

**XXIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
CARTAGENA DE INDIAS COLOMBIA, SEPTIEMBRE 2008**

**SUSTITUCIÓN DE PASTURAS POR PLANTACIONES DE EUCALYPTUS Y
SUS EFECTOS SOBRE LA CALIDAD DE LAS AGUAS**

Carlos Amorín Cáceres, Luis Silveira

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Julio Herrera y Reissig 565, C.P. 11200 Montevideo, Uruguay

Carlos.amorin@eiauruguay.com.uy, lesy@fing.edu.uy

RESUMEN:

El Uruguay experimentó un significativo incremento de la superficie territorial afectada a la forestación industrial. En este marco, se estableció un programa de investigación y monitoreo en dos microcuencas experimentales en el Departamento de Paysandú, con el propósito de establecer indicadores de manejo forestal sustentable. Este trabajo evalúa los avances en el estudio de los efectos de la actividad forestal sobre la calidad del recurso agua, medida como impacto relativo a las pasturas naturales para uso ganadero. Describe la metodología de muestreo, presenta los datos colectados periódicamente y analiza los resultados obtenidos. Con las limitaciones que impone el número de muestras disponibles, se constata que las muestras de ambas microcuencas se ubican en rangos normales para cursos de aguas, aunque con una ligera tendencia a que los parámetros hidroquímicos muestren menores valores en la microcuenca forestal.

ABSTRACT:

Uruguay experienced a significant increment of the territorial surface affected to the industrial afforestation. According to this, an investigation and monitoring program were established in two experimental small basins in the Department of Paysandú, with the purpose of establishing indicators of sustainable forest management. This paper evaluates the advances carried studying the effects of the forest activity on water resources quality, measured as relative impact to the natural pastures for cattle use. It describes the sampling methodology and presents and analyzes the periodically collected data. With the limitations imposed by the number of available samples, the study verifies that the water quality of both small basins are found in normal ranges for water courses, although with a slight tendency to show lower values of the water chemical parameters in the afforested small basin.

PALABRAS CLAVES: Eucalyptus, aguas, sustentabilidad

INTRODUCCIÓN

A partir de la década de los años 90, el Uruguay experimentó un significativo incremento de la superficie territorial afectada a la forestación industrial, en el marco de la política gubernamental amparada por la Ley N° 15.939. En este período, la superficie de bosques plantados con especies de rápido desarrollo, principalmente *Eucalyptus* y *Pinus*, pasó de 45.000 hectáreas en 1990 a más de 1.000.000 de hectáreas en diciembre de 2007. Asimismo, se ha registrado un desarrollo de las industrias forestales y en general de la economía forestal.

El incremento de la plantación de *Eucalyptus* y *Pinus*, en un país tradicionalmente agrícola – ganadero, donde las plantaciones forestales en gran escala representan para la comunidad y la opinión pública un elemento nuevo en la vida nacional, causa preocupación en la sociedad por sus eventuales efectos sobre los recursos naturales aguas y suelos (Bosch, J.M. and Hewlett, J.D., 1982; Andréassian and Vazken, 2004; Calder, 2005). En este marco, la Universidad de la República, a través de las Facultades de Agronomía e Ingeniería, estableció un programa de investigación y monitoreo en microcuencas hidrográficas, con el propósito de establecer indicadores de manejo forestal sustentable (MFS).

OBJETIVOS

Este trabajo, se circunscribe a la componente del programa de investigación en curso que tiene por objetivo evaluar, a escala de microcuencas, los efectos de la actividad forestal sobre la calidad del recurso agua, medido como impacto relativo a la cobertura tradicional del suelo, es decir, las pasturas naturales para uso ganadero.

En particular, este artículo: 1) describe la metodología de muestreo – aguas de lluvia y aguas en cauce - e instrumental instalado en dos microcuencas experimentales en el Departamento de Paysandú, cubiertas por plantaciones de *Eucalyptus* y pasturas naturales, respectivamente; 2) enumera los parámetros hidroquímicos analizados y presenta los datos colectados periódicamente para medir los efectos de las plantaciones de *Eucalyptus* sobre la calidad de las aguas; y 3) analiza los resultados obtenidos y presenta las primeras conclusiones del muestreo de aguas de lluvia y aguas en cauce, y su comparación con concentraciones típicas en cursos de aguas.

AREA DE ESTUDIO

Las microcuencas experimentales se ubican en el departamento de Paysandú, siendo su acceso por el Km 48,500 de ruta 90, que une las ciudades de Paysandú y Guichón, a la altura de Piedras Coloradas. La microcuenca forestal está situada en el predio Don Tomás y la microcuenca con pasturas naturales está situada en el predio La Cantero, según se observa en la Figura 1. Sus cauces principales son la Cañada Baigorria y la cañada de la Quinta, respectivamente. Ambos cauces son afluentes del Arroyo Capilla Vieja en su margen izquierda.



Figura 1.- Ubicación de las microcuencas

Las microcuencas se caracterizaron por los siguientes parámetros físicos: área, perímetro, longitud y pendiente del cauce principal, pendiente media de la microcuenca y tiempo de concentración. Sus valores se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Parámetros de las microcuencas

Parámetros físicos	Microcuenca forestal	Microcuenca pasturas naturales
Área (km ²)	2,12	1,20
Perímetro (km)	5,81	4,58
Longitud del cauce principal (m)	1783	2168
Pendiente del cauce principal	0,90%	1,58%
Pendiente media de la microcuenca	4,68%	5,92%
Tiempo de concentración (min)	39,0	36,5

Las características geomorfológicas y de distribución de los suelos en ambas microcuencas son muy semejantes, lo que aporta validez a la metodología de estudio seleccionada, en la cual éstas serán utilizadas como elementos de comparación frente a diferentes usos de los suelos.

Los materiales generadores son sedimentos cretácicos con relieve escarpado y valles disectados, formando lomadas fuertes y suaves. Se visualizan varios niveles de escarpas, un nivel superior con alto contenido de material calcáreo que actúa como generador de los suelos de la superficie aplanada del interfluvio en la cabecera de ambas microcuencas. Los suelos dominantes son vérticos, de profundidad variable, desarrollados sobre la escarpa calcárea. La vegetación es de parque de algarrobos (*Prosopis sp*) con gramíneas de ciclo invernal. Por debajo de esta primera escarpa se encuentran suelos arenosos pardos de profundidad variable con gran diferenciación textural entre los horizontes superficiales y los subsuperficiales, que se clasifican como Brunosoles Subeutricos (dísticos) lúvicos. En las lomadas más suaves, asociadas a las vías de drenaje, se encuentran también suelos arenosos pero de color oscuro, más profundos y de menor diferenciación textural.

La plantación de *Eucalyptus* es del tipo *globulus ssp. Maidennii*, implantada en el otoño-primavera de 1998. La valoración de la plantación existente en el predio Don Tomás, realizada en 2006, tuvo los resultados que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2.- Caracterización de la plantación de *Eucalyptus*, año 2006

Diámetro medio a la altura del pecho (DAP)	14 cm
Altura media	14,9 m
Densidad	895 árboles/ha

MATERIALES Y METODOS

La difusión, disolución y precipitación de contaminantes en la atmósfera depende de las condiciones meteorológicas y la composición física y química de los contaminantes. Las corrientes de aire transportan las sustancias contaminantes que escapan a la atmósfera, las difunde a través de procesos de difusión, se transforman a través de procesos físicos y químicos y se depositan sobre el terreno, la vegetación y el agua, ya sea directamente o a través de la precipitación. La deposición en pasturas naturales consiste principalmente en deposición húmeda, es decir, sustancias disueltas en las aguas de lluvias, mientras que en una plantación forestal las copas de los árboles filtran o retienen las partículas sólidas, gases y aerosoles del aire (deposición seca), y la lluvia produce un lavado puntual de los contaminantes. (Kindbom et al., 1997). De las aguas que llegan al suelo, parte escurren superficialmente. En estas, las variaciones de largo plazo de la calidad son gobernadas predominantemente por cambios que ocurren en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, vinculados a sus diferentes usos y/o cobertura.

Puede, por lo tanto, afirmarse que la calidad del agua es, sin duda, un indicador adecuado de la calidad ambiental de las prácticas de manejo forestal adoptadas. En base a estas consideraciones, el monitoreo abarca aguas de lluvia y el efecto integrado en cauce, medido a la salida de cada microcuenca.

- ***Muestreo de aguas de lluvias***

El procedimiento de muestreo de aguas de lluvias distingue entre monitoreo en pasturas naturales y monitoreo en plantaciones forestales.

- *Monitoreo en pasturas naturales*

El dispositivo para muestrear aguas de lluvias incidentes en pasturas naturales se instaló en un claro del monte de *Eucalyptus*, y consiste en un recipiente de plástico, cubierto con papel aluminio para minimizar el efecto de la radiación solar y mantener las muestras a menor temperatura, provisto con un embudo de área conocida, colocado a 1.5 m sobre el nivel del terreno, según se observa en la Figura 2a.

- *Monitoreo en plantaciones forestales*

En la microcuenca forestal se instalaron dispositivos para monitorear el proceso hidrológico de redistribución de lluvias (Huber and Iroumé, 2001) en precipitación directa y precipitación o escurrimiento fustal, e indirectamente la intercepción, como diferencia entre la precipitación total incidente y la suma de precipitación directa y fustal. La precipitación directa es aquella que efectivamente alcanza el suelo a través de claros o por goteo, y la precipitación o escurrimiento fustal es aquella fracción de la precipitación que escurre por las hojas y ramas hasta alcanzar el tronco principal, y luego escurre por su superficie hasta alcanzar el suelo. El dispositivo para captación de la precipitación directa consiste, según la metodología internacionalmente aceptada, en una canaleta metálica, de aproximadamente 15 cm de ancho y 30 m de longitud (Iroumé y Huber, 2000), dispuesta en diagonal entre dos filas de árboles. La captación del escurrimiento fustal se realiza, según la metodología propuesta por Ford and Deans (1978), mediante collarines de goma o poliuretano expandido (Likens and Eaton, 1970) ajustados y sellados en espiral alrededor de los troncos, conectados a caños de PVC. Las aguas colectadas en ambos dispositivos – canaleta y collarines – están asociadas a un número de árboles representativo para un ecosistema o estructura del dosel heterogénea. Las componentes de redistribución de lluvias se conducen hasta dos cisternas

(Figura 2b), de las que se extraen muestras con una frecuencia mensual, coincidiendo con las visitas regulares a la microcuencas.

- **Muestreo de aguas en cauce**

Este muestreo también se realiza con frecuencia mensual, coincidiendo con las visitas periódicas a las microcuencas. Las muestras de aguas en cauce se extraen en los vertederos, ubicados en el punto de cierre de las microcuencas (Figura 3), o bien unos pocos metros aguas arriba, dependiendo de la accesibilidad.



Figura 2.- a. Detalle del muestreo de agua de lluvia en un claro del monte de *Eucalyptus* dominado por pasturas naturales b. Vista de los dispositivos para medición de redistribución de lluvias y muestreo de aguas en la microcuenca forestal.



Figura 3. Vista, desde aguas abajo, del vertedero triangular de lámina delgada, instalado en el cierre de la microcuenca forestal

Parámetros hidroquímicos

Los parámetros analizados y calculados se pueden agrupar en tres tipos (Snoeyink and Jenkins, 1980):

- Iones mayoritarios:
 - Medidos: cloruros, sulfatos, sodio, potasio, calcio, magnesio, alcalinidad, conductividad y pH
 - Calculados: carbonatos, bicarbonatos y dureza
- Nutrientes:
 - Medidos: fosfatos y nitratos
- Sólidos
 - Medidos: Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Volátiles Totales (SVT), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).
 - Calculados: Sólidos Fijos Totales (SFT), Sólidos Suspendidos Fijos (SSF), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Disueltos Volátiles (SDV), Sólidos Disueltos Fijos (SDF).

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Los datos monitoreados abarcan 16 meses, en el período comprendido entre Junio de 2006 y Setiembre de 2007. No obstante, el número de muestras es inferior a una por mes, debido a meses con déficit hídrico, en que no se registraron precipitaciones o caudales en los puntos de muestreo. El número de muestras obtenidas, de cada uno de los tipos, se indica en la Tabla 3.

Tabla 3.- Número de muestras consideradas, de cada uno de los tipos de aguas de lluvia y aguas en cauce.

Tipo de muestra		Cantidad de muestras
Aguas de lluvia	Incidente (pasturas)	6
	Directa (forestal)	5
	Fustal (forestal)	5
Aguas en cauce	Pasturas	11
	Forestal	7

• Aguas de lluvia

Las muestras de precipitación incidente, colectadas en la microcuenca con pasturas naturales, presentan un promedio en pH de 5,92, lo cual es normal en agua de lluvia cuyo pH de equilibrio es de 5,63 para 25° C. La conductividad es muy baja con valores que van de 30 a 93 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de 41,32. La conductividad está básicamente explicada por la presencia de iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} y particularmente de éstos últimos, los que presentan valores bastante altos. Los valores de ST son también bajos, con una variación entre 30 y 95 mg/l y un promedio de 68,8 mg/l. No obstante no se percibe una variación importante en los ST, si aparece una disminución sistemática de los SST que puede esta relacionada con una mejora en la técnica en el manejo de la muestra.

En la microcuenca forestal se recolectaron muestras de precipitación directa y fustal. De precipitación directa, se tienen 5 valores los que presentan un pH promedio de 5,9, una conductividad promedio de 33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un promedio de ST de 56,2 mg/l. De precipitación fustal se cuenta también con 5 datos, presentando valores de pH promedio de 5,73, de 42,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en conductividad y de 119 mg/l en ST.

Dado que no es posible comparar los datos directamente ya que no todos coinciden en las mismas fechas, en la Tabla 4 se realizó una comparación con los datos seleccionados en las fechas donde se tienen muestras de las tres precipitaciones (incidente, directa y fustal). Estas corresponden a las muestras de Set/06, Dic/06 y May/07.

Tabla 4.- Comparación de datos promedio de tres fechas en que se tienen muestras de los tres tipos de precipitaciones

Precipitación	pH	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	ST mg/l	SDT mg/l
Incidente	5,47	31,97	83,3	70,3
Directa	6,06	30,43	45,3	37,0
Fustal	5,53	39,17	135	128,3

Si bien los datos utilizados son muy pocos, llama la atención la disminución de pH en la precipitación fustal, presentando valores más bajos que los normales de agua de lluvia. Esto se ve reflejado en un aumento significativo de los SDT aunque no se refleja el mismo aumento en la conductividad. El Na^+ y el K^+ presentan en la precipitación fustal valores algo mayores que los de la precipitación incidente y directa, pero donde se produce un aumento significativo es en la presencia de ortofosfatos y nitratos.

- **Aguas en cauce**

Si se comparan los resultados obtenidos en las aguas de las dos microcuencas, en primera instancia no se perciben diferencias importantes entre las mismas, encontrándose sus variaciones dentro de los rangos estadísticamente normales para agua naturales (McCutcheon et al., 1993). Sin embargo una comparación de los valores realizada con la técnica de los “box-plot” muestra una tendencia de funcionamiento diferente entre las dos microcuencas, aunque no de gran significancia. Esto es, que en la mayoría de los parámetros analizados, tanto los valores de la mediana como de la media, correspondientes a la microcuenca forestal, son menores que los observados en la microcuenca con pasturas naturales. La única excepción es el K^+ que presenta un andamio diferente.

- Análisis de los mayoritarios

Dentro de este conjunto se integran tanto los valores de los ocho iones mayoritarios (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-}) así como sus parámetros asociados: pH, alcalinidad y dureza. Los datos de carbonatos, bicarbonato y dureza no fueron medidos en laboratorio sino que calculados en base a los otros parámetros.

En la Figura 4 puede observarse que el pH muestra que las aguas de ambas microcuencas son levemente alcalinas, con valores por encima de 7, sin llegar en ningún caso a 8. El valor más bajo se registró en la microcuenca forestal, coincidiendo con el valor más bajo obtenido en la microcuenca con pasturas naturales. Que los valores de pH se encuentren tan próximos a la neutralidad y con tendencias alcalinas, no es extraño dado los altos valores de alcalinidad medidos, lo que estaría indicando que los sistemas se encuentran adecuadamente “tamponados” por el sistema de los carbonatos. Los valores de alcalinidad si bien son valores normales para este tipo de agua, se encuentran dentro del rango superior de las aguas en el Uruguay.

Mientras que la microcuenca con pasturas naturales presenta un rango de variación de alcalinidad muy estrecho, que van entre 230 y 298 mg/l CaCO_3 , en la microcuenca forestal se midieron dos valores por debajo de los 200 mg/l, que corresponden al mismo mes.

Los valores de dureza calculados son muy altos para este tipo de agua, pudiéndose clasificar las mismas como aguas muy duras. La dureza se explica por los altos valores encontrados en Ca^{2+} y Mg^{2+} . Seguramente estos iones controlan los valores de alcalinidad, ya que las aguas de ambas microcuencas presentan una tendencia a la precipitación del carbonato de calcio. La microcuenca forestal presenta valores más bajos que la con pasturas, teniendo un mínimo de valores en el mes de noviembre, coincidente con los valores mínimos de alcalinidad, y que también muestran una disminución en los valores de Ca^{2+} , y no así en los de Mg^{2+} .

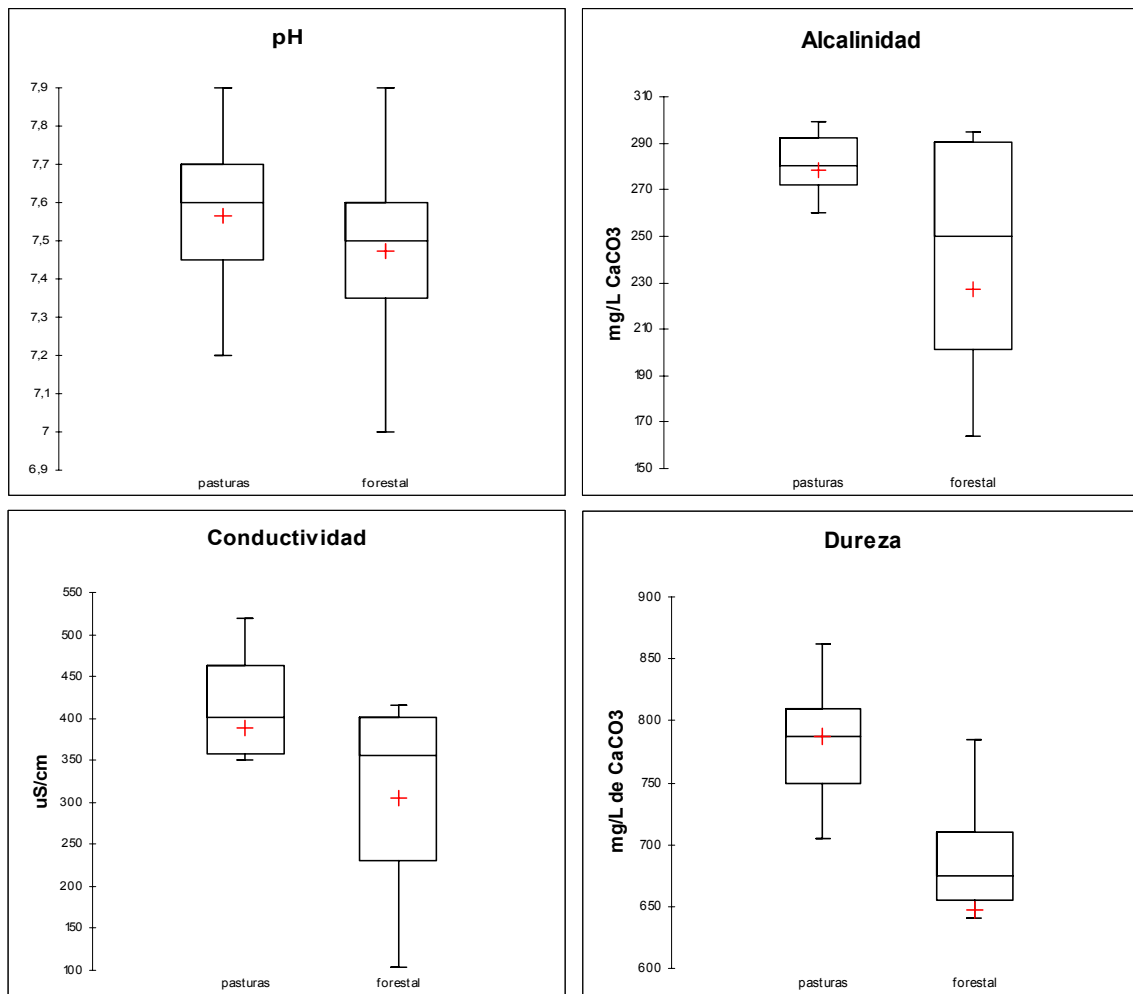


Figura 4.- Comparación de valores de pH, alcalinidad, conductividad y dureza

También la conductividad presenta diferencias entre las dos microcuenca, presentando menores valores en la microcuenca forestal. Si bien todos los iones mayoritarios tienen influencia en este parámetro, los que presentan mayor presencia son el Ca^{2+} y los bicarbonatos, que estarían explicando los valores medidos en este parámetro. Por tanto, la conductividad en la microcuenca forestal también presenta un mínimo en el mes de noviembre.

Se observa, analizado el comportamiento de los cuatro cationes mayoritarios (calcio, magnesio, sodio y potasio), en los tres primeros la misma tendencia que en los anteriores parámetros, es decir, mostrando menores valores en la microcuenca forestal. La excepción a esto, es el potasio, cuyo comportamiento es el inverso, es decir, mostrando mayores valores en la microcuenca forestal (ver Figura 5). En ambas microcuenca, la presencia de los cationes bivalentes es mucho más alta que los monovalentes. La relación entre ambos muestra que la diferencia es mayor en la microcuenca forestal, es decir, es en ella que los cationes bivalentes presentan una mayor presencia que los monovalentes, a pesar del aumento del potasio. En cuanto a la microcuenca forestal, el mínimo de noviembre advertido en los parámetros anteriores solo aparece en el Ca^{2+} y en el Na^+ . El Na^+ , sin embargo, solo muestra un valor mínimo en una de las muestras de noviembre, presentando un valor más próximo a la media en la otra muestra, a diferencia del Ca^{2+} , donde los valores menores de la microcuenca son los correspondientes a ambas muestras.

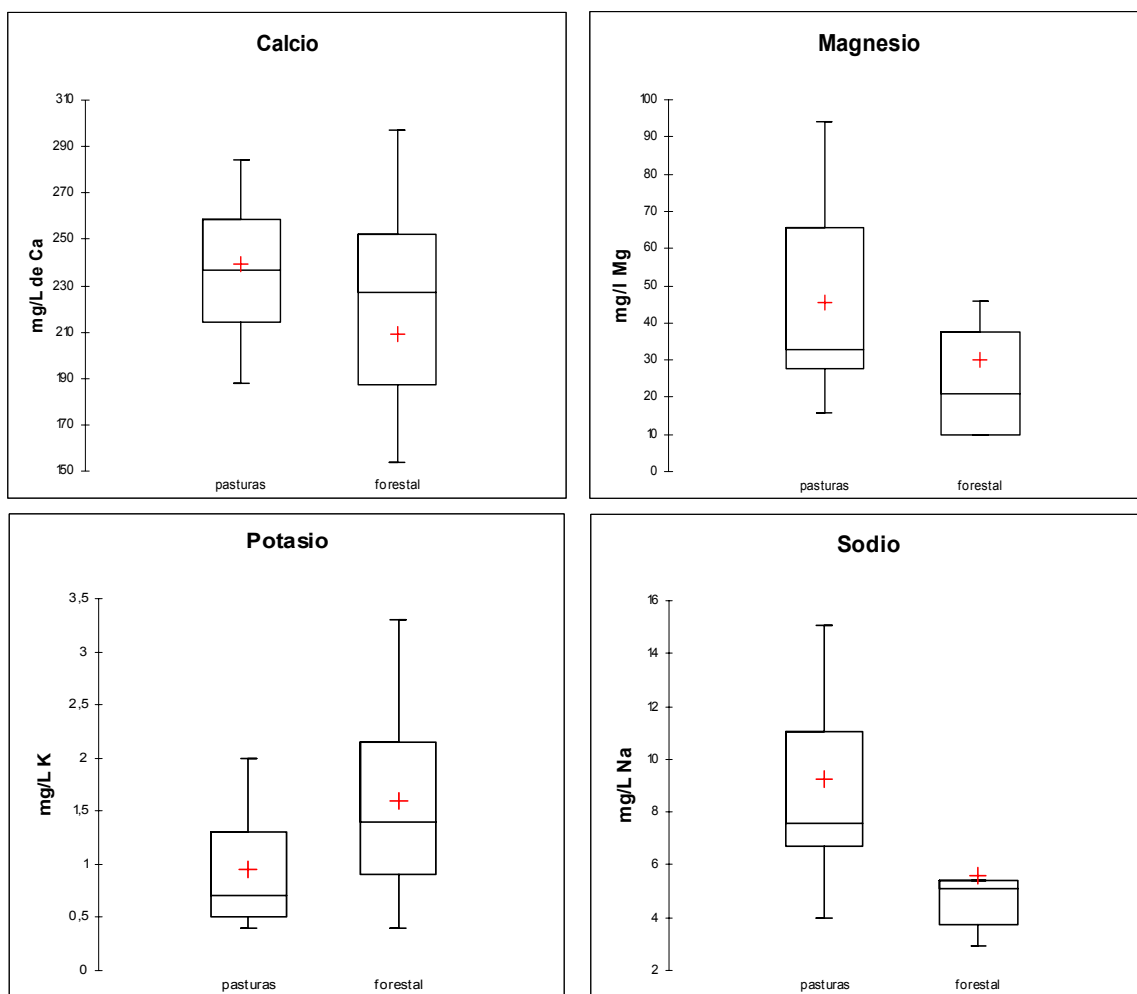


Figura 5.- Comparación de valores de calcio, magnesio, potasio y sodio

En los aniones, los únicos datos a analizar corresponden a los bicarbonatos y carbonatos (Figura 6), que fueron calculados a partir de la alcalinidad y el pH. Los valores de cloruros y sulfatos se encuentran muy próximos al límite de cuantificación con la técnica utilizada y, por tanto, no es posible un análisis estadístico de estos valores. Aún así, puede observarse que tanto en los analizados, como en los no analizados, la tendencia es la misma, presentando menores valores la microcuenca forestal. De todas formas, se midió un valor alto de Cl^- en una de las muestras de la microcuenca forestal de noviembre, siendo este un valor máximo para dicha microcuenca.

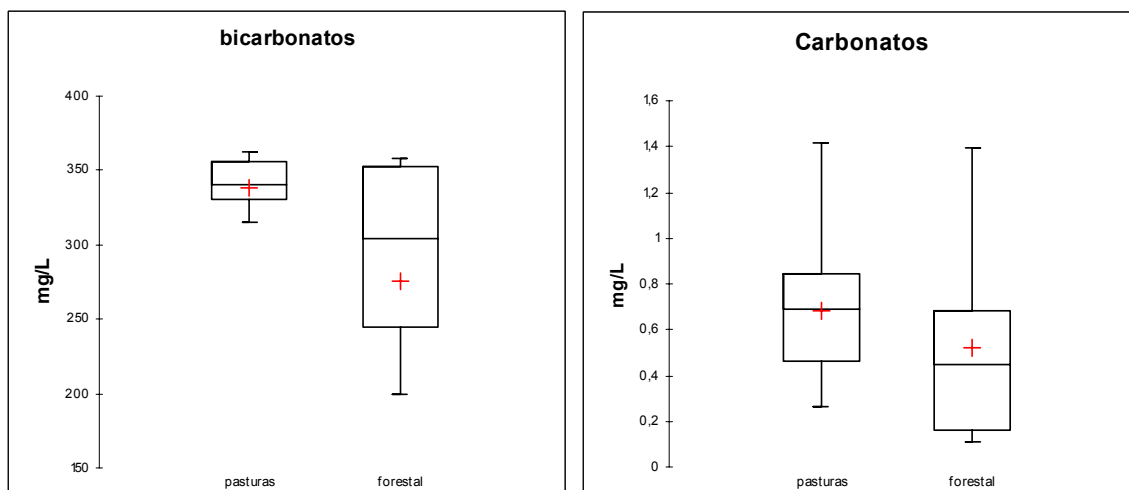
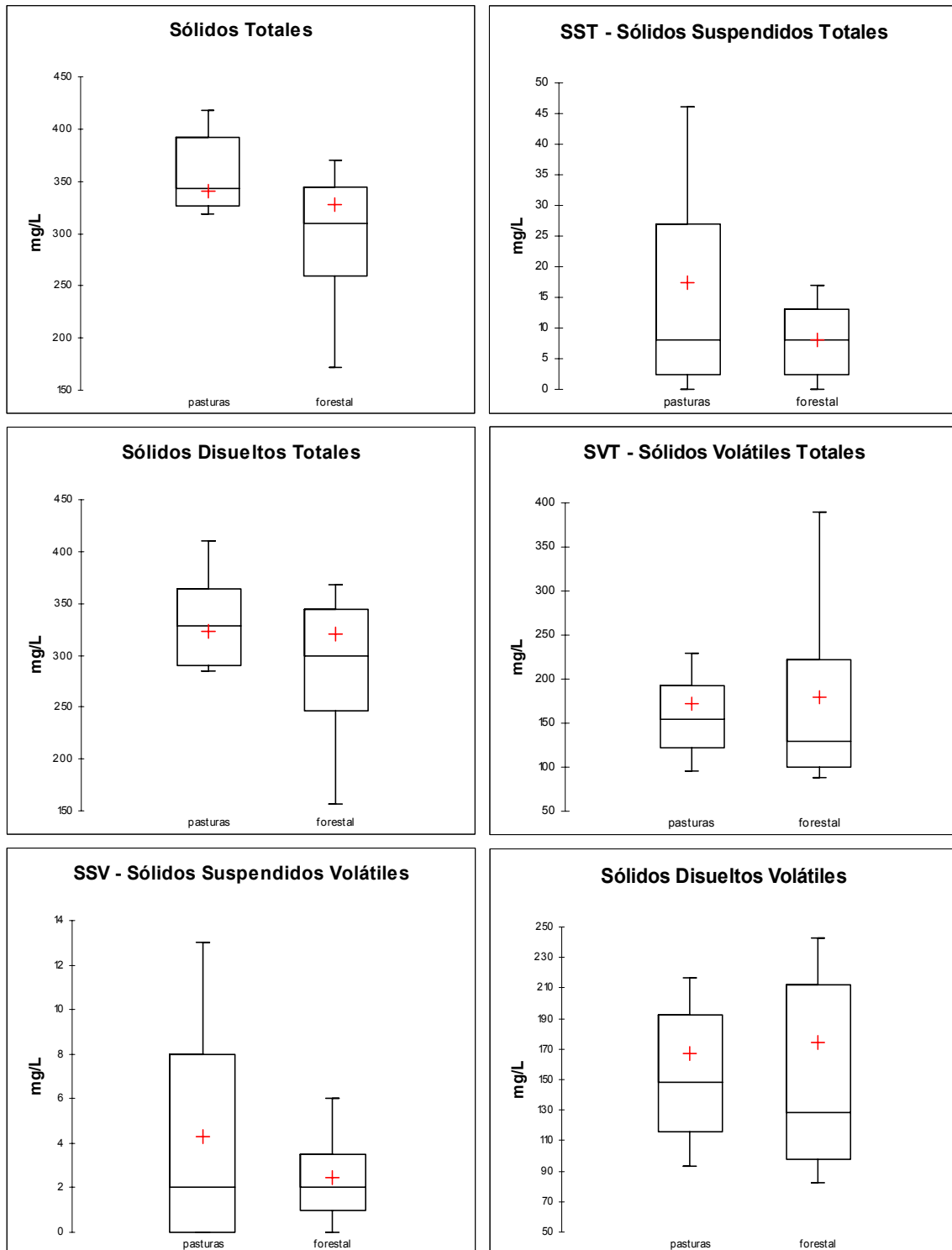


Figura 6.- Comparación de valores de bicarbonatos y carbonatos

Los valores de nutrientes medidos (ortofosfatos y nitratos), presentaron valores muy próximos al límite de cuantificación, lo que dificulta su análisis gráfico. No obstante, estos también presentan la misma tendencia, encontrándose menores valores en la microcuenca forestal. La microcuenca con pasturas presenta un valor máximo de 5,5 mg/l, bastante más alto que el resto de los valores medidos que están por debajo del 1 mg/l. Es interesante observar que, el valor más alto determinado en la microcuenca forestal y el único de los valores medidos que excede el límite de cuantificación de 0,5 mg/l se obtuvo en la muestra de noviembre, la cual presenta un mínimo en conductividad, alcalinidad, Ca^{2+} y Na^+ , alcanzando un valor de 0,8 mg/l.



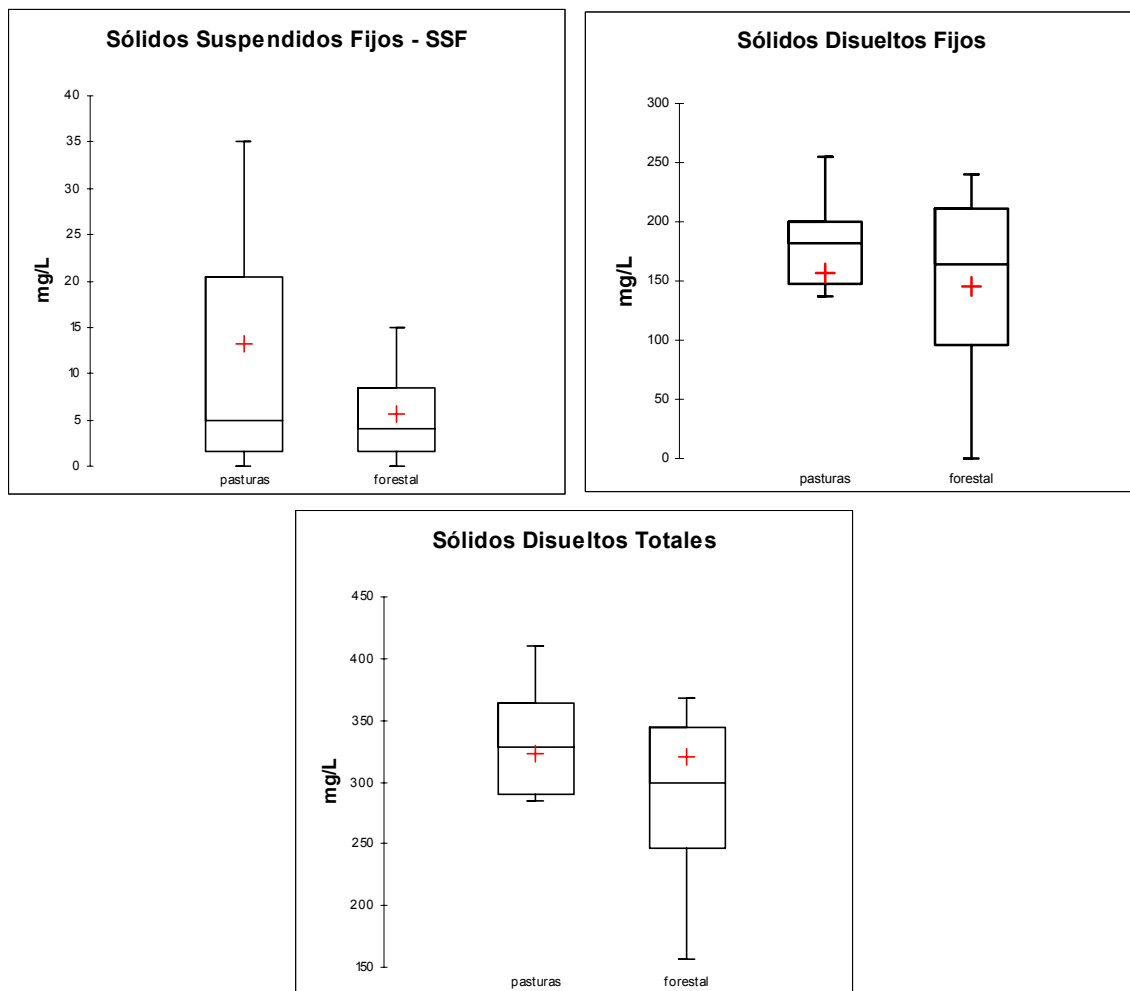


Figura 7.- Comparación de los sólidos medidos y calculados

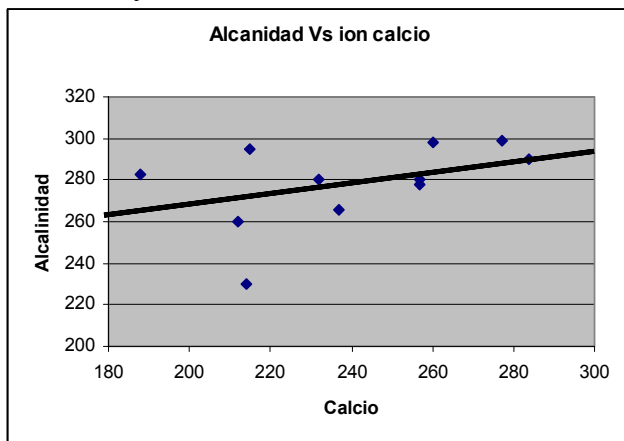
Los sólidos son parámetros globales que permiten generar una idea de cuales son las principales características de las aguas analizadas. Como se señalara precedentemente, parte de estos parámetros son medidos y parte son calculados. Si bien también presentan menores valores para la microcuenca forestal, esta tendencia no es tan evidente en todos los sólidos, existiendo algunos donde la mediana de la microcuenca forestal es mayor a la de pasturas y en otra lo es la media. Los sólidos totales en ambas microcuencas presentan valores entre los más altos para microcuencas naturales, aunque dentro de los normales. En los dos casos, la mayoría de estos sólidos se encuentran disueltos, estando divididos entre los disueltos fijos y los disueltos volátiles, con alguna variación muy leve entre microcuencas. Mientras que en la microcuenca con pasturas el 50 % de los SDT son Volátiles y el otro 50 % Fijos, en la microcuenca forestal existe una muy leve tendencia hacia los sólidos volátiles, es decir, una mayor presencia de materia orgánica disuelta frente a las sales disueltas, aunque de ninguna manera significativa.

Correlaciones con el ión Calcio

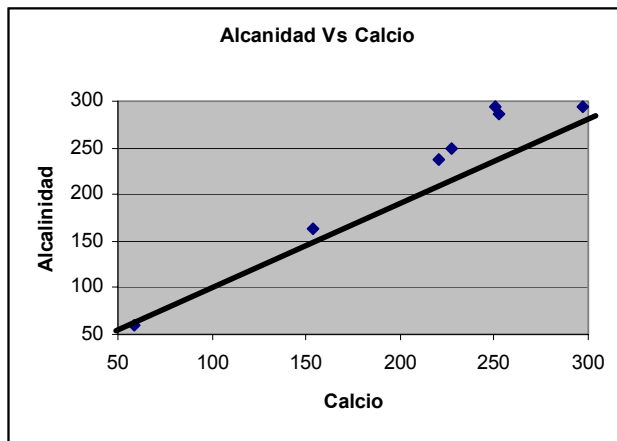
En función de las observaciones efectuadas se determinó la correlación entre los valores medidos del ión calcio y los parámetros de alcalinidad, dureza y conductividad (Stumm and Morgan, 1996), según puede observarse en la Figura 8.

La correlación es muy mala para la microcuenca con pasturas naturales, donde prácticamente los parámetros de conductividad y de dureza tienen correlaciones cercanas a 0. En cambio, en la microcuenca forestal la correlación de los tres parámetros con el ión calcio es buena, siendo la conductividad la que menor correlación presenta. Esto podría estar señalando que si bien los valores

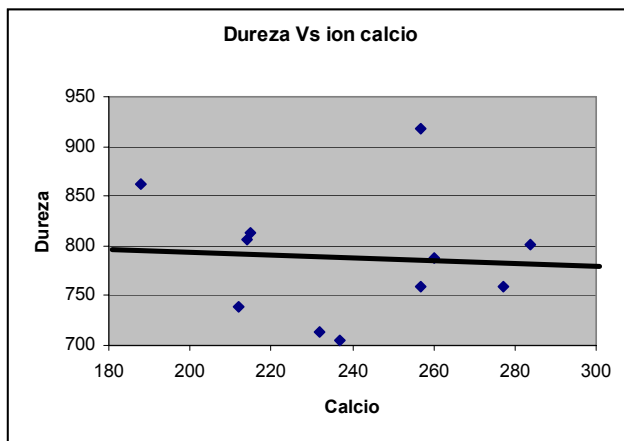
de Ca^{2+} son menores en la microcuenca forestal, su poder explicativo de los otros parámetros es mucho mayor.



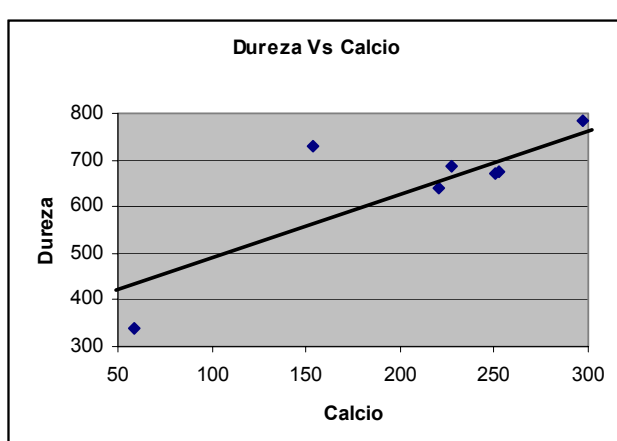
Pasturas
 $y = 204 + 0,301 * x \quad R^2 = 0,2143$



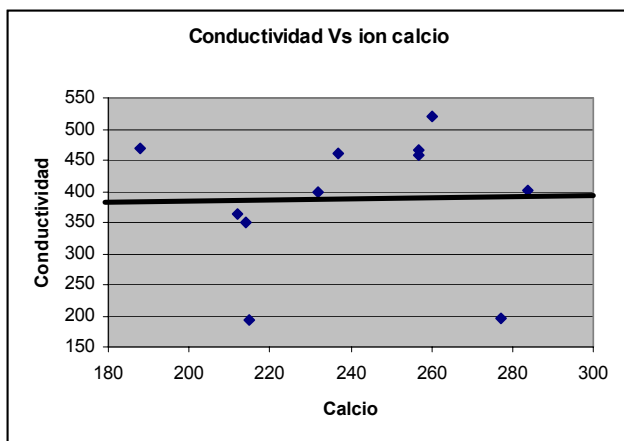
Forestal
 $y = 1 + 1,08 * x \quad R^2 = 0,9684$



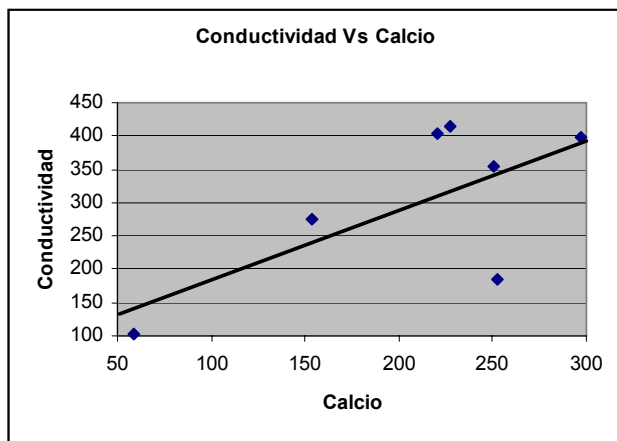
Pasturas
 $y = 825 - 0,16 * x \quad R^2 = 0,0057$



Forestal
 $y = 332 + 1,51 * x \quad R^2 = 0,6880$

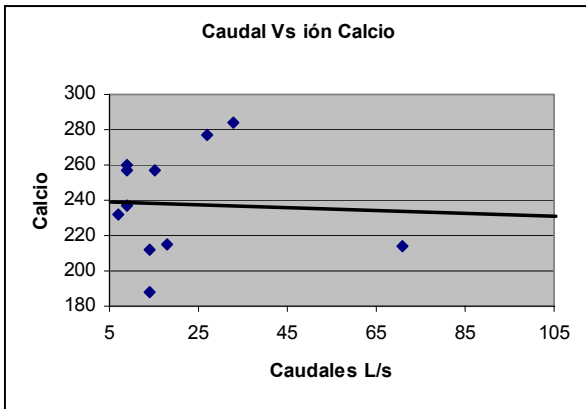


Pasturas
 $y = 373 + 0,07 * x \quad R^2 = 0,0004$

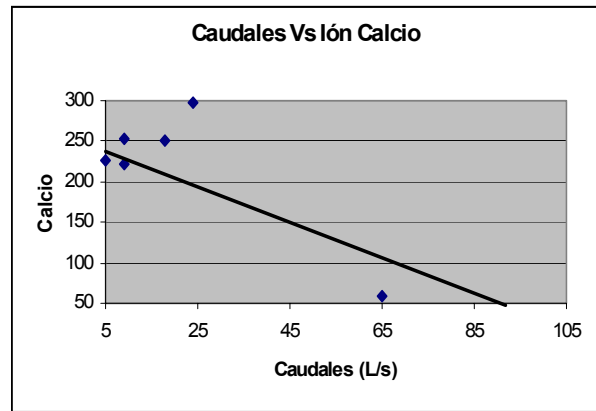


Forestal
 $y = 82 + 1,071 * x \quad R^2 = 0,4840$

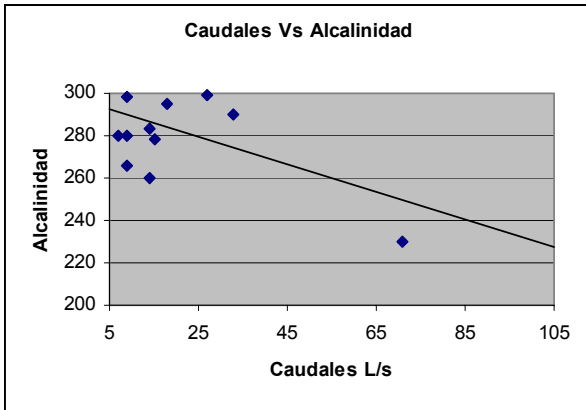
Figura 8.- Correlaciones con el ión calcio



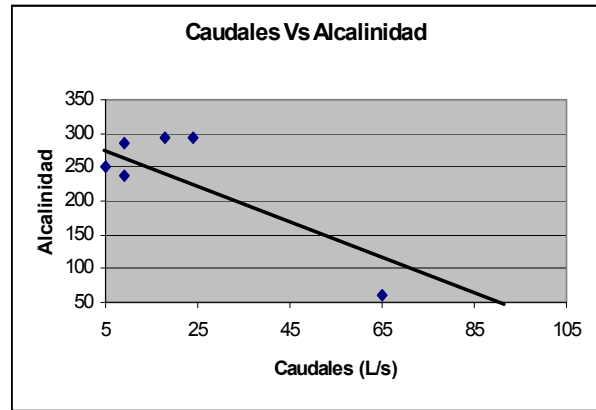
Pasturas
 $y = 241 - 0,91 * x \quad R^2 = 0,0032$



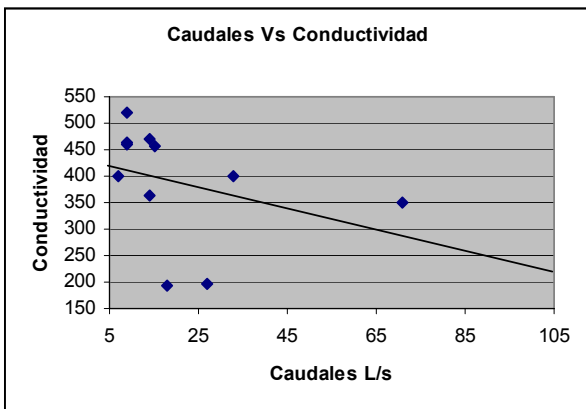
Forestal
 $y = 249 - 2,16 * x \quad R^2 = 0,3623$



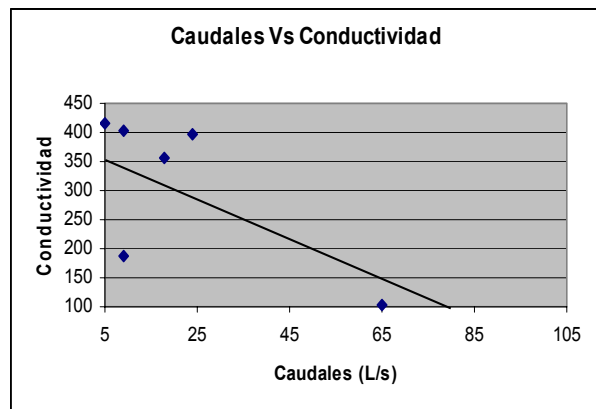
Pasturas
 $y = 291 - 0,65 * x \quad R^2 = 0,3559$



Forestal
 $y = 273 - 2,50 * x \quad R^2 = 0,3994$



Pasturas
 $y = 428 - 1,93 * x \quad R^2 = 0,1102$



Forestal
 $y = 367 - 3,33 * x \quad R^2 = 0,3623$

Figura 9.- Correlaciones con caudales

Correlaciones con caudales

Comparando los resultados de los muestreos con los datos de caudales medidos en los mismos días, se pueden extraer algunas conclusiones explicativas. Los caudales presentan un valor máximo en noviembre del 2006, donde se midió 71 l/s en la microcuenca con pasturas y 65 l/s en la microcuenca forestal. Mientras que en la microcuenca forestal este máximo coincide con mínimos en varios parámetros, caso del Ca^{2+} , la alcalinidad, la dureza, conductividad y el Na^+ , que se justifican por una mayor dilución, no se observa lo mismo en la microcuenca con pasturas naturales, donde a pesar del mayor caudal, no presenta los mismos mínimos, excepto en la conductividad y la alcalinidad que son más sensibles a la dilución. El máximo medido de fósforo en la microcuenca forestal en el mes de noviembre podría explicarse por un mayor arrastre que se hubiera producido por el mayor caudal, aunque no hay un pico en SST que sería lo esperado.

A los efectos de analizar la influencia del caudal en los principales parámetros, se ha estudiado su correlación con el ión Ca, la alcalinidad y la conductividad, cuyos resultados se muestran en la Figura 9.

Como puede observarse en la Figuras 9, las correlaciones entre caudales y parámetros no son muy buenas, siendo mejor la correlación para la microcuenca forestal que para la microcuenca con pasturas naturales. Esto podría estar señalando que la carga de las sustancias medidas es constante, independiente de los caudales.

CONCLUSIONES PRIMARIAS

Con las limitaciones que impone el escaso número de análisis disponibles, se constata: 1) una disminución de pH y un aumento significativo de los sólidos totales disueltos, ortofosfatos y nitratos, en las muestras de precipitación fustal; 2) que las muestras de las microcuencas forestal y pasturas naturales, se ubican en rangos normales para cursos de aguas, aunque en los extremos en valores de iones de calcio, conductividad y dureza. Se trata, por tanto, de microcuencas muy calcáreas, que presentan un alto sistema de “tamponamiento”, por lo que el pH se encuentra en valores entre neutros y ligeramente alcalinos.

AGRADECIMIENTOS

La línea de investigación vinculada a los efectos de las plantaciones forestales sobre los recursos naturales aguas y suelos, se inició por iniciativa de la Dirección General Forestal, del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Posteriormente, se mantuvo con el apoyo de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de la República. Actualmente, los estudios que se presentan en este artículo, han sido financiados por el Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andréassian and Vazken** (2004) “Waters and forests: from historical controversy to scientific debate”. *Journal of Hydrology* 291:1-27.
- Bosch, J.M. and Hewlett, J.D.** (1982) “A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yields and evapotranspiration”. *Journal of Hydrology*, 55:3-23.
- Calder, I. R.** (2005) *Blue revolution: Integrated Land and Water Resource Management*. Earthscan, London, UK.
- Ford, E.D. and Deans, J.D.** (1978) “The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation”. *Journal of Applied Ecology*, 15:901-917.
- Huber, A. and Iroumé, A.** (2001) “Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile”. *Journal of Hydrology*, 248:78-92.

Iroumé, A. y Huber, A. (2000) “Intercepción de las lluvias por la cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile”. *Bosque* 21(1): 45-56.

Kindbom, K., Sjöberg, K. Munthe, J., Peterson, K., Persson, C. och Ullerstig, A. (1997) “Nationell miljöövervakning av luft- och nederbörds kemi” (Monitoreo Ambiental Nacional de la química del aire y la lluvia). *IVL B 1252*. Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (Instituto de Investigación del Agua y el Aire). Gotemburgo, Suecia. [en sueco].

Likens, G.E. and Eaton, J.S. (1970) “A polyurethane stemflow collector for trees and shrubs”. *Ecology*, 55(5):938-939.

McCutcheon, S.C., Martin, J.L. and Barnwell Jr., T.O. (1993) “Water Quality” en *Handbook of Hydrology*, editado por David R. Maidment. McGraw-Hill, Inc.

Stumm, W. and Morgan, J. (1996) “Chemical Equilibria and Rate in Natural Waters” en *Aquatic Chemistry*, editado por Jerald Schnoor, University of Iowa, Alexander Zehnder, Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control. John Wiley & Sons, Inc.

Snoeyink, V. and Jenkins D. (1980) *Water Chemistry*, John Wiley & Sons, Inc