

Informe Final

El Sistema Acuífero Litoral y las plantaciones forestales.

Estudio de un sector representativo, evaluación del impacto de las plantaciones forestales en su balance hídrico y recomendaciones para su aprovechamiento sostenible.

Danilo Antón
Noviembre del 2005

Sumario Ejecutivo

Introducción

Las plantaciones forestales, en particular las plantaciones de eucaliptos han sido consideradas responsables de la desecación de manantiales y acuíferos en algunos lugares del mundo, España, Brasil, Africa del Sur, incluso en la propia Australia, de donde provienen originalmente las diferentes especies de eucaliptos. Las posiciones al respecto suelen ser encontradas. Hay especialistas que sostienen que dichos impactos son importantes y perjudiciales para los sistemas hídricos, mientras que otros sostienen que esto no es así, que los efectos no son mayores a los que producen ciertos cultivos, e incluso los mismos bosques naturales.

En el Uruguay las primeras plantaciones de eucaliptos se remontan a fines del siglo XIX, generalmente con fines de abrigo del ganado, u ornamentación urbana.

Las plantaciones extensas, a menudo asociadas con pinos, se desarrollaron a partir de las décadas de 1960 y 1970, y en particular al aprobarse la ley de promoción forestal en 1987. Hoy las plantaciones de árboles superan las 700,000 hectáreas, de las cuales más del 60% corresponden a diversas especies de eucaliptos: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus dunii*, *Eucalyptus maidenii*, *Eucalyptus bicostata* y otras especies de menor utilización. También en Uruguay se ha sostenido que dichas plantaciones tienen impactos fuertes y negativos sobre los recursos de agua, han producido descensos de niveles en los pozos, secado de manantiales y cañada, disminución de los flujos de los arroyos, etc. Estas afirmaciones suelen basarse en datos anecdóticos sobre el tema, y en posiciones parciales y subjetivas. Por esa razón se consideró importante realizar un estudio sobre el tema en un sector representativo de las plantaciones forestales uruguayas, incluyendo plantaciones de larga data y recientes, y un extenso acuífero de uso generalizado en la producción agropecuaria y abastecimiento público: el Sistema Acuífero Litoral. Este acuífero es un reservorio hidrogeológico muy extenso y caudaloso que se extiende a lo largo de la zona litoral del Uruguay, desde Salto hasta Colonia, contenido en varias (3) formaciones sedimentarias del período geológico Cretácico Superior, y tal vez del Terciario Inferior.

Con el apoyo de UNESCO y de la Dirección Nacional de Hidrografía del Ministerio de Transportes y Obras Públicas el autor de este informe llevó a cabo una investigación sobre el tema, incluyendo trabajo de campo y gabinete, análisis de documentos y entrevistas, observación de afloramientos geológicos y pozos excavados o perforados, y recorridos por viejas y nuevas plantaciones.

Las zonas estudiadas fueron los alrededores de los poblados de Piedras Coloradas, Estación Porvenir, Orgoroso, Paso de la Cruz y puntas del Arroyo Negro, a lo largo de las rutas 90 y 25. Como resultado de ese trabajo se confeccionó este informe, incluyendo varios mapas ilustrativos de la problemática antes mencionada.

Descripción del Sistema Acuífero Litoral

El Sistema Acuífero Litoral es el más importante del valle medio e inferior del río Uruguay extendiéndose por más de 50,000 km² en ambas bandas del río de las cuales 20,000 están del lado uruguayo en los departamentos de Paysandú, Río Negro, Soriano y Colonia, y en menor grado en Salto, Flores, Durazno y Florida. El

El Acuífero está contenido en tres formaciones arenosas y conglomerádicas de edad Cretácica Superior y Terciaria Inferior que constituyen el Grupo Paysandú con espesores máximos de unos 200 metros en la centro de la cuenca. Este grupo está compuesto de tres formaciones: la formación Guichón, que es la más antigua y está compuesta por areniscas arcillosas con baja a media permeabilidad, la formación Mercedes, compuesta por conglomerados, areniscas y calizas, con permeabilidad generalmente elevada, y la formación Asencio, que es la más reciente, formada por areniscas medias y finas, areniscas arcillosas y areniscas ferruginosas, con permeabilidad media. Estas formaciones se apoyan sobre las lavas basálticas de la formación Arapey y son recubiertas por los limos y areniscas de la formación terciaria Fray Bentos.

El acuífero es utilizado en Uruguay debido a su accesibilidad (su profundidad no excede los 50 metros, sus niveles estáticos alrededor de 20 metros), caudales importantes (del orden de 10,000 litros por hora) y calidad aceptable de sus aguas. Hay varios cientos de pozos que utilizan este acuífero con fines de riego y abastecimiento público y privado (220 pozos en Paysandú, más de 100 en Río Negro). Es de hacer notar que el acuífero subyace algunos de los suelos agrícolas más fértiles del país y por lo tanto su utilización adquiere una importancia económica singular. Debido a los importantes caudales de sus pozos es posible también utilizar el S.A.L. para abastecer pueblos y ciudades (p.ej. las poblaciones de Piedras Coloradas, Algorta y Porvenir).

El Sistema Acuífero Litoral está formado por dos niveles acuíferos principales que generalmente tienen conexión hidráulica: el acuífero inferior, relacionado con la formación Mercedes, y el acuífero superior, asociado con la formación Asencio.

El acuífero inferior está contenido en las areniscas conglomerádicas de la formación Mercedes, es de tipo semi-confinado al oeste y libre al este. Su confinamiento es menor cuando está recubierto por la formación Asencio y mayor cuando además de Asencio está también recubierto por la formación Fray Bentos.

Tiene su zona de recarga directa principal en las zonas de afloramiento de la formación Mercedes. Se trata sobre todo de áreas de interfluvios por debajo de la cota de 90-100 metros (al norte y noreste de la población de Piedras Coloradas), al noroeste de Piedras Coloradas y al noreste de Estación Porvenir en posiciones de interfluvio ubicadas en cotas de 70-80 metros y, en menor grado, al noroeste de Estación Porvenir, en posiciones de interfluvio debajo de los 70 metros.

Las zonas de recarga indirecta se ubican en las zonas de afloramiento de la formación Asencio, tanto en posición de interfluvio como de cabeceras de valles.

Se considera que la recarga indirecta a través de la formación Fray Bentos es mínima o inexistente.

A lo largo de la ruta 90, que recorre la cima del interfluvio (cuchilla) de dirección este-oeste la formación se encuentra cubierta por la formación Asencio. Las altitudes de dicha cuchilla varían de este a oeste:

- 1) Cerca de la bifurcación de la ruta 25 (Algorta): altitud entre 110 y 120 metros; techo del Acuífero Inferior: aproximadamente 80 m. s.n.m.
- 2) En Piedras Coloradas: altitud entre 100 y 110 metros; techo del acuífero inferior aproximadamente 70 metros s.n.m.
- 3) En los alrededores de la Estación Porvenir: altitud entre 80-85 metros; techo del acuífero inferior, aproximadamente 50-60 metros s.n.m.

En dichas zonas la formación aflorante es sobre todo Asencio, con un espesor de unos 20-25 metros.

Por esa razón los pozos que utilizan el acuífero inferior tienen profundidades de 30 metros o más (p.ej. los pozos de Ose en Algorta y Piedras Coloradas)

Al oeste de la Estación Porvenir las profundidades más frecuentes son entre 40 y 60 metros (con mínimo de 30 metros y máximos superiores a 80 metros) (Montaño, 2000). La profundidad de los niveles estáticos varía de acuerdo a la altitud de la boca del pozo. En las zonas más elevadas topográficamente, los niveles varían entre 15 y 25 metros. En zonas más deprimidas, pueden acercarse a la superficie, e incluso, localmente, generar alumbramientos artesianos.

Hay varios pozos que pueden ser considerados representativos de esta unidad hidrogeológica. En Estación Porvenir el pozo de OSE (altitud: 83 metros) tiene una profundidad de 64 metros, un nivel estático de -12 metros (71 metros s.n.m.) y ha mostrado una productividad sostenida de 12,000 litros por hora; en Paso de La Cruz (altitud: 90 metros) el pozo de OSE tiene una profundidad de 65 metros, un nivel estático de 32 metros; en Algorta el pozo de OSE (altitud: 110 metros) tiene una profundidad de 111 metros, y una productividad de 4000 litros por hora con un nivel de trabajo de 18.50 metros bajo la superficie; en Orgoroso, el pozo principal de OSE (altitud: 100 metros) tiene una profundidad de 29 metros y su nivel dinámico se sitúa a unos 19-20 metros bajo la superficie; en Puntas de Arroyo Negro, el pozo del barrio MEVIR (altitud: 95-97 metros) tiene una profundidad de 65 metros y caudal estabilizado. Con excepción del pozo de Orgoroso, todos los pozos mencionados han mantenido un caudal constante y estable por varias décadas.

Los rendimientos de los pozos inventariados en este nivel acuífero profundo en el sector occidental de la cuenca (Montaño, 2000) muestran caudales elevados y sostenidos de unos 20,000 y 25,000 litros por hora.

El nivel acuífero superior, contenido en la formación Asencio, es un acuífero de tipo libre, poco profundo, relacionado hidráulicamente con el Acuífero Inferior. Su profundidad es de unos pocos metros y su caudal notoriamente inferior al del acuífero subyacente. Gran parte de los pozos en el acuífero superior son excavados (“pozos de balde”) con profundidades inferiores a 20 metros (los pozos más profundos explotan el Acuífero Inferior), presentando niveles estáticos de más de 10 metros de profundidad.

Los pozos del nivel superior en la zona forestada muestran descensos considerables de sus niveles estáticos, mientras que a medida que nos alejamos de las plantaciones las variaciones se hacen menos significativas. Entre los ejemplos ilustrativos de descensos importantes se encuentra el pozo Magnin, al Norte de la ruta 90 cerca de Piedras Coloradas (Km. 49 de la Ruta 90) con una profundidad de 16 metros que se secó en el verano del 2000, el pozo brocal de Wittman- Pintos, cerca de Pueblo Las Flores, de 20 metros de profundidad que experimentó un descenso de más de 7 metros, el pozo de José Ruiz, en el km.36.5 de la ruta 90, con una profundidad de 23 metros, relativamente

alejado (3 km) de las plantaciones que no ha sufrido disminución de nivel, y el pozo Mascazini, cercano al anterior y también alejado de las plantaciones que bajó solamente 1 metro en los últimos 20-30 años.

Desde el punto de vista hidráulico, basado en el análisis de 50 pozos ubicados en el oeste de la cuenca (Montaño, 2000), la permeabilidad del sistema acuífero se calculó en 0.12 m/h. Con un espesor saturado promedial de 20 metros, y considerando un frente de acuífero de 1,000 metros, la transmisividad sería de unos 57.6 m²/día y el volumen del acuífero de unos 56 km³ (de acuerdo a datos de Montaño, 2000, adaptados).

Basándonos en información del mismo autor, asumiendo un valor promedio de T de 90 m²/día (calculada por ensayos de bombeo) se calculó que, para la isopieza 50, el caudal para un frente de 1000 m sería de: 90 m²/día x 0.025 x 1000 m = 2250 m³/día

Si extendemos el frente a 40 Km. (que es más o menos el ancho de la zona de estudio) obtendríamos un caudal diario de 90,000 m³/día, o sea 32,850,000 m³ por año. Esta cifra es compatible con los cálculos a partir de las áreas de recarga cartografiadas (ver cuadro de balance hídrico).

Las zonas de recarga del área en estudio se extienden por 102,000 hectáreas, de las cuales unas 38,000 hectáreas corresponden a afloramientos de la formación Mercedes y 64,000 hectáreas a las zonas aflorantes de la formación Asencio.

Se estima que la recarga promedio (infiltración hasta el acuífero) a través de las zonas de afloramiento de la formación Mercedes es del orden de 5% de las precipitaciones y a través de Asencio, 3 %.

Las plantaciones forestales y su impacto

Debido a su naturaleza geológica arenosa, los suelos existentes en las áreas de afloramientos de las formaciones del Grupo Paysandú son también arenosos. En los estudios edafológicos que dieron lugar a la determinación de los índices CONEAT los suelos del Grupo fueron definidos como de baja productividad y por lo tanto sindicados como de prioridad forestal en el marco de la ley de promoción de las plantaciones (ley 15939/89).

Ya desde antes de la aprobación de la ley se habían establecido algunas plantaciones en dichos suelos, y luego de su promulgación dichas plantaciones se extendieron considerablemente.

Las principales especies de eucaliptos plantadas en la zona de estudio son *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus* y las de pinos, *Pinus elliottii* y *Pinus taeda*. Los eucaliptos cubren alrededor del 80% del área forestada (*E. grandis*: 36%, *E. globulus*: 29%, otros eucaliptos: 16%) y los pinos, 18 % (*P. elliottii*: 6% y *P. taeda*: 11.5%)¹.

Estimamos que, en dicha zona, aproximadamente un 30% de los sectores de recarga directa, y otro tanto en las áreas de recarga indirecta, se encuentran cubiertos por plantaciones. La superficie forestada total sería del orden de 12,500 has en las áreas aflorantes de Mercedes y 21,300 has en las áreas de Asencio, con un total de 33,800 has. Estimamos en 20% el porcentaje cubierto por árboles vivos, excluyendo predios sin forestación intercalados, vías de drenaje, caminos, corredores anti-incendio, zonas recientemente taladas y áreas recién plantadas (coeficiente: 0.2). El total consumido por los árboles en estas zonas de recarga excedería 24 millones de m³ por año. Este volumen es claramente superior al consumo de la vegetación herbácea y arbustiva pre-existente

¹ Datos departamentales de la Dirección Nal Forestal para Paysandú y Río Negro. Consideramos que las plantaciones en la zona de estudio tienen composiciones específicas similares (DNF, MGAP, 2004).

(que estimamos en 1,000 m³ por hectárea, o sea 6,760,000 m³). El aumento de consumo hídrico sería de unos 18 millones de m³ para toda la zona de recarga. Esto representaría casi el 40% de la recarga efectiva.

En los hechos los niveles piezométricos de los pozos de la zona muestran un descenso considerable que es coherente con dicha extracción evaporativa

Como el proceso de plantaciones forestales ha estado aumentando durante los últimos años el déficit de recarga se podría ir agravando si no se toman medidas para evitar dicha disminución.

Recomendaciones

Para minimizar e incluso revertir el proceso de descenso de las napas es necesario modificar el balance hídrico de las zonas ocupadas por plantaciones forestales. Ello se puede hacer a través de modificaciones de las densidades arboladas y de cambios a nivel del diseño de las plantaciones.

Las estrategias más apropiadas deben tender a:

- a) Disminución del escurrimiento torrencial
- b) Aumento de la recarga al sistema acuífero
- c) Disminución de los gastos de evapotranspiración (consumo a nivel del ecosistema forestal-herbáceo)

Las medidas a implementarse que lograrían dichos propósitos serían las siguientes:

- a) Disminución del escurrimiento torrencial

La mayor parte del agua precipitada durante los episodios de pluviosidad intensa se escurre a los cursos de agua (tal vez más del 50%). Se propone realizar un diseño del drenaje de los predios forestados que enlentezca el flujo hídrico superficial conduciéndolo gradual y sistemáticamente a estructuras diseñadas especialmente para favorecer la infiltración dando el tiempo necesario para que ésta se produzca.

- b) Aumento de la recarga al sistema acuífero

En combinación con las medidas propuestas en el numeral anterior, y con el fin de aumentar la recarga al acuífero se propone construir un número suficiente de estructuras (principalmente tajamares escalonados) de infiltración. Estos tajamares se diferencian de los tajamares de almacenamiento en que su propósito no es almacenar agua a nivel de superficie para su uso futuro, sino propiciar su infiltración inmediata. Para ello se recomienda diseñar reservorios con fondos permeables (arenosos, si fuera posible recubiertos con capas de gravas), así como mantenerlos limpios en forma permanente.

- c) Disminución de los gastos de evapotranspiración

En términos generales, la cobertura herbácea requiere (evapora) menos agua que la cobertura arbórea, por esa razón se propone reducir las áreas ocupadas por árboles e incrementar las zonas de pastizales. Ello favorece la prevención y combate de los fuegos forestales. Al mismo tiempo se propone mantener los pastos en un nivel de bajo porte manteniendo una carga de herbívoros apropiada (p.ej. vacunos). Esta medida tiene ventajas económicas y permite una mayor diversificación productiva.

En base a lo anterior se considera que el escurrimiento instantáneo a los valles puede reducirse un 30-50%, y que consecuentemente la recarga puede aumentar en un 200-300%. Este aumento compensaría con creces el exceso de consumo de las plantaciones forestales y permitiría detener el descenso de los niveles de la napa e incluso revertirla. Se considera que algunos pozos hoy secos podrían volverse productivos nuevamente.

A ello se agregaría un progreso en términos de diversificación productiva al aumentar la considerablemente la producción ganadera en los predios forestales y reducir los riesgos de incendio y los daños causados por las sequías periódicas.

Informe Final

El Sistema Acuífero Litoral y las plantaciones forestales.

1) Introducción

Las plantaciones forestales, en particular las plantaciones de eucaliptos han sido consideradas responsables de la desecación de manantiales y acuíferos en algunos lugares del mundo, España, Brasil, Africa del Sur, incluso en la propia Australia, de donde provienen originalmente las diferentes especies de eucaliptos. Las posiciones al respecto suelen ser encontradas. Hay especialistas que sostienen que dichos impactos son importantes y perjudiciales para los sistemas hídricos, mientras que otros sostienen que esto no es así, que los efectos no son mayores a los que producen ciertos cultivos, e incluso los mismos bosques naturales.

En el Uruguay las primeras plantaciones de eucaliptos se remontan a fines del siglo XIX, generalmente con fines de abrigo del ganado, u ornamentación urbana.

Las plantaciones extensas, a menudo asociadas con pinos, se desarrollaron a partir de las décadas de 1960 y 1970, y en particular al aprobarse la ley de promoción forestal en 1987. Hoy las plantaciones de árboles superan las 700,000 hectáreas, de las cuales más del 60% corresponden a diversas especies de eucaliptos: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus dunii*, *Eucalyptus maidenii*, *Eucalyptus bicostata* y otras especies de menor utilización. También en Uruguay se ha sostenido que dichas plantaciones tienen impactos fuertes y negativos sobre los recursos de agua, han producido descensos de niveles en los pozos, secado de manantiales y cañada, disminución de los flujos de los arroyos, etc. Estas afirmaciones suelen basarse en datos anecdóticos sobre el tema, y en posiciones parciales y subjetivas. Por esa razón se consideró importante realizar un estudio sobre el tema en un sector representativo de las plantaciones forestales uruguayas, incluyendo plantaciones de larga data y recientes, y un extenso acuífero de uso generalizado en la producción agropecuaria y abastecimiento público: el Sistema Acuífero Litoral. Este acuífero es un reservorio hidrogeológico muy extenso y caudaloso que se extiende a lo largo de la zona litoral del Uruguay, desde Salto hasta Colonia, contenido en varias (3) formaciones sedimentarias del período geológico Cretácico Superior, y tal vez del Terciario Inferior.

Con el apoyo de UNESCO y de la Dirección Nacional de Hidrografía del Ministerio de Transportes y Obras Públicas el autor de este informe llevó a cabo una investigación sobre el tema, incluyendo trabajo de campo y gabinete, análisis de documentos y entrevistas, observación de afloramientos geológicos y pozos excavados o perforados, y recorridos por viejas y nuevas plantaciones.

Las zonas estudiadas fueron los alrededores de los poblados de Piedras Coloradas, Estación Porvenir, Orgoroso, Paso de la Cruz y puntas del Arroyo Negro, a lo largo de las rutas 90 y 25.

Como resultado de ese trabajo se confeccionó este informe y varios mapas ilustrativos de la problemática.

2) El Sistema Acuífero Litoral

El Sistema Acuífero Litoral (S.A.L.) es el más importante del valle medio e inferior del río Uruguay extendiéndose por más de 50,000 km² en ambas bandas de este curso fluvial. Solamente en territorio uruguayo esta cuenca sedimentaria cubre más de 20,000 km² sobre todo en los departamentos de Paysandú, Río Negro, Soriano y Colonia, pero también, en menor grado, en los departamentos de Salto, Flores, Durazno y Florida.

El reservorio hídrico subterráneo del S.A.L. está contenido en varias formaciones porosas detríticas (arenosas, conglomerádicas, areno-arcillosas) de edad Cretácica Superior (tal vez los niveles superiores sean del Terciario Inferior (Ford, 1988), con un espesor que llega a más de 200 metros hacia el centro de la cuenca.

De lado uruguayo se han definido tres formaciones constituyentes que han sido agrupadas en el Grupo Paysandú. La unidad más antigua es la formación Guichón (areniscas arcillosas) con permeabilidad baja a media, recubierta por la formación Mercedes (conglomerados, areniscas) de elevada permeabilidad, y en su parte superior la formación Asencio (areniscas, areniscas arcillosas, areniscas ferruginosas) de permeabilidad media a baja. Del lado argentino estas formaciones han sido agrupadas en una sola unidad denominada Puerto Yerúa.

En Uruguay el Grupo Paysandú reposa sobre las coladas basálticas de Arapey y hacia el oeste están cubiertas por las areniscas limosas de la formación Fray Bentos (Terciario Medio, que recibe el mismo nombre en Argentina), y en las adyacencias del río Uruguay por los depósitos fluviales de la formación Salto (Ituzaingó en Argentina).

El acuífero es utilizado ampliamente en Uruguay, debido a su accesibilidad, los caudales elevados, y la calidad aceptable de las aguas. Su profundidad generalmente no excede los 50 metros y los niveles de las napas son también poco profundos (estáticos hasta 20 metros, dinámicos hasta 30 metros). En Argentina su uso es menos importante. Solamente en los departamentos de Paysandú y Río Negro hay más de 320 pozos que utilizan este acuífero con fines de riego y abastecimiento de establecimientos y poblaciones (220 pozos en Paysandú, más de 100 en Río Negro). Es de hacer notar que el acuífero subyace algunos de los suelos agrícolas más fértiles del país y por lo tanto su utilización adquiere una importancia económica singular. Debido a los importantes caudales de sus pozos es posible también utilizar el S.A.L. para abastecer pueblos y ciudades (p.ej. las poblaciones de Piedras Coloradas, Algorta y Porvenir).

En base a lo anterior consideramos que el S.A.L. es el acuífero con mayor potencial del país, tanto por su localización como por sus caudales, la calidad de sus aguas y la accesibilidad.

3) Geología del Sistema Acuífero Litoral

El Sistema Acuífero Litoral está contenido en el Grupo Paysandú, antes mencionado, y más particularmente en la formación Mercedes, de ubicación estratigráfica intermedia en dicho Grupo.

El Grupo Paysandú se apoya en las rocas basálticas de la formación Arapey al norte (Departamentos de Paysandú y Río Negro) y en las rocas metamórficas e ígneas del Basamento Cristalino al Sur (Departamentos de Soriano y Colonia).

a) La formación Guichón

La base del Grupo está constituida por la formación Guichón, definida por Lambert (1940) en su mapa geológico del Departamento de Paysandú y elevada a la categoría de formación por Bossi (1966). La cima de la formación pasa en forma concordante a la formación inmediatamente superior (formación Mercedes).

Se trata de areniscas arcillosas, rojizas, de grano fino, sin presencia de cantos, incluyendo niveles de areniscas con estratificación cruzada (eólicas) y calizas.

Estudios publicados por Bossi (1966) en Guaviyú y Cerro del Francés muestran que las areniscas son predominantemente cuarzo-feldespáticas (80% de cuarzo y 20% de feldespato), con un 5-6% de carbonatos de calcio. El resto (10%) corresponde a las fracciones limo y arcilla. El cemento arcilloso de las areniscas es montmorillonita cálcica. También incluye niveles conglomerádicos de poca potencia (menos de 2 metros) con cantos de calcedonia y cuarzo provenientes de la desagregación de geodas basálticas. La potencia máxima de la formación es de unos 100 metros (96 metros en la perforación de Guichón, un espesor similar en la perforación de Guaviyú, Paysandú).

Un perfil en el arroyo Guayabos unos 10 Km. al oeste de Guichón, presentado por Bossi y Navarro (1991), muestra un espesor algo menor con la siguiente secuencia:

0-5 metros: material aluvial descompuesto

5-11 metros: areniscas medias, cuarzo-feldespáticas, redondeadas, cemento arcilloso, de color rosado;

11-21 metros: igual, con intercalaciones de niveles conglomerádicos de 1 a 2 metros con cantos de calcedonia;

21-50 metros: areniscas medias a finas, cuarzo-feldespáticas, granos redondeados a subredondeados, cemento arcilloso, color rosado;

50-53 metros: igual, con lentes calcáreos sacaroides, blancos;

53-54 metros: lutita abigarrada rojo y gris

54-57 metros: areniscas finas a medias, cuarzo-feldespáticas, subredondeadas, cemento arcilloso, color rosado.

Desde el punto de vista hidrogeológico se trata de una formación de permeabilidad relativamente baja debido a la presencia de arcillas, constituyendo un acuífero de productividad escasa a intermedia.

Las zonas de recarga están ubicadas en posiciones de interfluvio al noreste y este de la cuenca y las zonas de descarga en la porción baja de las laderas y fondos de valles.

b) La formación Mercedes

La formación Mercedes fue identificada por Lambert (1939) en el valle del arroyo Chileno en Durazno y definida estratigráficamente por Serra (1945) quien propuso su denominación actual.

Se trata de areniscas conglomerádicas incluyendo niveles de areniscas, con abundante carbonato de calcio, ya sea como cemento de la roca o formando lentes de verdaderas calizas. Estos niveles se transforman en estratos extensos y potentes en la parte superior de la formación (Bossi y Navarro, 1991).

En la perforación de Mercedes descrita por Serra (1945) la formación presenta el siguiente perfil:

0-2 metros: areniscas finas y medias fuertemente silicificadas;
 2-16 metros: areniscas blancuzcas de grano irregular, con cemento calcáreo, lechos lenticulares de caliza pardo-amarillenta y abundantes niveles conglomerádicos;
 16-26 metros: areniscas blancas de grano irregular, a veces conglomerádicas, con abundante cemento calcáreo o arcilloso;
 26-35 metros: areniscas rosadas de grano irregular con lechos conglomerádicos
 35-45 metros: areniscas bastas y conglomerádicas, con bastante cemento, de color blanco, cuyo material clástico es exclusivamente cuarzoso;
 45-58 metros: areniscas conglomerádicas blancas y rosadas con abundante cemento calcáreo;
 58-63 metros: areniscas rosadas de grano fino con cemento calcáreo;
 63-65 metros: areniscas conglomerádicas blancas con cemento calcáreo;
 65-68 metros: areniscas conglomerádicas con cemento arcilloso, color blancuzco;
 68-87 metros: areniscas conglomerádicas en las que el tamaño promedio de los clastos aumenta hacia la base.

En el perfil de sondeo presentado por Montaña (2000) (perforación en Paso del Guerrero en Paysandú) se observan las siguientes litologías:

0-5 metros: Arenisca fina a media, redondeada, con óxido de hierro, color rojizo.
 5-29 metros: Areniscas medias, redondeadas, cuarzosas, color blancuzco.
 29-54 metros: Arenisca media a gruesa y cantos, se observan niveles de silicificación, color blancuzco.

Debido al tamaño de grano grueso predominante en la formación su permeabilidad es elevada lo cual da lugar a caudales de pozos considerables (2,000 a 30,000 litros por hora).

La zona de recarga está ubicada en áreas de afloramiento predominantemente al este y sureste de la cuenca, generalmente localizada en posiciones de interfluvio. Las zonas de descarga se encuentran en pies de ladera y fondo de valles.

El acuífero presenta una piezometría estable con líneas de flujo paralelas y descarga hacia el Río Uruguay. El gradiente hidráulico varía entre 2.5 % y 0.7% (Montaña, 2000).

El acuífero de Mercedes es ampliamente explotado con fines agropecuarios y de abastecimiento urbano. Algunas poblaciones que utilizan el acuífero son Piedras Coloradas, Algorta y Porvenir.

c) La formación Asencio

Esta formación de la cúspide del cretácico superior (tal vez de la base del Terciario según Ford, 1988) fue identificada por Walther (1931) quien la llamó “arenisca con dinosaurios”. Más tarde, en 1958, Caorsi y Goñi la denominaron “Arenisca de Asencio”, y finalmente, Bossi en 1966 la erigió al rango de formación. Está constituida por areniscas de grano fino y redondeado, cuarzo-feldespáticas, de colores rosáceos claros, con cemento arcilloso (illítico o montmorillonítico) y/o calcáreo. Localmente los feldespatos están alterados y en algunos sectores los niveles están parcialmente silicificados.

La ferrificación, por el contrario, es un fenómeno común, generalizado en la parte superior, en lo que Bossi (1966), siguiendo a Walther (1931), llamó “Miembro del Palacio”. Este proceso ha sido interpretado como una pedogénesis (paleosuelo) probablemente de edad eocena u oligocena. Se trata de una arenisca ferruginosa, rojiza, moderadamente tenaz, que constituye relieves positivos, a menudo escarpados, en sus

zonas de afloramiento. El miembro inferior no ferrificado de Asencio, ha sido denominado Yapeyú por Bossi (1966).

La formación tiene un espesor máximo de unos 30-40 metros y se extiende por gran parte del litoral suroccidental del Uruguay (Paysandú, Río Negro, Soriano, Colonia), localizándose varios afloramientos en el centro del país (p.ej. Durazno, Tacuarembó, Florida, Canelones, San José).

La formación tiene una permeabilidad variable, predominantemente media, y los pozos una productividad inferior a la formación Mercedes (1000 a 5000 litros por hora).

Las áreas de recarga están ubicadas en posiciones de interfluvio, en gran parte de su extensión, y las zonas de descarga en fondos de valle y laderas bajas de la periferia de la cuenca.

3) Los niveles acuíferos constituyentes del Sistema Litoral

Las formaciones del Grupo Paysandú en el centro-oeste del departamento de Paysandú contienen dos acuíferos principales, que generalmente tienen conexión hidráulica: el acuífero inferior, relacionado con el sistema hidrogeológico de la formación Mercedes, y el nivel acuífero superior, asociado con el sistema hidrogeológico de la formación Asencio.

a) El nivel acuífero inferior

El nivel acuífero inferior (Sistema Acuífero Litoral propiamente dicho), contenido en las areniscas conglomerádicas de la formación Mercedes, es de tipo semi-confinado al oeste y libre al este. Su confinamiento es menor cuando está recubierto por la formación Asencio, y mayor, cuando además de Asencio está también recubierto por la formación Fray Bentos.

Tiene su zona de recarga directa principal en las zonas de afloramiento de la formación Mercedes. Se trata sobre todo de áreas de interfluvios por debajo de la cota de 90-100 metros (al norte y noreste de la población de Piedras Coloradas), al noroeste de Piedras Coloradas y al noreste de Estación Porvenir en posiciones de interfluvio ubicadas en cotas de 70-80 metros y, en menor grado, al noroeste de Estación Porvenir, en posiciones de interfluvio debajo de los 70 metros.

Las zonas de recarga indirecta se ubican en las zonas de afloramiento de la formación Asencio, tanto en posición de interfluvio como de cabeceras de valles.

Se considera que la recarga indirecta a través de la formación Fray Bentos es mínima o inexistente.

A lo largo de la ruta 90, que recorre la cima del interfluvio (cuchilla) de dirección este-oeste la formación se encuentra cubierta por la formación Asencio. Las altitudes de dicha cuchilla varían de este a oeste de la siguiente manera (ver mapa):

- 1) Cerca de la bifurcación de la ruta 25 (Algorta): altitud entre 110 y 120 metros; techo del Acuífero Inferior: aproximadamente 80 m. s.n.m.
- 2) En Piedras Coloradas: altitud entre 100 y 110 metros; techo del acuífero inferior aproximadamente 70 metros s.n.m.
- 3) En los alrededores de la Estación Porvenir: altitud entre 80-85 metros; techo del acuífero inferior, aproximadamente 50-60 metros s.n.m.

En dichas zonas la formación aflorante es sobre todo Asencio, con un espesor de unos 20-25 metros.

Por esa razón los pozos que utilizan el nivel acuífero inferior tienen profundidades de 30 metros o más (p.ej. los pozos de Ose en Algorta y Piedras Coloradas

Al oeste de la Estación Porvenir las profundidades más frecuentes son entre 40 y 60 metros (con mínimo de 30 metros y máximos superiores a 80 metros) (Montaño, 2000). La profundidad de los niveles estáticos varía de acuerdo a la altitud de la boca del pozo. En las zonas más elevadas topográficamente, los niveles varían entre 15 y 25 metros. En zonas más deprimidas, pueden acercarse a la superficie, e incluso generar alumbramientos artesianos.

Esto confirma los resultados obtenidos por Montaño (2000) quien señala que los niveles estáticos se encuentran normalmente por debajo de los 30 metros, con valores más frecuentes entre 15 y 30 metros.

Algunos pozos representativos de esta unidad hidrogeológica se presentan a continuación.

- 1) En Estación Porvenir con una altitud de 83 metros el pozo de OSE tiene una profundidad de 64 metros con un nivel estático de -12 metros (71 metros s.n.m.). Una prueba de bombeo de 2 a 3 días dio 12,000 litros por hora estable.
- 2) En Paso de la Cruz con una altitud de 90 metros, el pozo de OSE tiene una profundidad de 65 metros, con un nivel estático de 32 metros (33 metros s.n.m.) y un nivel dinámico de más de 40 metros. Pozo perforado en 1931 que mantiene caudal.
- 3) En Algorta, el pozo de OSE perforado en 1929 con una profundidad de 111 metros. La napa está a 70 metros de profundidad (40 metros s.n.m.), el nivel de trabajo 18.50 metros bajo la superficie. Produce unos 4,000 litros por hora. No se ha notado disminución de caudal. Alimenta 264 conexiones.
- 4) También en Algorta un segundo pozo de OSE con una profundidad de 107 metros y nivel de trabajo a 52 metros. Se usa para complementar.
- 5) En Orgoroso hay un pozo de OSE con una profundidad de 29 metros con una altitud de boca de pozo de 100 metros, en dicho lugar el Acuífero Inferior se encuentra a una profundidad de unos 20 metros, o sea una altitud de 80 metros s.n.m. El pozo penetra escasamente en el Acuífero Inferior, unos 9 metros. El nivel estático era 11 metros por debajo de la superficie, o sea unos 89 metros s.n.m. Este nivel ha descendido y el nivel dinámico está alrededor de 19-20 metros (80-81 metros s.n.m.). Como el nivel de succión es de 21,51 metros, los caudales de bombeo se ven limitados considerablemente. La prueba de bombeo original durante 24 horas había dado 19,000 litros por hora hace más de 30 años. El nivel de bombeo regular fue de 12,000 litros por hora y en la actualidad ese caudal ha disminuido a menos de 6,000 litros por hora.
- 6) Pozos de Puntas de Arroyo Negro: Un pozo en el barrio MEVIR que tiene aproximadamente 65 metros. No ha sufrido cambios mayores manteniendo su caudal. Un pozo de la antigua industria láctea AGRAN (que hace 2 años dejó de funcionar pues no se podía mantener el nivel de 1200 litros de leche por día). El pozo Agran tiene 30 metros excavados y 30 perforados con caudal abundante y sostenido. Actualmente no se usa. Es de hacer notar que Puntas de Arroyo Negro está en una zona elevada (95-97 metros) a más de 2 kilómetros de zonas forestadas.

Los rendimientos de los pozos inventariados por Montaño (2000) en este nivel acuífero (sector occidental) tienen sus valores más frecuentes entre 20,000 y 25,000 litros por

hora. Señala este autor que se identificaron algunas captaciones que no tienen un proyecto constructivo adecuado, mostrando una eficiencia menor a la indicada.

b) El Acuífero Superior

Es un acuífero de tipo libre, poco profundo, contenido en la formación Asencio relacionado hidráulicamente con el Acuífero Inferior. Su profundidad es de unos pocos metros y su caudal notoriamente inferior al del acuífero subyacente.

Gran parte de los pozos en el acuífero superior son excavados (“pozos de balde”) con profundidades inferiores a 20 metros (los pozos más profundos explotan el Acuífero Inferior), presentando niveles estáticos de más de 10 metros de profundidad. En tiempos recientes estos niveles han descendido como se comentará en la sección correspondiente. A continuación describimos algunos pozos representativos de esta unidad hidrogeológica.

1. Pozo Magnin, ubicado al norte de la ruta 90 a poca distancia de Piedras Coloradas (Km. 49 de la Ruta 90). Altitud 99 metros. Profundidad: 16 metros. El nivel era unos 14 metros bajo la superficie (85 metros s.n.m.). Se secó en el verano del 2000 (descendió por debajo de 83 metros s.n.m.).
2. Pozo brocal en campo de Luis Alberto Wittman- Pintos ubicado en cercanía de pueblo Las Flores, hoy inexistente. Ubicado aproximadamente en el meridiano de Piedras Coloradas (Km.49 de la ruta 90) La altitud es de poco menos de 100 metros s.n.m. Fue excavado en 1945 en una formación arenosa (formación Asencio), aunque probablemente capte la parte superior de la formación Mercedes. Calzado con ladrillo. Originalmente la profundidad del pozo era 16.50 metros, proporcionando unos 3,000 litros por día, a balde. Su nivel era unos 13.50 metros bajo la superficie (o sea 86.5 metros s.n.m.) Se secó por primera vez en 1985 aproximadamente. Luego fue limpiado y profundizado 1.5 metros. El nivel subió un metro, o sea 15.50 metros bajo la superficie (84.5 metros s.n.m.). Luego se profundizó 2 metros hasta 20 metros en 1999. El nivel volvió a descender hasta secarse. Ello implica que el nivel estático es de 20 metros bajo la superficie o menos (80 metros s.n.m. o menos). El perfil geológico del pozo es el siguiente:
 - 0.5 metros: arena suelta
 - 0.5- 2.5 metros: arenisca ferrificada (greda colorada)
 - 2.5- 10 metros: arena suelta, blanca
 - 10- 11 metros: nivel de cantos rodados
 - 11- 20 metros: arena
3. Campo de José Ruiz, Km. 36.5 de la ruta 90; pozo brocal de 23 metros de profundidad excavado en 1946, con molino y bomba. Está a una altitud de 83 metros s.n.m. En verano el nivel estático es de 21 metros de profundidad (62 metros s.n.m.), en invierno, 20 metros de profundidad (63 metros s.n.m.). No se ha notado disminución de nivel. Hay 3 Km. de distancia a las plantaciones más cercanas. El pozo está excavado en Asencio, pero probablemente capte la parte superior de la formación Mercedes.
4. Pozo en campo de Mascazini; Km. 36.5 de la ruta 90; el pozo tiene 9 metros de profundidad, la boca del pozo está a 75 metros. Hay 5 metros al nivel de la napa (70 metros s.n.m.). Probablemente bajó 1 metro en los últimos 20-30 años, era 71 metros s.n.m. y ahora 70 metros s.n.m. Nivel mínimo en secas es de -8.40

metros (66.60 metros s.n.m.) y en los períodos húmedos – 3 metros (72 metros s.n.m.). La recuperación es más lenta.

4) Consideraciones hidráulicas para todo el Sistema

Desde el punto de vista hidráulico, basado en el análisis de 50 pozos ubicados en el oeste de la cuenca (Montaño, 2000), la permeabilidad del sistema acuífero se calculó en 0.12 m/h. Con un espesor saturado promedial de 20 metros, y considerando un frente de acuífero de 1,000 metros, la transmisividad sería de unos 57.6 m²/día y el volumen del acuífero de unos 56 km³ (de acuerdo a datos de Montaño, 2000, adaptados).

Basándonos en información del mismo autor, asumiendo un valor promedio de T de 90 m²/día (calculada por ensayos de bombeo) se calculó que, para la isopieza 50, el caudal para un frente de 1000 m sería de: 90 m²/día x 0.025 x 1000 m = 2250 m³/día

Si extendemos el frente a 40 Km. (que es más o menos el ancho de la zona de estudio) obtenemos un caudal de 90,000 m³/día (32,850,000 m³ /año). Esta cifra es compatible con los cálculos a partir de las áreas de recarga cartografiadas (ver cuadro 1).

Cuadro 1 Balance hídrico de la zona de estudio

Con precipitaciones anuales de 1,200 Mm.

Zonas	Condiciones hídricas	Área en has	Infiltración por hectárea / extracción	Total recarga/ descarga
Zona de afloramiento de Mercedes en posición de interfluvios,	Recarga	38,000 has	(5% precipitaciones) 600 m ³ x ha x año	22,800,000 m ³ / año
Zona de afloramiento de Asencio en posición de interfluvio	Recarga	64,000	(3% precipitaciones) 360 m ³ x ha x año	23,040,000 m ³ /año
Fray Bentos:	Acuitardo	52,000		Recarga muy escasa o nula
Total recarga		102,000		45,840,000 m ³ /año
Extracción estimada (100 pozos productivos aprox.)	A partir de pozos, promedio: 10,000 litros por pozo por día.		10,000 l x 100 x 365	Estimada: 365,000
Afloramientos de f. Mercedes en valles, laderas bajas,	Descarga lateral hacia el Queguay y valles menores	34,600		Estimada: 15,000,000 m ³ /año
Total descarga lateral + extracción				15,365,000 m ³ /año
Balance hídrico	Flujo subterráneo hacia fuera del área de estudio, incluyendo descargas en valle río Uruguay y zonas contiguas			30,475,000 m³/ año

Las zonas de recarga del área en estudio se extienden por 102,000 hectáreas, de las cuales unas 38,000 hectáreas corresponden a afloramientos de la formación Mercedes y 64,000 hectáreas a las zonas aflorantes de la formación Asencio.

Se estima que la recarga promedio (infiltración hasta el acuífero) a través de las zonas de afloramiento de la formación Mercedes es del orden de 5% de las precipitaciones y a través de Asencio, 3 %².

5) El problema de las plantaciones forestales

Debido a su naturaleza geológica arenosa, los suelos existentes en las áreas de afloramientos de las formaciones del Grupo Paysandú son también arenosos. En los estudios edafológicos que dieron lugar a la determinación de los índices CONEAT los suelos del Grupo fueron definidos como de baja productividad y por lo tanto sindicados como de prioridad forestal en el marco de la ley de promoción de las plantaciones (ley 15939/89).

Ya desde antes de la aprobación de la ley se habían establecido algunas plantaciones en dichos suelos, y luego de su promulgación dichas plantaciones se extendieron considerablemente.

En los cuadros 2 y 3 se presentan las superficies y porcentajes plantados clasificados por especie en los departamentos de Paysandú y Río Negro. Las cifras correspondientes a la zona estudiada en este informe son considerablemente menores a las expuestas en dichos cuadros, aproximadamente un 25 % del total correspondiente a Paysandú y un 10 % del total correspondiente a Río Negro. Se estima que la composición específica de la cobertura forestal en el área evaluada es similar a la presentada en los cuadros 2 y 3³.

Cuadro 2 Superficies forestadas en Paysandú y Río Negro (en has)⁴

Especies/ Departamentos	Paysandú	Río Negro	Total
Eucalyptus grandis	29,088	36,128	65,216
Eucalyptus globulus	28,144	24,077	52,221
Otros Eucalyptus	8,099	22,392	30,491
Total Eucalyptus	65,309	82,597	147,906
Pinus elliottii	7,288	3,121	10,409
Pinus taeda	19,235	1,455	20,690
Otros Pinus	559	737	1,296
Total Pinus	27,082	5,313	32,395
Gran total	92,391	87,910	180,301

² No incluye flujo exclusivamente hipodérmico, ni evaporación a partir de napas edáficas o colgadas.

³ Datos del sitio web de la Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca

⁴ Los datos sólo corresponden aproximadamente a la forestación efectiva. Se incluyen solamente las plantaciones bajo proyecto.

Cuadro 3 Cobertura porcentual de plantaciones forestales en zonas forestadas de Paysandú y Río Negro

	Paysandú	Río Negro	Total %
Eucalyptus grandis	31.5 %	40.9 %	36.1 %
Eucalyptus globulus	30.6 %	27.4 %	29.0 %
Otros Eucalyptus	8.7 %	25.5 %	16.9 %
Total Eucalyptus	70.8 %	93.8 %	82.0 %
Pinus elliottii	7.9 %	3.5 %	5.7 %
Pinus Taeda	20.8 %	1.6 %	11.5 %
Otros Pinus	0.6 %	0.9 %	0.7 %
Total Pinus	29.3 %	6.0 %	17.9 %
Gran total ⁵	100.0 %	100.0 %	100.0 %

En la zona de estudio estimamos que aproximadamente un 30% de las zonas de recarga directa, y otro tanto en las zonas de recarga indirecta se encuentran cubiertos por plantaciones. La superficie forestada total sería del orden de 12,500 has en las zonas aflorantes de Mercedes y 21,300 has en las áreas de Asencio, con un total de 33,800 has. Estimamos en 20% el porcentaje cubierto por árboles vivos, excluyendo predios sin forestación intercalados, vías de drenaje, caminos, corredores anti-incendio, zonas recientemente taladas y áreas recién plantadas (coeficiente: 0.2). El total consumido por los árboles en estas zonas de recarga excedería 24 millones de m³ por año. Este volumen es claramente superior al consumo de la vegetación herbácea y arbustiva pre-existente (que estimamos en 1,000 m³ por hectárea, o sea 6,760,000 m³). El aumento de consumo hídrico sería de unos 18 millones de m³ para toda la zona de recarga. Esto representaría casi el 40% de la recarga efectiva.

En los hechos los niveles piezométricos de los pozos de la zona muestran un descenso considerable (ver sección 3) que es coherente con dicha extracción evaporativa

Cuadro 4- Consumo de agua en las zonas de recarga forestadas

	Área	Áreas forestadas	Coficiente forestación viva ⁶	Áreas efectivamente cubiertas	Consumo hídrico por hectárea (10 l./árbol ⁷)		
Zonas de recarga. Mercedes	38,000	12,500	0.2	2,500 has	$0.01 \text{ m}^3 \times 1000 \times 365 = 3,650 \text{ m}^3/\text{ha}$	9,125,000	
Zonas de recarga, Asencio	64,000	21,300	0.2	4,260 has	$0.01 \times 1000 \times 365 = 3,650$	15,549,000	
Total	102,000	33,800	-	6,760 has	-	24,674,000	

⁵ Redondeado al décimo más próximo

⁶ No incluye predios intercalados sin forestación, corredores, caminos, zonas recientemente taladas, etc.

⁷ El consumo por árbol se estima en 15 litros por árbol por día, que desciende a 10 si se incluyen los árboles juveniles (primeros dos años desde plantación).

Cuadro 5- Aumento del consumo hídrico debido a la forestación

	<i>Zonas forestadas, Por ha</i>	<i>Consumo previo a la forestación (cobertura herbácea y arbustiva)</i>	<i>Diferencia por hectárea</i>	<i>Diferencia total en zonas forestadas</i>
<i>Consumo hídrico</i>	3,650 m ³ /ha	1,000	-2,650 m ³ /ha	2,650 x 6,760 = 17,914,000 m ³

6) Recomendaciones

Como el proceso de plantaciones forestales ha estado aumentando durante los últimos años el déficit de recarga se podría ir agravando si no se toman medidas para evitar dicha disminución.

Para minimizar e incluso revertir el proceso de descenso de las napas es necesario modificar el balance hídrico de las zonas ocupadas por plantaciones forestales. Ello se puede hacer a través de modificaciones de las densidades arboladas y de cambios a nivel del diseño de las plantaciones.

Las estrategias más apropiadas deben tender a:

- a) disminución del escurrimiento torrencial
- b) aumento de la recarga al sistema acuífero
- c) disminución de los gastos de evapotranspiración (del consumo a nivel del ecosistema forestal-herbáceo)

Las medidas a implementarse que lograrían dichos propósitos serían las siguientes:

a) Disminución del escurrimiento torrencial

La mayor parte del agua precipitada durante los episodios de pluviosidad intensa se escurre a los cursos de agua (tal vez más del 50%). Se propone realizar un diseño del drenaje de los predios forestados que enlentezca el flujo hídrico superficial conduciéndolo gradual y sistemáticamente a estructuras diseñadas especialmente para favorecer la infiltración dando el tiempo necesario para que ésta se produzca.

b) Aumento de la recarga al sistema acuífero

En combinación con las medidas propuestas en el numeral anterior, y con el fin de aumentar la recarga al acuífero se propone construir un número suficiente de estructuras (principalmente tajamares escalonados) de infiltración. Estos tajamares se diferencian de los tajamares de almacenamiento en que su propósito no es almacenar agua a nivel de superficie para su uso futuro, sino propiciar su infiltración inmediata. Para ello se recomienda diseñar reservorios con fondos permeables (arenosos, si fuera posible recubiertos con capas de gravas), así como mantenerlos limpios en forma permanente.

c) Disminución de los gastos de evapotranspiración

En términos generales, la cobertura herbácea requiere (evapora) menos agua que la cobertura arbórea, por esa razón se propone reducir las áreas ocupadas por árboles e incrementar las zonas de pastizales. Ello favorece la prevención y combate de los fuegos forestales. Al mismo tiempo se propone mantener los pastos en un nivel de bajo porte

manteniendo una carga de herbívoros apropiada (p.ej. vacunos). Esta medida tiene ventajas económicas y permite una mayor diversificación productiva.

7) Perspectivas de la aplicación de las estrategias de incremento de la recarga

En base a lo anterior se considera que el escurrimiento instantáneo a los valles puede reducirse un 30-50%, y que consecuentemente la recarga puede aumentar en un 200-300%. Este aumento compensaría con creces el exceso de consumo de las plantaciones forestales y permitiría detener el descenso de los niveles de la napa e incluso revertirla. Se considera que algunos pozos hoy secos podrían volverse productivos nuevamente. A ello se agregaría un progreso en términos de diversificación productiva al aumentar la considerablemente la producción ganadera en los predios forestales y reducir los riesgos de incendio y los daños causados por las sequías periódicas.

Bibliografía

- Bossi, Jorge, 1966; Geología del Uruguay, Departamento de Publicaciones de la Universidad, Colección Ciencias, No 2; Montevideo, Uruguay.
- Bossi, Jorge y Navarro, Rosa, 1991; Geología del Uruguay, Universidad de la República, Departamento de Publicaciones, Montevideo, Uruguay
- Caorsi, J. y Goñi, J., 1958; Geología uruguaya, Instituto Geológico del Uruguay, Boletín 37.
- Dirección Nacional Forestal, MGAP, 2004; Estadísticas
- Ford, Ibrahim, 1988; Paleoclima y paleogeografía del Cretácico Superior-Terciario Inferior en el Uruguay: un modelo interpretativo; Primera Reunión Geológica Uruguaya, Salto: 50-53, Uruguay
- Lambert, R, 1940; Memoria explicativa de una carta geológica de reconocimiento del Departamento de Paysandú y los alrededores de Salto, Instituto Geológico del Uruguay, Boletín No 27, Montevideo, Uruguay.
- Lambert, R, 1940; Memoria explicativa de un mapa geológico de reconocimiento del Departamento de Río Negro, Instituto Geológico del Uruguay, Boletín No 28, Montevideo, Uruguay.
- Montaña, Jorge, 2000; Geología, Capítulo 2, Hidrogeoquímica, Capítulo 4 e Hidrogeología, Capítulo 5 en “Evaluación de la Contaminación de aguas superficiales y subterráneas por agroquímicos en el departamento de Paysandú”, Proyecto N° 4021, Facultad de Ciencias Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego” –PRENADER, Montevideo, Uruguay.
- Serra, N., 1945; Memoria explicativa del mapa geológico del Departamento de Soriano; Instituto Geológico del Uruguay, Boletín No 33, Montevideo, Uruguay.
- Walther, Karl, 1930; Sedimentos gelíticos y clastogelíticos del Cretácico Superior y Terciario Uruguayos; Instituto Geológico del Uruguay, Boletín No 13, Montevideo, Uruguay.

