



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero

Agrónomo

Modalidad: proyecto

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA DE
NITRÓGENO EN CULTIVOS FORESTALES REGADOS
CON EFLUENTES URBANOS**

Mattalia, Maria Laura

35.671.835

Director: Ing. Agr. Américo Degioanni

Co-Director: Ing. Agr. Silvana Amín

Río Cuarto – Córdoba

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Evaluación de la capacidad depuradora de
nitrógeno en cultivos forestales regados con efluentes urbanos

Autor: Mattalía, Maria Laura

DNI: 35.671.835

Director: Ing. Agr. Degioanni Américo

Co-Director: Ing. Agr. Amín Silvana

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado

Evaluador:

Fecha de Presentación: ____ / ____ / ____.

Aprobado por Secretaria Académica: ____ / ____ / ____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional.

A mis compañeros y amigos porque sin su compañía esto no hubiera sido igual.

A mi compañero de vida, que siempre me ayudo para seguir adelante.

A la Universidad porque además de los conocimientos me deja los mejores amigos.

A mis directores, por permitirme este lugar y brindarme su confianza.

A los correctores del trabajo por su dedicación y esmero para ayudarme en mi formación.

A los docentes y no docentes del área de suelos de la FAV por su predisposición y ayuda desinteresada.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	IV
SUMMARY	V
Introducción	6
Hipótesis	8
Objetivos	8
Materiales y Métodos	9
Resultados	20
Discusión	20
Conclusiones	29
Bibliografía	30
Anexos	34

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Ubicación de la planta con respecto al ejido urbano	9
Fig. 2: Fotografía aérea de la planta de tratamientos	9
Fig. 3: Plantación de pinos en las instalaciones de CTAM	10
Fig. 4: Plantación de sauces en las instalaciones de CTAM	11
Fig. 5: Esquema del sistema de riego por surco y dimensión de canales.	12
Fig. 6: Esquema del riego que recibe la parcela de pinos	12
Fig. 7: Esquema del riego que recibe la parcela de sauces	13
Fig. 8: Comparaciones de datos según el lugar de muestreo y la sistematización	17
Fig. 9: Determinación de Dap a campo.....	18
Fig. 10: Variabilidad espacial en el contenido de N del suelo a lo largo del surco de riego en el FVP	22
Fig. 11: Variabilidad espacial en el contenido de N del suelo a lo largo del surco de riego en el FVS	22

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información de las especies plantadas en CTAM	10
Tabla 2: Datos morfológicos y analíticos del Haplustol típico	11
Tabla 3: Contenido de Nt acumulado en el suelo del FVP y de la parcela testigo.	20
Tabla 4: Contenido de Nt acumulado en el suelo del FVS y de la parcela testigo.	21
Tabla 5: Tasa de acumulación de Nitrógeno en suelo de FVP	23
Tabla 6: Tasa de acumulación de Nitrógeno en suelo de FVS	24
Tabla 7: N total fijado en la madera de pinos según su ubicación en el surco	24
Tabla 8: N total fijado en la madera de sauces según su ubicación en el surco	25
Tabla 9: Acumulación de nitrógeno en FVP	26
Tabla 10: Acumulación de nitrógeno en FVS	26
Tabla 11: N total acumulado en FVP	27
Tabla 12: Tasa anual de retención de Nt para FVP	27
Tabla 13: N total acumulado en FVS	27
Tabla 14: Tasa anual de retención de Nt para FVS	27

RESUMEN

Un filtro verde es un sistema suelo planta con una doble función: producir bienes agroalimentarios y brindar el servicio de depurar aguas residuales cargadas con elementos potencialmente contaminantes para el ecosistema. Uno de estos elementos es el nitrógeno (N) que cuando no se encuentra fijado a estructuras orgánicas es un potencial contaminante del agua o del aire. En la medida que este elemento quede retenido en el filtro verde (suelo o planta) disminuye el riesgo de contaminación. El objetivo de este trabajo fue evaluar la tasa de retención de nitrógeno en dos filtros verdes, receptores finales de efluentes tratados en la Planta de Saneamiento Cooperativa Telefónica de Adelia María (Prov. de Córdoba). El sitio experimental estuvo representado por dos parcelas, una parcela plantada con pinos (*Pinus elliotti*) con una edad de 8 años y otra con sauces (*Salix sp.*) de 13 años de edad. Se extrajeron muestras de suelo sobre la línea de plantación (lomo) y del fondo del surco de riego a las siguientes profundidades: 0-10cm y 10-20 cm. Las muestras de madera de fuste fueron tomadas correspondiéndose con los puntos de muestreo del suelo. Los resultados muestran que la acumulación de N para el conjunto de los filtros verdes sólo se registró en la madera con tasas de fijación anual entre 9 y 20,6 kg N ha⁻¹. Sin embargo, para diferentes posiciones en el surco de riego la acumulación fue significativa, en la parte media del surco para el caso de suelo y al final del surco de riego para el caso de madera con tasas de retención anual de entre 24 a 86 Kg N ha⁻¹. Se concluye que filtros verdes como los estudiados en condiciones óptimas de manejo además de producir madera brindan el servicio ecosistémico de depurar N de aguas residuales urbanas.

Palabras clave: filtros verdes, nitrógeno, aguas residuales urbanas, *Pinus elliotti*, *Salix sp.*

SUMMARY

A green filter is a plant soil system with a dual function: to produce agricultural goods and provide services treat sewage water loaded with potentially polluting elements for the ecosystem. One of these elements is nitrogen (N) when it is not attached to organic structures is a potential contaminant of water or air. As this element is retained in the green filter (soil or plant) decreases the risk of contamination. The aim of this study was to evaluate the rate of nitrogen retention in two green filters, final recipients of treated effluent in Plant Sanitation Cooperative Telefonica de Adelia Maria (Prov. De Córdoba). The experimental site was represented by two plots, a plot planted with pine (*Pinus elliottii*) aged 8 years and other with willows (*Salix sp.*) 13 years old. Soil samples on the planting line and the bottom of the groove irrigation to the following depths were extracted: 0-10 cm and 10-20 cm. Wood samples were taken stem corresponding with the soil sampling points. The results show that the accumulation of N for the whole of the green filters are only recorded in wood with annual fixing between 9 and 20.6 kg N ha⁻¹. However, for different positions in the furrow irrigation accumulation was significant, in the middle of the groove in the case of soil and end of the furrow irrigation in the case of wood with annual fixing 24 to 86 Kg N ha⁻¹. It is concluded that green filters as those studied in optimal driving conditions in addition to producing wood provide the ecosystem service debug N of urban wastewater.

Keywords: green filters, nitrogen, urban sewage, *Pinus elliotti*, *Salix sp.*

INTRODUCCIÓN

Se denomina aguas residuales a aquellos líquidos que el hombre ha utilizado para desarrollar actividades domésticas, comerciales, industriales y de servicios de una ciudad (Alianza por el agua., 2008). El agua residual contiene productos de desechos que son conducidos hacia un destino final (Crespi *et al.*, 2009). La EPA (Environmental Protection Agency., 1988) define como productos de desecho: nitrógeno, fósforo, organismos patógenos, metales pesados y trazas de compuestos orgánicos entre los más importantes por su contenido y potencial contaminante.

La contaminación del agua produce una modificación en las características de partida de la misma, invalidando su posterior aplicación para otros usos. Ello implica una alteración perjudicial de la calidad del agua destinada para consumo humano y animal que, en ocasiones, genera daños irreversibles en el ecosistema (Alianza por el agua., 2008).

El aumento poblacional a nivel mundial con una fuerte concentración urbana, aunado a la industrialización, trae aparejado un incesante incremento en la generación de agua residual o efluentes. Esta situación determina, en algunos casos, la saturación de la capacidad asimiladora de la naturaleza conduciendo a perturbaciones irreversibles del equilibrio ecológico (Crespi *et al.*, 2007).

La generación de efluentes y su capacidad contaminante en el ecosistema es un problema de cualquier población, independientemente de su tamaño (Crespi *et al.*, 2007). En tal sentido, es una responsabilidad ética tanto pública como privada adoptar las medidas para mitigar o controlar la contaminación vinculada al destino final del agua residual. Por otro lado, el agua dulce es un recurso limitado por lo que el tratamiento de efluentes y su posible reutilización son cuestiones que deben ocupar un lugar importante en el ordenamiento y planificación territorial.

En el sur de Córdoba existen un número importante de poblaciones donde no se realizan tratamientos de los efluentes cloacales domiciliarios ni industriales (Gil *et al.*, 2013). Sin embargo hay experiencias exitosas en el tratamiento de efluentes urbanos como en el caso de la localidad de Adelia María, motivo de estudio de este trabajo.

El tratamiento más usual del agua residual tiene la finalidad de reducir la concentración de los elementos potencialmente contaminantes. Esto se logra sometiendo a las mismas a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos. Luego el agua residual tratada puede ser reutilizada o vertida a cursos de agua superficiales si cumple determinados parámetros de

seguridad. De esta manera se minimizan los riesgos, tanto para los humanos como para el ambiente natural (Gil *et al.*, 2013).

Actualmente se han generado tecnologías de tratamiento de aguas residuales que permiten complementar o sustituir obras civiles-estructurales para el tratamiento de las aguas residuales urbanas (Bertoncini, 2008). Dentro de estas alternativas se encuentran los filtros verdes.

Las tecnologías de filtros verdes son consideradas compatibles con la preservación y mejoramiento del ambiente. Estas posibilitan el aprovechamiento del agua y los elementos de desecho como nutrientes para la producción de granos, fibras, maderas o alimentos humanos (Fasciolo *et al.*, 2005; Varallo *et al.*, 2011; Plevich *et al.*, 2012).

La estructura de un filtro verde es un sistema suelo – planta – microorganismos sobre el que se deposita periódicamente aguas residuales como destino final (Bustamante *et al.*, 2010). Las acciones físico – biológicas ejercidas por el sistema suelo, microorganismos y plantas dan como resultado su depuración (López *et al.*, 1998). Sin embargo hay que considerar que el filtro verde tiene una determinada capacidad de depurar o retener sustancias contaminantes. Si se sobrepasa dicha capacidad el proceso de contaminación ambiental puede continuar. Por tanto es imperativo conocer cuál es dicha capacidad.

El N es un elemento esencial para la vida y posee un ciclo sumamente activo entre formas reactivas y no reactivas. Dicho elemento es no reactivo o estable cuando se encuentra como gas (N_2) en la atmosfera y es reactivo o móvil cuando se encuentra bajo formas orgánicas en la biomasa e inorgánicas en la atmósfera, en el agua o en el suelo (Galloway *et al.*, 2004). Por ejemplo, el N_2O es un gas efecto invernadero que se acumula en la atmósfera mientras que el $N-NO_3$ se acumula en el agua que, superados ciertos límites puede inutilizar la misma para consumo humano e incluso para consumo animal por su toxicidad.

La carga de Nitrógeno Total en aguas residuales urbanas oscila entre los 20 a 80 mg l^{-1} (Rojas, 2002, Galbán Rodríguez, 2009 y Crespi *et al.*, 2007). Una forma de depurar este nitrógeno es retenerlo en estructuras orgánicas del suelo o en las plantas. En tal sentido, Turner y Lambert (2008) determinaron en plantaciones de eucaliptos tasas de acumulación en suelo y biomasa entre 11 a 24 kg N $ha^{-1} año^{-1}$ y Berg y Dise. (2004) entre 3 a 3,5 kg N $ha^{-1} año^{-1}$ para plantaciones de pinos. Por otra parte, Hooker y Copton. (2003) determinaron tasas de acumulación en biomasa y hojarasca de plantaciones de pinos entre 4,1 a 11,6 kg N $ha^{-1} año^{-1}$ respectivamente. Estos autores encontraron también que la tasa de mineralización del N fue 12,4 kg $ha^{-1} año^{-1}$ y White *et al.* (2004) en pinares estimaron tasa de mineralización entre 10 a 30 kg $ha^{-1} año^{-1}$ cuyo destino final, en ambos casos, es la hidrósfera. El riesgo de contaminar

el agua subterránea en parcelas forestales regadas con efluentes urbanos ya había sido reportado por Kim y Burger. (1997) por lo que es clave evaluar balances de N en suelo y plantas. No se han encontrado experiencias en salicáceas.

El problema de la presente investigación es conocer la capacidad depuradora de N de un filtro verde de pinos (FVP) y un filtro verde de sauces (FVS) como receptores finales de efluentes urbanos tratados en la localidad de Adelia María (Córdoba). Dicha capacidad será expresada en términos de retención de N orgánico en el suelo y masa forestal.

Hipótesis y objetivos

Hipótesis

Filtros verdes de Salicáceas y Pinos utilizados como receptores finales de efluentes cloacales reducen el riesgo de contaminación con N del ecosistema porque pueden fijar N en estructuras orgánicas del suelo y en la biomasa.

Objetivos generales

Evaluar la tasa anual de retención de N orgánico en filtros verdes de pinos y sauces.

Objetivos específicos

Estimar el aporte de N por riego con efluentes cloacales a filtros verdes de pinos y sauces.

Cuantificar el N acumulado en el suelo y en la masa forestal de pinos y sauces.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Área de estudio

El trabajo se realizó en la planta de saneamiento de efluentes urbanos de la Cooperativa Telefónica de Adelia María (CTAM), en la provincia de Córdoba. Esta se encuentra ubicada a 2,9 km al sudeste del ferrocarril de la citada localidad. (Coordenadas: 33°38'14.28"S latitud, 63°59'10.37"O longitud). (Fig. 1)



Figura 1. Ubicación de la planta con respecto al ejido urbano

En la planta de saneamiento de la CTAM funciona un sector de tratamiento de los efluentes en lagunas biodigestoras. Una vez tratados el efluente es distribuido en parcelas plantadas con álamos, eucaliptos, sauces y pinos que funcionan como Filtros Verdes. Para este estudio se seleccionaron dos parcelas, una con plantación de pinos y otra con plantación de sauces. En la Fig. 2 se puede observar una fotografía aérea del predio de la planta de saneamiento de la CTAM donde se indican las dos parcelas seleccionadas para realizar el estudio.



Figura 2. Fotografía aérea de la planta de tratamientos

El área de estudio presenta un clima templado subhúmedo, con precipitaciones que suelen exceder la evapotranspiración en los meses de primavera y otoño con déficits puntuales en verano e invierno. El total anual de lluvias, promedio de 35 años, es de 790 mm. (INTA, 1986).

2. Descripción de las parcelas

Se evaluaron dos parcelas: una plantada con pinos (*Pinus elliotti*) (Fig. 3) con un marco de plantación de 3 x 3 m y con una edad de plantación de 8 años y otra con sauces (*Salix sp.*) (Fig. 4) con un marco de plantación 2,5 x 3 m y de 13 años de edad. En la Tabla 1 se pueden observar remarcadas con rojo las especies bajo estudio con información de cada parcela: superficie, longitud de surco y pendiente.

Tabla 1: información de las especies plantadas en CTAM

Concepto	Unidad	Álamos N	Eucaliptos	Sauces	Álamos S	Pinos
Superficie	ha	5	2,5	2	3	1,5
Longitud de surco	m	462	464	135	395 ¹	153 – 126 - 90
Pendiente	%	0,4	0,6	0,5	0,5	0,1

¹Los surcos que riegan los álamos son continuación de los sauces



Figura 3. Plantación de pinos en las instalaciones de CTAM



Figura 4. Plantación de sauces en las instalaciones de CTAM

El suelo del predio es bien drenado, profundo, no salino y no sódico. Taxonómicamente se corresponde con un Haplustol típico. Presenta un horizonte superficial oscuro, (epipedón mólico) seguido de un horizonte subsuperficial algo enriquecido en arcilla (horizonte cámbico). El material de origen del suelo se encuentra a partir del metro y medio de profundidad. .

Tabla 2: Datos morfológicos y analíticos del Haplustol típico

Hori.	Prof. (cm)	Textura	MO (%)	pH	CE	CIC	Ca	Mg	K	Na	PSI (%)
A	0-28	Fco a fco are	2.1	6.96	0.27	18.4	9.2	2.6	1.5	0.3	0.57
Bw	28-70	Fco arenosa	1.2	7.28	0.22	17.2	9.8	2.7	1.1	0.3	0.75
C	70-150	Fco arenosa	-	7.49	0.22	14.8	11.6	2	1.0	0.2	1.13
Ck	150 a +	Fco arenosa	-	8.75	0.30	14.2	-	1.8	1.3	0.2	1.43

Nota: Hor.: Horizonte; Prof.: profundidad; MO.: Materia Orgánica; pH.: pH en agua 1:2.5; CE.: Conductividad Eléctrica en extracto de saturación dS m⁻¹; CIC.: Capacidad de Intercambio Cationico; PSI.: Porcentaje de sodio Intercambiable. Fuente: Degioanni *et al* 2014

El riego se realiza con efluentes urbanos tratados. Dichos efluentes son tratados mediante un sistema de lagunas biodigestoras y posteriormente se destinan en promedio 760 mm al año para el riego de las parcelas cultivadas funcionando las mismas como filtros verdes. (Degioanni *et al.*, 2014). A este aporte hay que sumar la lluvia media anual que según promedio de 35 años, es de 790 mm (INTA, 1986).

El sistema de riego utilizado es el “por surcos con pendientes y sin desagüe al pie de acuerdo con Morábito *et al.*, (2008). En este tipo de riego el agua se distribuye sobre la superficie del surco y queda sobre la misma el tiempo necesario para que infiltre completamente. En la Figura 5 se puede observar la dimensión de los surcos.

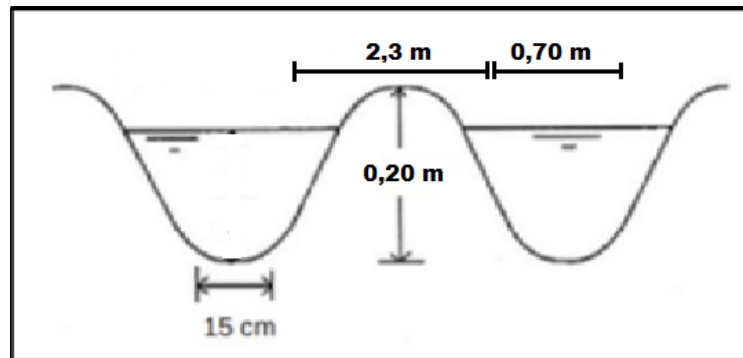


Figura 5. Esquema del sistema de riego por surco y dimensión de canales. El diseño no está a escala

La distribución del Efluente Cloacal tratado hacia las parcelas bajo estudio está conformado por dos sistemas: a) por bombeo y b) por gravedad. A continuación se detallan características técnicas de los mismos.

a) Sistema por bombeo: en las parcelas “Pinos” el Efluente Cloacal tratado llega impulsado por medio de una electrobomba sumergible Marca Pedrollo, Modelo Vortex VXCM 20/50, monofásica, de 2 HP de potencia con un caudal de erogación aproximado de 30.000 L R-1. La misma impulsa el líquido hacia una tubería principal de polietileno de alta densidad con un diámetro de 110 mm hasta una ramificación de tuberías secundarias del mismo material con un diámetro de 1 pulgada que desembocan en cada surco. La dosificación de riego se realiza mediante la apertura y cierre de canillas de PVC tipo férula con salidas de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro.

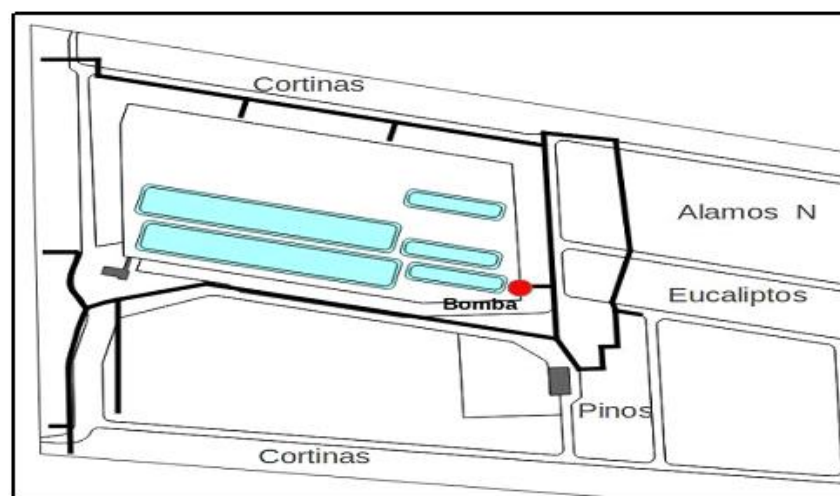


Figura 6. Esquema del sistema de riego por bombeo que recibe la parcela de pinos

b) Sistema por gravedad: en las parcelas “Sauces” el Efluente Cloacal tratado llega por gravedad desde la laguna hasta las cabezeras de riego, existiendo una diferencia de altura de 0,36 m entre el pelo de agua de la segunda laguna y la parcela “Sauces”. La tubería principal utilizada es de PVC, cuyo diámetro es de 100–120 mm. Luego se distribuye en los surcos de cada parcela a través de tuberías secundarias del mismo tipo. Para esta situación la dosificación de riego se logra por medio de ventanitas.

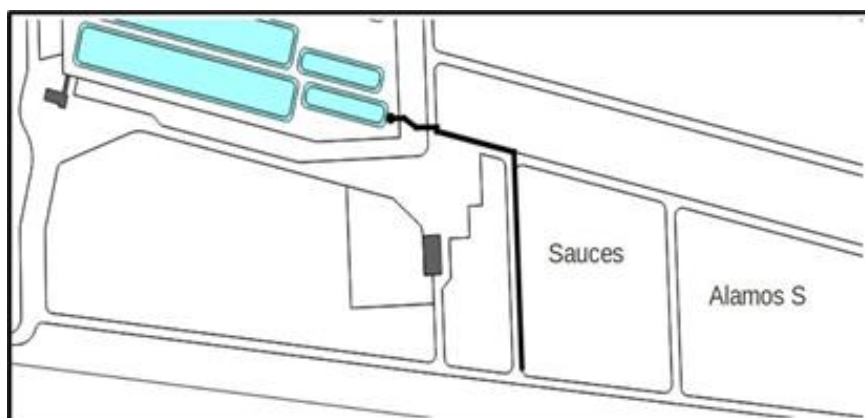


Figura 7. Esquema del sistema de riego por gravedad que recibe la parcela de sauce

3. Diseño experimental, toma de muestras y análisis estadístico de los datos

Debido a la dificultad que se tiene cuando se estudian casos reales donde no se planifican los diseños experimentales, como en este caso, para poder estudiar la dinámica de variables de interés, se deben definir modalidades de toma de muestras para poder utilizar diseños conocidos y de frecuente aplicación en el campo agronómico. A continuación se explicita las abordadas en este trabajo.

3.1. Estimación del aporte anual de Nitrógeno a los Filtros Verdes

Para esta estimación se tuvo en cuenta el riego anual que recibieron los filtros verdes por hectárea. A este dato se lo afectó por el contenido de N total mínimo y máximo que tienen las aguas servidas (Degioanni *et al.*, 2014) para poder calcular un aporte máximo y mínimo de N total en Kg ha⁻¹.

$$\text{Riego (l ha}^{-1}\text{)} = \text{Riego (m)} * 1000 * 10000 \text{ m}^2$$

$$\text{N total (Kg de N total ha}^{-1}\text{)} = \text{Riego (l ha}^{-1}\text{)} * \text{contenido de N total (kg l}^{-1}\text{)}$$

3.2. Acumulación de Nitrógeno en el suelo de FVP y FVS en relación al testigo

Para determinar la acumulación de N en suelo se procedió a tomar muestras aleatorizadas adentro de cada filtro verde y el testigo sin árboles. Para determinar el contenido de N de cada muestreo se procedió primero a calcular el peso del horizonte muestreado usando los datos de la profundidad y densidad aparente.

$$\text{Peso del horizonte (kg)} = \text{profundidad de Muestreo (m)} * 10000 \text{ (m}^2\text{)} * \text{Dap (Tn m}^{-3}\text{)} * 1000$$

Este valor fue afectado por el porcentaje de Nitrógeno correspondiente a la muestra, y así se obtuvieron los valores de N en kg ha⁻¹. Valor al cual se le resto el contenido de N (kg ha⁻¹) obtenido en el testigo.

$$\text{N (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Peso del horizonte (kg)} * \%N - \text{testigo N (kg ha}^{-1}\text{)}$$

Para analizar los datos de acumulación de N en suelo de cada uno de los filtros verdes bajo estudio y compararlo con el testigo sin árboles, se realizó un ANAVA bajo un diseño en bloques completamente aleatorizados, cuyo modelo estadístico se presenta a continuación.

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

y_{ij} = Nitrogéno total (kg N ha⁻¹) obtenida en un surco del bloque j a la cual se le aplico el tratamiento riego i.

$$\mu = \text{Media poblacional de Nitrogéno total (kg N ha}^{-1}\text{)}$$

$$\beta_j = \text{Efecto del bloque } j \text{ (} j = 1, 2, 3 \text{)}$$

$$\alpha_i = \text{Efecto de cada posición del surco (} i = 1, 2, 3 \text{)}$$

ε_{ij} = error aleatorio asociado a la observación del contenido de Nitrogéno total (kg N ha⁻¹) obtenida en el surco del bloque j a la cual se le aplico el tratamiento riego i (Y_{ij}).

Hipótesis a probar

H₀: $\alpha_i = 0, \forall j$ No hay retención de nitrógeno en suelo al aplicarle riego con aguas residuales.

H_a: $\alpha_i \neq 0, \forall j$ Hay retención de nitrógeno en suelo al aplicarle riego con aguas residuales.

3.3. Contenido de nitrógeno en diferentes posiciones del surco de riego

Cuando se visitaron los filtros verdes, una apreciación visual permitió observar que sobre los surcos de riego se presentaban microrelieves que generaban una distribución desuniforme del agua residual en estos filtros. Esta situación generó la pregunta si como respuesta a este tipo de distribución del agua, el contenido de nitrógeno variaría a lo largo de los surcos de riego. Para poder responder a la misma las muestras completamente aleatorizadas que se tomaron se agruparon en tres posiciones del surco: *cabecera*, *medio* y *pie de surco*. Se consideró estas posiciones como una variable explicatoria del contenido de nitrógeno en los surcos y para analizarlo se efectuó una ANAVA bajo un diseño completamente aleatorizado, cuyo modelo estadístico se presenta a continuación.

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

donde cada observación (y_{ij}) está afectada por un efecto medio (μ), un efecto de tratamiento (α_i) y por el efecto de una variable aleatoria (ε_{ij}).

y_{ij} = Nitrógeno total (kg N ha⁻¹) obtenida en un surco j a la cual se le aplicó el tratamiento riego i .

μ = Media poblacional de Nitrógeno total (kg N ha⁻¹)

α_i = Efecto debido a la posición de riego i (representa el efecto del nivel i del factor cuyo efecto se quiere conocer)

ε_{ij} = Variable aleatoria debida al error entre unidades experimentales con el mismo tratamiento.

Hipótesis a probar:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ Las medias de las tres posiciones de surco de riego tienen el mismo contenido de N total (kg N ha⁻¹).

H_a : Algún μ_i sea \neq ; $\forall i$ Las medias de las tres posiciones de surco de riego tienen distinto contenido de N total (kg N ha⁻¹).

3.4. Tasa de acumulación relativa anual de N en suelo de FVP y FVS

Para estimar la tasa de acumulación de Nitrógeno relativa en el suelo de los FV, al contenido de N (kg ha⁻¹) del suelo de los FV se le resta el contenido de N (kg ha⁻¹) obtenido en la parcela testigo a cada FV, a ese valor se lo dividió por los años de edad de los FV.

Tasa anual de acumulación relativa de N= $(N_{FV} \text{ (kg ha}^{-1}) - N_{\text{Testigo}} \text{ (kg ha}^{-1})) / \text{Edad}$ (años)

3.5. Acumulación de nitrógeno en la masa forestal (fuste) de los FVP y FVS

Para la obtención del valor acumulado de N en la masa forestal, se multiplico el porcentaje de N encontrado en cada muestra por los $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ que hay de madera y por la densidad de la madera con valores de $0,42 \text{ Tn m}^{-3}$ y $0,50 \text{ Tn m}^{-3}$ para sauces y pinos respectivamente.

$$N_{\text{madera}} \text{ (kg ha}^{-1}) = \text{Densidad madera (Tn m}^{-3}) * \text{Volumen total madera (m}^3 \text{ ha}^{-1}) * 1000$$

Para analizar los datos de acumulación de nitrógeno en masa forestal, se realizó un ANAVA con diseño en bloques completamente aleatorizados al igual que en el caso de las acumulación de nitrógeno en suelo. Las Hipótesis a probar en este caso fueron:

Ho: $\alpha_i = 0, \forall j$ No hay retención de nitrógeno en madera de fuste al aplicarle riego con aguas residuales.

Ha: $\alpha_i \neq 0, \forall j$ Hay retención de nitrógeno en madera de fuste al aplicarle riego con aguas residuales.

3.6. Acumulación de nitrógeno en suelo y madera del FVP y FVS

El valor de acumulación de N en suelo y madera fue resultado de la suma de los valores de acumulación de Nitrógeno en el suelo y acumulación de nitrógeno en masa forestal de FVP - FVS. Es decir que se intentó llegar a un valor de acumulación global en el sistema del FV teniendo en cuenta los componentes suelo y madera de fuste. Este valor dividido la edad de la plantación, permitió estimar una tasa global de acumulación anual de N para cada filtro verde (detalle en punto 3.5 y 3.3).

$$N_{\text{en el sistema suelo-planta}} = (N_{\text{suelo FV}} \text{ (kg ha}^{-1}) - N_{\text{Testigo}} \text{ (kg ha}^{-1})) + N_{\text{madera}} \text{ (kg ha}^{-1}) =$$

$$\text{Tasa global de acumulación} = (N_{\text{suelo FV}} \text{ (kg ha}^{-1}) - N_{\text{Testigo}} \text{ (kg ha}^{-1})) + N_{\text{madera}} \text{ (kg ha}^{-1}) / \text{Edad (años)} =$$

Toma de muestras

Las muestras de suelo fueron extraídas sobre la línea de plantación (lomo) y del fondo del surco de riego a las siguientes profundidades: 0-10 cm y 10-20 cm. Además para el testigo, se

analizó un muestreo a la profundidad de 20-30 cm y 30-40 cm, ya que debido al laboreo del suelo para formar los bordos y surcos de la plantación, la referencia para comparar los niveles de nitrógeno del fondo de surco con el testigo estaría a mayor profundidad.

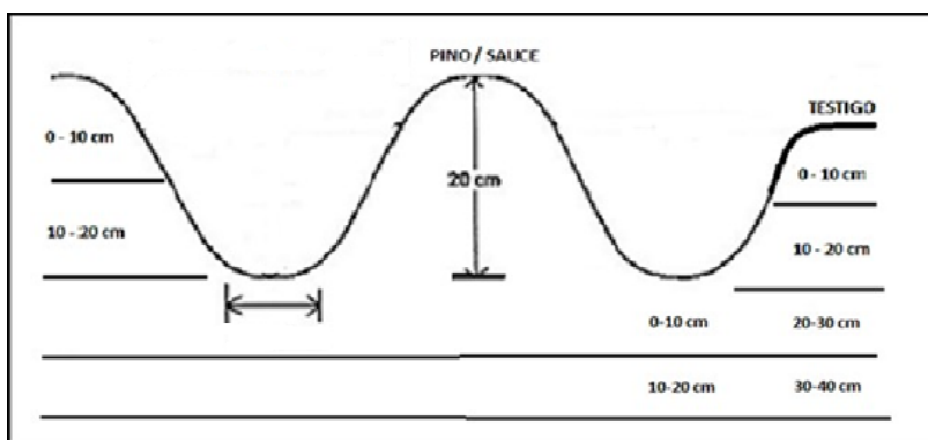


Figura 8. Comparaciones de datos según el lugar de muestreo y la sistematización

Para la comparación de valores, gráficamente podemos decir que los primeros 20 cm del lomo son comparables con los primeros 20 cm del testigo, suponiendo que el lomo está compuesto por una mezcla de los primeros 20 cm del testigo. Por otro lado, los valores obtenidos de las muestras sacadas en fondo de surco, a una profundidad de 0-20 cm son comparables con la profundidad del testigo de 20-40 cm. (Fig. 9).

Para poder extrapolar estos valores a una unidad de superficie se hizo una ponderación de área. Dado que los bordos miden 2,3 metros de ancho, la superficie ocupada por lomos en 1 ha, representa un 76,66% mientras que el fondo de surco representando un 23,33% de la superficie. Por lo tanto los datos obtenidos de las muestras extraídas del lomo de 0-20 cm, que provienen de la mezcla de horizontes generada por la movilización de tierra, fue ponderada por un valor de 76,66%. Por el contrario las muestras obtenidas del fondo de surco de 0-20 cm se ponderaron por un factor de 23,33%.

4. Mediciones realizadas

Se realizaron las siguientes determinaciones:

En las muestras de suelo las determinaciones analíticas fueron: contenido de materia orgánica en porcentaje (MO%) por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommer., 1982), contenido de nitrógeno total (Nt%) por el método Kjeldahl (Page *et al.*, 1982) y densidad aparente (Dap) por el método del cilindro (Klute., 1986). En la Fig 9 se muestra el método de extracción de las muestras para determinación de Dap.



Figura 9. Determinación de Dap a campo

Las muestras de madera fueron tomadas al azar y luego se procedió a la agrupación de los datos en cabecera, medio y pie de surco de la misma manera que con las muestras de suelo. El total de muestras fue extraído de 9 árboles por especie, con taladro manual sobre el fuste de los mismos a la altura normal (1,30 m desde la superficie del suelo). A las mismas se les determinó: nitrógeno total, con el mismo método utilizado en las muestras de suelo. Para determinar el volumen de madera de las plantaciones se procedió a determinar la altura de 40 plantas por parcela con ayuda de un clinómetro a las cuales se le midió también Diámetro normal (Dn) con forcípula forestal. Luego se eligió el árbol tipo de cada agrupación de muestreo y con los datos del mismo se calculó el volumen de biomasa forestal producida por hectárea con las siguientes fórmulas:

$$V_a = A_t * h$$

V_a: Volumen aparente del árbol tipo (m³)

A_t: Área transversal (m²)

h: Altura total (m)

$$A_t = (\pi * DAP^2) / 4$$

A_t: Área Transversal (m²)

DAP: Diámetro a la altura de pecho (m)

$$V_r = V_a * C_f$$

V_r: Volumen Real (m³)

V_a: Volumen Aparente (m³)

C_f: Coeficiente de forma (0,5)

Vt: $V_r * N_a / ha$

Vt: Volumen total ($m^3 ha^{-1}$)

Vr: Volumen real (m^3)

Na: Número de árboles

ha: hectáreas

En el ANEXO 4 se detallan los cálculos por sitio de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Estimación del aporte anual de Nitrógeno a los Filtros Verdes

La composición de las aguas residuales es muy variable debido a que es afectada por diversos factores. Entre estos se tiene el consumo promedio de agua por habitante y por día que afecta su concentración (cantidad), sumado a la época del año y los hábitos alimenticios de la población que caracteriza su composición química (calidad).

La carga de Nitrógeno Total de aguas residuales urbanas tiene una variación a lo largo del año. Esta variación ronda los 20-80 mg l⁻¹según Rojas. (2002), Galbán Rodríguez. (2009) y Crespi *et al.* (2007). Teniendo en cuenta esta información bibliográfica y la lámina aplicada anualmente a las parcelas bajo estudio, se estimó que el aporte de nitrógeno total a los FV oscilaría entre los 152 y 456 kg N ha⁻¹año⁻¹. (ANEXO 1)

Por otro lado, la carga de nitratos, representados dentro de ese valor de nitrógeno total, también es muy variable. Según Esteller *et al.* (1995) la oscilación de nitratos en aguas residuales puede variar en un rango de 2-240 mg l⁻¹año⁻¹. En el caso del efluente usado para regar las parcelas bajo estudio de este trabajo, los valores medidos de nitratos entre febrero y noviembre de 2012 oscilaron entre 8-52 mg l⁻¹. Suponiendo estos valores como mínimo y máximo aporte, y según la lámina aplicada de riego, se estimó un aporte de N-NO₃ entre 13-89 Kg N-NO₃ ha⁻¹ respectivamente.

Estos resultados confirman que el N es un elemento que es aportado por el efluente al ambiente y de no quedar retenido en el suelo o en la biomasa forestal podría pasar a contaminar el agua subterránea como nitratos o pasar a la atmósfera como gas efecto invernadero (óxidos de nitrógeno).

2. Acumulación de Nitrógeno en el suelo

2.1. Acumulación de N en el suelo de los FV y el testigo

La Tabla 3 muestra el resultado de la comparación de medias del contenido de Nt (Nitrógeno total) en el suelo del FVP y testigo.

Tabla 3: Contenido de Nt acumulado en el suelo del FVP y de la parcela testigo

Tratamientos	Nt (kg ha ⁻¹)
TESTIGO	2354a
FVP	2573a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

El contenido de Nitrógeno del suelo acumulado para todas las posiciones del surco en FVP no posee diferencias estadísticas significativas ($R^2=0,66$ $p=0,5671$) con respecto al N acumulado en el testigo.

El resultado de la comparación entre los valores medios de Nt en el suelo de FVS y el testigo se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4: Contenido de Nt acumulado en el suelo del FVS y de la parcela testigo

Tratamientos	Nt (kg ha ⁻¹)
TESTIGO	2354a
FVS	2909a

Nt: contenido medio de nitrógeno total, FVP: filtro verde pino. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

En cuanto al FVS el contenido de N medio obtenido de los datos de todas las posiciones en el surco de riego es de 2909 kg N ha⁻¹ no presentando diferencia estadísticamente significativa con el contenido de N medio de suelo en la parcela testigo ($R^2=0,83$ $p= 0,3050$).

Estos resultados indican que para las condiciones evaluadas el suelo de ambos filtros verdes no ha aumentado significativamente el stock de N en las estructuras orgánicas del mismo por lo que no estarían funcionando como cuerpos depuradores del N aportado por el efluente.

2.2. Contenido de nitrógeno en diferentes posiciones sobre el surco de riego:

Según el diseño de muestreo aplicado se comprobó que el contenido de N de los primeros 20 cm del suelo no es uniforme a lo largo del surco de riego tanto para el FVP ($R^2= 0,95$ $p= 0,0001$) como para el FVS ($R^2= 0,73$ $p= 0,0207$). Se encontró que no existen diferencias significativas entre el contenido de N en la cabecera y pie de surco en ambos FV, pero sí diferencias estadísticamente significativas entre estos dos puntos de muestreo con respecto al medio del surco. En la Figura 10 se presentan los valores del contenido de N para el FVP (ANEXO 3).

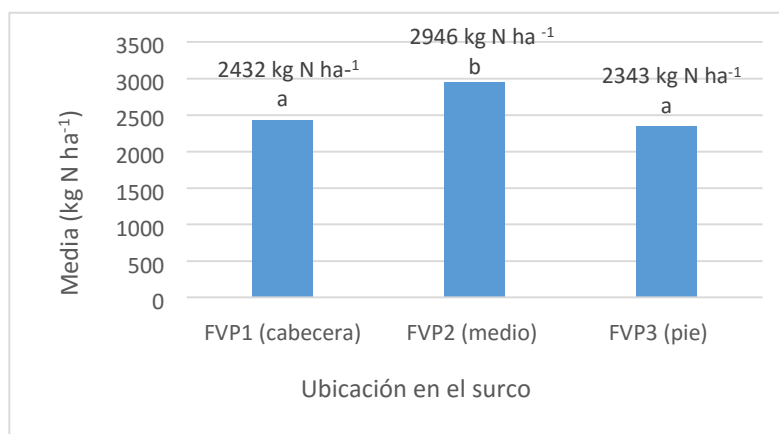


Figura 10. Variabilidad espacial en el contenido de N del suelo a lo largo del surco de riego en el FV de Pinos.

En el FVS la situación es similar al FVP: la diferencia encontrada entre cabecera y pie de surco no es estadísticamente significativa, presentando valores de 2830 kg N ha⁻¹ y 2675 kg N ha⁻¹ respectivamente. Por el contrario el valor encontrado en el medio de surco, difiere estadísticamente de los dos anteriores, mostrando un valor superior de acumulación de nitrógeno alcanzando los 3220 kg N ha⁻¹ (Fig. 11).

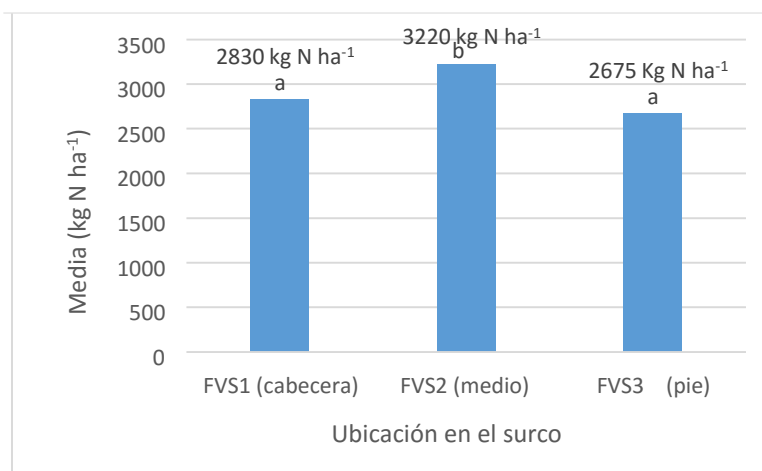


Figura 11. Variabilidad espacial en el contenido de N del suelo a lo largo del surco de riego en el FV de sauces.

Estas diferencias en la concentración de N del suelo, probablemente se correspondan con una operación de riego desuniforme sumado a deficiencias en la sistematización del terreno. La desuniformidad en el riego puede tener diversas causas, como caudal aplicado deficiente, cálculos erróneos en la velocidad de avance del agua sobre el terreno, longitud de la parcela, la lámina de agua a aplicar, pendiente del terreno, forma del surco, entre otros Valenzuela. (1997).

En consecuencia, si se proyectara al conjunto de la parcela los valores de N acumulados en el suelo del sector medio del surco de ambos FV y suponiendo que las parcelas recibieran

riego uniforme, se podría sostener que el suelo de ambos FV acumulara N orgánico funcionando como cuerpo depurador de N residual del efluente.

2.3. Tasa de acumulación anual de N en suelo de FV

Las tasas de acumulación de N se realizaron en función de los resultados encontrados en el análisis de los contenidos medidos en distintas posiciones del surco. Como estos valores se atribuyen a una posible desuniformidad de riego, las tasas deben asumirse como válidas bajo el supuesto que todo el filtro verde funciona optimizado desde el punto de vista del riego.

2.3.1. Tasa de acumulación anual de N en suelo de FVP

Se analizaron los datos de cabecera, medio y pie de surco de riego agrupados según las diferencias en la desuniformidad de riego. Para el caso de cabecera y pie de surco, se utilizó el promedio de los resultados obtenidos en Kg N ha^{-1} , debido a que presentaban los menores valores de acumulación de N y no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Con el objetivo de llegar a una tasa mínima (usando los datos donde menor fue la acumulación de N) y a una tasa máxima (usando el dato de donde la acumulación de N fue máxima) de acumulación de nitrógeno por los sistemas FVP y FVS.

Teniendo en cuenta la edad de la plantación en cada caso, se estimó una tasa de acumulación de N en el suelo, que para el caso de FVP (8 años) varía entre $4\text{-}74 \text{ Kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. La Tabla 5 muestra la tasa máxima y mínima de acumulación de Nt del suelo en el FVP.

Tabla 5: Tasa de acumulación de Nitrógeno en suelo de FVP

Ubicación en el surco dentro de FVP	FV pinos (kg N ha^{-1})	Testigo (kg N ha^{-1})	N Acumulado en suelo (kg N ha^{-1})	Tasa de acumulación de N en suelo FVP ($\text{Kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$)
Promedio cabecera + pie de surco	2387	2354	33	4
Medio de surco	2946	2354	592	74

2.3.2. Tasa de acumulación anual de N en suelo de FVS

Para el caso de sauces, se hizo la misma comparación que en FVP. Sin embargo, en este FV se obtuvieron valores mayores de N acumulado en suelo. Es altamente probable que esta diferencia se deba a la mayor edad de la plantación y por lo tanto al mayor tiempo que el suelo recibe riego y aportes de hojarasca de la misma.

El FVS presenta una tasa de acumulación de N en suelo de entre 31-67 Kg N ha⁻¹año⁻¹. Siempre el valor mayor de acumulación se observa en el medio de surco, correspondiéndose con los resultados de uniformidad de riego.

Tabla 6: Tasa de acumulación de Nitrógeno en suelo de FVS

Ubicación en el surco dentro de FVS	Suelo FVS (kg N ha ⁻¹)	Suelo Testigo (kg N ha ⁻¹)	N total Acumulado en suelo (kg N ha ⁻¹)	Tasa de acumulación de N en suelo FVP (Kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)
Promedio cabecera + pie de surco	2753	2354	399	31
Medio de surco	3220	2354	867	67

Este resultado confirma que el suelo del FVS tuvo una ganancia de stock de N entre 399 y 867 kg ha⁻¹ durante los 13 años de la plantación.

3. Acumulación de nitrógeno en masa forestal (fuste) de FVP y FVS

Con respecto a la acumulación de N en el fuste de la masa forestal de pino se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las muestras tomadas de cabecera y medio de surco con respecto al pie de surco de riego ($R^2=0,85$ $p=0,0034$). En el ANEXO 5 se publican los rendimientos de madera y el contenido de N medido en las muestras.

Tabla 7: N total fijado en la madera de pinos según su ubicación en el surco

Ubicación en el surco	Media (kg N ha ⁻¹)	Tasa anual (kg N ha ⁻¹)
FVP1(cabecera)	73a	9
FVP2 (medio)	97a	12
FVP3 (pie)	165b	20,6

Ref: las letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$)

Este resultado muestra que la producción de madera presenta una distribución desuniforme a lo largo de los surcos, observándose un mayor rendimiento en el pie de surco de riego, lo que incrementa el N fijado en el fuste.

Esta situación también se encontró en el FVS donde el nitrógeno en el fuste de la madera fijado en el pie de surco, fue significativamente mayor que en las otras posiciones del surco ($R^2=0,67$ $p=0,0365$).

Tabla 8: N total fijado en la madera de sauces según su ubicación en el surco

Ubicación en el surco	Media (kg N ha ⁻¹)	Tasa anual (kg N ha ⁻¹)
FVS1 (cabecera)	134a	10,3
FVS2 (medio)	117a	9
FVS3 (pie)	239b	18,3

Ref: las letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$)

Estos resultados indican que pinos, tras 8 años de crecimiento pueden retener hasta 165 kg N ha⁻¹ en su fuste mientras que sauces puede retener hasta 240 kg N ha⁻¹ tras 13 años de crecimiento. Las tasas anuales máxima y mínima de acumulación de N en madera oscilan entre 9 y 20,6 Kg N ha⁻¹.

Cabe resaltar que estos resultados corresponden sólo a lo acumulado en el fuste y no se considera el N acumulado en ramas y raíces que podría significar entre un 25-50 % más de la biomasa total para sauces según Zamboni *et al.*, 2003, Aceñalosa *et al.*, 2009. En el caso de pinos los valores se modificarían teniendo en cuenta que el fuste aporta entre un 40-80 % de la biomasa, las acículas entre un 10-36 % y las ramas entre un 15-17 % de la biomasa total según Gayoso., 2001, Montes de Oca-Cano *et al.*, 2011.

Estos resultados muestran cierta contradicción con el N acumulado en el suelo. El pie de surco parece tener mejor disponibilidad de agua y nutrientes por registrar un mayor rendimiento de madera. No es alcance de este trabajo indagar sobre este hallazgo. No obstante el mismo indica nuevamente que tanto la gestión del riego como el manejo del macizo forestal no son óptimas para todo el filtro verde.

4. Acumulación de nitrógeno en suelo y madera del FVP y FVS

Con los datos relevados, se encontró que el contenido de nitrógeno en el FVP (nitrógeno total en suelo más el nitrógeno total contenido en fuste), es mayor en la parte central de la parcela por la mayor acumulación en el suelo. El modelo aplicado tuvo un ajuste de $R^2=0,95$ y un $p=0,0001$.

Tabla 9: Acumulación de nitrógeno en FVP

Ubicación en el surco	Media (kg N ha ⁻¹)
FVP1(cabecera)	2505a
FVP2 (medio)	3043b
FVP3 (pie)	2509a

Ref: las letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$)

Con respecto a los datos encontrados en el FVS, también hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores de N total encontrados en la parte central del surco en relación a las otras posiciones ($R^2=0,68$ $p=0,032$).

Tabla 10: Acumulación de nitrógeno en FVS

Ubicación en el surco	Media (kg N ha ⁻¹)
FVS1(cabecera)	2965a
FVS2 (medio)	3337b
FVS3 (pie)	2914a

Ref: las letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$)

Estas diferencias en principio se explicaría por la supuesta desuniformidad del riego con un mayor aporte de N en el sector medio de cada surco. No obstante cabe resaltar que se comprobó que el mayor rendimiento de madera se midió en el sector de pie de surco. La diferencia relativa entre el contenido de N contenido en 20 cm de suelo y el de la madera hace que esta última no grave en el resultado final.

5. Tasa de acumulación anual de N en FVP Y FVS

Con el fin de establecer una tasa mínima y máxima de acumulación de N en FV funcionando de manera optimizada en cuanto al manejo del riego y macizo forestal se analizaron los valores medidos de cabecera + pie de surco para estimar la tasa mínima y medio de surco para estimar la tasa máxima de cada FV.

En primer lugar comparando los datos de suelo para FVP con el testigo se comprobó que el nitrógeno acumulado es muy variable va desde los 78 a los 600 kg N ha⁻¹. Si a este valor se adiciona lo acumulado en el fuste del árbol da como resultado un total de N acumulado en el sistema suelo planta de entre 200 a 700 kg N ha⁻¹ (Tabla 11).

Tabla 11: N total acumulado en FVP

Ubicación en el surco dentro de FVP	Suelo (kg N ha ⁻¹)	Testigo (kg N ha ⁻¹)	N Acumulado en suelo (kg N ha ⁻¹)	N en masa forestal (kg N ha ⁻¹)	Total Acumulado en FVP (kg N ha ⁻¹)
Cabecera + pie de surco	2432	2354	78	119	197
Medio de surco	2946	2354	592	97	689

Teniendo en cuenta que la antigüedad de la plantación de pinos es de 8 años la tasa de retención anual de N oscila 24 a 86 kg N ha⁻¹ para el FVP. (Tabla 12).

Tabla 12: Tasa anual de retención de N para FVP

Ubicación en el surco dentro de FVP	Total Acumulado en FVP (kg N ha ⁻¹)	Tasa anual de Retención (kg N ha ⁻¹)
Cabecera + pie de surco	197	24
Medio de surco	689	86

Similares resultados fueron obtenidos en FVS aunque con mayores valores acumulados en el suelo: entre los 400-850 kg N ha⁻¹. Si se le adiciona lo acumulado en el fuste del árbol, el resultado del N acumulado en el sistema suelo planta del FVS se encuentra en el rango de 580 a 990 kg N ha⁻¹ (Tabla 13).

Tabla 13: N total acumulado en FVS

Ubicación en el surco dentro de FVS	Suelo (kg N ha ⁻¹)	Testigo (kg N ha ⁻¹)	N Acumulado en suelo (kg N ha ⁻¹)	N en masa forestal (kg N ha ⁻¹)	Total Acumulado en FVS (kg N ha ⁻¹)
Cabecera + pie de surco	2831	2354	399	187	585
Medio de surco	3221	2354	867	117	984

Teniendo en cuenta que la antigüedad de FVS es de 13 años, se estimó una tasa de retención anual para este sistema que toma valores entre los 45-76 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Tabla 14: Tasa anual de retención de N para FVS

Ubicación en el surco dentro de FVS	Total Acumulado en FVS (kg N ha ⁻¹)	Tasa anual de Retención (kg N ha ⁻¹)
Cabecera + pie de surco	586	45
Medio de surco	984	76

Los aumentos de nitrógeno observados estuvieron en el rango del 15% - 30% para el suelo de los filtros verdes, fueron menores a los reportado por Nascimento *et al.*, (2004),

quienes constataron incrementos del 50% en el contenido del mismo luego de la aplicación de aguas residuales en suelos de la zona semiárida brasileña. En cuanto a la tasa de fijación anual de nitrógeno para los FV los valores estimados son similares a los encontrados por Hooker y Copton, (2003), Turner *et al.* (2008) y Berg y Dise. (2004). No obstante cuando se considera todo el FV en su conjunto la acumulación de N sólo ha sido en la producción de madera con tasas de acumulación de N entre 9 y 14 kg N ha⁻¹. Cabe destacar que si se considera la acumulación neta en la madera según el rendimiento medido en las posiciones del surco los valores de las tasas máximas ascienden a 18,3 kg N ha⁻¹ en pinos y 20,6 kg N ha⁻¹ en sauces (Tabla 7 y 8).

Se ha especulado que las diferencias encontradas son atribuibles a la gestión del riego para la acumulación de N en el suelo. Tomando como referencia la posición pie de surco, se encontró mayor producción de madera que en las otras posiciones y un valor de N en suelo menor que en medio de surco. Es posible entonces que el caudal de riego que recibe la parte final del surco podría ser el óptimo para la producción de madera pero no para acumular N en el suelo. Si se planteara esta situación se daría mayor valor al N fijado en la madera que al fijado en el suelo, escenario que simplificaría la posterior eliminación de ese N acumulado sobrante y evitaría que este quede en el suelo colmando su capacidad depuradora.

Por otra parte si hay condiciones de anegamiento prolongadas en el suelo se incrementaría la generación de óxidos de nitrógeno por reducción del N produciendo contaminación atmosférica. Estos hallazgos ameritan profundizar los estudios para optimizar el manejo del riego para darle prioridad a la acumulación de nitrógeno en suelo (que por su volumen es mucho más gravitante en el stock) o en madera.

CONCLUSIONES

- La acumulación de N en filtros verdes de *Salix* y *Pinus* sólo se registra en la madera producida en tasas de anuales que oscilan entre 9 y 20,6 Kg N ha⁻¹.
- Se comprobó un marcada desuniformidad en la acumulación del N en suelos y plantas para diferentes posiciones del surco que se atribuyen a una gestión no optimizada del riego.
- En condiciones optimizadas de gestión de riego, filtros verdes de *Salix* y *Pinus* utilizados como receptores finales de efluentes urbanos tratados pueden fijar N en sus estructuras orgánicas con tasas de acumulación de N mayores a los 20 Kg Ha⁻¹ reduciendo el riesgo de contaminación con N del ecosistema.
- Se observó un remanente entre lo retenido en los FV y el ingreso de N al mismo por el riego con agua residual que va en el orden de 128 – 370 Kg N ha⁻¹.

BIBLIOGRAFÍA

ACEÑOLAZA, P. G; L.P. ZAMBONI; J.F GALLARDO LANCHO. 2009. Aporte de hojarasca en bosques del predelta del río Paraná (Argentina).

ALIANZA POR EL AGUA. 2008. Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas. Centro de las nuevas tecnologías del agua de Sevilla (CENTA).

BERG, B. y N. DISE .2004. Calculating the long-terms table nitrogen sink in northern European forests. *Acta Oecologica* 26(1): 15-21.

BERTONCINI, E. I. 2008. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, v. I, n. (1), p. 152-169.

BUSTAMANTE, I. J. LILLO, A. DE MIGUEL y M. LEAL. 2010. La importancia de la caracterización del medio geológico como buenas prácticas en la regeneración de aguas mediante tecnologías extensivas. *Seguridad y Medio Ambiente*. 30 (117):

CANTERO G., ALBERTO; CANTU, MARIO P; CISNEROS, JOSE M; CANTERO, JUAN J; BLASARÍN, MÓNICA; DEGIOANNI, AMÉRICO; GONZALEZ, JORGE; BECERRA, VÍCTOR, GIL, GORACIO; DE PRADA, JORGE; DEGIOVANNI, SUSANA; CHOLAKY, CARMEN; VILLEGAS, MÓNICA; CABRERA, ADRIANA; ERIC, CARLOS. 1998. *Las Tierras y Aguas del sur de Córdoba*.

CRESPI, R.; O. PLEVICH; A. THUAR; L. GROSSO; C. RODRÍGUEZ; D. RAMOS; O. BAROTTO; M. SARTORI; M. COVINICH Y J. BOEHLER. 2007. *Manejo de Aguas Residuales Urbanas*. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

CRESPI, R; E, CAMACHO Y M. J, POLO. 2009. Riego subsuperficial con aguas residuales tratadas. *Rev. Ingeniería del Agua*. vol. XVI, No (2):145-156.

DEGIOANNI, A.; J. CISNEROS; Y, CHILANO; H, PAPES; R, CRESPI; A, CANTERO; O, PLEVICH; J, DE PRADA; H, GIL.2014. *Convenio de Cooperación Cooperativa Telefónica Adelia María Ltda*. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Servicio de Conservación y Ordenamiento de Tierras SeCyOT. Informe Técnico Diagnóstico y propuestas de utilización de los efluentes cloacales de la localidad de Adelia María.

DI RIENZO J.A.; F. CASANOVES; M.G. BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. *InfoStat versión 2014*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

EPA. 1988. *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, USA.

ESTELLER, M; I, MORELL. 1995. "Comportamiento de las especies nitrogenadas en una parcela experimental regada con aguas residuales urbanas depuradas".

FASCIOLO, G. E.; E. GABRIEL, J. MORÁBITO, F. TOZZI. 2006. Impactos agroeconómicos del riego con efluentes domésticos tratados en cultivos de ajo y cebolla.

GALLOWAY, J.N., F.J. DENTENER, D.G. CAPONE, E.W. BOYER, R.W. 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry* 70(2): 153-226.

GAYOSO AGUILAR, J.2001."Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile".

GALBÁN RODRÍGUEZ, L. 2009. El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, VOL. XXX, No. 1.

GIL, H; J. CISNEROS; J, DE PRADA; J, PLEVICH; A, SANCHEZ DELGADOLL. 2013. Tecnologías verdes para el aprovechamiento de aguas residuales urbanas: análisis económico. *Rev. Ambient. Agua* [online]. vol. VIII, n.(3), pp. 118-128. ISSN 1980993X. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1174>.

GROSSO, L; F. SALUSSO; D. RAMOS; R. CRESPI Y M. PUGLIESE. 2014. Respuesta de un cultivo de ajo regado con efluentes urbanos tratados, aplicación de biosólidos y fertilización líquida. *Horticultura Argentina* 33(81): May.-Ago. 2014

HOOKER, T y COMPTON J. 2003. Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment. *Ecological Applications*, 13(2), 2003, pp. 299-313

INTA GOBIERNO DE CORDOBA.1986. *Cartas de suelos de la República Argentina*. Hoja La Cecilia.

INTA. Agencia de Córdoba ambiente.2006. *Los Suelos*.

KIM, D. Y. AND J. A. BURGER 1997. Nitrogen transformations and soil processes in a wastewater-irrigated, mature Appalachian hardwood forest. *Forest Ecology and Management* 90(1): 1-11.

KLUTE, A. 1986. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agron. Monograph No 9 ASA, SSA. Madison, Wisconsin USA.

LIBER GALBÁN RODRÍGUEZ. 2009. “El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba”. Instructor. Dpto. Ing. Hidráulica. Universidad de Oriente E- Ingeniería Hidráulica Y Ambiental, Vol. xxx, No. 1.

LÓPEZ, M; G, CONCHA; F, LANFUENTE;C, PALOMARES. 1998. Filtros verdes en pequeños municipios. Congreso del Agua. Zaragoza, España.

MONTES DE OCA-CANO, EDUARDO; MAURICIO ROJAS-ASCENSIÓN; PEDRO GARCÍA RAMÍREZ; JUAN ABEL NÁJERA LUNA; JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ; JOSÉ DE JESÚS GRACIANO-LUNA. 2012. Estimación de carbono almacenado en la regeneración natural de pinus durangensis. Martínez en el salto, Durango. Colombia Forestal VOL. XV (2): 151 – 159.

MORÁBITO J., S. SALATINO, G. ANGELLA Y D. PRIETO. 2008. Evaluación de campo al riego de los agricultores: casos prácticos y ventajas para la difusión de la tecnología apropiada; asesoramiento a los regantes para la modernización de los regadíos y su ambientalidad. (http://ceer.isa.utl.pt/cyted/2008/guatemala/cursos/Curso13JMorabito_DPrieto.pdf).

NASCIMENTO C.W.A, D.A.S. BARROS, E. E. C. MELO & A. B. OLIVEIRA. 2004. Alterações Químicas Em Solos E Crescimento De Milho E Feijoeiro Após Aplicação De Lodo De Esgoto. R. Bras. Ci. Solo, 28:385-392.

NELSON D. W; L. E. SOMMERS. 1982. Total carbon, Organic carbon and Organic Matter in A. Klute (ed.) Methods of soil analysis Chemical and Microbiological Properties Part 2. Ed Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI. p: 539-577.

PAGE, A. L. 1982. Methods of soil analysis Part 1 Number 9. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of American, Inc. Segunda edición. Madison, Wisconsin. USA. p:1159.

PLEVICH, J. O; A. R. S, DELGADO; C, SAROFF; J. C, TARICO; R. J, CRESPI; O, BAROTTO. 2012. El cultivo de alfalfa utilizando agua de perforación, agua residual urbana y precipitaciones. Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. XVI, n. (12), p. 1353-1358. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012001200013>.

ROJAS, R. 2002. Curso Internacional “gestión integral de tratamiento de aguas residuales”. Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

TURNER, J., M. LAMBERT. 2008. Long term accumulation of nitrogen in soils of dry mixed eucalypt forest in the absence of fire. *Forest Ecology and Management* 256(5): 1133-1142.

VALENZUELA A. 1997. Estudio comparativo de eficiencia de riego en california (USA) y valle central de Chile. *Agro sur*, dic. 1997, vol. XXV, No.2, p.203-212. ISSN 0304-8802.

VARALLO, A. C. T; J. M. de SOUZA; S. S. R, REZENDE; C. F, SOUZA. 2011. Valiação da qualidade sanitária da alface (*Lactuca sativa*, L.) irrigada com água de reúso comparada com a mostras comercializadas. *Ambi-Água*, v. VI, n. 2, p. 295-304. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.201>.

WALKLEY, A. AND BLACK, A. 1934. An examination of the method for determinations soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci* 37:29–38.

WHITE, L. L; D. R. ZAK; B, V BARNES. 2004. Biomass accumulation and soil nitrogen availability in an 87-year-old *Populus grandidentata* chronosequence. *Forest Ecology and Management* 191(1:3): 121-127.

ZAMBONI, PAMELA Y ACEÑOLAZAPABLO. 2002. Aporte al conocimiento de ciclos de materia orgánica (MO) en formaciones boscosas de la llanura de inundación del Río Paraná: Area PNPD.

ZAMORA, RAMON; NECTALÍ JOSÉ, RODRIGUEZ GUEVARA; DUILIO GILBERTO, TORRES RODRIGUEZ Y HÉCTOR JOSÉ, YENDIS COLINA. 2009. Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. *Agric. Téc. Méx.* vol. xxxv, n.2, pp. 211-218. ISSN 05682517.

ANEXOS

ANEXO 1:

CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE APORTE DE NITRÓGENO POR EL EFLUENTE.

Riego: 766 mm año⁻¹

$$0,766 \text{ m} * 10.000 \text{ m}^2 * 1000 \text{ lts} = 7.660.000 \text{ l ha}^{-1}.$$

Para un contenido de N total mínimo de 20 mg lts⁻¹:

1 lts----- 20 mg l⁻¹ N total

$$7.660.000 \text{ l ha}^{-1} \cdot \text{-----} \cdot x = 153.200.000 \text{ mg ha}^{-1} \text{ N total. (Aprox. 153 kg N total ha}^{-1}\text{)}$$

Para un contenido de N total máximo de 60 mg lts⁻¹:

1 lts-----60 mg l⁻¹ N total

$$7.660.000 \text{ l ha}^{-1} \cdot \text{-----} \cdot x = 459.600.000 \text{ mg ha}^{-1} \text{ N total. (Aprox. 459,6 kg N total ha}^{-1}\text{)}$$

Para un contenido mínimo de 8 mg l⁻¹ de nitratos en el agua de riego

1 lts-----8 mg

$$7.660.000 \text{ lts} \cdot \text{-----} \cdot x = 61.280.000 \text{ mg ha}^{-1} \text{ NO}_3. (13,8 \text{ Kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}\text{)}$$

Para un contenido de 52 mg l⁻¹ de nitratos en el agua de riego

1 lts-----52 mg

$$7.660.000 \text{ lts} \cdot \text{-----} \cdot x = 398.320.000 \text{ mg ha}^{-1} \text{ NO}_3. (89,9 \text{ Kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}\text{)}$$

ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS

- Determinación de Nitrógeno Total (Método Kjeldahl)

1- Digestión: se pesa una muestra de suelo, previamente tamizada (malla de 2 mm) que contenga alrededor de 1 mg de N (1 gr de suelo) y se la coloca en un balón de digestión para micro-kjeldahl. A continuación se añaden 1,1 gr de la mezcla catalítica y 3 ml de H₂SO₄ se mezcla el contenido imprimiendo al balón un movimiento giratorio, teniendo precaución que no quede muestra adherida a las paredes, y se coloca un embudo en boca del balón para evitar pérdida de gases (procedimiento bajo campana) La digestión se realiza en un soporte especial para el método, ir girando a intervalos regulares para que toda la muestra reciba la misma cantidad de calor. La temperatura varía de menor (los primeros 30 min) a mayor hasta que la muestra quede completamente carbonizada (muestra un color grisáceo). Calentar a velocidad excesiva podría generar pérdidas de NH₃.

Cuando se haya enfriado el recipiente, se agregan 20 ml de agua destilada y se mezcla. Paralelamente se realiza un blanco agregando a un balón mezcla catalítica, H₂SO₄ en igual cantidad que la agregada a la muestra.

2- Destilación: se transfiere el contenido del balón un recipiente, se agregan 20 ml de solución de Na(OH)₂ AL 40%, se vierte la mezcla al soporte adecuado para realizar la destilación.

Se destilan aproximadamente 50 ml recibiendo en un Erlenmeyer de 100 ml que contiene 25 ml de una solución ácido bórico-indicador al 4%.

3- Titulación: el ácido bórico se valora por retroceso con solución valorada de H₂SO₄ 0,01 N. Se toma como punto final de la titulación cuando desaparece el color azul.

- Determinación de Materia Orgánica (Método de Walkley y Black)

1- Oxidación de la materia orgánica: de la muestra de suelo a analizar, previamente tamizada con tamiz de 0,5 mm, se pesan exactamente 0,5 g y se introducen en un Erlenmeyer de 250 ml.

2- A continuación se añaden 5 ml exactamente medidos de Cr₂O₇/K₂ 1N, imprimiendo al Erlenmeyer un movimiento de giro para lograr íntimo contacto entre el suelo y la solución.

3- Se añaden, desde el dispenser automático lentamente 10 ml de H₂SO₄ y se continúa mezclando durante 1 minuto.

4- Se deja la muestra reposar durante 30 minutos. Simultáneamente se realiza una valoración blanco de la misma forma.

- 5- Valoración por retroceso: pasados los 40 min, se diluye la solución agregando agua destilada hasta completar los 100 ml. Seguidamente se transfiere una alícuota de 20 ml a un Erlenmeyer de 125 ml y se agregan 40 ml de agua destilada, 2 ml de H₂SO₄ concentrado y 4 gotas de indicador N- fenilantranílico, se agita y mezcla.
 - 6- Se valora esta disolución con sal de Mohr 0,1 N, procedente de una bureta hasta viraje de rojo a verde brillante.
- Determinación de Densidad aparente (Método del cilindro)

A campo, se evaluó Dap mediante el método del cilindro. Se colocaron los cilindros sobre la superficie y se dejó caer la pesa hasta que el borde superior del cilindro externo coincidiera con la superficie del suelo, permitiendo una penetración vertical del mismo. Posteriormente, con la ayuda de una pala, se extrajo el juego de cilindros y se los separó. Luego se emparejaron los bordes del cilindro interior con un cuchillo y se colocó el contenido dentro de una bolsa de polietileno para evitar pérdidas de peso y cambios de humedad. El contenido fue dejado colocado en estufa a 105 °C, hasta peso constante y se lo pesó. Se extrajo una alícuota de suelo para determinar porcentaje de humedad. La Dap se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Dap (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Peso suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

- Cubicación de árboles en pie

La determinación del volumen de árboles en pie se basa en el conocimiento de tres parámetros: área transversal, altura del árbol, y coeficiente mórfico. Para este último se utilizó un valor normal de 0,5.

Para la determinación de altura se utilizó el clinómetro de SUUNTO, calculando la altura por métodos trigonométricos a una distancia de 15 m.

El diámetro a la altura de pecho (DAP) se midió con un centímetro la circunferencia del fuste a la altura de 1,30 y se dividió el valor por 3,14, y luego dividido 100 para obtener el DAP en metros.

Se estratificó la masa por clases diamétricas y se eligió dentro de las mismas los árboles promedio en diámetro y altura. Las estimaciones de producción de madera se hicieron teniendo en cuenta los valores de cubicación obtenidos por punto de muestreo, así la variabilidad encontrada en la producción por sectores queda contemplada en los resultados finales.

ANEXO 3: CÁLCULOS DEL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN SUELO

MUESTRA	PROF (cm)		DAP	%N	PESO HOR	N EN Kg/ha	SUMA EN 20 CM	PONDERADO	SUMA PONDERADA
Muestras del lomo									
LOMA P 1	0-10	0,10	1,23	0,1232	1225403	1509,70	2729,29	2092,27	SUMA DEL PONDERADO DEL LOMO Y EL PONDERADO DEL FONDO DE SURCO.
LOMA P 1	10-20	0,10	1,38	0,0882	1382760	1219,59			
LOMA P 2	0-10	0,10	1,23	0,1302	1225403	1595,47	3299,03	2529,04	
LOMA P 2	10-20	0,10	1,38	0,1232	1382760	1703,56			
LOMA P 3	0-10	0,10	1,23	0,084	1225403	1029,34	2597,39	1991,16	
LOMA P 3	10-20	0,10	1,38	0,1134	1382760	1568,05			
Muestras del fondo de surco									
P1.1	0-10	0,10	1,12	0,07	1122581	785,81	1392,32	324,83	2417,10
P1.1	10-20	0,10	1,31	0,0462	1312794	606,51			
P1.2	0-10	0,10	1,12	0,1064	1122581	1194,43	1856,07	433,02	2525,30
P1.2	10-20	0,10	1,31	0,0504	1312794	661,65			
P1.3	0-10	0,10	1,12	0,0686	1122581	770,09	1119,29	261,13	2353,40
P1.3	10-20	0,10	1,31	0,0266	1312794	349,20			
P2.1	0-10	0,10	1,12	0,0966	1122581	1084,41	1911,47	445,95	2974,99
P2.1	10-20	0,10	1,31	0,063	1312794	827,06			
P2.2	0-10	0,10	1,12	0,098	1122581	1100,13	1908,81	445,33	2974,36
P2.2	10-20	0,10	1,31	0,0616	1312794	808,68			
P2.3	0-10	0,10	1,12	0,0784	1122581	880,10	1541,75	359,69	2888,73
P2.3	10-20	0,10	1,31	0,0504	1312794	661,65			
P3.1	0-10	0,10	1,12	0,112	1122581	1257,29	1918,94	447,69	2438,85
P3.1	10-20	0,10	1,31	0,0504	1312794	661,65			
P3.2	0-10	0,10	1,12	0,0784	1122581	880,10	1302,82	303,95	2295,11
P3.2	10-20	0,10	1,31	0,0322	1312794	422,72			
P3.3	0-10	0,10	1,12	0,077	1122581	864,39	1305,49	304,57	2295,73
P3.3	10-20	0,10	1,31	0,0336	1312794	441,10			
Muestras del lomo									
LOMA S 1	0-10	0,10	1,30	0,1316	1298665	1709,04	2999,27	2299,24	
LOMA S 1	10-20	0,10	1,38	0,0938	1375506	1290,22			
LOMA S 2	0-10	0,10	1,30	0,147	1298665	1909,04	3218,52	2467,32	
LOMA S 2	10-20	0,10	1,38	0,0952	1375506	1309,48			
LOMA S 3	0-10	0,10	1,30	0,119	1298665	1545,41	2893,41	2218,09	
LOMA S 3	10-20	0,10	1,38	0,098	1375506	1348,00			
Muestras del fondo de surco									
S1.1	0-10	0,10	0,77	0,1414	768551	1086,73	1900,89	443,48	2742,72
S1.1	10-20	0,10	1,35	0,0602	1352415	814,15			
S1.2	0-10	0,10	0,77	0,3066	768551	2356,38	3473,47	810,36	3109,60
S1.2	10-20	0,10	1,35	0,0826	1352415	1117,10			
S1.3	0-10	0,10	0,77	0,1036	768551	796,22	1458,90	340,36	2639,60
S1.3	10-20	0,10	1,35	0,049	1352415	662,68			
S2.1	0-10	0,10	0,77	0,2632	768551	2022,83	2836,98	661,87	3129,19
S2.1	10-20	0,10	1,35	0,0602	1352415	814,15			
S2.2	0-10	0,10	0,77	0,2618	768551	2012,07	2807,29	654,94	3122,26
S2.2	10-20	0,10	1,35	0,0588	1352415	795,22			
S2.3	0-10	0,10	0,77	0,0462	768551	355,07	4047,16	944,20	3411,52
S2.3	10-20	0,10	1,35	0,273	1352415	3692,09			
S3.1	0-10	0,10	0,77	0,168	768551	1291,17	1859,18	433,75	2651,83
S3.1	10-20	0,10	1,35	0,042	1352415	568,01			
S3.2	0-10	0,10	0,77	0,1484	768551	1140,53	1878,95	438,36	2656,45
S3.2	10-20	0,10	1,35	0,0546	1352415	738,42			
S3.3	0-10	0,10	0,77	0,168	768551	1291,17	2143,19	500,01	2718,09
S3.3	10-20	0,10	1,35	0,063	1352415	852,02			

Testigo	PROF (cm)		DAP	%N	PESO HOR	N EN Kg/ha	SUMA EN 20 CM	PONDERADO	SUMA PONDERADA
T1.1	0-10	0,10	1,36	0,0994	1360489	1352,33	3199,87	2453,02	2831,03
T1.1	10-20	0,10	1,36	0,1358	1360489	1847,54			
T1.2	0-10	0,10	1,36	0,1344	1360489	1828,50	2666,56	2044,18	2422,19
T1.2	10-20	0,10	1,36	0,0616	1360489	838,06			
T1.3	0-10	0,10	1,36	0,0756	1360489	1028,53	2171,34	1664,55	2042,56
T1.3	10-20	0,10	1,36	0,084	1360489	1142,81			

* El valor ponderado se obtiene multiplicando el contenido de Nitrogeno por 76,66 % para el caso del lomo y 23,33% para el caso del fondo de surco, como se explico anteriormente. Luego para obtener el valor final para el punto de muestreo se suman los valores de las dos ponderaciones correspondientes a ese punto de muestreo.

TABLA DE RESULTADOS N EN SUELO SIMPLIFICADA
PINOS

MUESTRA	PROM. POR SUBMUESTREO	PROM. POR PUNTO DE MUESTREO
P1	2417,10	2431,93
	2525,30	
	2353,40	
P2	2974,99	2946,03
	2974,36	
	2888,73	
P3	2438,85	2343,23
	2295,11	
	2295,73	
SAUCES		
S1	2742,72	2830,64
	3109,60	
	2639,60	
S2	3129,19	3220,99
	3122,26	
	3411,52	
S3	2651,83	2675,46
	2656,45	
	2718,09	
TESTIGO		
T1	2831,03	
T2	2422,19	2354,18
T3	2042,56	
T4	2120,95	

ANEXO 4: CÁLCULOS DE CUBICACIÓN DE PINOS POR PUNTOS DE MUESTREO.

Cf: El coeficiente de forma usado fue de 0,5.

ARBOLES TIPO PARA PINOS:

PINOS	DAP	ALTURA	AT
MUESTRA 1	0,166m	6m	0,022m ²
MUESTRA 2	0,162m	7m	0,021m ²
MUESTRA 3	0,207m	8m	0,034m ²

VOLUMEN TOTAL MADERA PINOS MUESTRA 1		
VOL. APARENTE (árbol tipo)		
at*h	0,1292	m ³
VOL. REAL		
Vol aparente *Cf	0,0646	m ³
VOL. TOTAL		
VOL. REAL *N ARBOLES/ha	71,79	m ³ ha ⁻¹

VOLUMEN TOTAL MADERA PINOS MUESTRA 2		
VOL. APARENTE (arbol tipo)		
at*h	0,1450	m ³
VOL. REAL		
Vol aparente *Cf	0,0725	m ³
VOL. TOTAL		
VOL. REAL *N ARBOLES/ha	80,57	m ³ ha ⁻¹

VOLUMEN TOTAL MADERA PINOS MUESTRA 3		
VOL. APARENTE (arbol tipo)		
at*h	0,2692	m ³
VOL. REAL		
Vol aparente *Cf	0,1346	m ³
VOL. TOTAL		
VOL. REAL *N ARBOLES/ha	149,57	m ³ ha ⁻¹

ARBOLES TIPO PARA SAUCES:

SAUCES	DAP	ALTURA	AT
MUESTRA 1	0,19	7	0,029
MUESTRA 2	0,20	6,5	0,031
MUESTRA 3	0,21	7	0,036

VOLUMEN TOTAL MADERA SAUCES MUESTRA 1		
VOL. APARENTE (árbol tipo)		
at*h	0,2006	m ³
VOL. REAL		
Vol aparente *Cf	0,100	m ³
VOL. TOTAL		
VOL. REAL *N ARBOLES/ha	133,72	m ³ ha ⁻¹

VOLUMEN TOTAL MADERA SAUCES MUESTRA 2		
VOL. APARENTE (árbol tipo)		
at*h	0,1990	m ³
VOL. REAL		
Vol aparente *Cf	0,100	m ³
VOL. TOTAL		
VOL. REAL *N ARBOLES/ha	132,66	m ³ ha ⁻¹

VOLUMEN TOTAL MADERA SAUCES MUESTRA 3		
VOL. APARENTE (árbol tipo)		
at*h	0,2503	m ³
VOL. REAL		
Vol aparente *Cf	0,125	m ³
VOL. TOTAL		
VOL. REAL *N ARBOLES/ha	166,83	m ³ ha ⁻¹

ANEXO 5: PORCENTAJES DE NITRÓGENO POR MUESTRA

PINOS

Punto de muestreo	Promedio % N	Madera m ³ ha ⁻¹	Madera Kg ha ⁻¹	Nitrógeno Kg N ha ⁻¹
Cabecera	0,2035	71,79	35895,71	73,04
Medio de surco	0,2408	80,57	40283,11	97,00
Pie de surco	0,2212	149,57	74782,74	165,42

SAUCES

Punto de muestreo	Promedio % N	Madera m ³ ha ⁻¹	Madera Kg ha ⁻¹	Nitrógeno Kg N ha ⁻¹
Cabecera	0,2389	133,72	56164,30	134,20
Medio de surco	0,2100	132,66	55715,59	117,00
Pie de surco	0,3407	166,83	70069,28	238,70