

CAPITULO 9

IMPACTO ECONÓMICO DEL USO DE LODOS DE PISCICULTURA COMO POTENCIAL FUENTE DE NUTRIENTES EN AGRICULTURA

Christian Hepp

A través del presente proyecto se ha determinado que el uso de lodos de piscicultura puede aportar cantidades significativas de fósforo y nitrógeno al suelo y a través de éste a las plantas. El lodo tiene cantidades importantes de nitrógeno y fósforo, y desde el punto de vista de producción vegetal son de gran importancia las fracciones más solubles, que están disponibles para las plantas. Es el caso del nitrógeno disponible (específicamente amonio y nitrato) y el fósforo disponible (fósforo determinado por método Olsen).

Las fracciones orgánicas pueden aportar posteriormente nutrientes a través de la mineralización, lo que ocurrirá a mediano plazo, en la medida de que se den las condiciones ambientales adecuadas.

Resulta interesante evaluar también desde una perspectiva económica el uso de lodos de piscicultura y es justamente en relación a estos dos nutrientes, nitrógeno y fósforo, donde se producen los efectos más importantes para el sistema productivo.

Debe indicarse que lo que se indica más adelante se basa en una situación hipotética, en que se reglamente y autorice eventualmente el uso productivo de los lodos de pisciculturas en sistemas agropecuarios. Aunque hay diferentes alternativas, se evalúa aquí la utilización de lodos que llegan a una laguna de sedimentación para su estabilización, la que puede ser operada a costo de la industria acuícola, la que luego los entregaría para aplicación en suelos. De esta forma, desde el punto de vista del usuario del lodo (sector agropecuario), éste puede ser considerado de costo cero en el potrero.

En este análisis se consideran las implicancias económicas directas de reemplazar los fertilizantes comúnmente utilizados en agricultura por lodos de piscicultura. Se analizan diferentes escenarios de praderas y cultivos: pradera mixta (mezcla de pasto ovillo con tréboles); alfalfa de latencia invernal; cultivo de avena o cebada; y cultivo de nabo forrajero o rutabaga. Sólo se evalúa la sustitución de fertilización convencional con lodos de piscicultura.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el proyecto, la composición de los lodos es variable y con ello cambia obviamente el aporte de N y P. En este sentido importará la concentración de los nutrientes en el lodo, pero también, de forma fundamental, el contenido de materia seca del mismo (inverso del contenido de humedad). En el cuadro 9.1 se aprecia cómo varía el aporte de los componentes N y P disponibles, al variar el contenido de materia seca del lodo, en este caso entre 3% y 9%.

Nutriente			%MS lodo							
			3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	
N-disponible	2200	mg/kg	66	88	110	132	154	176	198	g/m3 lodo
P-disponible	3500	mg/kg	105	140	175	210	245	280	315	g/m3 lodo

CUADRO 9.1. Composición promedio del lodo utilizado en cálculos.

Se pueden así construir tablas de composición de nutrientes según los volúmenes aplicados. En el cuadro 9.2 el caso del nitrógeno disponible (nitrato + amonio) se tiene la siguiente tabla, para volúmenes que van desde 25 m³/ha hasta 300 m³/ha y con valores de materia seca que van de 3 a 9%:

	%MS	m3/ha							
		25	50	75	100	150	200	250	300
N kg/ha	3%	1,65	3,30	4,95	6,60	9,90	13,20	16,50	19,80
	4%	2,20	4,40	6,60	8,80	13,20	17,60	22,00	26,40
	5%	2,75	5,50	8,25	11,00	16,50	22,00	27,50	33,00
	6%	3,30	6,60	9,90	13,20	19,80	26,40	33,00	39,60
	7%	3,85	7,70	11,55	15,40	23,10	30,80	38,50	46,20
	8%	4,40	8,80	13,20	17,60	26,40	35,20	44,00	52,80
	9%	4,95	9,90	14,85	19,80	29,70	39,60	49,50	59,40

CUADRO 9.2. Nitrógeno disponible en lodos según volumen aplicado y contenido de materia seca (base lodo indicado en cuadro 8.1.). Expresado como kg N/ha.

El cuadro 9.3 presenta las cantidades de fósforo disponible para diferentes combinaciones de porcentaje de materia seca del lodo y volumen a aplicar. Asimismo, se evalúan dos condiciones de intensidad de trabajo, es decir uno con niveles “normales” de fertilización de nitrógeno y fósforo y otro de niveles “altos” de aplicación.

P ₂ O ₅ , kg/ha	%MS	m ³ /ha							
		25	50	75	100	150	200	250	300
	3%	6,01	12,02	18,03	24,05	36,07	48,09	60,11	72,14
	4%	8,02	16,03	24,05	32,06	48,09	64,12	80,15	96,18
	5%	10,02	20,04	30,06	40,08	60,11	80,15	100,19	120,23
	6%	12,02	24,05	36,07	48,09	72,14	96,18	120,23	144,27
	7%	14,03	28,05	42,08	56,11	84,16	112,21	140,26	168,32
	8%	16,03	32,06	48,09	64,12	96,18	128,24	160,30	192,36
	9%	18,03	36,07	54,10	72,14	108,20	144,27	180,34	216,41

CUADRO 9.3. Fósforo disponible en lodos según volumen aplicado y contenido de %MS: (base lodo indicado en tabla composición). Expresado como kg P₂O₅/ha

Para graficar los efectos de la aplicación de lodo en sistemas agropecuarios, se seleccionaron cuatro alternativas de praderas o cultivos, y para ello se consideraron los siguientes parámetros productivos:

FERTILIZACIÓN NORMAL				
Tipo de cultivo	Especie(s)	Rendimiento esperado	Fertilización nitrogenada	Fertilización fosfatada
		kg MS/ha	kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha
Pradera mixta	Pasto ovillo x trébol blanco x trébol rosado	6.500	25	40
Alfalfa	alfalfa de latencia invernal	9.000	0	30
Cereal	avena o cebada	8.000	60	40
Brassica forrajera	nabo forrajero o Rutabaga	8.000	70	40
FERTILIZACIÓN ALTA				
Tipo de cultivo	Especie(s)	Rendimiento esperado	Fertilización nitrogenada	Fertilización fosfatada
		kg MS/ha	kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha
Pradera mixta	Pasto ovillo x trébol blanco x trébol rosado	9.000	60	80
Alfalfa	alfalfa de latencia invernal	12.000	0	50
Cereal	avena o cebada	11.000	100	70
Brassica forrajera	nabo forrajero o rutabaga	13.000	100	60

En praderas y cultivos, para aportar nitrógeno y fósforo es común el uso de urea y superfosfato triple, respectivamente, como fuentes fertilizantes. La urea aporta nitrógeno (45% N) y el superfosfato triple (SFT; 46% P₂O₅) fósforo. Los precios de mercado (puesto Coyhaique) considerados fueron \$ 358 por kg + IVA para urea y \$ 361 por kg + IVA para el superfosfato.

Se calculó el costo en fertilizante para cada pradera y cultivo que utiliza urea y superfosfato triple. De esta manera, se obtiene el costo total de ambos nutrientes para cada alternativa, que fluctúa entre \$ 23.543/ha en el caso de alfalfa en el sistema “normal” hasta \$ 134.490/ha en el caso del cultivo de cereal en el sistema de fertilización alto (cuadro 9.4).

De esta forma, el costo directo asociado a los nutrientes N y P fluctúa entre \$3 y \$11 por kilogramo de materia seca producida por el cultivo o praderas en el sistema “normal” (rendimientos moderados) y entre \$5 y \$12 en el sistema “alto” (rendimiento alto). En este ejemplo se evalúa solamente la sustitución de fertilizantes por lodo. No se considera factores de aplicación en terreno.

FERTILIZANTE “NORMAL”

Tipo de cultivo	Equivalente urea/ha	Equivalente superfosfato triple/ha	Costo urea	Costo SFT	Costo N+P	costo/kg MS (base N y P)*
	kg/ha	kg/ha	\$/ha	\$/ha	\$/ha	\$/kg MS
Pradera mixta	55,6	87,0	19.889	31.391	51.280	\$ 8
Alfalfa	0,0	65,2	0	23.543	23.543	\$ 2,6
Cereal	133,3	87,0	47.733	31.391	79.125	\$ 10
Brásica	155,6	87,0	55.689	31.391	87.080	\$ 11
FERTILIZANTE ALTO						
Tipo de cultivo	Equivalente urea/ha	Equivalente superfosfato triple/ha	Costo urea	Costo SFT	Costo N+P	costo/kg MS (base N y P)*
	kg/ha	kg/ha	\$/ha	\$/ha	\$/ha	\$/kg MS
Pradera mixta	133,3	173,9	47.733	62.783	110.516	\$ 12
Alfalfa	0,0	108,7	0	39.239	39.239	\$ 3,2
Cereal	222,2	152,2	79.556	54.935	134.490	\$ 12
Brásica	222,2	130,4	79.556	47.087	126.643	\$ 10

*costo solamente asociado al fertilizante N y P.

CUADRO 9.4. Fertilizante N y P utilizado para cada alternativa de pradera o cultivo (kg/ha) y costo asociado.

Para calcular la influencia que tiene la incorporación de lodo en el sistema de fertilización, se utiliza en este ejemplo un lodo estabilizado, con un 7% de materia seca, obtenido del sedimento de una laguna de decantación, y una aplicación de 100 m³/ha. En base a las tablas ini-

ciales, se calcula el aporte que hace este lodo en términos de nitrógeno y fósforo disponible. Este lodo en particular aporta, en nutrientes disponibles, el equivalente a 15,4 kg N/ha y 56,1 kg P₂O₅/ha. Este aporte significa que, en la mayoría de los casos se suple un porcentaje muy alto del fósforo requerido por el cultivo o pradera. En algunos casos aporta incluso más de lo requerido, no haciéndose necesaria la suplementación con fósforo por fertilizantes comerciales. En cuanto a nitrógeno, el aporte fluctúa entre un 22% y 61% en el sistema “normal”; y entre un 15% a 51% en el sistema más intensivo (“alto”), como se indica en el cuadro 9.5.

Consecuentemente, en el primer sistema no se hace necesario aportar fósforo adicional, aunque si es necesario agregar nitrógeno en la mayoría de los casos. En el nivel de fertilización “alto”, el reemplazo de fósforo por lodo es bastante elevado también, aunque se hace necesario suplementar nitrógeno en mayor cantidad (cuadro 8.5).

CON LODO						
“NORMAL”		100 m ³ , 7%				
Tipo de cultivo	aporte N	aporte P ₂ O ₅	aporte N	aporte P	saldo N por aplicar	saldo P por aplicar
	kg/ha	kg/ha	%	%	kg/ha	kg/ha
Pradera mixta	15,40	56,11	61,6	140,3	9,6	0,0
Alfalfa	15,40	56,11		187,0	0,0	0,0
Cereal	15,40	56,11	25,7	140,3	44,6	0,0
Brásica	15,40	56,11	22,0	140,3	54,6	0,0

“ALTO”						
Tipo de cultivo	aporte N	aporte P ₂ O ₅	aporte N	aporte P	saldo N por aplicar	saldo P por aplicar
	kg/ha	kg/ha	%	%	kg/ha	kg/ha
Pradera mixta	15,40	56,11	25,7	70,1	44,6	23,9
Alfalfa	15,40	56,11		112,2	0	0,0
Cereal	15,40	56,11	15,4	80,2	84,6	13,9
Brásica	15,40	56,11	15,4	93,5	84,6	3,9

CUADRO 9.5. Aportes de nitrógeno (N) y fósforo (P₂O₅) disponible de 100 m³/ha de lodo con 7% de materia seca y porcentaje de aporte para diferentes praderas o cultivos.

El ahorro por concepto de fertilización llega a 100% en el caso de pradera mixta y alfalfa, y entre 29-35% en el caso de cultivos en el nivel “normal”. Con el nivel de fertilización “alto”, los montos cubiertos varían de 11% a 58% del costo de fertilizante nitrogenado y fosfatado (cuadro 9.6).

FERTILIZACIÓN “NORMAL”

Tipo de cultivo	Valorización reemplazo urea	Valorización reemplazo SFT	Valorización N+P aplicado con lodo	costo/kg MS (base N y P)	Diferencia de costo (ahorro)	Lodo cubre el % de N y P en:
	\$/ha	\$/ha	\$/ha	\$/kg MS	\$/ha	%
Pradera mixta	12.252	44.030	56.282	0,00	51.280	100,0%
Alfalfa		44.030	44.030	0,00	23.543	100,0%
Cereal	12.252	44.030	56.282	2,86	22.843	28,9%
Brásica	12.252	44.030	56.282	3,85	30.798	35,4%
FERTILIZACIÓN “ALTA”						
Tipo de cultivo	Valorización reemplazo urea	Valorización reemplazo SFT Costo SFT ahorrado	Costo N+P ahorrado	costo/kg MS (base N y P)	Diferencia de costo	Lodo cubre el % de N y P en:
	\$/ha	\$/ha	\$/ha	\$/kg MS	\$/ha	%
Pradera mixta	12.252	44.030	56.282	6,25	54.234	49,1%
Alfalfa		44.030	44.030	4,69	39.239	10,8%
Cereal	12.252	44.030	56.282	5,12	78.209	58,2%
Brásica	12.252	44.030	56.282	4,33	70.361	55,6%

CUADRO 9.6. Estimación del ahorro generado por uso de lodo de piscicultura en cuatro alternativas productivas y porcentaje del requerimiento del cultivo que se aporta.

Prácticamente en todas las situaciones, la aplicación de lodo de piscicultura cubre todo el requerimiento de fósforo por parte de praderas y cultivos, mientras que el nitrógeno se reemplaza entre 22-62% en el nivel de fertilización “normal” y 15-51% en el nivel “alto” (cuadro 9.7).

Tipo de cultivo	Fertilización “normal”		Fertilización “alta”	
	Cubre N en %:	Cubre P en %:	Cubre N en %:	Cubre P en %:
	%	%	%	%
Pradera mixta	61,6%	100,0%	25,7%	89,6%
Alfalfa		100,0%		100,0%
Cereal	25,7%	100,0%	15,4%	100,0%
Brásica	22,0%	100,0%	15,4%	100,0%

CUADRO 9.7. Porcentaje de N y P requerido que es reemplazado por la aplicación de lodo.

De esta forma, la aplicación de lodo de piscicultura tiene un impacto económico importante en los sistemas de producción agropecuarios analizados, ya que se logra reducir los costos de fertilización fosfatada y nitrogenada en porcentajes muy importantes. El uso de 100 m³ de lodo con 7% de materia seca, en este ejemplo permitió ahorrar \$ 12.252/ha en urea (fertilizante nitrogenado) y \$ 56.282/ha en superfosfatos. El aporte es relevante, ya que los fertilizantes son habitualmente un componente importante del costo total de producción en sistemas ganaderos. Otra consideración relevante es que el lodo aplica también fracciones no disponibles, pero que en el mediano plazo pueden mineralizarse parcialmente y ofrecer así un efecto residual en los suelos en que se aplica.

También resulta interesante considerar que para obtener 1 m³ de lodo de 7% de materia seca, como el que se usa en el ejemplo precedente, es necesario sedimentar al menos 7 m³ de lodo fresco de 1% de materia seca, como el que proviene habitualmente de las pisciculturas. En muchos casos el contenido de agua puede superar el 99,5%, con lo que se estarían decantando mayores volúmenes aún. De esta forma, el asociar la aplicación de lodos con sistemas de riego de las fracciones líquidas, resulta imprescindible en sistemas de lagunas cerradas (sin efluentes), con vaciado periódico mediante, por ejemplo, aspersión. Por ello la relevancia de los resultados expuestos anteriormente en relación a las fracciones líquidas o sobrenadantes de lagunas.

