracto de saturación (CE_{ES}) (Richards, 1973), para corroborar la relación existente entre los valores encontrados bajo estas dos metodologías (Smith y Doran, 1996, USDA, 1999). Se analizó mediante InfoStat (InfoStat, 2002) y Excel 98, la regresión entre las variables CE 1:1 y CE_{ES} para los datos de la repetición 1, estableciéndose la línea de tendencia entre los valores y se determinó su fórmula bajo el supuesto de que la relación es lineal y que la línea de tendencia pasa por el origen de las coordenadas ($Y = a.X + b$, donde $b = 0$). Los resultados de estas relaciones se presentan en el apéndice 1.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SITIO EXPERIMENTAL 1. RUTA PROVINCIAL E-86 (EX RUTA 24) EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA

Caracterización general de los agroecosistemas

Caracterización del agroecosistema agrícola

Cultivo de sorgo granífero en madurez fisiológica en la primer visita y post-cosecha en la segunda visita (foto 3, apéndice 2), sembrado a una distancia entre líneas de 45 cm, con un promedio de 9,67 plantas por metro lineal, lo cual genera una densidad real de 215.000 plantas por hectárea, la cual resulta alta para este cultivo y junto con la distancia entre hileras, menor a la tradicional (70 cm), permiten inferir que el cultivo sembrado es de ciclo corto. La medida de biomasa del cultivo arrojó un valor de 19.380 kg.ha⁻¹, por lo cual y considerando un índice de cosecha de 0,42 y 0,57 (Broad y Hammer, 1996), se puede estimar un rendimiento entre 8.140 y 11.000 kg.ha⁻¹, el cual puede ser considerado como muy bueno para los promedios regionales (Castillo, comunicación personal) y en relación al potencial de rendimiento de este cultivo, que según Ramoa y Sánchez (1997) se ubica en 10.000 kg.ha⁻¹ pero rara vez se alcanza en nuestro país por problemas de manejo. El sistema de laboreo utilizado fue de mínima labranza, no pudiéndose observar por ello, rastros de cultivos anteriores.

Caracterización de la cortina forestal

La cortina corresponde a la especie *Eucalyptus viminalis* Labill, (foto 4, apéndice 2), árbol de gran porte, corteza caediza que deja el descubierto el tronco blanquecino (Dimitri, 1988). Se encuentra sobre la margen oeste del arroyo Santa Catalina (foto 5, apéndice 2 y figura 2), con un ancho aproximado de 60 m y un largo de 200 m, abarcando una superficie de 1,2 has. La edad de los árboles es de aproximadamente 15 años. Los árboles fueron plantados con un arreglo espacial en cuadrado a 3 m de distancia, con una densidad de cortina de 1.111 árboles.ha⁻¹. La densidad real de plantas al momento de la visita fue de 889 árboles.ha⁻¹ (un 80 % de la densidad original de plantación). El árbol tipo presentó un diámetro a la altura de pecho de 25 cm y una altura total de 19 m

Caracterización de la cobertura generada en los ecosistemas

La cobertura generada en estos ecosistemas, expresada como porcentaje, mostró diferencias significativas entre las situaciones de uso analizadas (Tabla 1).

Tabla 1: Porcentaje de cobertura superficial en las situaciones agrícola y forestal. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina

Situación	Cobertura (%)	Número de muestras	p-valor	CV
Agrícola	66,667 a	3	0,048	17,44
Forestal	100 b	3		

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Posiblemente la menor cobertura generada en el ecosistema agrícola se deba al sistema de labranza mínima utilizado a partir del cual se redujo este porcentaje en las sucesivas labores realizadas. Mientras tanto, el ecosistema forestal cubrió la totalidad de la superficie del suelo con las hojas y ramas caídas de los árboles.

La expresión del mantillo en Kg MS.ha⁻¹ de ambos agroecosistemas no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones de uso (Tabla 2)

Tabla 2: Cobertura superficial generada por el mantillo en las situaciones forestal y agrícola. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina

Situación	Materia seca (kg.ha ⁻¹)	Número de muestras	p-valor	CV
Agrícola	1.814 a	3	0,34	117,24
Forestal	9.522 a	3		

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Este resultado estadístico puede deberse a la variabilidad de los datos de las repeticiones del muestreo (obsérvese que la variación asciende al 117 %), no reflejando la diferencia realmente existente entre los distintos usos de la tierra.

Profundidad freática

En la tabla 3, se presentan los datos de profundidad freática medida, la altura del hilo medio medida con el nivel de anteojos, las cotas terreno y las cotas de la capa freática para un plano de referencia de 10 metros por debajo del plano visual, así como la corrección de la profundidad de capa freática según el promedio de las cotas terreno.

Tabla 3: Corrección de la profundidad medida de la capa freática a partir del promedio de cotas terreno. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina

Situaciones de uso y repeticiones	Profundidad medida capa freática (cm)	Altura hilo medio (cm)	Cota terreno (cm)	Cota profundidad freática (cm)	Profundidad corregida (cm)
Agrícola 1	165	142	858	693	172,75
Agrícola 2	210	150	850	640	225,75
Agrícola 3	200	142	858	658	207,75
Agrícola 4	220	135	865	645	220,75
Agrícola 5	215	141	859	644	221,75
Promedio	202	142	858	656	209,75
Forestal 1	260	126,5	873,5	613,5	252,25
Forestal 2	230	129	871	641	224,75
Forestal 3	240	124	876	636	229,75
Forestal 4	225	121	879	654	211,75
Forestal 5	205	132	868	663	202,75
Promedio	232	126,5	873,5	641,5	224,25
PROMEDIO GENERAL COTAS TERRENO			865,75		

Con estos datos, se realizó el análisis estadístico, en el cual no se observaron diferencias entre la profundidad promedio del nivel freático de ambas situación, pero sí pudieron apreciarse diferencias entre las cotas terreno promedio, evidenciando que la situación forestal se encontraba en un plano más alto desde el punto de vista topográfico respecto a la situación agrícola (Tabla 4).

Tabla 4: Profundidad medida y corregida de la capa freática, cota terreno. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina

	Agrícola	Forestal	p-valor	CV
Profundidad medida capa (cm)	202 a	232 a	0,055	9,40
Cota terreno (cm)	858 a	873.5 b	0,001	3,60
Profundidad corregida (cm)	209,75 a	224,25 a	0,29	9,72

Letras distintas en igual fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Si bien los promedios de profundidades del nivel freático corregidos variaron en el orden de los 15 cm, las diferencias no mostraron ser estadísticamente significativas para el nivel de significancia asignado, por lo cual no puede aseverarse que la cortina de *Eucalyptus* provoca una depresión del nivel freático respecto a la situación de sorgo granífero en madurez fisiológica en este caso en particular. Mientras tanto, y si bien las diferencias halladas entre las profundidades de capa freática medida en el terreno tampoco fueron significativas, se puede observar un p-valor mucho menor que el de las restantes variables, y muy cercano al nivel de significación del test, por lo cual podrían inferirse diferencias entre los tratamientos en esta variable.

Por otro lado, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las cotas terreno, marcando que la situación forestal se encontraba en promedio en un área más alta del terreno respecto de la situación agrícola, lo cual marca una dirección de escurrimientos superficiales contraria a la esperada, teniendo en cuenta la ubicación de estas situaciones respecto al Arroyo Santa Catalina, colindante del monte de *Eucalyptus* y separado por este de la situación agrícola. (Figura 2).

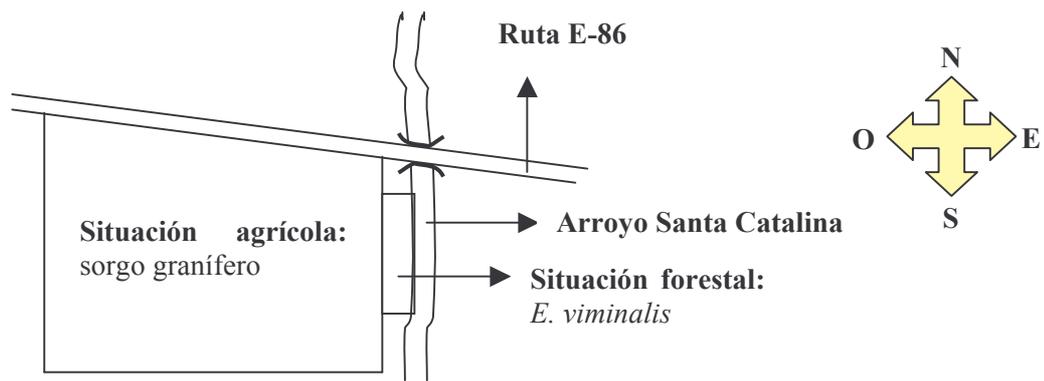


Figura 2: Representación esquemática de la ubicación de la cortina forestal y la situación agrícola en relación al Arroyo Santa Catalina.

Teniendo en cuenta la influencia del nivel del Arroyo Santa Catalina, la capa freática puede ser caracterizada como de recarga regional (según la clasificación de capas freáticas propuesta por Cisneros *et al.*, 1998 b), por lo cual la hipotética depresión de la capa freática causada por los árboles, se vería contrarrestada por un aporte continuo de agua desde el arroyo que tendería a estabilizar la profundidad en los valores originales. Este hecho concuerda por un lado con lo encontrado por Thorburn (1997), citado en George *et al.* (1999) y Pannell y Ewing (2001) que indican que los árboles son más efectivos deprimiendo freáticas en acuíferos locales y por el otro con el planteo de la necesidad de tener una alta proporción del drenaje plantado, al menos de un 15 % del área de aporte, para lograr depresiones significativas en las capas freáticas, enunciado por Schofield (1992) y George, *et al.*, (1999), condición que no se cumple en el sitio experimental en cuestión y que justificaría la ausencia de diferencias en el nivel de la freática ante la escasa extensión de la plantación.

Gradiente de nivel freático

En la tabla 5, se presenta la información recabada a partir de la realización de una transecta uniando ambas situaciones de uso, en la que se evaluó el nivel de manto freático.

Tabla 5: Gradiente de nivel freático corregido entre la situación forestal y la situación agrícola. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina

Situación	Profundidad corregida (cm)	Distancia desde la división de lotes (m)
Agrícola 1	207,75	30
Agrícola 2	220,75	15
Agrícola 3	221,75	5
Forestal 1	202,75	8
Forestal 2	211,75	12,5
Forestal 3	229,75	20

En el gráfico 1 se muestra este gradiente mediante las cotas del nivel freático, así como también las cotas del terreno (los valores representan la posición relativa respecto a un plano de referencia ubicado 10 mt por debajo del plano visual), observándose en superficie, la posición más baja de la situación agrícola, mientras que en el caso de la capa freática, se observa que la misma se presenta como influente al arroyo.

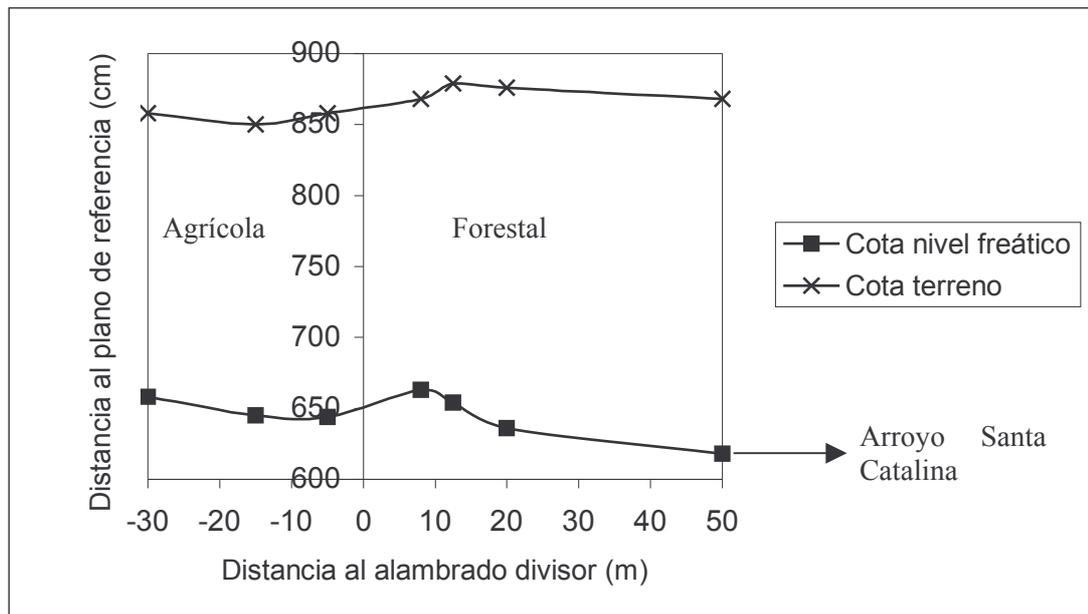


Gráfico 1: Cotas terreno y cotas nivel freático de las situaciones agrícola y forestal. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina.

Si bien puede observarse que de forma aislada, la profundidad de la capa freática en el caso forestal se hizo mayor a medida que se incrementó la distancia respecto de la división de los lotes, es decir a medida que se avanzó hacia el centro de la cortina forestal lo cual podría evidenciar un efecto depresor de la freática por parte de los árboles, y que lo contrario ocurrió en la situación agrícola, en la cual la profundidad se hizo menor a mayor distancia de

la cortina forestal, es difícil presentar este efecto como transecta entre los dos usos del suelo, puesto que la situación agrícola más cercana al alambrado presentó una profundidad mayor a la situación forestal más cercana al alambrado, y a que como la medición se realizó sólo con fines descriptivos, no existieron repeticiones ni posibilidades de analizar los datos estadísticamente. Sin embargo, se aprecia en el gráfico 1 que hacia el centro de la forestación se produce una depresión del nivel de la freática del orden de los 20 a 25 cm. respecto a las restantes mediciones dentro de la forestación.

La ausencia de diferencias estadísticas en los niveles freáticos precedentemente analizada justifica la imposibilidad de plantear el efecto como gradiente de nivel freático, tal cual lo esperado, aunque la citada diferencia en el centro de la cortina forestal en relación a la profundidad freática podría marcar por un lado, un mayor consumo de agua en ese sector, respecto a la periferia de la cortina, y por el otro, que ante plantaciones de mayor extensión areal, donde la proporción de área perimetral fuera menor respecto al área total de plantación, las posibilidades de encontrar diferencias significativas serían mayores. Ello nuevamente relacionado con la recarga de la capa freática, que al ser de carácter regional en esta situación impediría observar los efectos de depresión, coincidiendo con lo planteado por Thorburn (1997), citado en George *et al* (1999) y Pannell y Ewing (2001), ya que una recarga de la freática de este tipo reduce la proporción del área plantada porque la cuenca hidrológicamente se hace de mayor extensión al tener aportes externos.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de la situación de cortina forestal fue estadísticamente mayor que la de uso agrícola desde los 40 cm de profundidad, acentuándose aún más estas diferencias desde los 80 cm de profundidad (tabla 6).

Tabla 6: Conductividad eléctrica en profundidades estandarizadas para la situación agrícola y forestal. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina

Rango de profundidad (cm)	C:E 1:1 (ds.m ⁻¹)		Número de muestras	p-valor	CV
	Forestal	Agrícola			
0-5	0,26 a	0,22 a	3	0,56	26,63
5-20	0,23 a	0,20 a	3	0,59	30,00
20-40	0,30 a	0,20 a	3	0,33	47,13
40-80	0,64 b	0,17 a	3	0,03	44,73
80-120	2,51 b	0,22 a	3	0,017	51,77
120 a +	2,76 b	0,30 a	3	<0,0001	7,39
Suelo Saturado por la capa freática	1,51 b	0,44 a	3	0,018	35,02

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (p <= 0,05)

Se puede observar una diferencia estadísticamente significativa en la conductividad eléctrica desde los 40 cm de profundidad en adelante. En la situación de cortina forestal este parámetro fue superior, probablemente a partir de la mayor concentración de sales en la zona rizosférica por efecto de los árboles, lo cual coincide con lo planteado por Heuperman (1999) y George *et al.* (1999), respecto a que una mayor evapotranspiración y exclusión de sales del flujo ascendente del vegetal genera una acumulación de las mismas en la región cercana a la raíz. Además, las diferencias crecen a mayor profundidad (menor p-valor), por lo cual se puede inferir que el árbol tomaría agua desde el frente capilar y provocaría la salinización de ese sector del perfil, principalmente desde los 80 cm de profundidad, desde donde la conductividad eléctrica del perfil forestal muestra capas ligeramente salinas, mientras que en el caso del perfil agrícola se mantiene como no salino en toda su extensión. Estos resultados coinciden, en forma parcial, con lo encontrado por Engel (1991), citado en George *et al.* (1999) quien expresa que la salinidad se incrementa entre 1 y 2 metros de profundidad. Asimismo, y teniendo en cuenta que la fuente de agua subterránea es de baja salinidad, la ocurrencia de salinidades moderadas en parte del perfil forestal sólo puede deberse a una concentración de sales generada ante la exclusión de las mismas del flujo transpiratorio de los árboles, limitación que coincide con la planteada por Stirzaker *et al.* (1999), Heuperman (1999) y George, *et al.* (1999), evidencia, además, que este flujo transpiratorio es superior que para los cultivos agrícolas anuales, y determina que se cumplan los postulados de Darab

(1981) para que se forme un suelo (u horizonte) más salino, es decir el contacto con una fuente de sales y la predominancia de la acumulación respecto al lavado.

Por otro lado, el hecho de que en los primeros 40 cm no se observen diferencias entre las situaciones de uso analizadas concuerda con lo planteado por Chhabra y Thakur, (1998) y permite inferir el efecto del alto porcentaje de cobertura que genera el mulch de hojarasca debajo de los árboles, que produce una desconexión capilar con la superficie, ya que aunque no se observaron reducciones en la salinidad, al menos este parámetro no aumentó significativamente respecto de la situación de uso agrícola. Asimismo, el efecto del ascenso capilar puede ser despreciable hasta tan corta distancia de la superficie debido a que la capa freática se encontraba debajo de los 2 metros de profundidad y el flujo capilar para suelos de textura arenosa franca a franco arenosa asciende entre 1 a 1,2 m (Cisneros, 2004) y hasta 1,5 m (Skaggs, 1980), por lo cual la principal fuente de agua para los árboles en este sector superficial del perfil sería la precipitación, es decir una fuente carente de sales.

Es de destacar que el hecho de que la concentración de sales se produzca aún cuando la fuente subterránea de agua es de escasa salinidad, confirma lo planteado por Stirzaker *et al.*(1999) respecto a que este problema se produce aún con fuentes de agua de bajo grado de mineralización y determina la necesidad de evaluar las posibles consecuencias que esta acumulación de sales en el perfil podría tener sobre la calidad del suelo en relación con su funcionalismo ligado a los vegetales.

El perfil de conductividad eléctrica en los dos suelos ilustra las diferencias previamente analizadas (Gráfico 2).

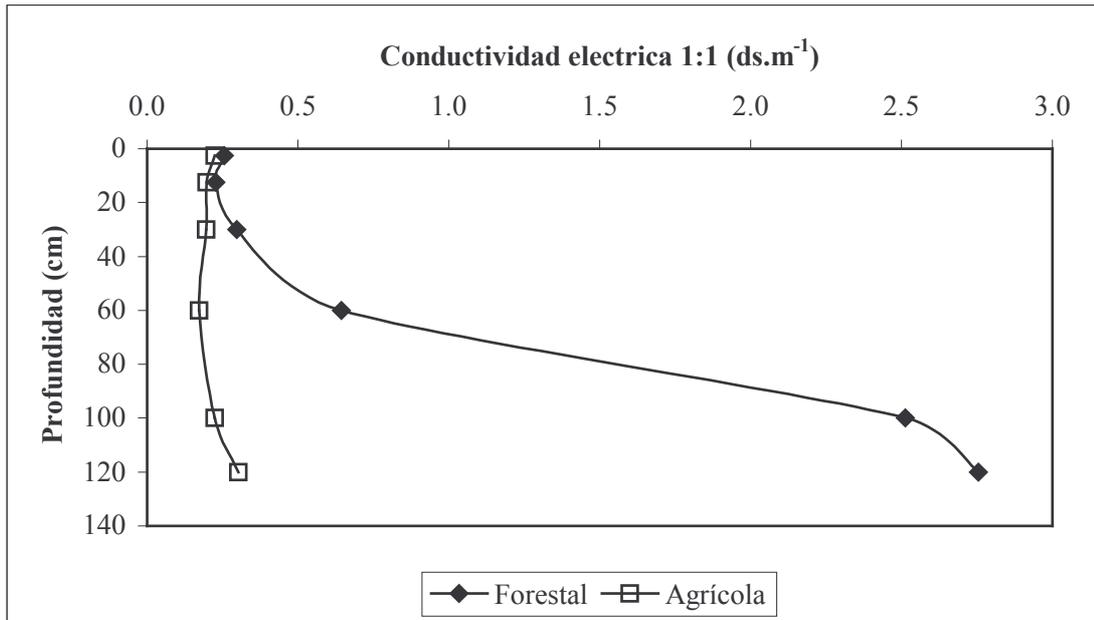


Gráfico 2: Perfil de conductividad eléctrica promedio ponderada en relación suelo agua 1:1. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina.

pH

El pH de la capa superficial de la situación forestal mostró un valor levemente inferior al resto del perfil, lo cual puede deberse al efecto acidificante generado por la descomposición del mulch de hojarasca, proceso que concuerda con lo planteado por ALADI, (2001) y puede ser caracterizado como un efecto generado por las plantaciones de carácter negativo sobre el suelo. Sin embargo, y a lo largo de todo el perfil, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de pH de las dos de situaciones de uso analizadas (tabla 7).

Tabla 7: Valor de pH ponderado en función de la profundidad para la situación agrícola y forestal. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina

Rango de profundidad (cm)	pH (1:2,5)		Número de muestras	p-valor	CV
	Forestal	Agrícola			
0-5	6,90 a	7,78 a	3	0,11	7,21
5-20	7,71 a	7,90 a	3	0,37	2,87
20-40	7,92 a	8,07 a	3	0,64	4,67
40-80	8,09 a	8,18 a	3	0,77	4,52
80-120	8,16 a	8,50 a	3	0,35	4,13
120 a +	8,49 a	8,73 a	3	0,53	4,89
Suelo saturado por capa freática	9,52 b	9,14 a	3	0,01	1,01

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Los altos valores de esta variable en casi todo el perfil, sobre todo desde 40 cm, indican la influencia de la capa freática rica en aniones bicarbonatos de reacción alcalina.

Asimismo, en la situación agrícola puede observarse una mayor homogeneidad en los valores de pH en profundidad respecto a la situación forestal, la que además mantuvo valores algo mayores para este parámetro en todas las profundidades del perfil (Gráfico 3).

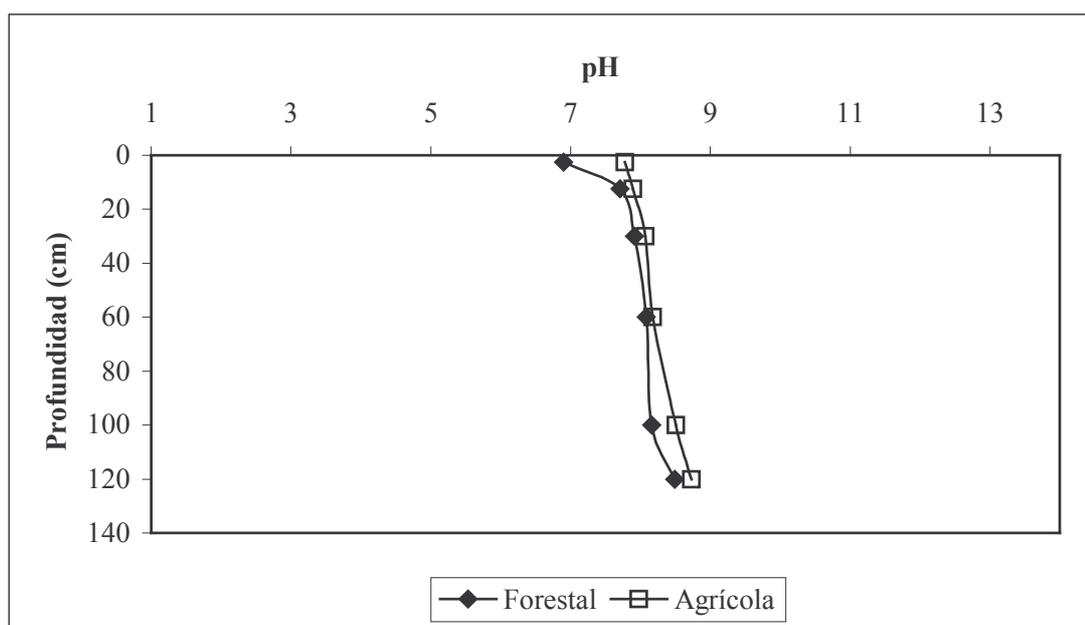


Gráfico 3: Perfil de pH ponderado en relación suelo agua 2,5:1. sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina.

Humedad

En relación a la humedad del perfil, se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en los dos primeros estratos definidos (0-20 cm), en la comparación de ambas situaciones de uso, mientras que hasta los 80 cm, las diferencias fueron menores, aunque estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los distintos usos del suelo para el sitio experimental en estudio (tabla 8). La situación agrícola presentó mayor humedad que la situación de cortina forestal en todo el espesor del perfil.

Tabla 8: Humedad en profundidades ponderadas para la situación agrícola y forestal. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina

Rango de profundidad (cm)	Humedad (%)		Número de muestras	p-valor	CV
	Forestal	Agrícola			
0-5	6,87 a	12,60 b	3	0,0028	10,98
5-20	7,70 a	14,78 b	3	0,0088	16,14
20-40	7,39 a	13,67 b	3	0,0294	22,00
40-80	7,94 a	17,37 b	3	0,0373	29,74
80-120	18,04 a	21,75 a	3	0,246	16,82
120 a +	21,37 a	23,06 a	3	0,5528	14,45

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Este efecto podría confirmar el mayor potencial de extracción de agua de los árboles respecto al cultivo anual, que en este caso además, ya se encontraba en madurez fisiológica por lo que este hecho, sumado a la ausencia de malezas en el lote, ocasionó un uso de agua muy reducido al momento de las mediciones, por lo que estas diferencias no muestran que la cortina forestal consuma mayor cantidad de agua que el sorgo granífero. Estos valores también se correspondieron con las diferencias encontradas en la conductividad eléctrica (tabla 6), pudiendo indicar que la mayor extracción de agua generó este menor contenido de agua en el perfil a la vez que concentró las sales en el mismo (al ser éstas excluidas del flujo transpiratorio, tal lo analizado precedentemente). Las mayores diferencias encontradas en las primeras capas pueden deberse a la concentración de raíces de los árboles en las mismas y el hecho de que no se haya incrementado la salinidad podría justificarse suponiendo que el agua consumida en ese caso haya provenido principalmente de la precipitación (sobre todo en los primeros 40 cm, como ya fue analizado precedentemente), y no así del ascenso capilar debido a la distancia con el nivel freático y al corte de capilaridad generado por el alto porcentaje de cobertura debajo del árbol. La ausencia de diferencias entre la humedad de las capas u horizontes ubicados por debajo de los 80 cm en ambas situaciones, podría deberse al efecto del ascenso capilar desde la capa freática, el cual, para este tipo de suelos, según Cisneros *et al.* (2004) puede ser de entre 1 a 1,2 m, constituyendo una fuente permanente de agua para el árbol. Este hecho justifica además que esa parte del perfil sea la que mayormente presenta el fenómeno de concentración de sales, ya que es la zona del suelo capilarmente conectada con agua con algún grado de mineralización.

El perfil de humedad de los dos suelos al momento del muestreo ilustra estas diferencias (gráfico 4). Los mayores valores de humedad en profundidad podrían deberse al mencionado contacto con la freática que genera aporte continuo de agua mediante el frente capilar.

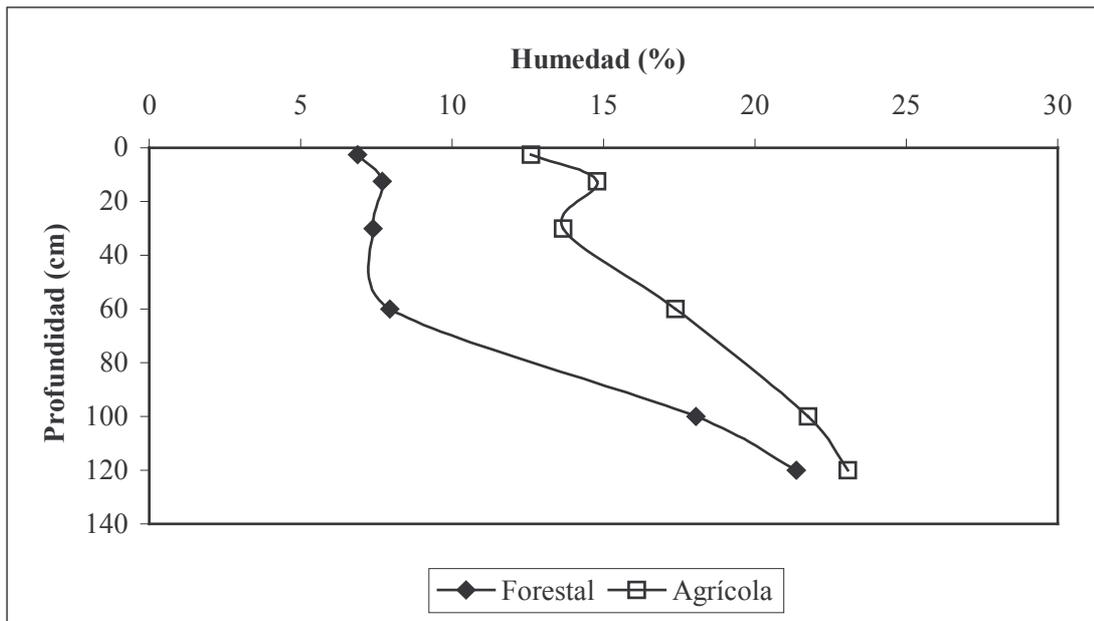


Gráfico 4: Perfil de humedad promedio ponderada. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina.

Caracterización general de los agroecosistemas

Caracterización agrícola

El lote agrícola presentaba un rastrojo de soja proveniente de la campaña 04/05, (fotos 8 y 9 del apéndice 2) realizado bajo sistema de siembra directa a una distancia entre líneas de 35 cm y también se evidenciaban restos de un cultivo antecesor maíz. Según datos brindados por el propietario del establecimiento donde fueron realizadas las mediciones, la soja tuvo un rendimiento cercano a los 5.000 kg.ha⁻¹, evidenciando una capacidad de uso agrícola de las tierras en ese ambiente.

Caracterización forestal

La cortina forestal (fotos 10 y 11 del apéndice 2) consiste en *Eucalyptus sideroxylon* Cunn, árbol de gran porte, con corteza muy rugosa, oscura y persistente (Dimitri 1988). La cortina tiene una extensión aproximada de 200 x 150 m (3 has) y muestra un escaso mantenimiento y stand de plantas reducido. Los árboles fueron plantados con una distribución espacial en cuadrado a 3,5 m de distancia, con una densidad de plantación de 816 árboles.ha⁻¹. La pérdida de plantas fue notoria, y en una muestra de una superficie de 312,5 m² (potencialmente 25 árboles), se encontraron sólo 10 (40%), por lo cual la densidad actual fue de 326 plantas.ha⁻¹. El árbol tipo presentó un diámetro a la altura de pecho de 36 cm y una altura total de 27,6 m. La edad aproximada de la cortina forestal fue de 30 años.

Caracterización de la cobertura generada en los ecosistemas

La proporción de superficie cubierta por el mantillo no mostró diferencias entre los agroecosistemas (tabla 9).

Tabla 9: Cobertura (%) generada por el mantillo en las situaciones forestal y agrícola. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva

Situación	Cobertura (%)	Número de muestras	p-valor	CV
Agrícola	96,33 a	3	0,51	4,65
Forestal	99,00 a	3		

Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

Tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas entre la cobertura del mantillo presente en los dos usos de suelo, cuantificada como materia seca por hectárea (tabla 10).

Tabla 10: Cobertura generada (kg MS.ha⁻¹) por el mantillo en las situaciones agrícola y forestal. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva

	Materia seca (kg.ha⁻¹)	Número de muestras	p-valor	CV
Agrícola	5.557 a	3	0,5956	28.95
Forestal	6.232 a	3		

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Probablemente la ausencia de diferencias en la cobertura, tanto en su expresión porcentual como en MS.ha⁻¹ se relacione tanto con el sistema de siembra directa utilizado en el caso de la situación agrícola, donde no se producen perturbaciones a los residuos de cosecha que quedan sobre el suelo, como con el escaso mantenimiento y consecuente bajo stand de plantas de la situación forestal.

Profundidad freática

En la tabla 11, se presentan los datos de profundidad freática medida, la altura del hilo medio obtenida con el nivel de anteojos, las cotas terreno y la cota de la capa freática para un plano de referencia de 10 metros por debajo del plano visual, así como la corrección de la profundidad de capa freática según el promedio de las cotas terreno.

Tabla 11: Corrección de la profundidad medida de la capa freática a partir de la altura del hilo medio. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva

	Profundidad medida capa freática (cm)	Altura hilo medio (cm)	Cota terreno (cm)	Cota profundidad freática (cm)	Profundidad corregida (cm)
Agrícola 1	135	145	855	720	135,8
Agrícola 2	180	121	879	699	156,8
Agrícola 3	165	146	854	689	166,8
Agrícola 4	160	151	849	689	166,8
Agrícola 5	155	163	837	682	173,8
Promedio	159	145,2	854,8	695,8	160
Forestal 1	179	143	857	678	177,8
Forestal 2	175	148	852	677	178,8
Forestal 3	188	145	855	667	188,8
Forestal 4	155	151	849	694	161,8
Forestal 5	170	129	871	701	154,8
Promedio	173,4	143,2	856,8	683,4	172,4
PROMEDIO GENERAL COTAS TERRENO			855,8		

La diferencia en la profundidad de la capa freática corregida por topografía entre ambas situaciones de uso fue de 12,4 cm, siendo más profundo en la situación de uso de la tierra forestal. Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa (Tabla 12).

Tabla 12: Profundidad medida y corregida de la capa freática, cota terreno. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva

	Agrícola	Forestal	p-valor	CV
Profundidad medida capa freática (cm)	159 a	173,4 a	0,2081	8,61
Cota terreno (cm)	854,8 a	856,8 a	0,8048	8,58
Profundidad corregida (cm)	160 a	172,4 a	0,1534	8,49

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Este hecho refuta la hipótesis de depresión del nivel freático por efecto de la vegetación arbórea para las condiciones edafoclimáticas y de vegetación de La Cautiva, lo que podría deberse a la escasa densidad de árboles actual en la cortina forestal por nulo mantenimiento del mismo y a la mínima área cubierta por los mismos, ya que el resultado no sería el esperado teniendo en cuenta que este sitio posee una capa freática de baja salinidad, de recarga local, condiciones requeridas, según Thorburn (1997), citado en George *et al.* (1999) y Pannell y Ewing (2001) para que el proceso de biodrenaje sea eficiente. Otra de las posibles interpretaciones acerca de la ausencia de diferencias entre los usos de la tierra es que la cortina forestal, debido a su edad, no se encuentre en activo crecimiento, y por lo tanto, la posibilidad de tomar agua de la misma fuera menor que la esperada.

En este sitio no se presentaron diferencias significativas entre las posiciones topográficas de ambas situaciones de uso.

Gradiente de nivel freático

En la tabla 13 se presenta la información recabada a partir de la realización de una transecta uniendo ambas situaciones de uso, en la que se evaluó el nivel freático.

Del análisis surge que en la situación forestal correspondiente a la medición más alejada del alambrado divisor de los lotes, la capa freática se encontró a mayor profundidad que en el resto de las situaciones, lo cual puede ser atribuido al efecto depresor de los árboles en una situación central de la cortina. En la situación agrícola no surgió una tendencia clara en cuanto a un gradiente de profundidad de napa en relación a la distancia al bosque y en todo caso cabe considerar que la profundidad de la freática fue similar a la de las situaciones forestales más próximas al alambrado divisor.

Tabla 13: Gradiente de nivel freático, con profundidad corregida. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva

Situación	Profundidad corregida (cm)	Distancia desde la división de lotes (m)
Agrícola 1	156,8	95
Agrícola 2	166,8	62
Agrícola 3	166,8	18
Forestal 1	161,8	9
Forestal 2	154,8	24
Forestal 3	188,8	66

Este gradiente de nivel freático se muestra en el gráfico 5 donde se presentan las cotas del terreno y de la capa freática (los valores representan la posición relativa respecto a un plano de referencia ubicado 10 mt por debajo del plano visual) en relación a la ubicación de los sitios agrícola y forestal respecto al alambrado de división de lotes, y se puede observar una tendencia de depresión en el nivel de la freática en el centro de la cortina.

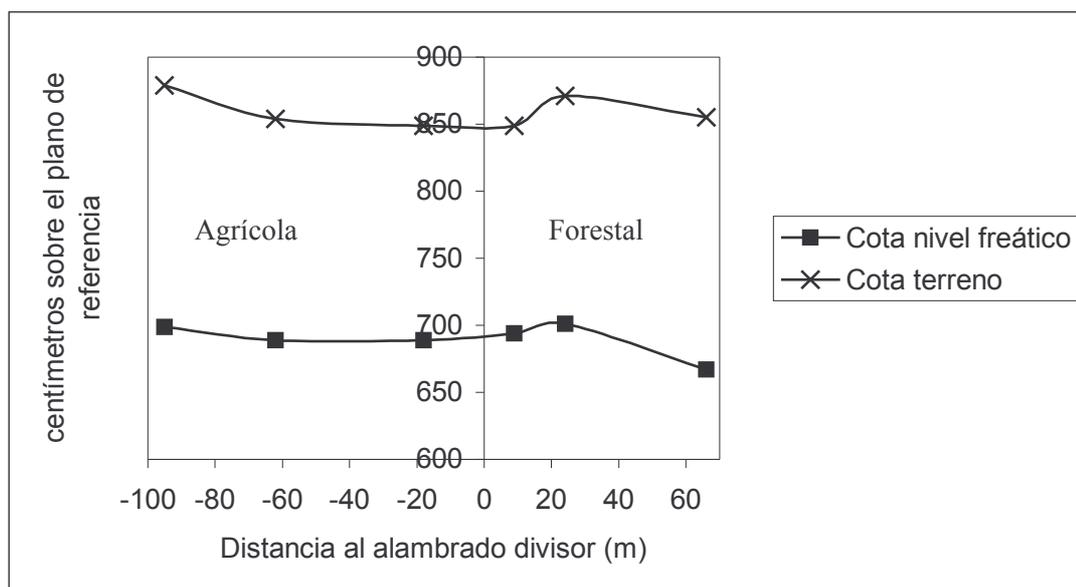


Gráfico 5: Cotas terreno y cotas nivel freático de las situaciones agrícola y forestal. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva.

En la tabla 13 y en el gráfico 5, se puede observar que en la situación forestal aparece una diferencia de profundidad freática recién a los 66 m del alambrado (dentro de la cortina forestal), lo cual se podría atribuir a que sólo dentro de la cortina forestal, y en un lugar rodeado de árboles, la capa freática muestra descenso en la profundidad, del orden de los 30 cm, mientras que en el resto de las situaciones la capa freática permanece a profundidad relativamente constante, por la ausencia de efecto depresor ante condiciones de

baja densidad y alta edad de la cortina. Este efecto coincide con el encontrado en el sitio experimental 1 y concuerda con la limitación que se presenta al biodrenaje en plantaciones de escasa extensión areal presentada por Schofield (1992), Pannell y Ewing (2005), George *et al.* (1999) y Turner y Ward (2002), aún cuando las condiciones de este sitio experimental lo hacen ser el de mayor respuesta esperada por el tipo de recarga de la freática.

Conductividad eléctrica

En toda la profundidad del perfil, los valores de conductividad eléctrica fueron mayores en la situación forestal respecto de la situación agrícola. (Tabla 14)

Tabla 14: Conductividad eléctrica en profundidades ponderadas. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva

Profundidad ponderada (cm)	C:E 1:1 en profundidad ponderada (ds.m ⁻¹)		Número de muestras	p-valor	CV
	Forestal	Agrícola			
0-5	1,04 b	0,29 a	3	0,04	46,61
5-20	1,64 b	0,25 a	3	0,026	52,43
20-40	2,49 b	0,24 a	3	0,002	26,78
40-80	2,99 b	0,26 a	3	0,002	30,38
80-120	2,79 b	0,44 a	3	0,007	35,43
120 a +	3,32 b	1,32 a	3	0,048	37,51
Suelo saturado por capa freática	4 b	1,32 a	3	0,022	33,85

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Como se observa, al igual que en el sitio experimental 1, surgió una diferencia estadísticamente significativa entre la conductividad eléctrica de las dos situaciones de uso de la tierra, pero esta vez hasta la superficie, lo cual evidencia un menor efecto de la cobertura sobre el ascenso capilar, debido a la reducción de mantillo relacionada a la pérdida de plantas arbóreas, situación que además había ocasionado que la maleza *Cynodon dactylon* hubiera invadido la cortina forestal (foto 10, apéndice 2). Además, y desde los 20 cm hasta los 120 cm, se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre los valores de conductividad eléctrica de los dos usos de la tierra analizados, lo cual pone de manifiesto que esta zona del perfil se encontraba con una conexión capilar permanente en la cual la capa freática era fuente continua de agua ante la sustracción por parte de los árboles, y que en este

sector se encontraba la máxima capacidad de absorción de agua por parte de los mismos, que en su exclusión de sales del flujo transpiratorio generaron el mismo efecto postulado para el sitio experimental 1, es decir la concentración de sales en la zona del perfil por mayor absorción de agua (concordando con el planteo de Heuperman, 1999 y George *et al.*, 1999). Cabe mencionar al respecto, que en este caso la concentración salina podría tener un efecto detrimental sobre el suelo mayor que para la situación del Arroyo Santa Catalina, debido a que desde los 20 cm, el suelo debajo del árbol presentó una clase por salinidad ligeramente salina (USDA, 1999), que según los mismos autores, restringe los rindes de la mayoría de los cultivos, mientras que en la situación agrícola, el suelo se clasificó como no salino hasta los 120 cm. desde donde la conductividad ascendió por la conexión capilar con la capa freática ligeramente salina.

Estos resultados muestran que aún cuando la transpiración de los árboles no sea lo suficientemente mayor que la del sitio aledaño como para causar una depresión significativa del nivel freático, la concentración de sales en el perfil vuelve a ser un efecto que se produce por la exclusión de sales del flujo transpiratorio ya comentada.

Por otro lado, se confirma que este proceso de exclusión de sales puede generar problemas, aún cuando el agua freática es moderadamente salina, tal lo postulado por Stirzaker *et al.* (1999).

Estas diferencias en la salinidad del perfil según el uso del suelo pueden observarse en el perfil de conductividad del suelo (Gráfico 6)

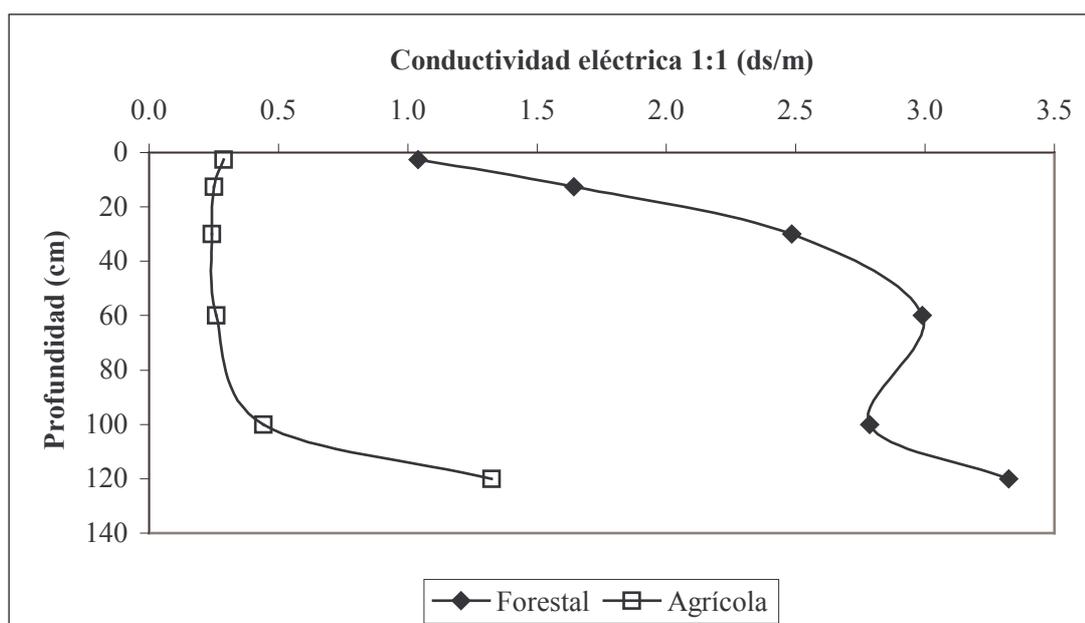


Gráfico 6: Perfil de conductividad eléctrica promedio ponderada en relación suelo agua 1:1. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva.

pH

En relación a la variable pH, se puede observar en la tabla 15, la ausencia de diferencias estadísticamente significativas en toda la profundidad del perfil para esta variable, salvo en el espesor de 5-20 cm.

Tabla 15: pH en profundidad ponderada en las situaciones agrícola y forestal. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva

Profundidad ponderada (cm)	pH en profundidad ponderada		Número de muestras	p-valor	CV
	Forestal	Agrícola			
0-5	5.21 a	6.26 a	3	0,1675	13,36
5-20	4.82 a	6.16 b	3	0,0340	9,14
20-40	5.46 a	6.35 a	3	0,2239	12,83
40-80	6.76 a	6.65 a	3	0,8956	14,21
80-120	8.54 a	7.40 a	3	0,263	13,43
120 a +	8.89 a	7.80 a	3	0,2578	12,17
Suelo saturado por capa freática	9,12 a	8,33 a	3	0,2367	8,01

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los menores valores de pH de las capas superficiales (con diferencias estadísticamente significativas sólo en la capa 5-20 cm) pueden deberse al efecto acidificante generado ante la descomposición del mulch de hojarasca de los árboles, ya encontrado en el sitio experimental 1, mientras que para el caso del mayor pH en profundidades mayores a 80 cm respecto a la situación agrícola, las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas.

En el gráfico 7 se muestra el perfil de pH de este suelo, observándose la mayor variabilidad para el carácter pH en la profundidad del suelo de la situación forestal respecto a la situación agrícola.

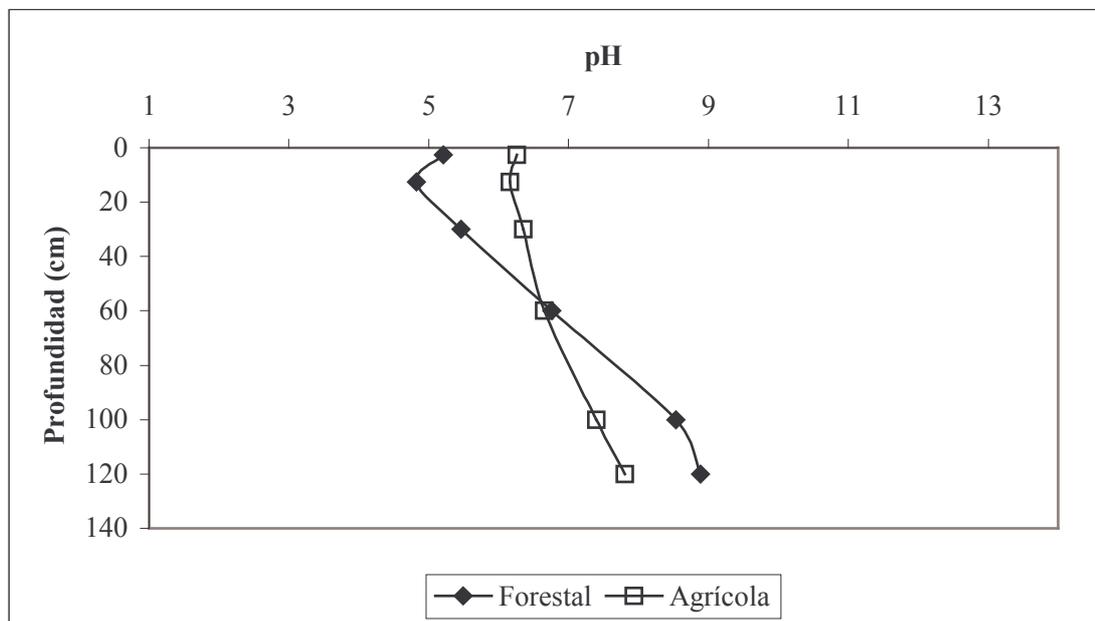


Gráfico 7: Perfil de pH promedio ponderado en relación suelo agua 2,5:1. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva.

Humedad

Difiriendo del sitio experimental 1, las diferencias de humedad en el perfil para las situaciones de uso planteadas no fueron significativas desde el punto de vista estadístico, a excepción de la capa ubicada entre 40-80 cm de profundidad, donde la humedad fue menor para el uso forestal. (Tabla 16)

Tabla 16: Humedad en profundidad ponderada en las situaciones agrícola y forestal. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva

Profundidad ponderada (cm)	Humedad en profundidad ponderada (%)		Número de muestras	p-valor	CV
	Forestal	Agrícola			
0-5	15.77 a	15.47 a	3	0,8205	9,6
5-20	10.66 a	15.20 a	3	0,0521	15,7
20-40	12.36 a	16.37 a	3	0,0729	14,13
40-80	14.89 a	16.59 b	3	0,0257	3,82
80-120	17.50 a	19.29 a	3	0,1738	7,2
120 a +	20.62 a	25.58 a	3	0,0968	12,16

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Esta diferencia respecto al sitio 1 puede interpretarse en función de la ausencia de una plantación de alta densidad de árboles, cuya evapotranspiración genere depresión del nivel freático y desecamiento del perfil edáfico. Sin embargo, el p-valor del análisis entre las profundidades de 5-80 cm muestra que este efecto de desecamiento del perfil también puede observarse aunque con menor intensidad, siendo sólo significativo entre 40-80 cm. Se debe considerar además que al momento del muestreo, el suelo agrícola se encontraba en una situación de barbecho post-cosecha de soja, con una escasa presencia de malezas en el lote (foto 8, apéndice 2), por lo cual la existencia de vegetales consumiendo agua era prácticamente insignificante y la cobertura generada por el mantillo también impedía la pérdida de agua del sistema por vía evaporativa.

Para ilustrar mejor las diferencias encontradas, en el gráfico 8 se presenta el perfil de humedad del suelo de La Cautiva bajo las dos situaciones de uso de la tierra.

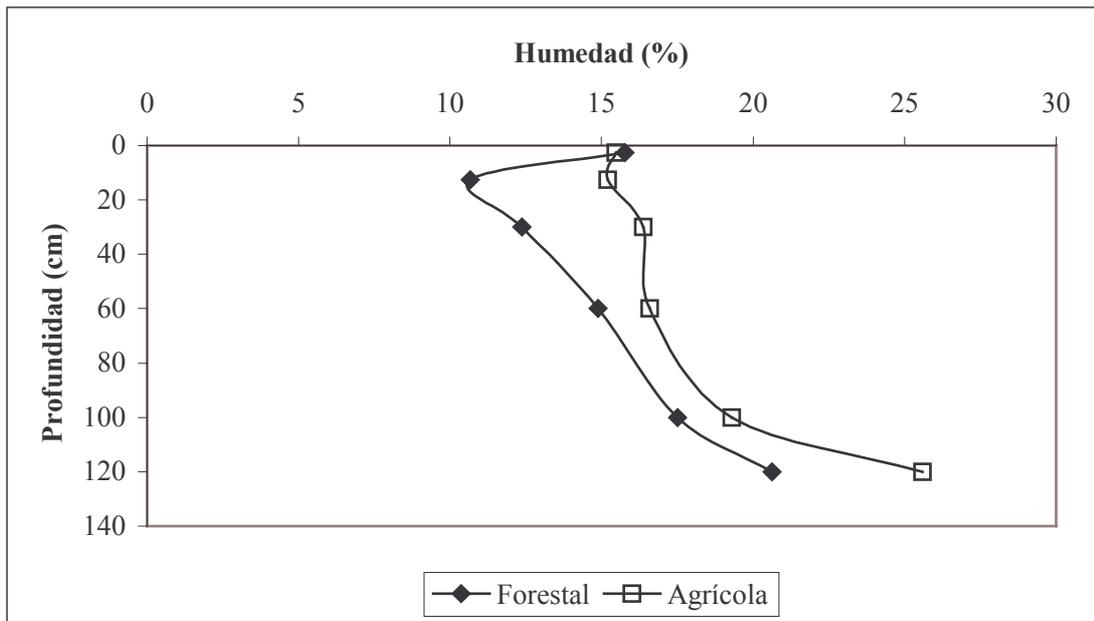


Gráfico 8: humedad promedio ponderada. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva.

Caracterización general de los agroecosistemas

Caracterización situación pastizal

Correspondió a un pastizal natural degradado, (fotos 14 y 15, apéndice 2) en el cual se tomaron como referencia las áreas carentes de vegetación con afloramientos salinos causados por la llegada a superficie de la capa freática salina por el proceso de capilaridad. La capa freática se encontró entonces, claramente en profundidad crítica. Entre las especies indicadoras de esta condición hidrohalomórfica, se encontraron *Salicornia sp*, *Distichlis scoparia* y *Cynodon dactylon*, en una distribución que fue función del grado de degradación del área.

Caracterización cortina forestal

La cortina forestal en estudio (foto 16, apéndice 2) fue una plantación joven de aproximadamente 9-10 años, de la especie *Eucalyptus camaldulensis* Denhn., que se caracteriza por ser un árbol de gran porte con las ramas extendidas y ramitas péndulas, corteza lisa, generalmente caediza (Dimitri, 1988). La cortina forestal se encontraba ubicada en la entrada a un establecimiento agropecuario con un ancho de aproximadamente 40 metros y un largo de 700 m, definiendo una superficie de 2,8 has, aunque el sector más cubierto de árboles y con las plantas de la edad referenciada abarcaba unos 30 m de ancho y 100 metros de largo (0,3 has).

Los árboles presentaban una distribución irregular como puede observarse en la foto 16, por lo que se tomó una superficie de 7,2 m x 7,2 m (51,84 m²) donde se encontraron 19 árboles, siendo la densidad de árboles en el área de 3.665 árboles.m⁻². El diámetro altura de pecho del árbol tipo fue de 12,4 cm, y su altura total de 16,5 m.

Dentro del resto de la plantación, los árboles eran de mayor edad y estaban plantados a menor densidad que en el sector analizado, pudiendo observarse una gran cantidad de árboles caídos, en los que el desarrollo radical se mostró horizontal, y no superior a los 40-50 cm de profundidad, lo cual podría deberse a las limitaciones edáficas encontradas por las raíces en profundidad, a la práctica de poda de la raíz primaria realizada a las plantas jóvenes en vivero, o a ambos aspectos. (fotos 17 y 18, apéndice 2).

Caracterización de la cobertura generada en los ecosistemas

El agroecosistema de la cortina forestal de *Eucalyptus* mostró una mayor cobertura del área de suelo respecto al agroecosistema del pastizal (tabla 17).

Tabla 17: Cobertura (%) generada por el mantillo en las situaciones forestal y agrícola. Sitio experimental 3 Km. al Sur de la localidad de Río Bamba

Situación	Cobertura (%)	Número de muestras	p-valor	CV
Pastizal	4 a	3	0,0007	23,78
Forestal	84.67 b	3		

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Las diferencias fueron claras y probablemente tuvieron que ver tanto con el uso del suelo como con su manejo, ya que en el caso de la playa salina, su origen se debió a la ausencia de un manejo adecuado tendiente a conservar la cobertura en superficie, condición necesaria para evitar el efecto de salinización superficial, por el cual la capa freática, que se encontraba a una profundidad promedio de 109 cm, y por lo tanto a profundidad crítica, se conecte con la superficie. Los valores de profundidad crítica para este tipo de suelos brindados por Cisneros (1994) y Skaggs, (1980).

En concordancia con lo anterior, la cobertura de mantillo de la playa salina fue prácticamente nula, mientras que la que generaron los árboles se muestra en la tabla 18.

Tabla 18: Cobertura (Kg MS.ha⁻¹) generada por el mantillo en la situación forestal. Sitio experimental 3 Km al Sur de la localidad de Río Bamba

	Materia seca (kg.ha ⁻¹)	Media (kg.ha ⁻¹)	CV
Forestal 1	15.309		
Forestal 2	16.856	13.257	25,56
Forestal 3	11.248		
Forestal 4	9.616		

Para este caso, no se presentan los resultados de la situación del pastizal tomada como referencia, puesto que los sitios elegidos correspondieron al extremo de degradación, con afloramiento salino y carente de vegetación y cobertura alguna, siendo entonces obvias las diferencias entre la cobertura de ambos agroecosistemas.

Profundidad freática

En la tabla 19, se muestran los datos de profundidad freática medida, la altura del hilo medio medida con el nivel de anteojos, las cotas terreno y las cotas de la capa freática para un plano de referencia de 10 metros por debajo del plano visual, así como la corrección de la profundidad de capa freática según el promedio de las cotas terreno.

Tabla 19: Corrección de la profundidad de la capa freática medida en las situaciones ganadera y forestal. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba

	Profundidad medida capa freática (cm)	Altura hilo medio (cm)	Cota terreno (cm)	Cota de profundidad freática (cm)	Profundidad corregida (cm)
Ganadero 1	95	156,5	843,5	748,5	106,5
Ganadero 2	110	155	845	735	120
Ganadero 3	110	162	838	728	127
Ganadero 4	90	158	842	752	103
Ganadero 5	140	151	849	709	146
Promedio	109	156,5	843,5	734,5	120,5
Forestal 1	125	133,5	866,5	741,5	113,5
Forestal 2	140	137	863	723	132
Forestal 3	105	138	862	757	98
Forestal 4	115	137	863	748	107
Forestal 5	130	122	878	748	107
Promedio	123	133,5	866,5	743,5	111,5
PROMEDIO GENERAL COTAS TERRENO			855		

A continuación se muestra el análisis estadístico de los resultados, donde no se observaron diferencias en la profundidad, aunque sí se encontraron en la posición topográfica entre las situaciones de uso de suelo analizadas (tabla 20).

Tabla 20: Profundidad de la capa freática medida, cota terreno y profundidad de capa freática corregida según topografía en los usos agrícola y forestal. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba

	Ganadero	Forestal	p-valor	CV
Profundidad medida capa freática (cm)	109 a	123 a	0,376	13,08
Cota terreno (cm)	843,5 b	865,5 a	0,0002	3,79
Profundidad corregida (cm)	120,5 a	111,5 a	0,223	14,46

Letras distintas la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Los resultados de esta medición no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de la profundidad de la freática, aunque una vez que se corrigieron las profundidades por la posición topográfica, pudieron observarse mayores profundidades de la capa freática en la situación de pastizal que en la forestal, contrariamente a lo esperado y confirmando lo planteado por Thorburn (1997), Pannell y Ewing (2001) quienes indican que las diferencias más notorias en la profundidad freática por efecto del biodrenaje, se encuentran en sitios de baja salinidad y en capas freáticas locales, siendo erráticas las respuestas en sitios de freáticas regionales con alta salinidad como en este caso. Además, las condiciones del suelo se presentaban como extremadamente limitantes para el desarrollo radical de los árboles, lo cual sumado a la salinidad del perfil, determinaron una exploración del perfil escasa por parte las raíces de los mismos y consecuentemente un menor uso del agua respecto al potencial.

De esta manera, se observa que ante este tipo de situaciones extremas en salinidad y sodicidad, las posibilidades de generar depresiones del manto freático a través de vegetación arbórea son escasas, y que tal lo expresado por George *et al.*(1999), las plantaciones deberían ubicarse en áreas de emisión o tránsito de escurrimientos superficiales o subsuperficiales para maximizar su poder de control de los ascensos freáticos en todo el sistema hídrico.

Además, se observaron diferencias a nivel de la posición topográfica, evidenciando una posición más baja en la situación del pastizal que en la forestación, lo cual podría generar un movimiento horizontal subterráneo de agua y sales hacia esa zona, ocasionando que este sitio se comporte de forma más extrema en cuanto a la salinidad de su perfil. En este sentido, cabe destacar la amplia variabilidad de condiciones de suelo y vegetación existente en este tipo de ambientes ante pequeños cambios en la posición topográfica, por lo cual las comparaciones de este sitio deberían ser evaluadas teniendo en cuenta estas posibles diferencias, las cuales fueron independientes de las condiciones de uso evaluadas.

Gradiente de nivel freático

Se presenta en la tabla 21, la información recabada a partir de la realización de una transecta para evaluar la posible existencia de un gradiente en el nivel freático.

Tabla 21: Gradiente de nivel freático, con profundidad corregida. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba

Situación	Profundidad constante (cm)	Distancia desde la división de lotes (m)
Ganadero 1	127	143
Ganadero 2	103	47
Ganadero 3	146	13
Forestal 1	107	7
Forestal 2	107	9
Forestal 3	132	48

En el gráfico 9 se presenta el gradiente de la capa freática y del terreno (siendo los valores del eje y correspondientes a la ubicación relativa respecto de un plano de referencia ubicado 10 metros por debajo del plano visual), mostrándose una ligera tendencia a la disminución del nivel freático sólo en el punto de la situación forestal más alejado del alambrado divisor de lotes.

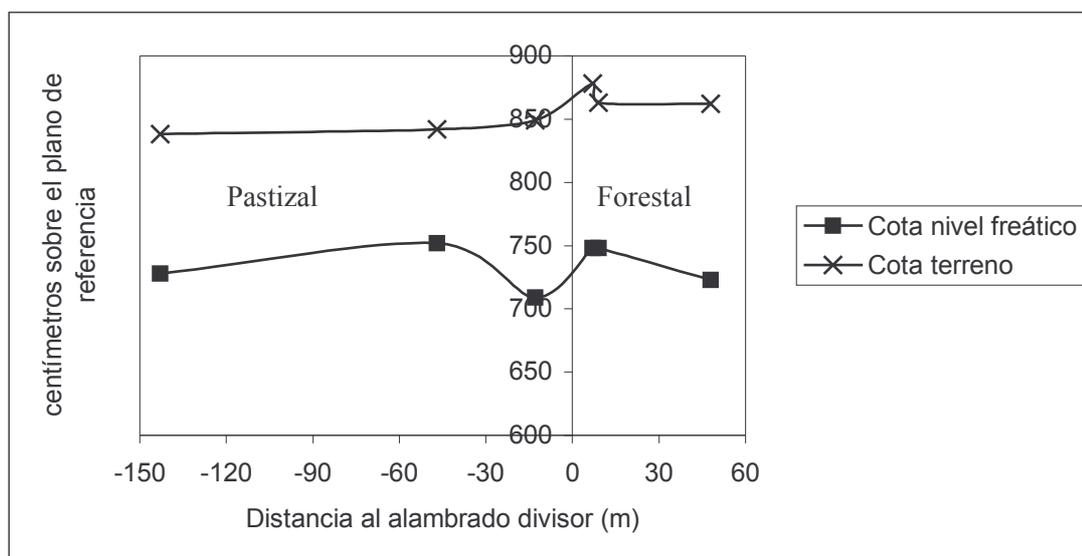


Gráfico 9: Cotas terreno y cotas nivel freático de las situaciones agrícola y forestal. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba

Al igual que en los sitios anteriormente evaluados, sólo en el centro de la cortina forestal (a los 48 metros del alambrado divisor) puede observarse un pequeño efecto

depresor de la capa freática del orden de los 25 cm respecto a las dos repeticiones restantes dentro de la cortina forestal, no siendo los resultados de la situación ganadera los esperados en función de un gradiente del nivel de la freática. Las razones de estos resultados fueron enunciadas precedentemente al explicar la ausencia de depresión significativa del nivel freático bajo la plantación respecto al pastizal natural.

Conductividad eléctrica

El análisis de los resultados de conductividad eléctrica en las profundidades ponderadas del perfil de suelo mostraron mayores valores sólo en superficie (0-5 cm) de la situación de pastizal comparada con la de la cortina forestal, tal lo ilustrado en la tabla 22.

Tabla 22: Conductividad eléctrica en profundidades ponderadas. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba

Profundidad ponderada (cm)	C:E 1:1 en profundidad ponderada (ds.m ⁻¹)		Número de muestras	p-valor	CV
	forestal	Ganadero			
0-5	2,67 a	23,42 b	3	0,0123	44,89
5-20	3,25 a	10,19 a	3	0,0821	54,75
20-40	3,19 a	6,54 a	3	0,2559	63,79
40-80	3,86 a	4,70 a	3	0,7153	61,6
80-120	4,01 a	2,88 a	3	0,1929	25,6
Capa freática	18,48 a	36,1 b	3	0,0062	15,01

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Para esta situación particular, se observa una redistribución en el perfil de sales en la situación forestal, con una reducción del tenor salino en las primeras capas del suelo, principalmente en la capa superficial, donde se observaron diferencias estadísticas significativas. Esta situación se debe al acentuado ascenso capilar de agua y sales, evaporación, cristalización y acumulación de sales en la superficie debido a la ausencia de cobertura en el caso del pastizal, en relación con el mulch permanente de hojarasca que existía en la situación forestal, cuya función de corte de capilaridad impidió el ascenso de agua y sales y subsiguiente acumulación de estas últimas en la superficie del suelo, al reducir el volumen de agua perdido por evaporación e incrementar la proporción que se pierde por transpiración.

Este funcionamiento coincidió con lo planteado por Cantero *et al.* (1996) respecto a las diferencias en la dinámica de agua y sales encontradas en este tipo de ambientes en función de la cobertura del suelo (efecto de clausuras al pastoreo). Así, y en concordancia con los mismos autores, las diferencias en el perfil de distribución de sales mostradas en la tabla 22 probablemente fueron debidas a que ante condiciones de cobertura superficial generadas por el mulch de hojarasca de la plantación, se desencadenó un funcionamiento en el que predominaron los flujos de agua y sales verticales descendentes y horizontales subterráneos, determinando un ciclo de retroalimentación positiva hacia el lavado de sales, mientras que en el caso del suelo desnudo, predominaron los flujos de agua y sales verticales ascendentes, por el gradiente hidráulico generado por la evaporación superficial y horizontales superficiales, ante la escasa infiltración de agua en el suelo, ocasionando en este tipo de situaciones una retroalimentación hacia la salinización del suelo.

Entonces, en este caso, la cortina forestal aseguraría principalmente la constante cobertura del suelo y un deseable funcionamiento que tiende a lavar las sales. Sin embargo, cabe destacar que las plantas probablemente hayan sido implantadas en una situación edáfica mucho menos extrema que la actual del pastizal natural, pero que en definitiva ha sido un uso y manejo de suelos que ha impedido que las sales se acumularan en la superficie del suelo, contrariamente a lo ocurrido luego de alguna labor que seguramente se ha realizado en la situación de pastizal y que al quitar la cobertura, provocó la conexión capilar permanente con la capa freática salina ($CE = 18,48 \text{ ds.m}^{-1}$), determinando el funcionamiento actual del sistema.

En el gráfico 10, se muestra el perfil de salinidad de este suelo para las dos situaciones de uso de la tierra, observándose claramente el efecto de redistribución de sales en el perfil de la cortina forestal.

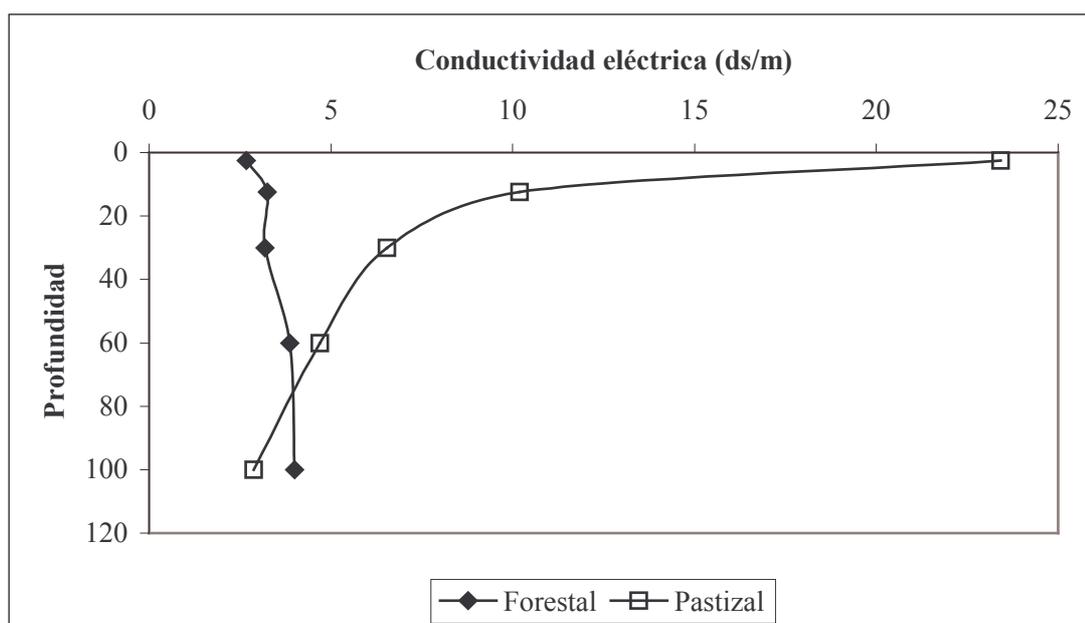


Gráfico 10: Perfil de conductividad eléctrica en las situaciones agrícola y forestal. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba.

pH

En cuanto al pH del suelo, pudieron evidenciarse valores significativamente más básicos en las dos capas superficiales del suelo en el perfil del pastizal respecto a los valores de la cortina forestal (Tabla 23).

Tabla 23: pH en profundidades ponderadas. Sitio experimental 3 Km al Sur de la localidad de Río Bamba

Profundidad ponderada (cm)	pH en profundidad ponderada (ds.m ⁻¹)		Número de muestras	p-valor	CV
	Forestal	Ganadero			
0-5	4.86 a	8.80 b	3	0,0032	11,17
5-20	6.05 a	8.71 b	3	0,0085	9,10
20-40	6.74 a	8.41 a	3	0,0817	11,67
40-80	7.30 a	8.41 a	3	0,1088	8,39
80-120	7.49 a	8.75 a	3	0,0768	8,00
Capa freática	8,63 a	8,84 a	3	0,0931	6,47

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p <= 0,05$).

Estas diferencias pueden atribuirse nuevamente a la conexión capilar de la superficie con la capa freática en el caso del pastizal, lo que generó además de una gran salinización, un

enriquecimiento en sodio, y una alcalinización de esas capas. Mientras tanto, para la situación de cortina forestal, nuevamente se evidenció una disminución del pH en las capas superficiales respecto a las más profundas debida al efecto de la mineralización del mulch de hojarasca (concordando con el planteo de ALADI, 2001), mientras que en profundidad, el potencial hidrógeno se estabilizó en valores cercanos a la neutralidad. En capas más profundas del perfil, las diferencias dejan de ser estadísticamente significativas, pero el *p*-valor se encontró siempre entre 0,08 y 0,11, por lo cual se podría sostener que las diferencias existieron, aunque con una significancia menor, lo cual reforzaría el hecho de una mayor influencia de la capa freática salino-sódica y alcalina sobre el perfil en el pastizal que en la situación de suelo bajo el árbol.

Estas diferencias en el pH se manifiestan claramente en el perfil de pH del suelo (gráfico 11), donde se observa que debido al corte capilar antes mencionado, los valores de pH fueron más variables en la situación forestal respecto a la situación del pastizal alledaño, en donde el pH estaría influenciado altamente por la capa freática en todas las profundidades del suelo.

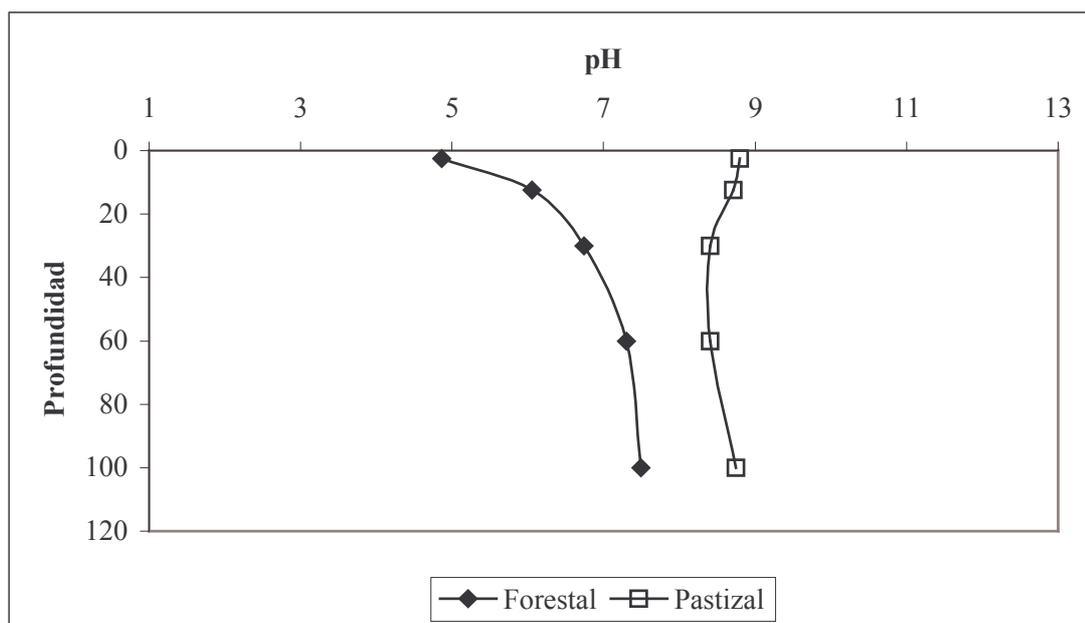


Gráfico 11: Perfil de pH del suelo para las situaciones agrícola y forestal. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba.

Humedad

Se observaron menores diferencias en los contenidos de agua en el suelo forestal respecto a la situación colindante en relación a los sitios experimentales anteriores. Las diferencias fueron significativas sólo entre 20-40 cm de profundidad (tabla 24).

Tabla 24: Humedad en profundidades ponderadas. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba

Profundidad ponderada (cm)	Humedad en profundidad ponderada (%)		Número de muestras	p-valor	CV
	forestal	Ganadero			
0-5	17,60 a	15,81 a	3	0,290	10,76
5-20	15,73 a	16,35 a	3	0,310	4,10
20-40	15,56 a	17,86 b	3	0,092	5,29
40-80	19,34 a	22,08 a	3	0,084	7,07
80-120	24,10 a	27,21 a	3	0,085	6,54

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

La menor diferencia de humedad del suelo respecto a los sitios experimentales analizados precedentemente, se debe a que los árboles no encontraron en este caso un ambiente propicio para su desarrollo y redujeron sus funciones de toma de agua. Esta situación coincide nuevamente con lo planteado por Thorburn (1997), citado en George *et al.*, (1999) quienes indican que los árboles son más efectivos deprimiendo freáticas en ambientes de reducida salinidad y en acuíferos locales, condiciones no presentes en este sitio experimental. Además, la posición más baja del perfil del pastizal puede generar un escurrimiento de agua hacia esa posición que justifique estas mínimas diferencias.

Además puede observarse que se produjo un aumento de la humedad en profundidad en ambos perfiles, lo cual se debería al efecto de la capa freática cercana, vinculada capilarmente con el perfil.

El perfil de humedad del suelo en ambas situaciones de uso al momento de la toma de muestras, mostró las pequeñas diferencias en la humedad del suelo en la profundidad, más probablemente debido a la desconexión capilar de la capa freática con la superficie que al efecto generado por evapotranspiración de los árboles que, como ya fue expuesto, no pareció ser mayor en este caso debido al efecto detrimental del ambiente salino sobre los árboles (gráfico 12).

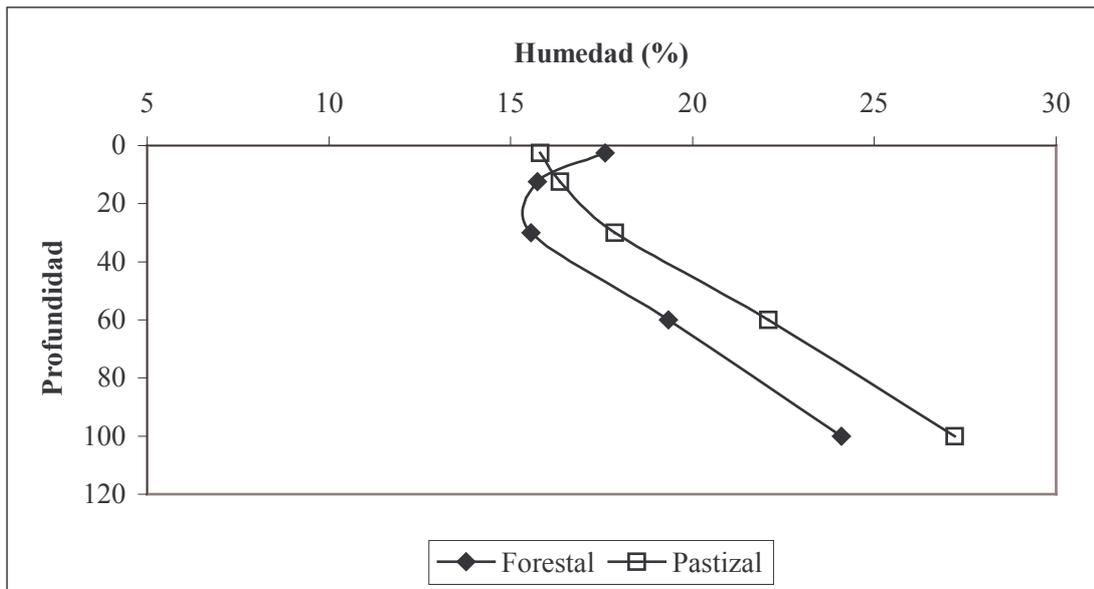


Gráfico 12: Perfil de humedad de los suelos. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

- Para las condiciones edafoclimáticas, de vegetación y uso y manejo de las tierras propias de los tres sitios experimentales bajo estudio, ubicadas en las tierras de las cuencas medias y bajas de los sistemas de arroyos Santa Catalina, El Gato y Ají, se producen leves depresiones del nivel de la freática en el centro de los sitios forestales, del orden de los 20-30 cm, aunque dichos abatimientos no se muestran significativos desde el punto de vista estadístico ya que sólo se presentan en las repeticiones más alejadas del alambrado divisor de los lotes.

- La mayor potencialidad de evapotranspiración de los árboles respecto a los cultivos agrícolas se demuestra en los sitios con condiciones edáficas no limitantes para el crecimiento y desarrollo de los árboles (sitios experimentales 1 y 2) principalmente a través de las diferencias en la humedad del suelo debajo del árbol respecto a esta variable en la situación de uso agrícola, y a las diferencias de profundidad freática hacia el centro de la plantación. Las condiciones edáficas de extremo hidrohalomorfismo, mientras tanto, impiden que los árboles generen un flujo transpiratorio mayor que la situación de uso colindante.

- En los sitios en donde la capa freática se encuentra a profundidad crítica, el mulch de hojarasca generado por los árboles desconecta capilarmente la freática con la superficie determinando un funcionamiento de suelo cubierto con predominio de flujos verticales descendentes de agua y sales, generando una retroalimentación hacia una menor salinidad en la capa superficial respecto a la situación sin cobertura colindante. Este hecho permite corroborar la segunda hipótesis del trabajo para este tipo de sitios experimentales.

- Donde la capa freática es de ligera salinidad y abastece a las raíces de los árboles, se produce una concentración de sales en las capas subsuperficiales del suelo debido a la exclusión de las mismas del flujo transpiratorio de los árboles.

- La descomposición del mulch de hojarasca generado por la presencia del árbol genera una acidificación superficial, siendo este un efecto negativo que provocan las plantaciones de *Eucalyptus* respecto a la calidad del suelo.

CAPÍTULO V. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN SUGERIDAS.

La ausencia de datos periódicos respecto a las variables medidas en este trabajo es una limitante para el logro de una caracterización más acabada del efecto de la vegetación arbórea sobre los niveles freáticos en el área bajo estudio, ya que el nivel freático y las características químicas de la capa freática y del perfil bajo la influencia de la misma, son parámetros dinámicos, sujetos a las variaciones periódicas o accidentales del balance hídrico local y/o regional. Por ello, se considera que una evaluación periódica de estas variables sería necesaria para precisar los efectos del biodrenaje en las distintas estaciones del año.

La limitación en relación a la localización de los sitios en función de plantaciones ya existentes, sería otro tema a solucionar, ya que imposibilita definir, según los objetivos propios del estudio, las condiciones de suelo, tipo de recarga de la capa freática, extensión de la plantación, especie de *Eucalyptus*, etc., así como también impide homogeneizar el uso agrícola/ganadero colindante a las plantaciones. Teniendo en cuenta que en numerosos trabajos se encontraron resultados de depresión de la freática con plantaciones de *Eucalyptus* desde su primer año de establecimiento, se podría plantear la plantación de un área previamente caracterizada y seleccionada con estos árboles, en un sitio donde se esperen resultados más promisorios del biodrenaje, por ejemplo sitios con recarga local de la freática, sin excesiva salinidad, donde podría plantarse una proporción significativa del área de aporte de la freática y compararla con el cultivo agrícola, pastura o pastizal que se desee.

Asimismo, y teniendo en cuenta que la mayor problemática de capas freáticas sobre el nivel crítico se asocia a ambientes de alta salinidad, la evaluación de la adaptación y comportamiento en este tipo de ambientes, de especies y variedades arbóreas dentro o fuera del género *Eucalyptus* es necesaria para la futura evaluación de la depresión del nivel freático por parte de plantaciones adaptadas a estas condiciones extremas.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA CÓRDOBA D.A.C Y T. S.E.M, INTA. 2003. **Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Los suelos.** Nivel de reconocimiento, 1:500.000.

AGRICULTURE DEPARTMENT, FAO. 2000. **Biodrainage. Principles, experiences and applications.** FAO corporate document repository. En www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file/docrep/005/Y3796E/y3796e07.htm. Visitado el 20/09/05.

ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE INTEGRACIÓN (ALADI). 2001. **Asistencia técnica y capacitación en sistemas forestales multiestratos.**

BARRETT-LENNARD E.G. 2002. **Restoration of saline land through revegetation.** Agricultural Water Management volume 53, (1-3): 213-226.

BROAD I.J. y G.L. HAMMER. 1996. **Genotype and environmental effects on harvest index of sorghum.** APSRU, Department of Primary Industries. Queensland.

CANTERO J.J; A. CANTERO; J.M. CISNEROS. 1996. **La vegetación de los paisajes hidrohalmórficos del centro de Argentina.** Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto.

CANTERO, G. A.; E. M. BRICCHI; B. H. BECERRA; J. M. CISNEROS; H. A. GIL. 1986. **Zonificación y descripción de las tierras del Departamento de Río Cuarto (Córdoba).** Editorial de la Fundación UNRC. Río Cuarto.

CANTERO A; M. CANTÚ; J.M CISNEROS; J.J CANTERO; M. BLASARÍN; A. DEGIOANNI; J. GONZÁLEZ; V. BECERRA; H. GIL; J. DE PRADA; S. DEGIOANNI; C. CHOLAKY; M., VILLEGAS; A. CABRERA; C. ERIC. 1998. **Las tierras y aguas del sur de Córdoba; propuestas para un manejo sustentable.** Primera edición. Universidad Nacional de Río Cuarto. Editorial Master SRL. Córdoba.

CANTERO G., A y M. CANTÚ. 1980. **Algunas consideraciones sobre los suelos y la degradación-recuperación de tierras en el área del Río Cuarto.** Seminario internacional de la cuenca del Plata. Bs. As.

CHHABRA R. y N.P. THAKUR. 1998. **Lysimeter study on the use of biodrainage control waterlogging and secondary salinization in (canal) irrigated arid/semi-arid environment.** Irrigation and drainage systems (12): 265-288.

CISNEROS, J.M; A. CANTERO GUTIÉRREZ, H. GIL, J. DE PRADA, M REYNERO; E MARTÍN. 2004. **Criterios de selección de lotes para maní en ambientes con napa freática superficial.** En: XIX jornada Nacional de Maní.

CISNEROS, J.M; A. DEGIOANNI; H. GIL; J.J CANTERO; A. CANTERO; S. RANG; A. MILANESIO; A. CHIAPPAROLI; M GEYMONAT; C. PEREYRA; L ISSALY; M. VIVGLIOCCO. 2001. **Propuesta de creación de distritos de ordenamiento ambiental en el sudeste de Córdoba. 1. Rosales – Leguizamón – Laboulaye. 2. Levalle – Curapaligüe – Laboulaye.**

CISNEROS, J.M; J.J CANTERO; A. CANTERO. 1998 a. **Dinámica del agua y las sales en los suelos el área.** En: COMISIÓN TÉCNICA INTERINSTITUCIONAL. Manual de técnicas de manejo de campos afectados por inundaciones. Editorial Universidad Nacional de Río Cuarto.

CISNEROS, J.M; J.J CANTERO; A. CANTERO. 1998 b. **Las capas freáticas de la región.** En: COMISIÓN TÉCNICA INTERINSTITUCIONAL. Manual de técnicas de manejo de campos afectados por inundaciones. Ed. Universidad Nacional de Río Cuarto.

CISNEROS, J.M; J.J CANTERO; A. CANTERO. 1998 c. **Modelo conceptual del hidrohalomorfismo en el sudeste de Córdoba.** En: Apoyo didáctico curso de profundización Manejo de Tierras Mal Drenadas.

CISNEROS, J.M. 1994. **Caracterización del hidrohalomorfismo en ambientes representativos del centro-sur de Córdoba (Argentina).** Tesis Magíster en Ciencias del Suelo. FAUBA.

DARAB, K.1981. **The role of sodium compounds in the formation and properties of SALT affected soils.** Agrokermia es Talajtan (30) Sup: 105-120.

DIMITRI, M.J. 1988. **Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería.** Vol II. Tercera edición. Editorial Acme S.A.C.I Buenos Aires.

FECIC. 1996. **El deterioro del ambiente en Argentina**. 3° edición. Editorial Fecic. Bs. As. 519 pag.

GALLETI, M. 2003. **Los excedentes hídricos en la provincia de Buenos Aires**. En [www.unagauchada.com/articulos .php?id=407](http://www.unagauchada.com/articulos.php?id=407). Consultado: 10-12-2004.

GEORGE, R.J; R.A NULSEN; R.FERDOWSIAN; G.P RAPERA. 1999. **Interactions between trees and groundwater in discharge and recharges areas**. Agricultural Water Management 39 (91): 113-131.

GHASSEMI, F; A.J JAKEMAN; H.A NIX. 1995. **Salinisation of land and water resources**. Section E: management of salinity – other options and aspects.

HEUPERMAN, A. 1999. **Hydraulic gradient reversal by trees in shallow water table areas and repercussions for the sustainability of tree-growing systems**. Agricultural Water Management. Volume 39 (2-3): 153-167.

HIGH LEVEL EXPERT COMMITTEE. 1998. **Management of waterlogging and salinity problems in Haryana**. MASTER PLAN.

INFOSTAT (2002). **InfoStat versión 1.1**. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

INFOSTAT (2002 b). **InfoStat versión 1.1. Manual del usuario** Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas, Argentina.

INTA. 1987. **Carta de suelos de la república Argentina**. Hoja 3563-3. Laboulaye.

INTA. 1998. **Normas de reconocimiento de suelos**. Argentina.

LAFLEN, J.M.; AMENIYA, M. y E.A., HINTA 1981. **Measuring crop residue cover**. J. Soil Water Conservation 36: 341-343

PANNELL D.J. y M.A. EWING. 2005. **Managing secondary dryland salinity: options and challenges**. Agricultural Water Management 80: 41-56.

PAPPALARDO, J. E. 1998. **El problema de las inundaciones. Naturaleza del área: fisiografía, áreas ecológicas homogéneas, hidrología regional, capacidad de uso de los suelos.** En: COMISIÓN TÉCNICA INTERINSTITUCIONAL. Manual de técnicas de manejo de campos afectados por inundaciones. Ed. Universidad Nacional de Río Cuarto.

PORTA CASANELLAS, J.; M. LÓPEZ ACEVEDO-REGUERÍN; C. ROQUERO DE LABURU. 1994. **Edafología para la agricultura y el ambiente.** Ediciones Mundi Prensa. Madrid.

RAMOA H. A y M. A. SÁNCHEZ. **El cultivo de sorgo.** En: Monografías.com. Visitado el 11/04/06.

RICHARDS L.V. (Ed.). 1973. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.** Editorial Limusa. México.

SCHOFIELD N. J. 1992. **Tree planting for dryland salinity control in Australia.** En: The role of trees in sustainable agriculture. Edited by Roslyn Tamara Prinsley. Review papers presented at the Australian Conference, The role of trees in sustainable Agriculture, Albury, Victoria, Australia.

SKAGGS, R. W. 1980. **methods for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables.** Reference report, Forth Worth, Texas.

SMITH, J. y J. DORAN. 1996. **Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis.** En: W. Doran y Jones A. (Ed.). Methods for assessing soil quality. SSSA special publication number 49.

STIRZAKER, R.J.; F.J. COOK; J.H KNIGHT. 1999. **Where to plant trees on cropping land for control dryland salinity: some approximate solutions.** Agricultural water management 39: 115-133.

TURNER, N.C. Y P.R WARD. 2002. **The role of agroforestry and perennial pasture in mitigating water logging and secondary salinity: summary.** Agricultural Water Management. Volume 53, (1-3): 271 –275.

USDA. 1999. **Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.** En apoyo didáctico para el curso de profundización Diagnóstico de Suelos.

WEIR, Edgardo. 1998. **Caracterización de suelos salinos, aspectos generales.** En COMISIÓN TÉCNICA INTERINSTITUCIONAL. Manual de técnicas de manejo de campos afectados por inundaciones. Ed. Universidad Nacional de Río Cuarto.

ZOHAR, Y. Y G. SCHILLER. 1999. **Growth and water use by selected seed sources of *Eucalyptus* under high water table and saline conditions.** Agricultural Research Organization.

APÉNDICE 1. RELACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN RELACIÓN 1:1,
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN.

En el sitio experimental 1, y en la primera de las repeticiones, se determinó la conductividad como indicador del tenor salino, tanto en relación suelo secado al aire:agua 1:1 (Smith y Doran, 1996), como en extracto de saturación (Richards, 1973), para corroborar la correlación existente entre los valores encontrados bajo estas dos metodologías (Smith y Doran, 1996, USDA, 1999) y obtener un valor de referencia para interpretar los resultados obtenidos en las restantes mediciones.

En los gráficos 13 y 14 se muestran los resultados obtenidos para la situación forestal y agrícola respectivamente, con la recta de tendencia, el coeficiente de correlación encontrado (InfoStat, 2002) y la ecuación de la línea de tendencia de los valores, donde se observa una alta correlación entre los valores obtenidos para ambas situaciones.

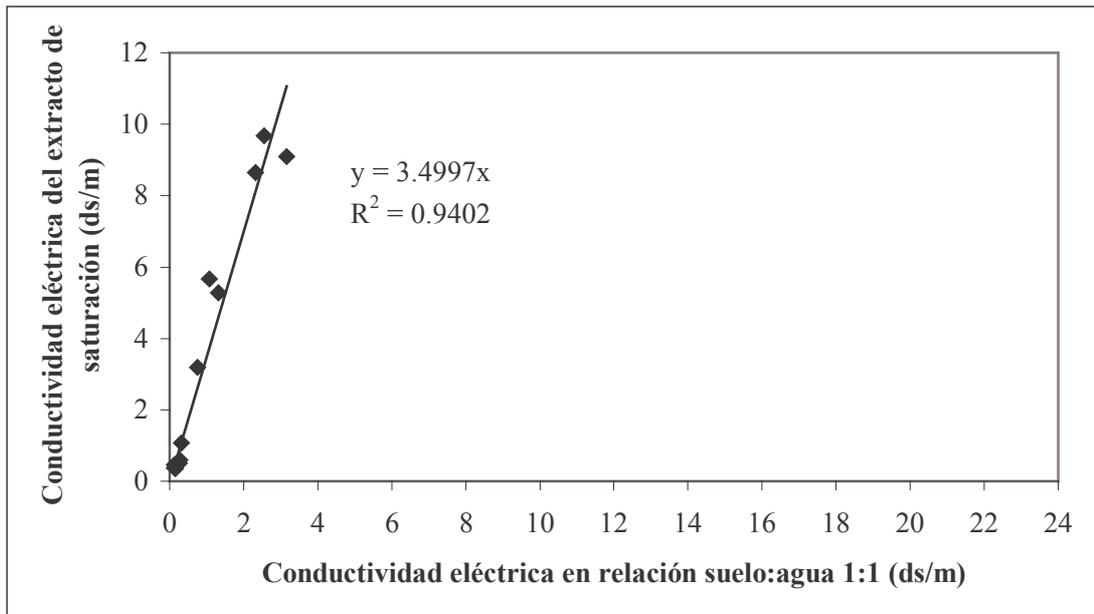


Gráfico 13: Relación conductividad eléctrica en relación 1:1 y en extracto de saturación. Situación forestal. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina.

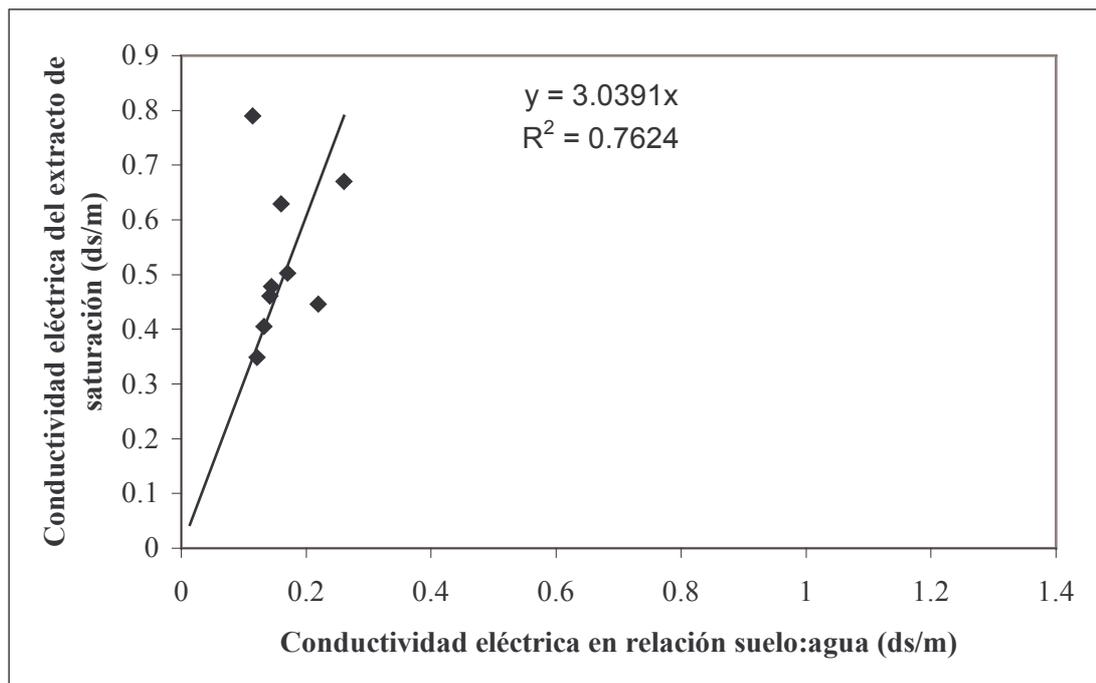


Gráfico 14: Relación conductividad eléctrica en relación 1:1 y en extracto de saturación. Situación agrícola. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina.

Puede observarse una mayor correlación en los valores de la situación forestal, en los que el modelo explicó el 94 % de las relaciones entre las variables. Mientras tanto, en el caso agrícola, las tendencias fueron menos marcadas, pero igualmente el modelo permitió explicar el 76 % de las variaciones en los parámetros.

Teniendo en cuenta que los coeficientes encontrados (valor a de la ecuación lineal $Y=aX+b$) presentaron una pequeña variación entre las situaciones de uso de la tierra analizadas, y que, como ya se expresó, en ambas situaciones el modelo explicó en gran medida las relaciones, se planteó el cálculo de una fórmula de tendencia única para las dos situaciones que permita obtener un valor de relación entre los parámetros. El resultado vuelve a arrojar un coeficiente de correlación elevado (gráfico 15).

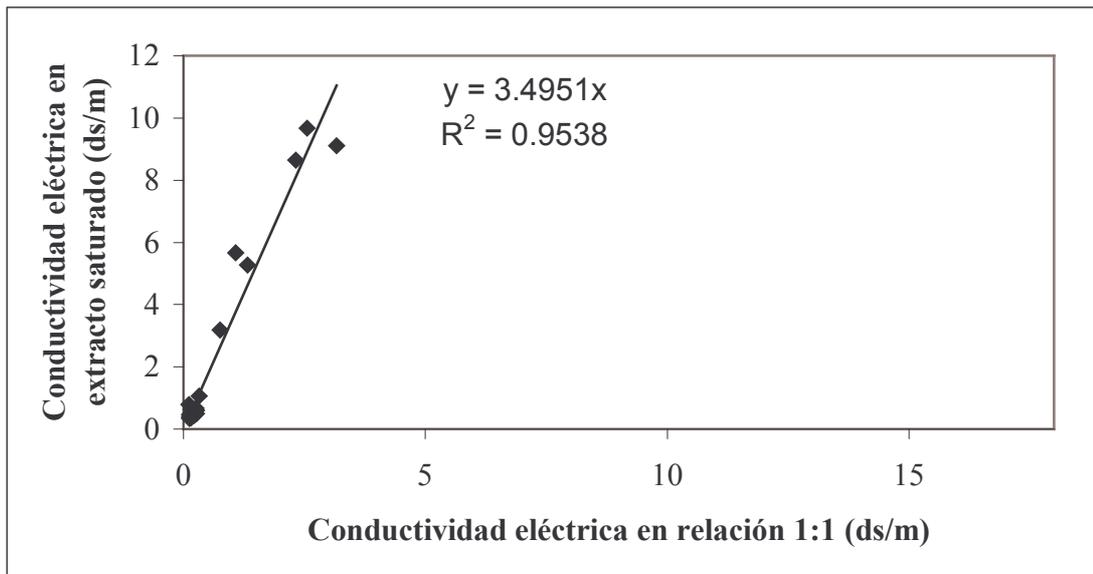


Gráfico 15: Relación conductividad eléctrica en relación 1:1 y en extracto de saturación. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina

El coeficiente que surgió de la ecuación fue de 3,495, valor por el cual se tiene que multiplicar la conductividad eléctrica obtenida a través de relaciones suelo:agua 1:1, para extrapolarla a conductividades en extracto de saturación. Este valor resultó inferior al obtenido por Smith y Doran (1996), quienes encontraron un coeficiente de conversión de 1,786 para suelos arenosos francos y de 1,695 para suelos franco arenosos finos a francos, pero fue más coincidente con la ecuación de regresión desarrollada por Hogg y Henry (1984) (citado en USDA 1999), en la cual la pendiente de la recta de ajuste fue de 2,75, sin hacer referencia a diferencias por grupos texturales de suelo.

APÉNDICE 2. FOTOGRAFÍAS DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

SITIO EXPERIMENTAL 1: RUTA PROVINCIAL E-86 EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA Y RUTA E-86



Foto 1: Perfil típico de la situación forestal, sitio experimental 1.



Foto 2: Perfil típico de la situación agrícola, sitio experimental 1.



Foto 3: Sorgo granifero en la segunda visita. Estado: post-cosecha. Sitio experimental 1

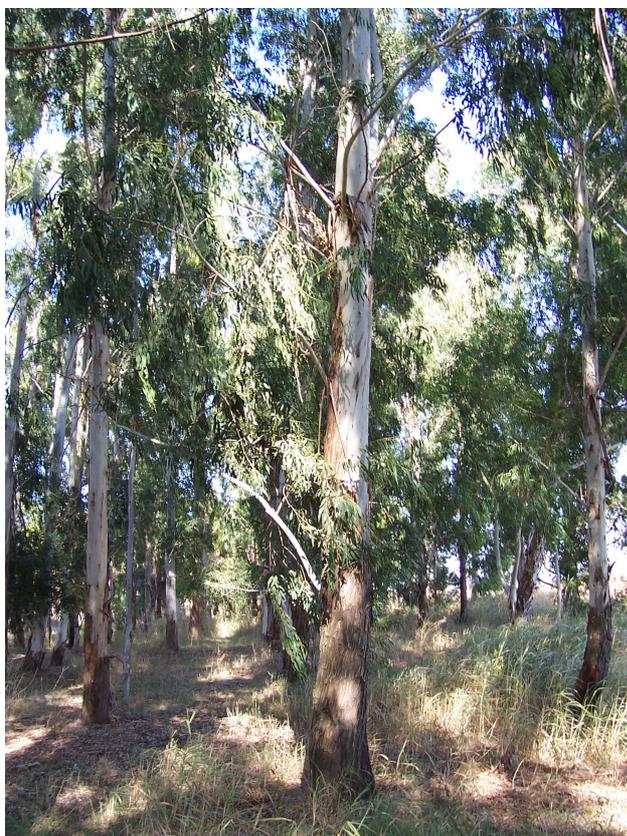


Foto 4: Cortina forestal de *Eucalyptus viminalis* Labill, sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina.



Foto 5: Vista de la cortina forestal de *Eucalyptus viminalis* Labill y Arroyo Santa Catalina. Sitio experimental Ruta provincial E-86 en el cruce con el arroyo Santa Catalina.

SITIO EXPERIMENTAL 2: NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA.

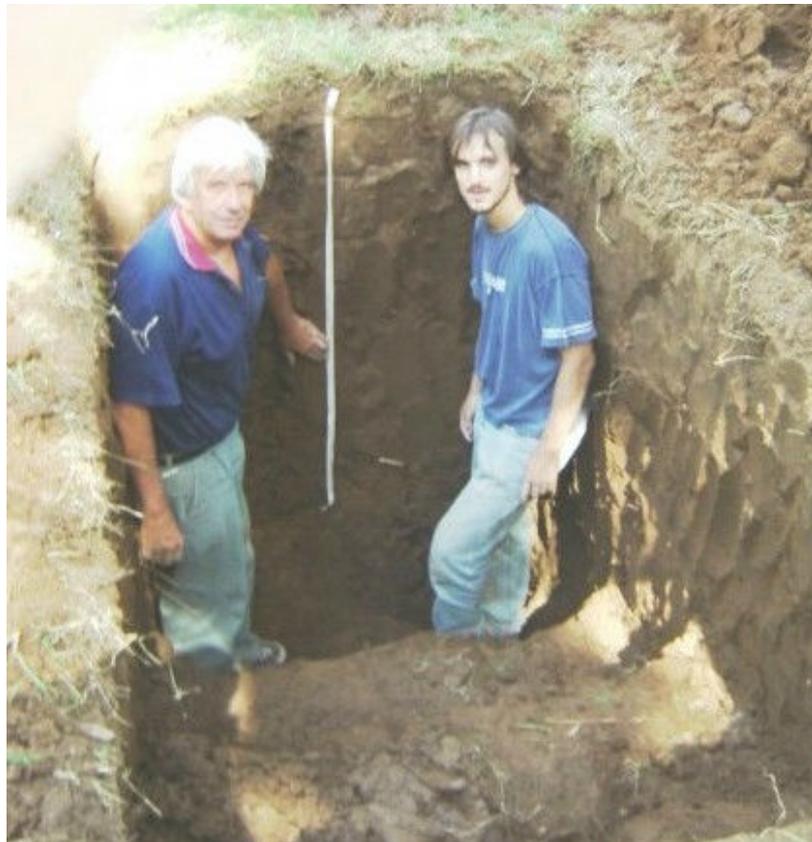


Foto 6: Perfil típico de la situación forestal, sitio experimental 2.



Foto 7: Perfil típico situación agrícola, sitio experimental 2.



Foto 8: Rastrojo de cultivo de soja, sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva.



Foto 9: Cobertura generada por la situación agrícola, sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva.



Foto 10: Monte de *Eucalyptus sideroxylon* Cunn. Obsérvese la reducida cantidad de plantas y la invasión de *Cynodon dactylon*. Sitio experimental Norte de la localidad de La Cautiva.



Foto 11: Cobertura generada por el monte forestal, sitio experimental 2.

SITIO EXPERIMENTAL 3: 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA.



Foto 12: Perfil típico situación forestal, sitio experimental 3 km al Sur de Río Bamba



Foto 13: Sitio experimental situación pastizal, sitio experimental Río Bamba.



Foto 14: Situación de pastizal. Playa salina en primer plano, vegetación típica del pastizal. Al fondo, bosque de *Eucalyptus*. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba.



Foto 15: Situación pastizal, sitio experimental Río Bamba, detalle de playa salina y vegetación (*Salicornia sp.*). Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba.



Foto 16: Cortina forestal de *Eucalyptus camaldulensis* Denhn. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba.



Foto 17: Árbol caído, mostrando problema de falta de anclaje por raíces horizontales a la profundidad de 50 cm. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba.



Foto 18: Árbol caído, mostrando problema de falta de anclaje por raíces horizontales a la profundidad de 50 cm. Sitio experimental 3 Km al sur de la localidad de Río Bamba.

APÉNDICE 3. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA Y DATOS ANALÍTICOS DE LOS
PERFILES DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES.

SITIO EXPERIMENTAL 1. RUTA PROVINCIAL E-86 (EX RUTA 24) EN EL CRUCE CON EL ARROYO SANTA CATALINA

Situación forestal

Descripción del perfil

IC. 0-33 cm. Arenoso-franco; estructura en bloques subangulares finos, débiles; consistencia blanda en seco; no plástico; no adhesivo; ligeramente alcalino; no salino; límite inferior abrupto.

IIC. 33-40 cm. Arenoso franco; estructura en bloques subangulares muy finos, débiles; blando en seco; no plástico; no adhesivo; ligeramente alcalino; no salino; límite inferior abrupto.

IIIC. 40-47 cm. Franco-limoso; estructura en bloques subangulares finos, moderados; muy duro en seco; no plástico; no adhesivo; ligeramente alcalino; no salino; límite inferior abrupto.

IVC. 47-61 cm. Arenoso franco; estructurado en bloques subangulares finos, débiles; duro en seco; no plástico; no adhesivo; moderadamente alcalino; no salino; límite inferior abrupto.

VC. 61-78 cm. Franco arenoso; estructura masiva no coherente; duro en seco, no plástico, no adhesivo; moderadamente alcalino, no salino, ligeramente sódico; límite inferior abrupto.

VIC. 78-114 cm. Arenoso franco; estructura masiva no coherente; duro en seco; no plástico; no adhesivo; moderadamente alcalino; ligeramente salino; límite inferior abrupto.

A_{bg}. 115-136 cm. Franco limoso; estructura en bloques angulares, gruesa, fuerte; moteados comunes medios y precisos; ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; moderadamente alcalino, ligeramente salino.

B_{bw}. 136 a + cm. Franco; estructura en prismas, media, moderada; fuertemente alcalino-sódico, ligeramente salino.

Datos analíticos

Tabla 25: datos analíticos situación forestal, sitio experimental 1

Perfil	Profundidad de la muestra (cm)		PH en agua (1:2,5)	CE (dS/m)	Composición del extracto de saturación (meq/l)							
					Cationes				Aniones			
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	CO ₃ H	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
IC	0-33	0-4	6,71	0,26	4,70	1,57	4,35	0,99	0,00	4,00	4,11	3,50
		4-17	7,67	0,22								
		17-33	7,88	0,25								
IIC	33-40		7,98	0,39								
IIIC	40-47		7,98	0,44								
IVC	47-61		8,09	0,42								
VC	61-78		8,13	0,76	7,30	4,20	16,09	1,03	0,00	2,00	11,11	15,50
VIC	78-114	78-90	8,12	1,91								
		90-114	8,12	2,75								
A _{bg}	115-136	115-120	8,37	2,84								
		120-136	8,38	3,43								
B _{bw}	136 a +		8,61	2,08	10,65	4,45	12,34	0,51	0,00	9,00	3,38	4,00

Situación agrícola

Descripción del perfil.

IC. 0-29 cm. Franco arenoso fino; estructura en bloques subangulares finos, débiles, que rompen en grano suelto; suelto en seco; no plástico; no adhesivo; ligeramente alcalino; no salino; no sódico; límite inferior abrupto

IIC. 29-59 cm. Arenoso franco fino; estructura en bloques subangulares medios débiles, ligeramente duro en seco, no plástico, no adhesivo; moderadamente alcalino (pH =8,08), no salino (CE (1:1) = 0,20 ds.m⁻¹); límite inferior abrupto.

IIIC. 59-87 cm. Arenoso franco medio, estructurado en bloques subangulares finos débiles; blando en seco; no plástico; no adhesivo; moderadamente alcalino; no salino; no sódico; límite inferior abrupto.

A_b. 87-96 cm. Franco a franco arcillo-limoso; estructura en bloques subangulares medios y gruesos, fuertes, que rompen en bloques angulares; duro en seco; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; moderadamente alcalino; no salino; límite inferior claro.

B_{bw}. 96-125 cm. Franco a franco arenoso; estructura en bloques angulares medios moderados; duro en seco; adhesivo; plástico; concreciones calcáreas dispersas en la masa de suelo; fuertemente alcalino; no salino; límite inferior claro.

C_b. 125 a + cm. Franco a franco arenoso; estructura en bloques angulares medios moderados; duro en seco; muy adhesivo; muy plástico; fuertemente alcalino; no salino; ligeramente sódico.

Datos analíticos.

Tabla 26: datos analíticos situación agrícola, sitio experimental 1

Perfil	Profundidad de la muestra (cm)		PH en agua (1:2,5)	CE (dS/m)	Composición del extracto de saturación (meq/l)							
					Cationes				Aniones			
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	CO ₃ H	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
IC	0-29	0-3	7,79	0,24	0,82	0,31	2,56	0,40	0,00	5,00	0,00	1,00
		3-13	7,76	0,20	1,10	0,27	4,34	0,26	0,00	1,00	0,00	6,25
		13-29	8,05	0,20								
IIC	29-59	29-43	8,08	0,20								
		43-59	8,10	0,15	1,85	0,62	1,17	0,41	0,00	3,00	0,00	1,75
IIIC	59-87	59-76	8,24	0,19	1,12	0,55	1,56	0,30	0,00	3,00	0,00	1,00
		76-87	8,32	0,17								
Abg	87-96		8,43	0,19								
Bbw	96-125	96-105	8,62	0,25								
		105-125	8,57	0,31								
Cb	125 a +		8,76	0,44	1,60	0,87	10,08	0,38	1,00	11,00	0,00	3,00

SITIO EXPERIMENTAL 2. NORTE DE LA LOCALIDAD DE LA CAUTIVA

Haplustol údico.

Descripción del perfil

A₁. 0-18 cm. Franco arenoso, estructura en bloques subangulares medios moderados, ligeramente duro en seco, no plástico, no adhesivo; ligeramente ácido, no salino, límite inferior gradual.

B₂. 18-38 cm. Franco arenoso, estructura en bloques subangulares finos débiles, suelto en seco, no plástico, no adhesivo; ligeramente ácido; no salino; límite inferior gradual.

B₃. 38-79 cm. Arenoso franco medio, estructura en bloques subangulares finos débiles que rompen a grano suelto, suelto en seco, no plástico, no adhesivo; neutro; no salino; límite inferior abrupto gradual.

C₁. 79-121 cm. Arenoso franco, estructura en bloques subangulares finos débiles, suelto en seco, no plástico, no adhesivo; ligeramente alcalino; no salino; límite inferior abrupto.

Cca. 121-135 cm. Corresponde al suelo saturado próxima a la capa freática. Arenosa franca, masiva, no plástico, no adhesivo, abundante calcáreo en superficie.; muy fuertemente alcalino; fuertemente sódico; muy ligeramente salino.

Datos analíticos

Tabla 27: datos analíticos situación agrícola, sitio experimental 2.

Perfil	Profundidad de la muestra (cm)		PH en agua (1:2,5)	CE (dS/m)	Composición del extracto de saturación (meq/l)							
					Cationes				Aniones			
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	CO ₃ H	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
A ₁	0-18	0-7	6,26	0,29	2,12	1,81	20,00	2,10	0,00	2,00	7,79	16,25
		7-18	6,12	0,24								
B ₂	18-38	18-26	6,26	0,25								
		26-38	6,36	0,23	1,22	0,60	2,61	1,23	0,00	2,00	2,17	1,50
B ₃	38-79		6,63	0,26								
C ₁	79-121		7,80	0,44								
C _{Ca}	121 a +		9,14	1,32	0,00	3,75	33,91	1,82	0,00	3,00	24,23	12,25

SITIO EXPERIMENTAL 3. 3 KM AL SUR DE LA LOCALIDAD DE RÍO BAMBA

Natracualf típico.

Descripción del perfil

I. 0-3 cm. Costra de sal proveniente del ascenso capilar desde la capa freática, evaporación del agua y cristalización de las sales, fuertemente alcalino; extremadamente sódico; muy fuertemente salino; límite inferior abrupto

A₂p. 3-18 cm. Franco arenoso, estructurado en bloques subangulares medios débiles; no plástico, no adhesivo, moteados comunes medios y precisos; fuertemente alcalino; fuertemente salino; límite inferior abrupto.

B₂t. 18-33 cm. Franco, estructurado en prismas medios, moderados; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo, barnices húmico-arcillosos comunes, moteados comunes;

abundantes concreciones calcáreas finas; moderadamente alcalino; extremadamente sódico; fuertemente salino; límite inferior claro.

B₂₂t. 33-65 cm. Franco, estructurado en prismas y bloques angulares medios, moderados; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo, barnices húmico-arcillosos escasos, moteados comunes medios y precisos; abundantes concreciones calcáreas finas; moderadamente alcalino; fuertemente salino; límite inferior claro.

B₃. 65-95 cm. Franco arenoso, estructurado en bloques subangulares medios moderados, barnices húmico-arcillosos muy escasos, moteados abundantes medios y precisos, escasas concreciones calcáreas muy finas; no plástico, no adhesivo, fuertemente alcalino; moderadamente salino; límite inferior gradual.

C. 95 a + cm. Franco arenoso, masivo, no plástico, no adhesivo, moteados abundantes medios y precisos, concreciones calcáreas escasas y finas.

Datos analíticos

Tabla 28: datos analíticos situación pastizal, sitio experimental 3.

Perfil	Profundidad de la muestra (cm)	PH en agua (1:2,5)	CE (dS/m)	Composición del extracto de saturación (meq/l)							
				Cationes				Aniones			
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	CO ₃ H	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
I	0-3	8,83	31,93	11,75	102,3	1.443	14,10	0,00	5,00	16,62	1.550
A2p	3-18	8,75	10,65								
B₂₁t.	18-33	8,49	7,19	8,57	35,83	295,6	4,36	0,00	3,00	0,00	507,5
B₂₂t.	33-65	8,26	10,65								
B₃	65-95	8,65	3,64								
C	95 a +		21,10	5,15	10,42	3,03	143,5	0,00	3,00	10,32	148,7