

4.3. FASE 3: Definición de los componentes principales de los balances de masa (agua, nitrógeno), para diferentes tipos de suelo y clima.

Esta fase consideró la cuantificación de los componentes principales de los balances de agua y nitrógeno para algunos suelos sometidos a aplicaciones de efluentes. Se desarrollaron ensayos de campo, utilizando lisímetros no pesantes, en dos localidades, con suelos que presentan características contrastantes, con tres tipos de manejo de suelos y cinco tratamientos de aplicación de purines y nitrógeno mineral.

Las localidades en cuestión correspondieron a Lonquén, en la comuna de Isla de Maipo, en la Región Metropolitana, específicamente en el predio de Agrícola El Monte y el predio Pichidegua, en la comuna del mismo nombre en la VI Región, en el predio de la Sociedad Agrícola Lyon. En el caso de Lonquén se trataba de un suelo aluvial de textura franco-arenoso, mientras que en Pichidegua se trabajó en un suelo la Serie Lo Vásquez, de textura arcillosa.

Por su parte, los tres manejos de suelos evaluados, se relacionaron con tres sistemas de producción:

1. Sistema intensivo maíz – avena
2. Sistema intensivo con ballica permanente
3. Suelo desnudo, sin cultivos

Los cinco tratamientos evaluados correspondieron a distintas tasas de aplicación de purines de cerdo y/o fertilizantes minerales:

- a) Riego con una mezcla de purines de cerdo y agua de canal en una dilución 1/2.
- b) Riego con una mezcla de purines de cerdo y agua de canal en una dilución 1/6.
- c) Riego con una mezcla de purines de cerdo y agua de canal en una dilución 1/10.
- d) Riego con agua de canal y fertilización nitrogenada mineral en una tasa equivalente al tratamiento a).
- e) Riego con agua de canal y fertilización nitrogenada mineral en una tasa equivalente al tratamiento c).

De esta manera, en los dos primeros sistemas de producción: intensivo con cultivos anuales e intensivo con ballica permanente se aplicaron los 5 tratamientos descritos; mientras que en el sistema que consideró suelo desnudo, sin cultivos, se regó solamente con los primeros tres tratamientos.

A continuación se presentan los resultados alcanzados en esta fase del proyecto.

4.3.1. Rendimientos de los sistemas de producción en base a una rotación intensiva de cultivos

a).- Sistema Maíz-Avena

Para el caso de maíz grano, en Lonquén se utilizó el híbrido Pegaso, de ciclo tardío, perteneciente a la Compañía Internacional de Semillas, CIS, mientras que en Pichidegua, se empleó el híbrido Intermedio de Pioneer, 3335. Por su parte, para el caso de avena, se empleó el cultivar Nehuén, en ambas localidades. Este sistema de cultivos se estructuró sobre la base de una siembra primaveral de maíz (octubre-noviembre), para luego de la cosecha de éste, sembrar avena en el mes de mayo, cultivo que se cosechó en septiembre y así continuar el ciclo por tres años consecutivos.

a.1. Productividad del sistema Maíz-Avena

A continuación se presentan las productividades alcanzadas por este sistema, como consecuencia de la aplicación de los cinco tratamientos señalados, en Lonquén y Pichidegua, respectivamente.

Tabla 3.1. Avena. Rendimiento de Materia Seca. Lonquén temporadas 2002; 2003 y 2004.

Tratamientos	Rendimiento de MS Total (kg/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
T 1/2	2.976	7.934	7.708
T 1/6	3.791	8.100	7.163
T 1/10	2.816	5.418	8.200
F= 1/2	3.180	9.259	3.837
F=1/10	5.574	6.247	2.766
Promedio	3.667	7.392	5.935

Tabla 3.2. Maíz. Rendimiento de Materia Seca. Lonquén temporadas 2001/02, 2002/03 y 2003/04.

Tratamientos	Rendimiento de MS Total (kg/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
T 1:2	22.335	35.914	56.251
T 1:6	26.367	42.706	53.407
T 1:10	25.164	49.950	36.004
F= 1:2	24.615	42.507	53.772
F=1:10	17.742	38.938	56.043
Promedio	23.244	42.003	51.095

Tabla 3.3. Avena. Rendimiento de Materia Seca. Pichidegua, temporadas 2002, 2003 y 2004.

Tratamientos	Rendimiento de MS Total (kg/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
T 1:2	3.474	6.987	5.581
T 1:6	1.043	5.906	4.846
T 1:10	2.255	5.856	3.942
F= 1:2	2.932	5.620	7.369
F=1:10	2.232	3.596	2.201
Promedio	2.387	5.593	4.788

Tabla 3.4. Maíz. Rendimiento de Materia Seca. Pichidegua, temporadas 2002; 2003 y 2004.

Tratamientos	Rendimiento de MS Total (kg/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
T 1:2	25.231	34.142	31.624
T 1:6	21.402	45.387	43.171
T 1:10	28.428	45.247	49.710
F= 1:2	20.704	40.098	46.029
F=1:10	25.607	42.857	46.666
Promedio	24.274	41.546	43.440

Dado que para efectos de este estudio interesa evaluar la productividad de la materia seca del sistema Maíz-Avena en su conjunto, en las siguientes tablas se presenta el rendimiento total alcanzado por estas dos especies en cada localidad y temporada de estudio.

Tabla 3.5. Lonquén. Rendimiento Biológico del Sistema Maíz-Avena. Temporadas 2001/02; 2002/03 y 2003/04.

Tratamientos	Rendimiento de MS Total (kg/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
T 1:2	25.311	43.848	63.959
T 1:6	30.158	50.806	60.569
T 1:10	27.979	55.368	44.204
F= 1:2	27.795	51.766	57.609
F=1:10	23.316	45.186	58.810
Promedio	26.912	49.395	57.030

Tabla 3.6. Pichidegua. Rendimiento Biológico del Sistema Maíz-Avena. Temporadas 2001/02; 2002/03 y 2003/04.

Tratamientos	Rendimiento de MS Total (kg/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
T 1:2	28.705	41.129	37.205
T 1:6	22.445	51.294	48.017
T 1:10	30.683	51.103	53.652
F= 1:2	23.637	45.718	53.398
F=1:10	27.839	46.453	48.868
Promedio	26.662	47.139	48.228

Al realizar un análisis estadístico para el conjunto de datos obtenidos luego de evaluar en tres temporadas y dos localidades los 5 tratamientos indicados y su efecto sobre la producción del sistema avena-maíz, se puede señalar que no existen diferencias estadísticas para ninguna de las variables analizadas, tratamientos, localidades ni para la interacción localidad * tratamiento. En la tabla siguiente se presenta la productividad promedio alcanzada por los diferentes tratamientos.

Tabla 3.7. Rendimiento de Maíz-Avena, expresado en kg/ha de MS. Lonquén-Pichidegua. Temporadas 2001/02; 2002/03 y 2003/04.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha de Materia Seca)	Duncan al 5% de Probabilidad
Purín +Agua de Canal. Dilución 1/6	43.881	NS
Purín +Agua de Canal. Dilución 1/10	43.832	NS
Fertilizantes nitrogenada mineral equivalente a Purín dilución ½	43.320	NS
Fertilizantes nitrogenada mineral equivalente a Purín dilución 1/10	41.745	NS
Purín +Agua de Canal. Dilución ½	40.026	NS

NS: No significativo para la prueba de F.

De esta tabla, se puede señalar que todos los tratamientos aplicados, ya sea aquellos que contenían la adición de purines y fertilizantes minerales, causan los mismos efectos sobre la productividad del sistema conformado por los cultivos de maíz grano y avena, con un promedio de 42.561 kg/ha de materia seca. Es decir, todos los tratamientos aportaron la nutrición adecuada para que ambas especies pudiesen expresar su potencial productivo, no siendo el N en las tasas aplicadas un elemento que restringiera la productividad de estas especies, debido a que las plantas pueden extraer este nutriente sólo hasta un cierto límite, lo que fue aportado en forma satisfactoria por todos los tratamientos estudiados.

a 2. Extracción de Nitrógeno

Con la finalidad de determinar la capacidad de las plantas que conformaron el sistema maíz-avena para extraer nitrógeno, se analizó la concentración de este elemento en la materia seca de ambos cultivos a la cosecha. De esta manera, en las siguientes tablas se presentan los contenidos de este elemento expresados en kg/ha, en las dos localidades de estudio.

Tabla 3.8. Maíz-Avena. Extracción de Nitrógeno, expresado en kg/ha. Lonquén, temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

Tratamientos	Extracción de N (kg/ha)			% de N en la MS
	Año 1	Año 2	Año 3	
T ½	362	684	866	1,45 NS
T 1/6	489	748	772	1,46 NS
T 1/10	426	667	508	1,29 NS
F= ½	446	746	750	1,45 NS
F=1/10	380	588	695	1,37 NS

NS: No significativo para la prueba de F.

Tabla 3.9. Maíz-Avena. Extracción de Nitrógeno, expresado en kg/ha. Pichidegua, temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

Tratamientos	Extracción de N (kg/ha)			% de N en la MS
	Año 1	Año 2	Año 3	
T ½	316	546	544	1,30 NS
T 1/6	237	654	586	1,18 NS
T 1/10	326	592	640	1,14 NS
F= ½	262	613	597	1,19 NS
F=1/10	271	475	504	1,01 NS

NS: No significativo para la prueba de F.

De estas tablas se puede señalar que al interior de cada localidad no existen diferencias estadísticas para la concentración de N de la materia seca, en promedio, para el sistema maíz-avena, entre los tratamientos evaluados. En efecto, mientras en Lonquén ésta varió entre 1,29 y 1,46%, en Pichidegua varió entre 1,01 y 1,30% de N. Es decir, se puede concluir que la concentración de N en la materia seca de esta especie, no es función de los niveles de N aplicados, al menos en las tasas estudiadas, sobre 900 kg/ha, tal como queda en evidencia de la figura 3.1.

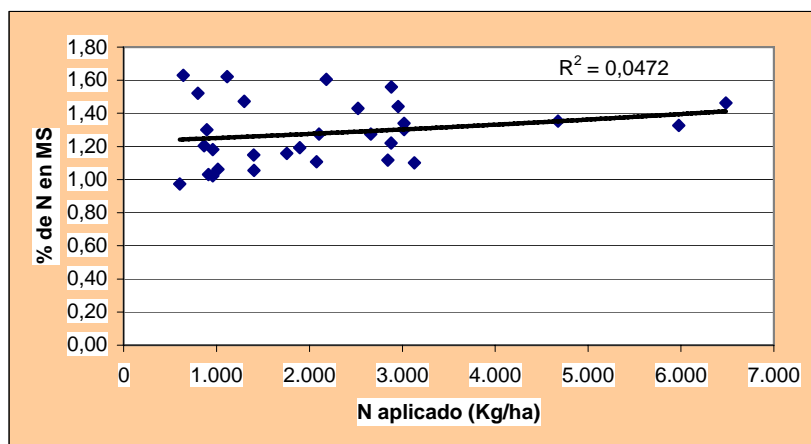


Figura 3.1. Maíz-Avena. Relación entre N aplicado y concentración de N en la biomasa. Lonquén-Pichidegua, temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

De esta figura se puede observar que, al menos, con niveles de aplicación de N que fluctuaron entre 900 y aproximadamente 6.500 kg/ha, no existe una relación entre el N aplicado y la concentración de este elemento en la materia seca del sistema maíz-avena, alcanzando un $r^2 = 0,0472$.

Por otra parte, al comparar la concentración promedio de N en la materia seca de maíz y avena entre ambas localidades, es posible indicar, aunque no existen diferencias estadísticas, que en la localidad de Lonquén se alcanzó un contenido de N en la materia seca de 1,40%, superior al observado en Pichidegua que fue de solo 1,16%.

En relación a esta variable, tampoco se observaron diferencias estadísticas para la interacción localidad * tratamiento. Del mismo modo, al realizar un análisis de contraste ortogonales, entre aquellos tratamientos que contenían purines de cerdo, en promedio y aquellos en que la fertilización nitrogenada fue aportada por fertilizantes minerales, tampoco se evidenciaron diferencias estadísticas, es decir, el origen del nitrógeno aportado no afectó la concentración de este elemento en la materia seca.

De esta manera, al no existir diferencias en la concentración de N en la materia seca del sistema maíz-avena entre tratamientos, las diferencias observadas al analizar la extracción de nitrógeno, se deben exclusivamente a la productividad alcanzada en cada caso. A continuación en la tabla 3.10, se presenta la extracción promedio de nitrógeno, alcanzada en los diferentes tratamientos.

Tabla 3.10. Maíz-Avena. Extracción de Nitrógeno, expresado en kg/ha de MS. Lonquén-Pichidegua. Temporadas 2001/02; 2002/03 y 2003/04.

Tratamiento	Extracción anual de N (kg/ha)	Duncan al 5% de Probabilidad
Purín +Agua de Canal. Dilución 1/6	581	NS
Fertilizantes nitrogenada mineral equivalente a Purín dilución ½	569	NS
Purín +Agua de Canal. Dilución ½	553	NS
Purín +Agua de Canal. Dilución 1/10	527	NS
Fertilizantes nitrogenada mineral equivalente a Purín dilución 1/10	486	NS

NS: No significativo para la prueba de F.

Si bien en los tres años de estudio, se alcanzó una extracción promedio, entre tratamientos, que fluctuó entre 486 y 581 kg. de Nitrógeno/ha/temporada, debe destacarse que en definitiva la extracción de este elemento está determinada fundamentalmente por la productividad de estas especies y el potencial de las variedades para extraer N. En efecto, por ejemplo en la tercera temporada de Lonquén, donde se alcanzaron los mayores rendimientos de materia seca, se obtuvo una extracción que fluctuó entre 508 y 866 kg/ha de Nitrógeno, por temporada.

Por otra parte, aunque no se determinaron diferencias significativas entre tratamientos, para la extracción de N, si fue posible evidenciar diferencias estadísticas para esta variable entre localidades, tal como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 3.11. Maíz-Avena. Extracción promedio de Nitrógeno, expresado en kg/ha de MS. Temporadas 2001/02; 2002/03 y 2003/04.

Localidad	Extracción de N (kg/ha)	Duncan al 5% de Probabilidad
Lonquén	608	A
Pichidegua	478	B

Nota: Letras distintas indican diferencias estadísticas para el test de Duncan al 5% de probabilidad

La mayor concentración de N en la materia seca de maíz y avena, observada en Lonquén, así como la mayor producción alcanzada en esta localidad, ambas variables no estadísticamente significativas, determinaron que en promedio, la extracción de N fue superior en un 21,4% a la alcanzada en Pichidegua.

Si bien se observó un efecto de la localidad para esta variable, no se evidenciaron diferencias estadísticas para la interacción tratamiento * localidad. Del mismo modo, al realizar un análisis de contrastes ortogonales entre los tratamientos que consideraban la adición de purines y aquellos que consideraban la adición de nitrógeno a través de fertilizantes minerales, como Urea, tampoco se alcanzaron diferencias estadísticas. Es decir, las mayores extracciones de nitrógeno, alcanzadas en Lonquén, no se deben a los tratamientos evaluados, sino más bien al mayor potencial de esta localidad (clima * suelo) para el cultivo de estas especies y al efecto varietal (maíz), en lo que a extracción de N, se refiere.

b).- Pradera de Ballica permanente

Otro de los tratamientos consistió en evaluar el efecto de las aplicaciones de purines sobre una pradera permanente de ballica. Para ello, se estableció en mayo del 2002, la variedad Ruanui en ambas localidades de estudio.

b 1.- Productividad de la ballica

Para evaluar la productividad de la pradera, se hicieron cortes permanentes a través de dos ciclos completos de cultivo, 2002 y 2003 y el invierno del 2004, correspondiendo la última cosecha a

septiembre de este último año. A continuación se presentan las productividades alcanzadas por este sistema, como consecuencia de la aplicación de los 5 tratamientos señalados.

Tabla 3.12. Lonquén. Rendimiento de Ballica, expresado en kg/ha de MS.

Tratamientos	Rendimiento de MS Total (kg/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
T 1:2	28.075	17.534	5.065
T 1:6	24.411	14.404	4.254
T 1:10	22.830	13.084	2.281
F= 1:2	24.997	16.715	4.473
F=1:10	19.577	11.362	3.836
Promedio	23.978	14.620	3.982

Año 1 Mayo 2002- Abril 2003
Año 2 Mayo 2003 - Abril 2004
Año 3 Mayo 2004 -Sept 2004

Tabla 3.13. Pichidegua. Rendimiento de Ballica, expresado en kg/ha de MS.

Tratamientos	Rendimiento de MS Total (kg/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
T 1:2	14.188	17.557	7.340
T 1:6	12.329	16.916	5.605
T 1:10	11.360	14.892	4.668
F= 1:2	10.702	11.398	5.028
F=1:10	12.546	9.403	3.389
Promedio	12.225	14.033	5.206

Año 1 Mayo 2002- Abril 2003
Año 2 Mayo 2003 - Abril 2004
Año 3 Mayo 2004 -Sept 2004

Del análisis de los rendimientos de ballica durante las temporadas de estudio, en las localidades de Lonquén y Pichidegua (tablas 3.12 y 3.13), se puede observar, en general que los rendimientos alcanzados en esta especie, son muy similares en las temporadas 2 y 3. Sin embargo, en la primera temporada, en Lonquén se alcanzó una productividad superior en casi un 100% respecto a Pichidegua, debido al mejor establecimiento de la pradera en esta localidad.

Al realizar un análisis estadístico en conjunto, se observa que no existen diferencias significativas entre localidades, es decir, tanto en Pichidegua como Lonquén los rendimientos alcanzados en promedio, desde el punto de vista estadísticos son iguales. Del mismo modo, tampoco se evidencian diferencias estadísticas para la interacción localidad * tratamiento, es decir todos los tratamientos aplicados tienen el mismo comportamiento sin ser afectados por el ambiente. Un hecho importante son las diferencias significativas encontradas entre tratamientos, donde la mayor productividad, en promedio, se observó con la mezcla Purín + Agua de Canal, en una proporción 1/2, es decir, con el tratamiento que representa la mayor adición de purines y por tanto de nitrógeno, en promedio el equivalente a 5.536 kg/ha/año de este elemento.

En la tabla 3.14 se muestran los rendimientos alcanzados por la ballica, en promedio, en las dos localidades y tres años de estudio.

Tabla 3.14. Rendimiento promedio de Ballica, expresado en kg/ha de MS. Lonquén-Pichidegua. Temporadas 2001/02; 2002/03 y 2004.

Tratamiento	Rendimiento (kg MS/ha)	Duncan al 5% de Probabilidad
Purín +Agua de Canal. Dilución ½	14.960	A
Purín +Agua de Canal. Dilución 1/6	12.986	B
Fertilizantes nitrogenada mineral equivalente a Purín dilución ½	12.219	B
Purín +Agua de Canal. Dilución 1/10	11.519	BC
Fertilización nitrogenada mineral equivalente a Purín dilución 1/10	10.019	C

Nota: Letras distintas indican diferencias estadísticas para el test de Duncan al 5% de probabilidad

Tal como se observa en la tabla 3.14, luego del tratamiento con las mayores adiciones de purines de cerdo, las mayores productividades fueron logradas por Purín + agua de canal en dilución de 1/6 y Fertilizantes nitrogenados minerales equivalente a purín en dilución 1/2, ambos menores entre un 13 y un 18% respecto del tratamiento purín + agua de canal en dilución 1/2. Por último, las menores producciones de materia seca de ballica fueron obtenidas en el tratamiento que consideraba sólo fertilización mineral, en una dosis de N equivalente a purín + agua de canal en dilución 1/10.

Al relacionar la productividad de la ballica con las aplicaciones de N, queda de manifiesto que no existe ninguna relación entre estas variables cuando se aplican niveles de N superiores a 900 kg/ha al año, en efecto se obtiene un $r^2 = 0,055$ (figura 3.2).

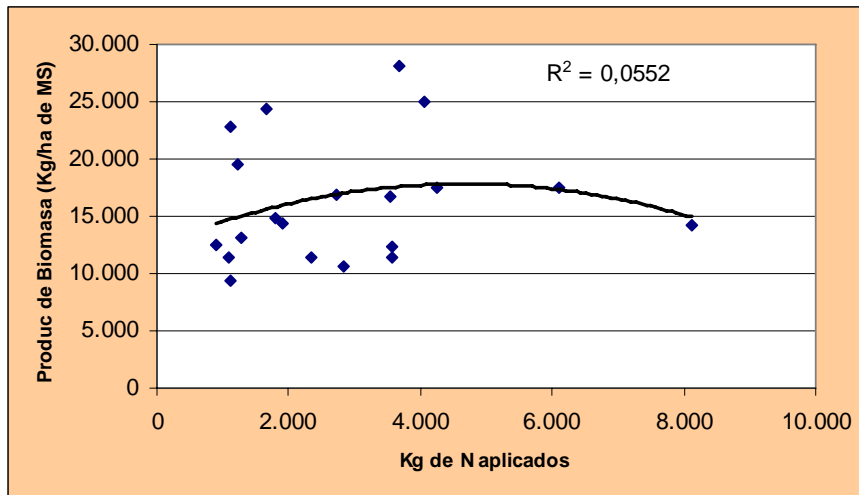


Figura 3.2. Ballica. Relación entre N aplicado y producción de biomasa. Lonquén-Pichidegua, temporadas 2002-03; 2003-04 y 2004.

Sin embargo, al considerar el origen de la fuente nitrogenada, se puede concluir que los tratamientos que consideraban la adición de N vía purines de cerdo, lograron, en promedio, las mejores respuestas en biomasa, respecto de las fertilizaciones de N vía fertilizantes minerales. Esto queda corroborado al hacer un análisis de contrastes ortogonales, donde efectivamente los tratamientos con purines, en promedio, superan estadísticamente a aquellos que contenían solo fertilizantes minerales, tal como se observa en la tabla 3.15.

Tabla 3.15. Contrastes Ortogonales. Rendimiento promedio de Ballica, expresado en kg/ha de MS. Lonquén-Pichidegua. Temporadas 2001/02; 2002/03 y 2004.

Tratamiento	Rendimiento (kg MS/ha)	Duncan al 5% de Probabilidad
Purín + Agua de Canal	13.155	A
Fertilización nitrogenada mineral	11.119	B

Nota: Letras distintas indican diferencias estadísticas para el test de Duncan al 5% de probabilidad

De esta manera, se puede concluir que la mayor productividad, del orden de un 15,5%, lograda por la ballica en aquellos tratamientos que consideraban la adición de purines de cerdo se puede deber a que el nitrógeno orgánico contenido en los purines, es entregado en forma más lenta y continua, en las formas asimilables por las plantas de ballica (nitrógeno amoniacal), en comparación al nitrógeno mineral, que está más prontamente disponible, pero a su vez se puede perder con mayor facilidad por lixiviación. Por otra parte, la ballica es una especie, que de acuerdo a la literatura, puede asimilar sin dificultad el $N-NH_4^+$ que predomina en los purines de cerdo.

Así, respecto de ballica se puede concluir que los mayores rendimientos alcanzados por esta especie en los tratamientos que consideraban la adición de purines de cerdo, no se debe a las mayores tasas de aplicación de nitrógeno, sino que más bien a la disponibilidad continua de este elemento cuando es aportado en una forma orgánica, en comparación a un fertilizante mineral como es la urea. Por otra parte, se puede señalar que el purín de cerdo, en las diluciones aplicadas en este estudio, no afectó la productividad de la ballica.

b 2.- Extracción de Nitrógeno

Con la finalidad de determinar la capacidad de la pradera de ballica para extraer nitrógeno, se analizó en cada corte realizado la concentración de este elemento en la materia seca. De esta manera, en las siguientes tablas se presentan los contenidos de este elemento expresados en kg/ha, en las dos localidades de estudio.

Tabla 3.16. Lonquén. Ballica, extracción de Nitrógeno, expresado en kg/ha. Temporadas 2002-2003; 2003-2004 y 2004.

Tratamientos	Extracción de N (kg/ha)			% de N en la MS
	Año 1	Año 2	Año 3	
T 1/2	779	532	101	2,6 NS
T 1/6	628	447	82	2,5 NS
T 1/10	627	385	37	2,4 NS
F= 1/2	730	518	94	2,7 NS
F=1/10	510	365	63	2,5 NS
Promedio	655	449	75	

NS: No significativo para la prueba de F.

Tabla 3.17. Pichidegua. Ballica, extracción de Nitrógeno, expresado en kg/ha. Temporadas 2002-2003; 2003-2004 y 2004.

Tratamientos	Extracción de N (kg/ha)			% de N en la MS
	Año 1	Año 2	Año 3	
T 1/2	381	442	88	2,1 NS
T 1/6	321	447	63	2,1 NS
T 1/10	318	424	53	2,3 NS
F= 1/2	283	333	59	2,2 NS
F=1/10	307	282	42	2,2 NS
Promedio	322	386	61	

NS: No significativo para la prueba de F.

De estas tablas se puede señalar que al interior de cada localidad no existen diferencias en la concentración de N en la materia seca de ballica, entre los tratamientos evaluados. En efecto, mientras en Lonquén ésta varió entre 2,4 y 2,7%, en Pichidegua varió entre 2,1 y 2,3% de N. Es decir, se puede concluir que la concentración de N en la materia seca de esta especie, no es función de los niveles de N aplicados, al menos en las tasas estudiadas, sobre 900 kg/ha, tal como queda en evidencia de la figura 3.3.

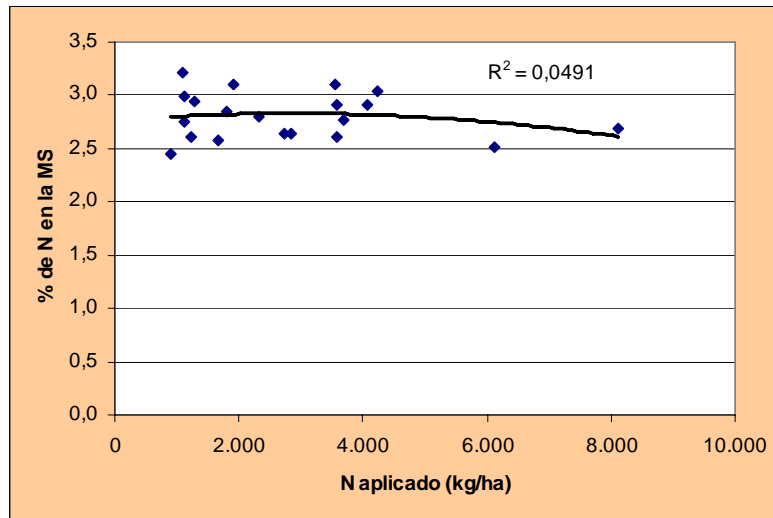


Figura 3.3. Ballica. Relación entre N aplicado y concentración de N en la biomasa. Lonquén-Pichidegua, temporadas 2002-03; 2003-04 y 2004.

De esta figura se puede observar que, al menos, con niveles de aplicación de N, que fluctuaron entre 900 y 8.000 kg/ha, no existe una relación entre el N aplicado y la concentración de este elemento en la materia seca de la ballica, alcanzando un $r^2 = 0,0491$.

Por otra parte, al comparar la concentración promedio de N en la ballica cv Ruanui, entre ambas localidades, es posible indicar que en Lonquén se alcanzó un promedio de 2,55% de N en la materia seca de esta especie, superior, aunque no estadísticamente, al observado en Pichidegua que fue de solo 2,20%.

De esta manera, al no existir diferencias en la concentración de N en la materia seca de la ballica entre tratamientos, las diferencias observadas al analizar la extracción de nitrógeno, se deben exclusivamente a la productividad alcanzada en cada caso. Así, al igual que lo comentado para rendimientos, para esta variable no se evidencian diferencias estadísticas entre localidades, ni para la interacción localidad * tratamiento. Sólo se establecen diferencias significativas entre

tratamientos, tal como se indica en la tabla 3.18, que muestra la productividad de ballica durante las dos primeras temporadas, donde el cultivo alcanzó a completar el ciclo anual.

Tabla 3.18. Ballica. Extracción promedio de Nitrógeno, expresado en kg/ha de MS. Lonquén-Pichidegua. Temporadas 2002/03 y 2003/2004.

Tratamiento	Extracción anual de N (kg/ha)	Duncan al 5% de Probabilidad
Purín +Agua de Canal. Dilución ½	534	A
Fertilizantes nitrogenada mineral equivalente a Purín dilución ½	461	B
Purín +Agua de Canal. Dilución 1/6	439	B
Purín +Agua de Canal. Dilución 1/10	466	B
Fertilización nitrogenada mineral equivalente a Purín dilución 1/10	366	C

Nota: Letras distintas indican diferencias estadísticas para el test de Duncan al 5% de probabilidad.

Si bien en los dos primeros años de estudio, se alcanzó una extracción anual promedio entre tratamientos, que fluctuó entre 366 y 534 kg de Nitrógeno/ha, donde destaca la mayor extracción del tratamiento que contenía la aplicación de purines en la dilución 1/2, debe destacarse que en definitiva la extracción de este elemento está determinada fundamentalmente por la productividad de esta especie. En efecto, en la primera temporada de Lonquén, donde se alcanzaron los mayores rendimientos de materia seca, se obtuvo una extracción que fluctuó entre 510 y 779 kg/ha de Nitrógeno, mientras que en la tercera temporada (invierno del 2004), donde se alcanzó un rendimiento promedio de sólo 3.982 kg/ha de materia seca, la extracción fluctuó entre 37 y 101 kg/ha de nitrógeno (debido al término del ensayo).

De acuerdo a los resultados presentados y discutidos, para las variables rendimiento, extracción de N por los cultivos y la concentración de este elemento en la materia seca de las plantas estudiadas, es posible señalar las siguientes conclusiones:

Sistema Maíz-Avena

- a. El N en las tasas aplicadas, sobre 900 kg/ha, no limita la productividad del sistema maíz-avena, debido a que los cultivos extraen este nutriente sólo hasta un cierto límite, el que fue aportado en forma satisfactoria por todos los tratamientos estudiados.
- b. La extracción de N en el sistema maíz-avena, fluctuó en los tratamientos aplicados, entre 362 y 866 kg/ha/año, con un promedio de 608 kg/ha/año, para el caso de Lonquén y entre 237 y 654 kg/ha/año, con un promedio de 478 kg/ha/año, para el caso de Pichidegua. Se observa una influencia de la localidad en los niveles de extracción obtenidos.
- c. Al menos sobre 900 kg/ha/año de nitrógeno aplicado, la extracción de N, no es función de las tasas de N aplicadas, sino más bien de la productividad del sitio y del potencial genético de las especies y cultivares.
- d. Se observó que el origen de la fuente nitrogenada no afectó la extracción de este elemento por las plantas, ni su concentración en los tejidos.
- e. Aunque no estadísticamente significativo, en Lonquén se alcanzó un mayor contenido de N en la materia seca de las plantas de maíz y avena, 1,40%, en relación a 1,16% logrado en Pichidegua.

Sistema Pradera Permanente

- a. Los mayores rendimientos de materia seca, fueron obtenidos, por el tratamiento con purines en la dilución 1/2.
- b. Los tratamientos que consideraban la adición de purines, en promedio, alcanzaron rendimientos de un 15,5% superior, respecto de los tratamientos con fertilizante mineral.
- c. Aunque no estadísticamente significativo, en Lonquén, en promedio, se alcanzó una concentración de N mayor (2.55%), en la materia seca de ballica, en relación a Pichidegua, donde el contenido de N alcanzó solo a un 2,2%.
- d. La concentración de N en la materia seca de esta especie, no es función de los niveles de N aplicados, al menos en las tasas estudiadas, sobre 900 kg/ha, ni del tipo de fuente nitrogenada.

- e. La extracción anual promedio, entre tratamientos, fluctuó entre 366 y 534 kg N/ha, donde destacó la mayor extracción del tratamiento que contenía la aplicación de purines en la dilución 1/2. En definitiva la extracción de este elemento está determinada fundamentalmente por la productividad de esta especie.

4.3.2. Dinámica del Nitrógeno

a.- Suelo desnudo

A continuación, en las figuras 3.4 y 3.5 se presenta la dinámica del nitrógeno luego de tres temporadas, donde se grafica el N total aplicado, lixiviado, volatilizado (estimado) y residual, expresados en kg/ha, en las dos localidades de estudio, para los 3 tratamientos estudiados, en el caso de suelo desnudo (purín 1/2; purín 1/6 y purín 1/10).

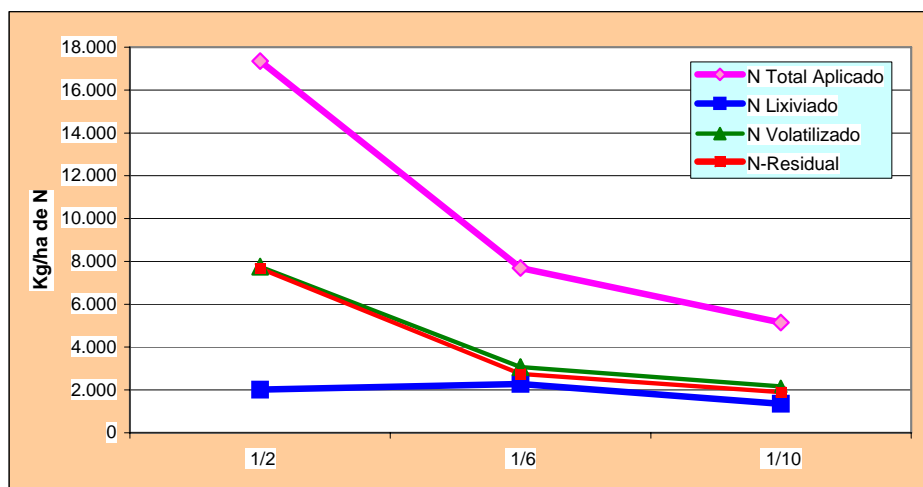


Figura 3.4. Pichidegua. Suelo desnudo, dinámica del N. Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

Para el caso de Pichidegua, se puede observar que la aplicación de purines en la proporción 1/2, representó una aplicación total de 17.351 kg/ha de N, con un promedio anual de 5.784 kg/ha, mientras que por el contrario, en la dilución 1/10, la aplicación de N, alcanzó en las tres temporadas un total de 5.152 kg/ha de N, con un promedio anual de 1.717 kg/ha. El N medido por lixiviación alcanzó a 2.012, 1.993 y 1.138 kg/ha, respectivamente, para las tres tasas de aplicación. De esto, se evidencia que, a pesar de la estrecha relación entre N aplicado y lixiviación, bajo aplicaciones mayores, otros componentes del balance cobran importancia relativa, como la volatilización directa e inmediata del N aplicado y el incremento del N residual, el que, sin las condiciones apropiadas, no es lixiviado de inmediato. Así, el N residual obtenido fue de 8.570, 3.049 y 2.132 kg/ha de N, para las tasas de aplicación, en la proporción 1/2, 1/6 y 1/10, respectivamente, evidenciándose una relación estrecha con las cantidades de N aplicado. El proyecto no consideró la estimación de los fenómenos de volatilización, ni directa ni indirecta en el tiempo, lo cual puede ser un factor de importancia en la estimación más estrecha de los balances de N. Sólo se estableció una estimación porcentual del N disponible en el suelo (residual + aplicado) como metodología de trabajo.

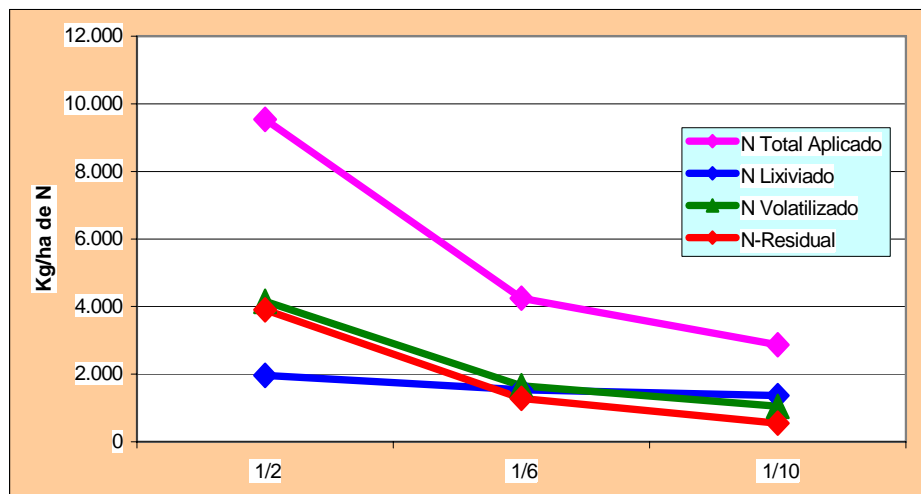


Figura 3.5. Lonquén. Suelo desnudo, dinámica del N. Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

En Lonquén, se observa una tendencia similar a lo comentado para Pichidegua. En efecto, con aplicaciones totales que fluctuaron entre 9.553 kg/ha de N, para el tratamiento que consideró la adición de purines en una proporción de 1/2 y 2.875 kg/ha de N en la proporción de 1/10, se evidencia que la lixiviación no se relaciona estrechamente con estas tasas de aplicación. Así la lixiviación fluctuó para los tratamientos en estudio entre 1.716 y 1.298 kg/ha de N. Es decir, que bajo condiciones de suelo desnudo, la magnitud de este fenómeno depende más bien de algunas constantes hídricas del suelo, que de los niveles de N disponibles en el suelo. Por otra parte, para el N-residual se observa una mayor relación con el N aplicado, puesto que los niveles disponibles en el suelo, luego de realizar el balance respectivo, fueron de 4.224, 1.309 y 409 kg/ha de N, para los tratamientos que consideraban la adición de purines de cerdo en una proporción con agua de canal de 1/2, 1/6 y 1/10, respectivamente.

De manera de presentar estos resultados en forma relativa al N aportado por los tratamientos aplicados, en las figuras 3.6 y 3.7, se presenta el N-lixiviado, N-volatilizado y N-residual, en porcentaje, para Pichidegua y Lonquén, respectivamente.

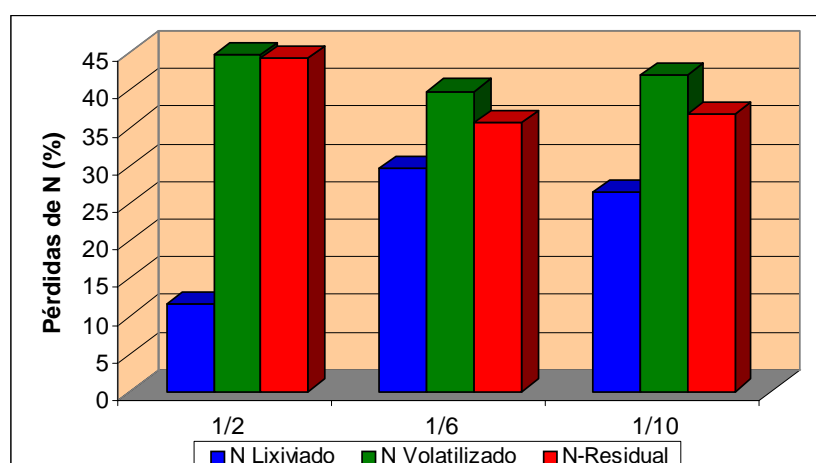


Figura 3.6. Pichidegua. Suelo desnudo, pérdidas promedio de N en relación al total aplicado (%). Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

De esta figura, se evidencia que N-lixiviado, fluctuó el 11,6 y 25,9%, del N-aportado, entre los tratamientos aplicados, destacándose que el menor valor se alcanzó con la mayor concentración de purín aplicado, lo que ratifica lo comentado anteriormente en el sentido que la lixiviación depende de las constantes hídricas del suelo y secundariamente, de las cantidades de nitrógeno disponible en el suelo. Respecto del N residual, éste varió entre un 49,4 y un 39,6% del N-aplicado, donde el mayor valor correspondió al tratamiento que consideraba la mayor adición de N vía purines, es decir en la dilución 1/2, lo que permite confirmar el hecho señalado con anterioridad, es decir este fenómeno se relaciona mas estrechamente con las cantidades de N-aportado al suelo.

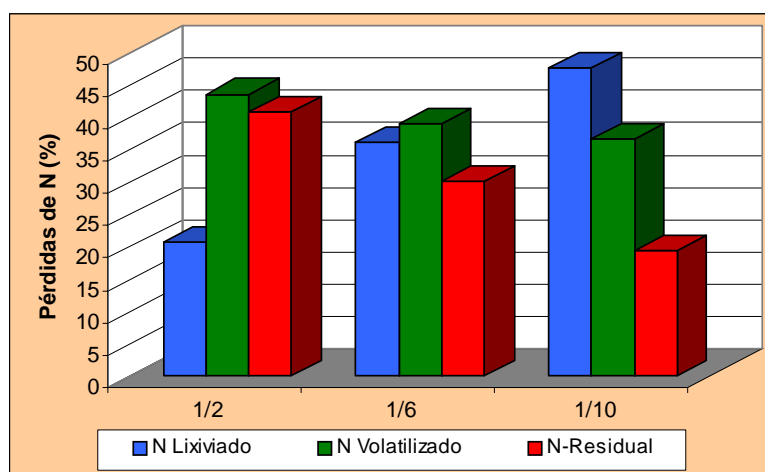


Figura 3.7. Lonquén. Suelo desnudo, pérdidas promedio de N en relación al total aplicado (%). Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

Del análisis de esta figura, se confirman algunas aseveraciones realizadas del caso observado en Pichidegua. En efecto, respecto de la lixiviación, ésta fluctuó entre un 18 y un 45,1% en relación al N-aportado, donde los mayores valores correspondieron a las menores adiciones de N vía purines, es decir el N-lixiviado no depende directamente de las cantidades de N aplicados, sino mas bien de las características de cada suelo. Por el contrario el N-residual presenta una

tendencia inversa a la observada para el caso de la lixiviación, es decir a mayor adición de N, mayor es la proporción de N que queda en forma residual en el suelo.

En definitiva, del análisis de la información generada producto de la aplicación de los tratamientos indicados, bajo la condición de suelo desnudo, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La lixiviación de N depende de los niveles de N aplicado, hasta un cierto nivel de tasa de aplicación. Posteriormente, el N se acumula en el suelo, ya que, al parecer, la capacidad de transporte de N en el suelo es limitante.
- El N residual, se relaciona estrechamente con los niveles de N aplicado.
- Para ajustar más adecuadamente los balances de N, se requiere determinar, en forma más precisa, los niveles de N-volatilizado, para cada condición.

b.- Sistema Maíz – Avena

Dado que las condiciones de ambas localidades de estudio, son contrastantes en términos de suelo y variables climatológicas, la información será analizada al interior de cada sitio de ensayos.

Pichidegua

A continuación, en la figura 3.8 se presenta la dinámica del nitrógeno, donde se grafica el N total aplicado, lixiviado, volatilizado (estimado), extraído por las plantas y residual, expresados en kg/ha, para el conjunto de las tres temporadas de estudio.

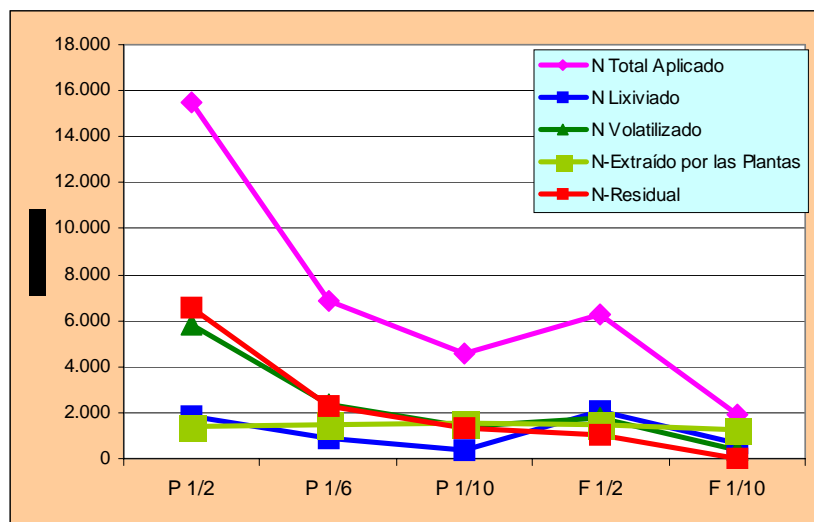


Figura 3.8. Pichidegua. Sistema Maíz-Avena, dinámica del N. Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

De esta figura se evidencia, que el N aplicado en el tratamiento que consideraba la adición de purines en la proporción de 1/2, fue de 15.528 kg/ha en las tres temporadas, con un promedio anual de 5.176 kg/ha de N. Por el contrario, en la aplicación en base a purines en la dilución 1/10, se alcanzó un total de 4.582 kg/ha de N, con un promedio anual de 1.527 kg/ha de este elemento. Para el caso de los tratamientos que consideraban a la Urea como fuente de nitrógeno, se alcanzaron dosificaciones de 6.245 y 1.941 kg/ha de N, para el acumulado en las tres temporadas de estudio, en los tratamientos equivalentes a una proporción 1/2 y 1/10, respectivamente, con promedios anuales de 2.082 y 647 kg/ha de N.

Al analizar el resto de las variables estudiadas se puede observar que la extracción de N por las plantas no se relaciona con los niveles de N disponibles en el suelo, sino más bien con la genética particular de cada vegetal (mayor eficiencia en la extracción) y del rendimiento alcanzado. En efecto, la extracción acumulada para las tres temporadas, fluctuó entre 1.251 y 1.558 kg/ha para los cinco tratamientos evaluados, con un promedio 1.434 kg/ha de N y un **promedio anual de 478 kg/ha, en el sistema maíz-avena.**

Para el fenómeno de la lixiviación, se observa, por el contrario a lo reportado para el caso de suelo desnudo, una relación mayor con el N aplicado. Sin embargo, se evidencia una dinámica distinta al analizar las cantidades de N lixiviado en los tratamientos con purines y con fertilizantes minerales, tal como se presenta en la Figura 3.9.

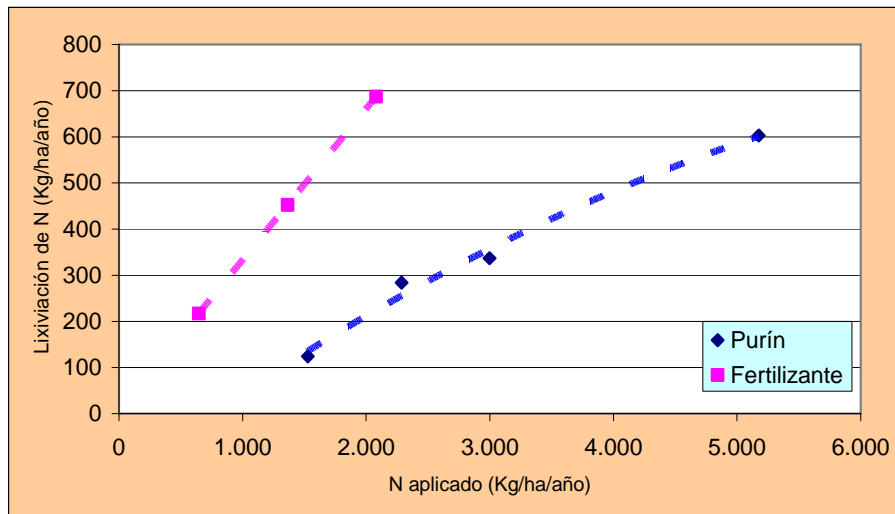


Figura 3.9. Pichidegua. Relación entre N aplicado y N lixiviado. Promedio de tres temporadas.

Se observa de esta figura, que incluye los promedios alcanzados por los tratamientos que consideran la adición de purines y de fertilizantes por separado, que precisamente el N aplicado vía Urea, presenta una mayor facilidad para lixiviar que el N aportado vía purines, debido a que éste último se encuentra mayormente bajo una condición orgánica, no disponible inmediatamente para este tipo de fenómenos. Con la finalidad de cuantificar la mayor capacidad de lixiviación del N aportado, se presenta en el próximo gráfico la relación porcentual entre ambos fenómenos.

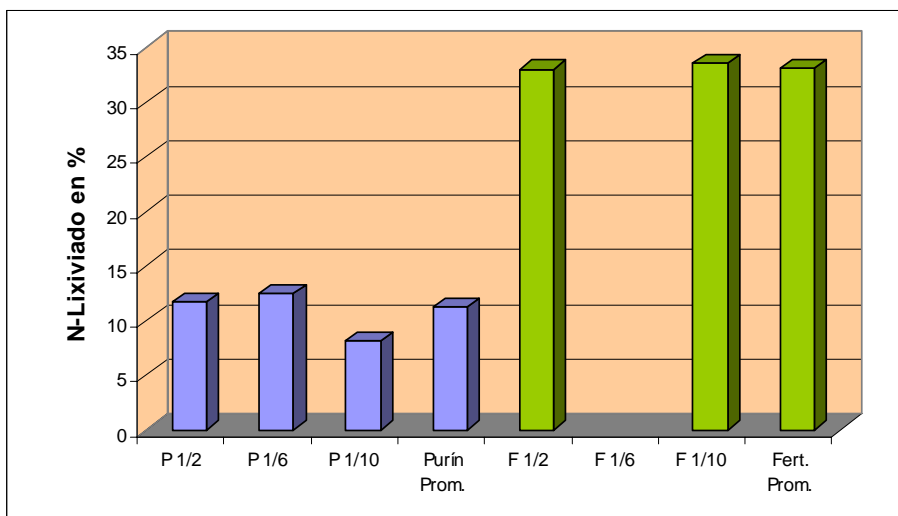


Figura 3.10. Pichidegua. Relación entre N lixiviado y N aplicado en %.

De esta figura se establece claramente las distintas dinámicas del N, respecto a la lixiviación. En efecto, mientras el N proveniente de fertilizante (urea), se lixivia en un 33,1%, en promedio, respecto del N aplicado, el N proveniente de purines de cerdo se pierde por este proceso en un porcentaje bastante inferior, solo en un 11,2% en promedio.

Por otra parte, en relación al N volatilizado, tal como se ha comentado, sólo se hizo una estimación, en base a antecedentes bibliográficos, considerándose para este estudio en particular un 15% del N disponible, el cual era proveniente de aportes anuales y residual en el suelo.

Comentario [YAM1]: ¿???

Dado que el N lixiviado depende de los niveles de N aplicado, el N extraído por las plantas es casi constante y el N volatilizado se estima a partir de un porcentaje del N disponible. Para el N residual también se establece una relación con el N aplicado al suelo, tal como se evidencia en las siguientes figuras.

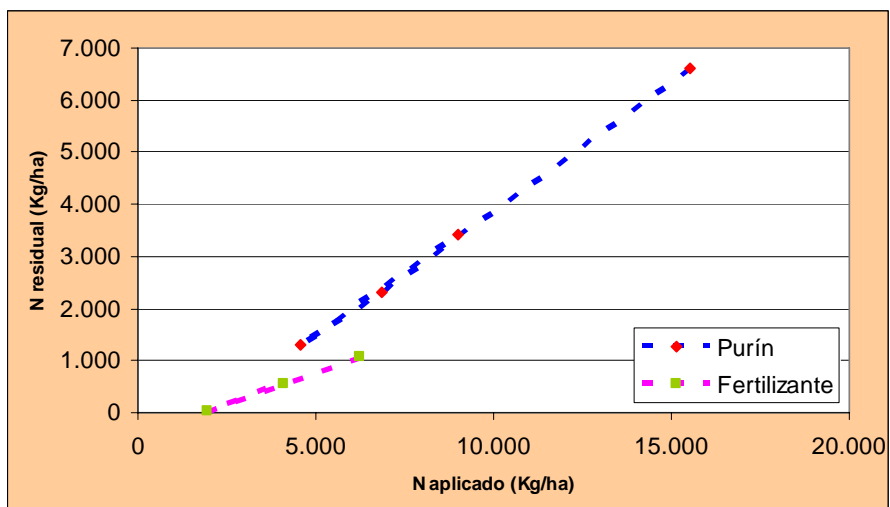


Figura 3.11. Pichidegua. Relación entre N aplicado en tres temporadas y el N residual (kg/ha).

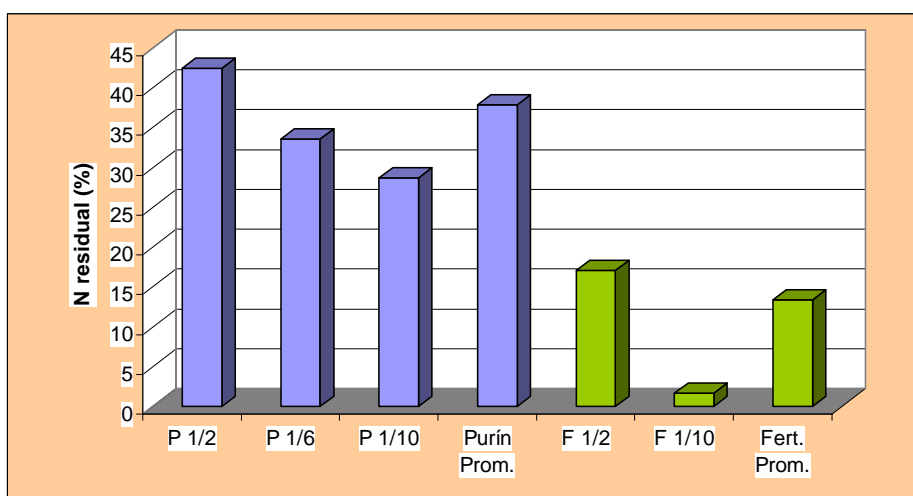


Figura 3.12. Pichidegua. Relación entre N aplicado anualmente, en promedio y el N residual (%).

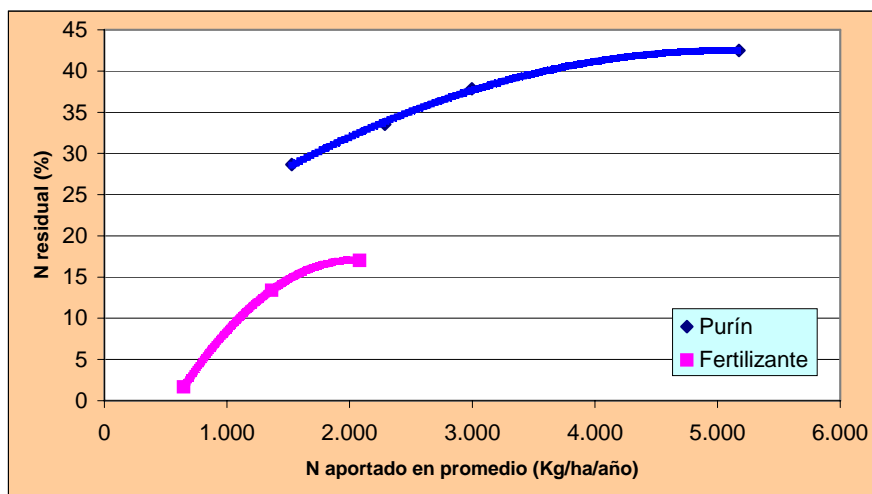


Figura 3.13. Pichidegua. Relación entre N aplicado anualmente, en promedio y el N residual (%).

Tal como se puede extraer de estas figuras, se confirma la situación ya comentada, el N se comporta en forma diferente de acuerdo a su fuente de origen. Así cuando, éste proviene de una fuente mineral, el N residual fluctúa entre un 2 y un 17% respecto del N aplicado, con un promedio ponderado para las tres temporadas de estudio de un 13,4%. Por otra parte, el N residual proveniente de los tratamientos con purines, fluctúa entre un 28.7 y 42,5% del N aplicado, con un promedio ponderado de 37,9%. Es decir, se confirma el hecho que el N originado a partir de los purines aplicados al suelo, tiende a permanecer en el suelo por un mayor tiempo, quedando en forma residual y disponible para futuros cultivos. Por el contrario, el N proveniente de un fertilizante mineral, como Urea, se lixivia mas rápidamente y en consecuencia, **dentro de los rangos estudiados y bajo las condiciones de estos experimentos, en promedio se evidencia una menor presencia de N residual de 35,4 puntos porcentuales en relación a un N orgánico proveniente de purín de cerdo.**

Lonquén

En la figura 3.14 se presenta la dinámica del nitrógeno, evaluada en Lonquén, donde se grafica el N total aplicado, lixiviado, volatilizado (estimado), extraído por las plantas y residual, expresados en kg/ha, para el conjunto de las tres temporadas de estudio.

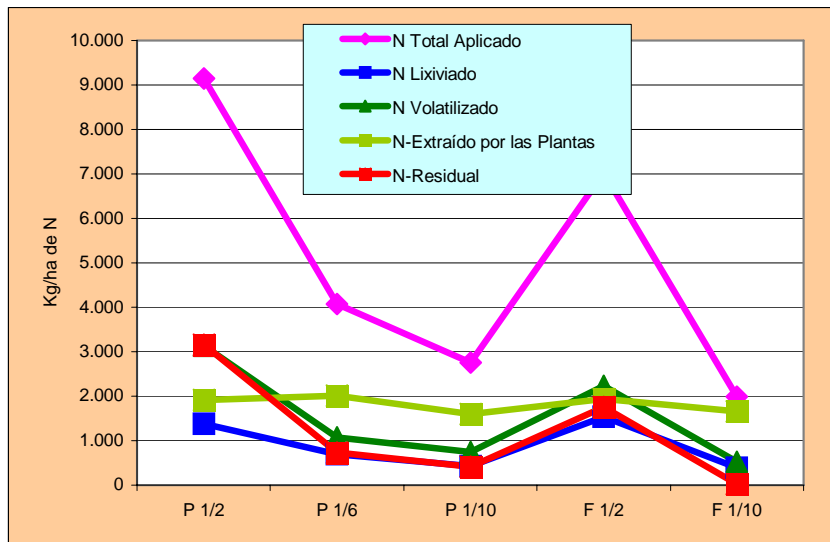


Figura 3.14. Lonquén. Maíz – Avena, dinámica del N. Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

En Lonquén, el tratamiento que consideraba la adición de purines en la dilución de 1/2, acumuló un total de 9.147 kg/ha en las tres temporadas, con un promedio anual de 3.049 kg/ha de N. Por el contrario, en la aplicación en base a purines en la proporción 1/10, se alcanzó un total de 2.762 kg/ha de N, con un promedio anual de 921 kg/ha de este elemento. Para el caso de los tratamientos que consideraba a la Urea como fuente de nitrógeno, se alcanzaron dosificaciones de 7.029 y 1.988 kg/ha de N, para el acumulado en las tres temporadas de estudio, en los tratamientos equivalentes a una proporción 1/2 y 1/10, respectivamente, con promedio anuales de 2.343 y 663 kg/ha de N.

Al analizar el resto de las variables estudiadas, al igual que lo comentado para el caso de Pichidegua, la extracción de N por las plantas tampoco se relaciona con los niveles de N disponibles en el suelo, sino más bien del potencial de rendimiento de cada especie y cultivar, así como de su capacidad para absorber N desde el suelo. En efecto, la extracción acumulada para las tres temporadas, fluctuó entre 1.664 y 2.010 kg/ha para los cinco tratamientos evaluados, con un promedio 1.826 kg/ha de N y un promedio anual de 609 kg/ha, en el sistema maíz-avena. En relación a esta variable debe resaltarse el hecho que en esta localidad se alcanzó una mayor extracción, que en Pichidegua, debido fundamentalmente al cv de maíz empleado en Lonquén, donde se trabajó con la variedad Pegaso, la que aparentemente tiene una mayor habilidad para captar nitrógeno (menor eficiencia agronómica) que el híbrido Pionner 3335, equivalente a 131 kg/ha anuales adicionales, es decir un 27% más eficiente, a este respecto. Considerando que el maíz sustenta la alimentación de los cerdos, en nuestro país, contar con híbridos que posean una gran eficiencia en la captura del N, la evaluación de éstos puede representar una interesante línea de investigación para mitigar los efectos de este elemento sobre el ambiente, aunque no así en eficiencia de conversión N absorbido/kg grano producido.

Para el caso de la lixiviación evaluada en Lonquén, al igual que lo acontecido en Pichidegua, se observa una relación mayor entre el N aplicado y este fenómeno, con una dinámica distinta al analizar las cantidades de N lixiviado en los tratamientos con purines y con fertilizantes minerales, tal como se presenta en el siguiente gráfico

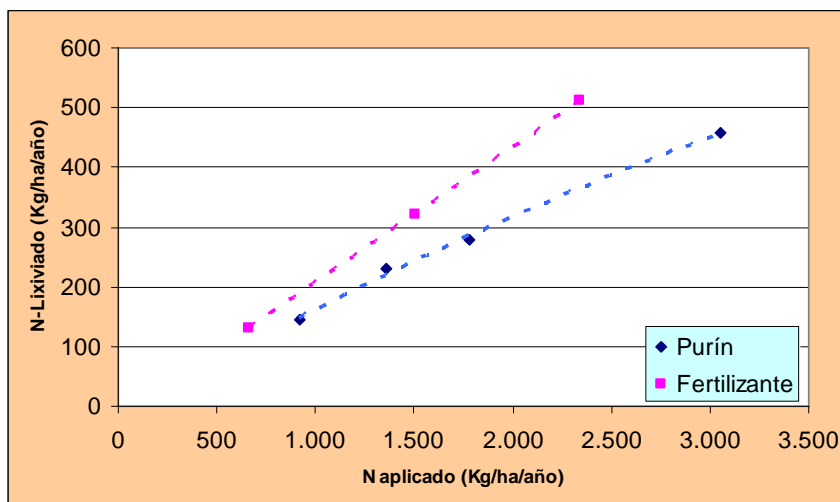


Figura 3.15. Maíz-Avena. Relación entre N aplicado y N lixiviado. Promedio anual de tres temporadas. Lonquén.

Del análisis de esta figura, que considera la adición de purines y de fertilizantes por separado, es posible ratificar las conclusiones emitidas al comentar los resultados alcanzados en Pichidegua, donde el N aplicado vía Urea, presenta una mayor facilidad para lixiviarse que el N aportado vía purines, debido a que este último se encuentra mayormente bajo una condición orgánica, no disponible inmediatamente para este proceso. Con la finalidad de cuantificar lo comentado, se presenta en el próximo gráfico la relación porcentual entre ambos fenómenos.

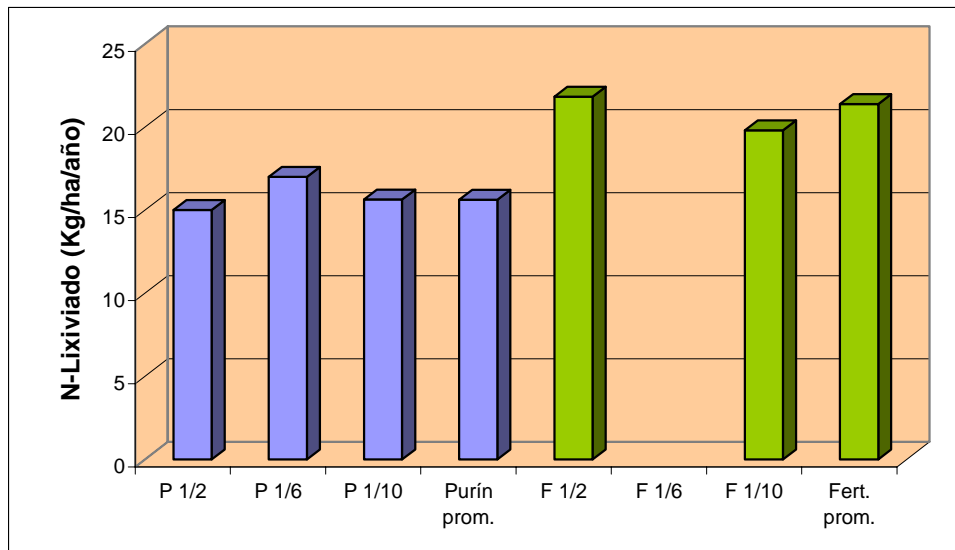


Figura 3.16. Lonquén. Relación entre N lixiviado y N aplicado en %.

De esta figura se ratifican la dinámica del N, respecto a la lixiviación. En efecto, mientras el N proveniente de fertilizante mineral (urea), se lixivia en un 21,4% respecto del N aplicado, el N proveniente de purines de cerdo se pierde por este proceso en un porcentaje bastante inferior, solo en un 15,6% en promedio. Es decir, el N mineral se lixivia en un 37,2% más que el N orgánico proveniente de purines de cerdo.

Respecto del N volatilizado, tal como se ha comentado, solo se hizo una estimación, en base a antecedentes bibliográficos, considerándose para este estudio en particular, un 15% del N disponible, considerando aquel aplicado más el residual que existía en el suelo.

Comentario [YAM2]: ¿???

Debido a que el N lixiviado depende de los niveles de N aplicado, el N extraído por las plantas es casi constante y el N volatilizado se estima a partir de un porcentaje del N disponible. Para el N residual también se establece una relación con el N aplicado, tal como se presenta en las figuras 3.17 y 3.18.

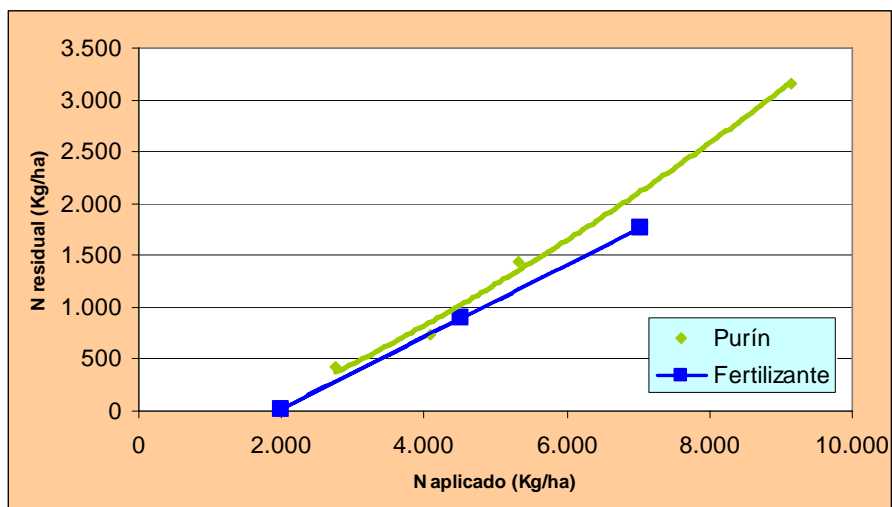


Figura 3.17. Lonquén. Relación entre N aplicado en tres temporadas y el N residual (Kg/ha).

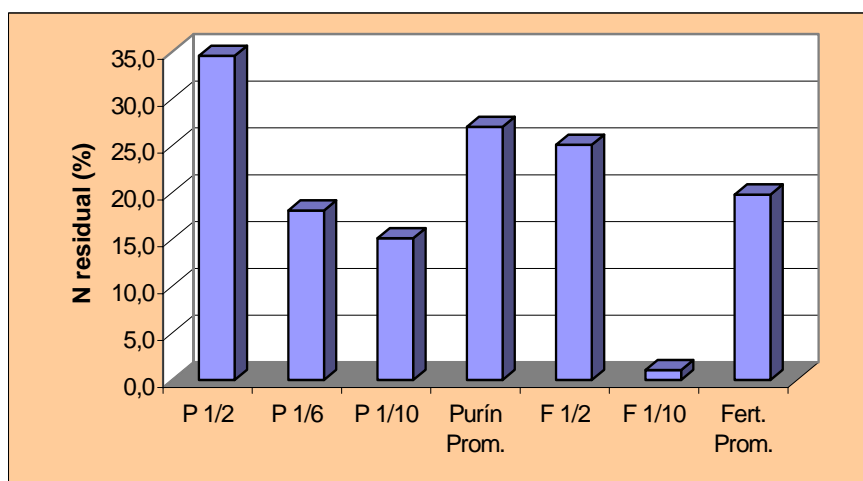


Figura 3.18. Lonquén. Relación entre N aplicado en tres temporadas y el N residual en %.

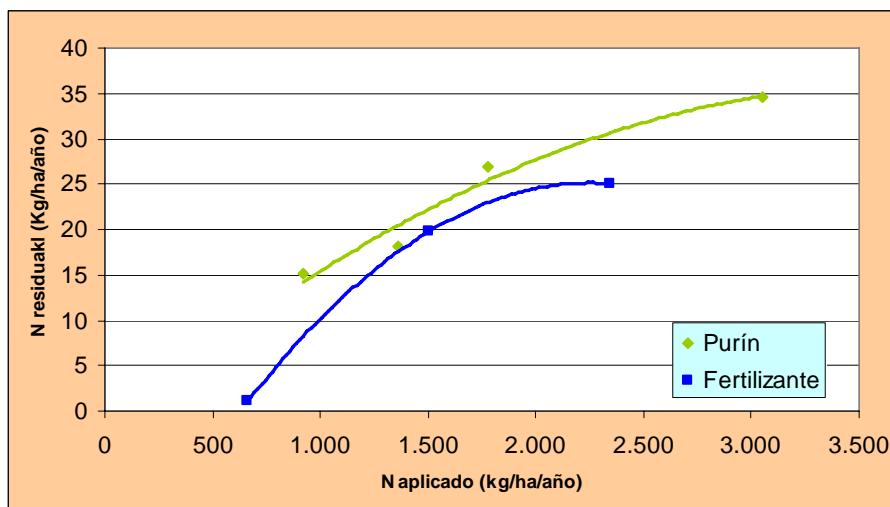


Figura 3.19. Lonquén. Relación entre N aplicado anualmente, en promedio y el N residual (%).

Del análisis de la figura 3.17, se aprecia en general, que en Lonquén, para la variable N-residual, no se evidencia un efecto diferencial de acuerdo al origen del N aplicado. En efecto, prácticamente se establece una relación directa entre el N aplicado y el N residual, sin importar el origen de este elemento, a diferencia de lo observado en Pichidegua, debido probablemente a que en Lonquén se alcanzó una mineralización más rápida del N orgánico contenido en los purines de cerdo, dado que el suelo, por sus condiciones de textura, eventualmente presentaba un régimen térmico y de humedad, distinto.

Al relativizar el N residual, respecto del N aplicado, se aprecia de la figura 3.18 un mayor N residual en el caso del N proveniente del purín de cerdo, con un promedio de un 27%, en relación al N residual alcanzado en los tratamientos que consideraban la aplicación de fertilizantes con sólo un 19,8% del N aplicado. Es decir, aunque en una menor magnitud, se confirma el hecho reportado para el caso de Pichidegua, en que el N originado a partir de los purines aplicados al suelo, tiende a permanecer en el suelo por un mayor tiempo, quedando en forma residual y disponible para futuros cultivos.

De acuerdo a los resultados reportados se pueden obtener las siguientes conclusiones para los tratamientos aplicados en el sistema maíz-avena:

- La extracción promedio de este sistema, es variable, dependiendo de la localidad, la variedad y el rendimiento obtenido. En promedio, para las 3 temporadas de estudio, esta fluctuó entre los 480 y 610 kg N/ha/año.
- Existen variedades de maíz más extractivas de nitrógeno (menos eficientes en producción de grano) que pueden ser estudiadas como plantas remediadoras del N en el suelo.
- El nitrógeno aportado como purín de cerdo, para todas las tasas aplicadas, es potencialmente de menor riesgo de lixiviación que el aplicado como fertilizante mineral (urea).
- Estudios sobre volatilización del N desde el suelo, son relevantes para entender a cabalidad los procesos envueltos en la dinámica del N en suelos agrícolas. La estimación de un 15% de volatilización, en esta etapa, puede ser suficiente, pero estudios más detallados son necesarios.

c.- Sistema de pradera permanente con Ballica.

Al igual que en los sistemas anteriormente evaluados, la información generada para el sistema ballica, será analizada al interior de cada sitio de ensayos. En este caso, dado que la pradera se pudo establecer recién al segundo año de estudio, en definitiva los tratamientos estudiados se evaluaron en solo dos temporadas completas y el invierno de la tercera temporada.

Pichidegua

En la figura 3.20 se presenta la dinámica del nitrógeno, donde se grafica el N total aplicado, lixiviado, volatilizado, extraído por las plantas y residual, expresados en kg/ha, para el conjunto de las temporadas de estudio.

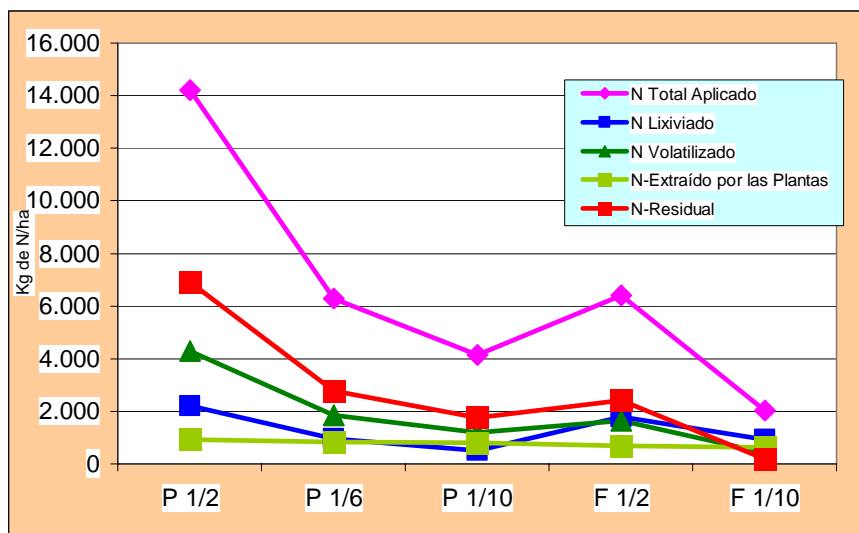


Figura 3.20. Pichidegua. Pradera permanente, dinámica del N. Mayo 2002-Sept 2004.

En Pichidegua, el tratamiento que consideraba la adición de purines en la dilución de 1/2, acumuló un total de 14.221 kg/ha de N, en dos temporadas, con un promedio anual de 7.111 kg/ha de N. Por el contrario, en la aplicación en base a purines en la proporción 1/10, se alcanzó un total de 4.137 kg/ha de N, con un promedio anual de 2.069 kg/ha de este elemento. Para el caso de los tratamientos que consideraban a la Urea como fuente de nitrógeno, se alcanzaron dosificaciones de 6.404 y 2.024 kg/ha de N, para el acumulado en el periodo de estudio, en los tratamientos equivalentes a una proporción 1/2 y 1/10, respectivamente, con promedios anuales de 3.202 y 1.012 kg/ha de N.

Al analizar el resto de las variables estudiadas, se observa que la extracción de N por las plantas no se relacionó con los niveles de N disponibles en el suelo, sino más bien con el potencial de rendimiento del sitio y de la especie evaluada. En efecto, la extracción acumulada en el período estudiado, fluctuó entre 631 y 911 kg/ha para los cinco tratamientos evaluados, con un promedio de 769 kg/ha de N y **un promedio anual de 354 kg/ha**, considerando sólo los dos primeros años en que se evaluó la temporada agrícola completa.

Para el caso de la lixiviación, se observa una relación mayor entre el N aplicado y este proceso, con una dinámica distinta al analizar las cantidades de N lixiviado en los tratamientos con purines y con fertilizantes minerales, al igual que lo apreciado para el caso del sistema maíz-avena (Figura 3.21).

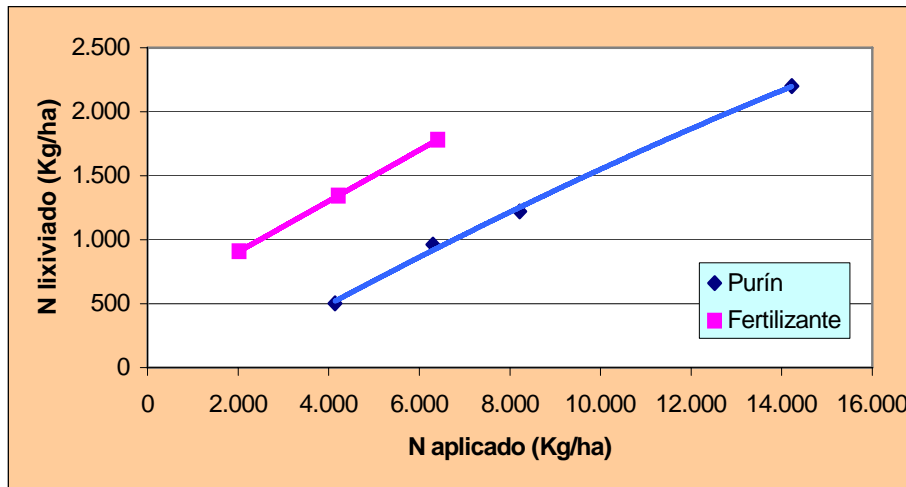


Figura 3.21. Pichidegua. Ballica, relación entre N aplicado y N lixiviado. Mayo 2002-Sept 2004.

De esta figura, que considera la adición de purines y de fertilizantes por separado, se ratifican las conclusiones emitidas al comentar los resultados alcanzados en el sistema maíz-avena, tanto en Pichidegua como en Lonquén, donde en primer lugar se evidencia una estrecha relación entre el N aplicado y el N lixiviado. En segundo lugar se observa que a igual cantidad de N aplicado, lo adicionado mediante fertilización mineral, presenta una mayor facilidad para lixiviarse que el N aportado vía purines, debido a que este último se encuentra mayormente bajo una condición orgánica, no disponible inmediatamente para este proceso. Con la finalidad de cuantificar la mayor capacidad de lixiviación del N aportado, se presenta en el próximo gráfico la relación porcentual entre ambos fenómenos.

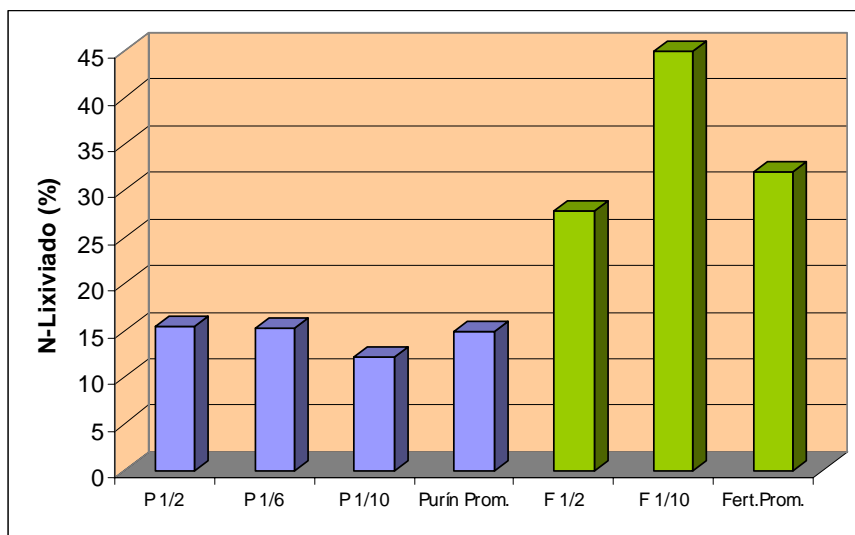


Figura 3.22. Pichidegua. Ballica, relación entre N lixiviado y N aplicado en %. Mayo 2002-Sept 2004.

De esta figura se ratifica la dinámica del N, respecto al fenómeno de la lixiviación. En efecto, mientras el N proveniente de fertilizante mineral (urea), se lixivia en un 31,9% respecto del N aplicado, el N proveniente de purines de cerdo se pierde por este proceso en un porcentaje bastante inferior, solo en un 14,9% en promedio, quedando en consecuencia una mayor cantidad de N residual, tal como se discutirá mas adelante.

Respecto del N volatilizado, tal como se ha comentado, solo se hizo una estimación, en base a antecedentes bibliográficos, considerándose para este estudio en particular un 15% del N disponible, ya sea aplicado o residual en el suelo.

Dado que el N residual corresponde al N que permanece en el suelo luego de los fenómenos de volatilización, lixiviación y extracción por las plantas, se establece una relación estrecha con el N aplicado, tal como se presenta en las figuras siguientes.

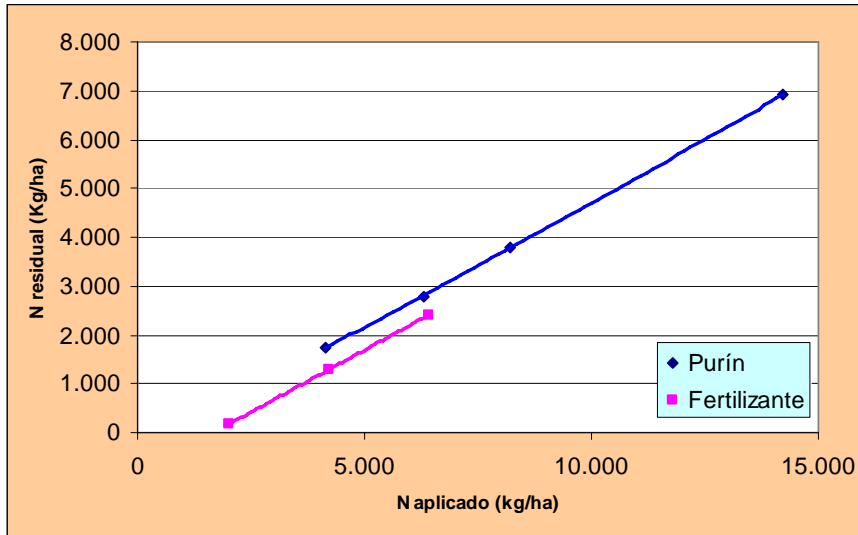


Figura 3.23. Pichidegua. Ballica, relación entre N aplicado y el N residual (kg/ha). Mayo 2002-Sept 2004.

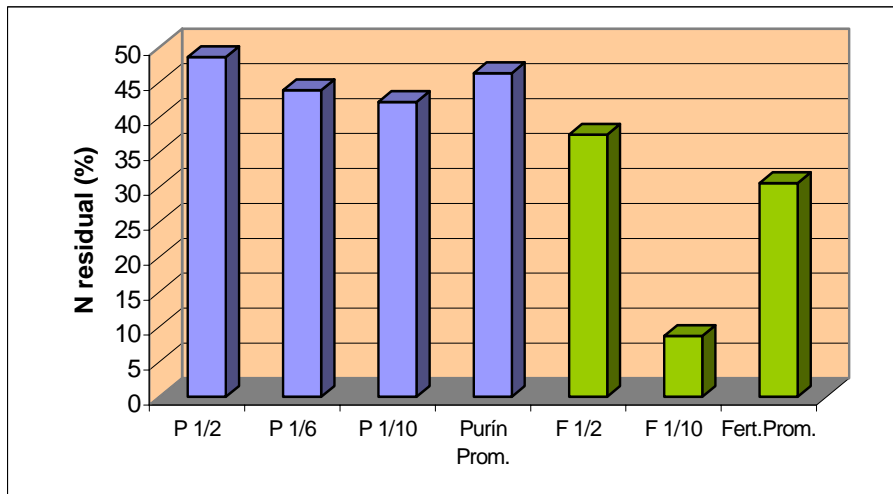


Figura 3.24. Pichidegua. Ballica, relación entre N aplicado, en promedio y el N residual (%). Mayo 2002-Sept 2004.

Del análisis de la figura 3.23, se aprecia en Pichidegua una estrecha relación entre el N aplicado y el N que queda en el suelo en forma residual, donde a igual tasa de aplicación de este elemento, en general, se aprecia que las mayores cantidades residuales de N se obtienen en los tratamientos que consideran la adición de purines al suelo, en relación a aquellos que consideran la aplicación de Urea. Estos resultados, ratifican lo comentado frente a este mismo fenómeno en el caso del sistema maíz-avena.

Al relativizar el N residual, respecto del N aplicado, se aprecia de la figura 3.24 un mayor N residual en el caso del N proveniente del purín de cerdo, con un promedio de un 46,3%, en relación al N residual alcanzado en los tratamientos que consideraban la aplicación de fertilizantes con solo un 30,6% del N aplicado. Es decir, el N residual, en Pichidegua, se incrementa en 15,7 puntos porcentuales, respecto del N aplicado, cuando la adición de este elemento se hace a través de purines de cerdo, en comparación a un fertilizante mineral, como Urea.

Lonquén

En la figura 3.25 se presenta la dinámica del nitrógeno, evaluada en Lonquén, donde se grafica el N total aplicado, lixiviado, volatilizado, extraído por las plantas y residual, expresados en kg/ha, para el conjunto de las tres temporadas de estudio.

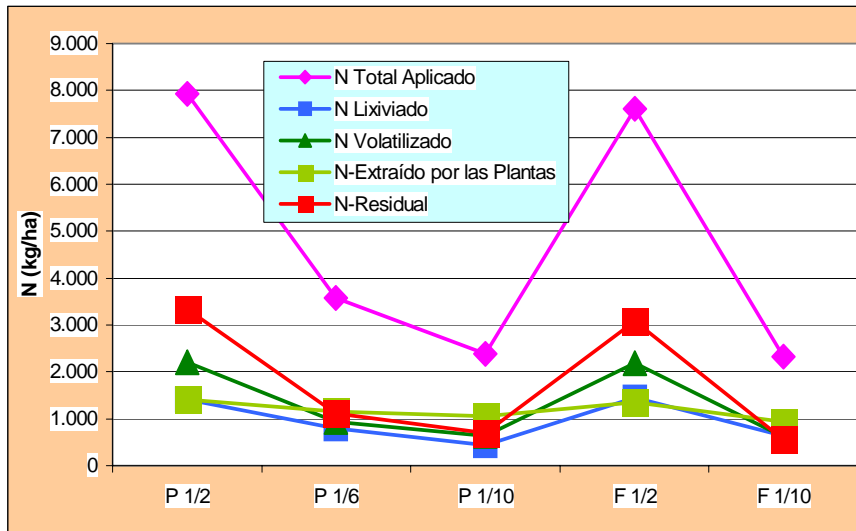


Figura 3.25. Lonquén. Pradera permanente, dinámica del N. Mayo 2002-Sept 2004.

El tratamiento que consideraba la adición de purines en la dilución de 1/2, acumuló un total de 7.922 kg/ha en dos aplicaciones, con un promedio anual de 3.961 kg/ha de N. Por el contrario, en la aplicación en base a purines en la proporción 1/10, se alcanzó un total de 2.384 kg/ha de N, con un promedio anual de 1.192 kg/ha de este elemento. Para el caso de los tratamientos que consideraba a la Urea como fuente de nitrógeno, se alcanzaron dosificaciones de 7.600 y 2.320 kg/ha de N, para el acumulado en el periodo de estudio, en los tratamientos equivalentes a una proporción 1/2 y 1/10, respectivamente, con promedios anuales de 3.800 y 1.160 kg/ha de N.

Al analizar el resto de las variables estudiadas, la extracción de N por las plantas no se relaciona con los niveles de N disponibles en el suelo, sino más bien con el potencial de rendimiento del

sitio y de la especie evaluada. En efecto, la extracción acumulada en el período estudiado, fluctuó entre 938 y 1.412 kg/ha para los cinco tratamientos evaluados, con un promedio 1.180 kg/ha de N y **un promedio anual de 552 kg/ha**, considerando solo los dos primeros años en que se evaluó la temporada agrícola completa. Debe resaltarse el hecho, que al igual que lo comentado para el sistema maíz-avena, en este caso, también en Lonquén se alcanzó una mayor extracción de N, en comparación a Pichidegua. En efecto, en ballica, la extracción observada en Lonquén fue de un 55,9% superior a la obtenida por esta especie en Pichidegua, debido por una parte a la mayor productividad lograda, especialmente durante la primera temporada en Lonquén y además porque en este sitio se alcanzó una mayor concentración de N en la materia seca de la ballica, un 2,54%, en comparación a un 2,18% de Pichidegua.

Para el caso de la lixiviación, se observa una relación mayor entre el N aplicado y este proceso, donde se evidencia una ligera mayor magnitud de la lixiviación en los tratamientos que consideraban la aplicación de fertilizantes minerales, al igual que lo apreciado para el caso del sistema maíz-avena (figura 3.26).

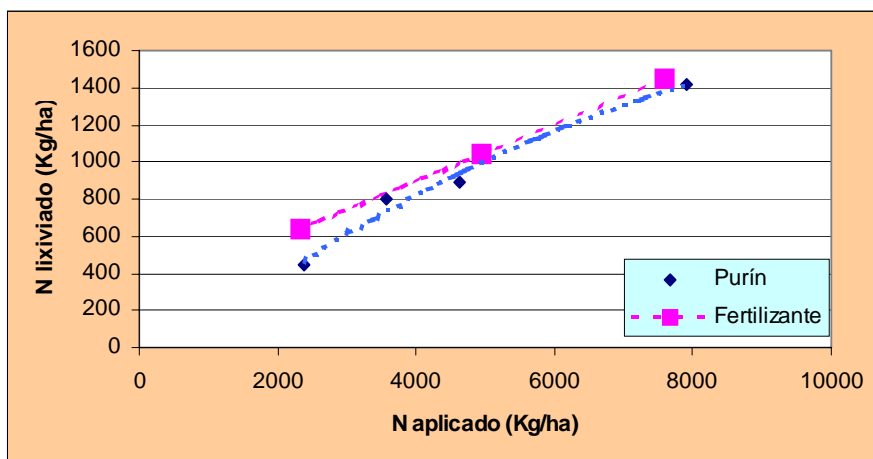


Figura 3.26. Lonquén. Ballica, relación entre N aplicado y N lixiviado. Mayo 2002-Sept 2004.

De esta figura, que incluye los promedios alcanzados por los tratamientos que consideran la adición de purines y de fertilizantes por separado, se ratifican las conclusiones emitidas al comentar los resultados alcanzados en el sistema maíz-avena, tanto en Pichidegua como en Lonquén, donde se evidencia una estrecha relación entre el N aplicado y el N lixiviado. Además, se observa que a igual cantidad de N aplicado, lo adicionado mediante fertilización mineral, presenta una mayor tendencia para lixiviarse que el N aportado vía purines. En la figura 3.27 se presenta la relación porcentual entre el N lixiviado y el N aportado en cada tratamiento.

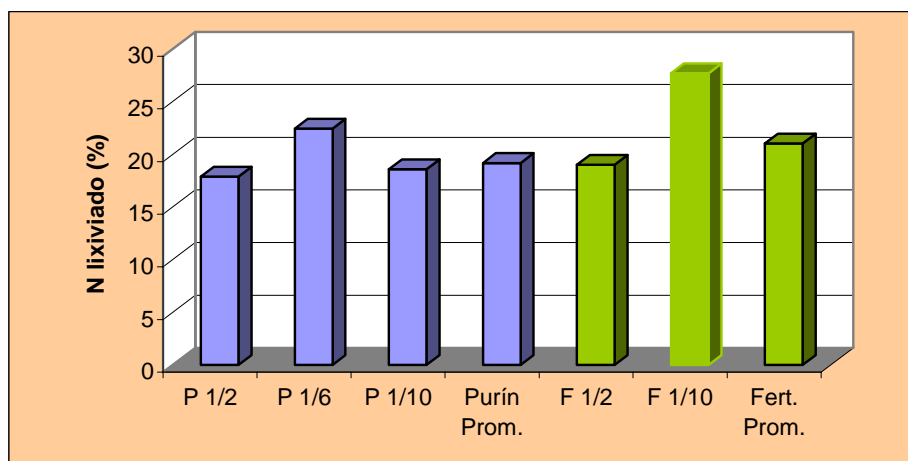


Figura 3.27. Lonquén. Ballica, relación entre N lixiviado y N aplicado en %. Mayo 2002-Sept 2004.

Al analizar la tendencia, a través de los promedios de los tratamientos que incluían la aplicación de purines y fertilizantes minerales respectivamente, se aprecia aunque en un grado menor, que el N proveniente de un fertilizante mineral, como urea, se lixivia en un 21,0% respecto del N aplicado, mientras que el N proveniente de purines de cerdo se pierde por este proceso en un porcentaje levemente inferior, un 19,2%.

Respecto del N volatilizado, tal como se ha comentado, sólo se hizo una estimación, en base a antecedentes bibliográficos, considerándose para este estudio en particular un 15% del N disponible, ya sea aplicado como aquel residual que permanece en el suelo.

En cuanto al N residual, se observa una muy estrecha relación con el N aplicado, tal como se presenta en las figuras siguientes.

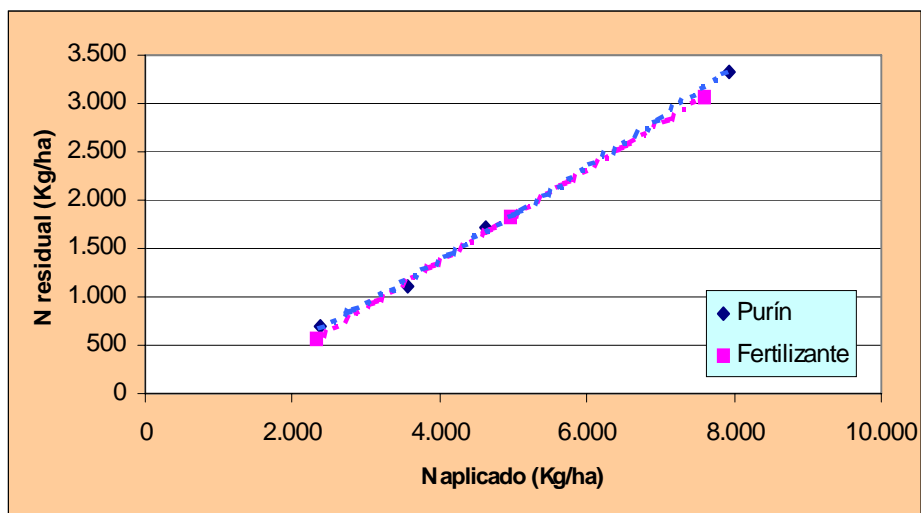


Figura 3.28. Lonquén. Ballica, relación entre N aplicado y el N residual (kg/ha). Mayo 2002-Sept 2004.

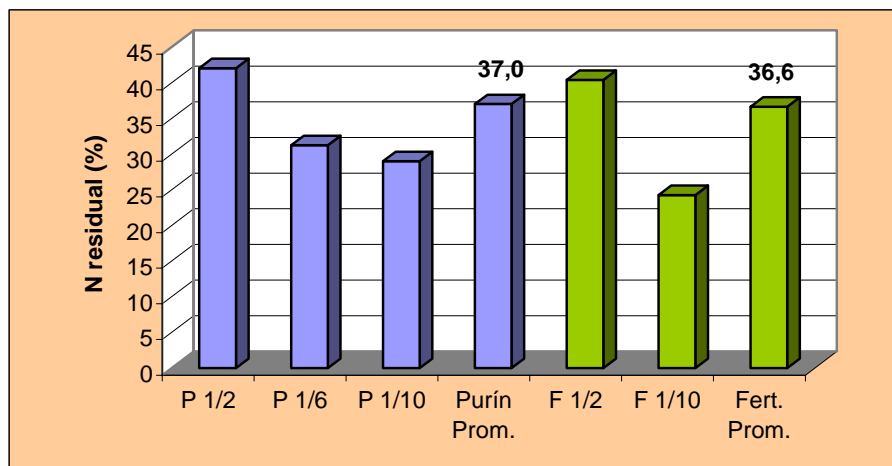


Figura 3.29. Lonquén. Ballica, relación entre N aplicado, en promedio y el N residual (%). Mayo 2002-Sept 2004.

De la figura 3.28, se aprecia que en Lonquén, se obtuvo una alta relación entre el N aplicado y el N que queda en el suelo en forma residual, donde a diferencia de lo comentado para los otros sistemas productivos, en este caso no se establece una diferencia para este fenómeno, al comparar el comportamiento de los diferentes tratamientos aplicados. Así, mientras que el promedio de los tratamientos que consideraban la adición de purines de cerdo, alcanzó un N residual equivalente a un 37,0% respecto del N aplicado, los tratamientos que consideraban la aplicación de urea como fuente nitrogenada alcanzó un N residual de un 36,6% del N aplicado. Es decir, no se evidenciaron diferencias al comparar el origen de la fuente nitrogenada.

De acuerdo a los resultados reportados se pueden obtener las siguientes conclusiones para los tratamientos aplicados en el sistema pradera permanente.

- La extracción promedio de este sistema, es variable, dependiendo de la localidad, la variedad y el rendimiento obtenido. En promedio, para las 3 temporadas de estudio, esta fluctuó entre los 357 y 552 kg N/ha/año, inferior a lo obtenido en el sistema maíz-avena.
- El nitrógeno aportado como purín de cerdo, para todas las tasas, es potencialmente de menor riesgo de lixiviación que el aplicado como fertilizante mineral (urea), aunque se observa una tendencia más marcada a este fenómeno en la localidad de Pichidegua.
- Estudios sobre volatilización del N desde el suelo, son relevantes para entender a cabalidad los procesos envueltos en la dinámica del N en suelos agrícolas. La estimación de un 15% de volatilización, en esta etapa, puede ser suficiente, pero estudios más detallados son necesarios.

A modo de resumen y con la finalidad de establecer comparaciones en el comportamiento de los cinco tratamientos aplicados en los tres sistemas productivos: suelo desnudo, maíz-avena y ballica, en relación a los fenómenos de lixiviación, extracción por los cultivos y residualidad del nitrógeno, se presentan las siguientes figuras.

Lixiviación:

Respecto del fenómeno de lixiviación, se puede indicar que se evidencia un comportamiento diferencial al analizar la condición de suelo desnudo y con cultivos, así como la magnitud de este proceso cuando la fuente de N es de origen mineral u orgánico, tal como se presenta en las figuras 3.30 y 3.31, con los casos de Pichidegua y Lonquén, respectivamente.

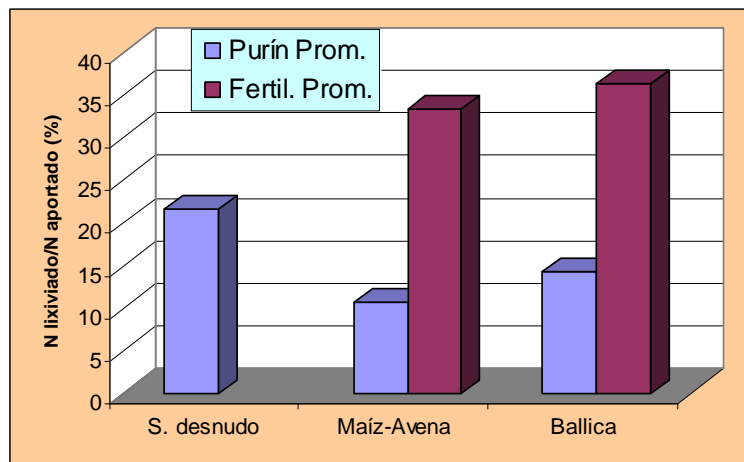


Figura 3.30. Pichidegua. Relación entre N lixiviado y N aportado (%).

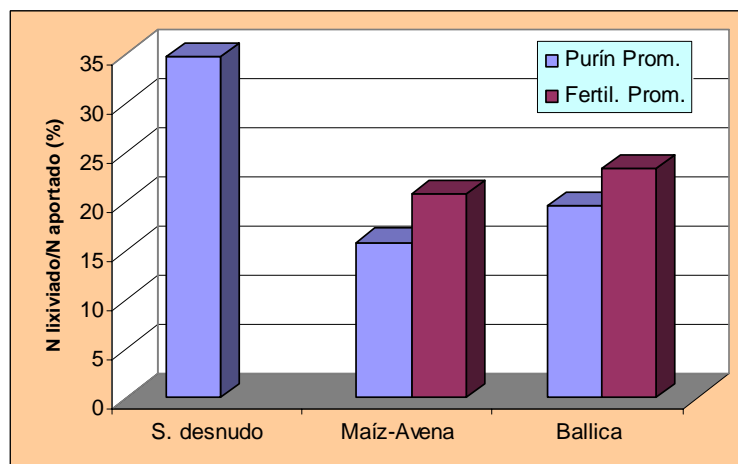


Figura 3.31. Lonquén. Relación entre N lixiviado y N aportado (%).

Para el caso de Pichidegua, se observa que la menor lixiviación relativa se presentó en el caso de los tratamientos que consideraron la aplicación de purines, con un 10,7% en el sistema maíz-avena y un 14,3% en el sistema ballica. Le sigue en términos de la magnitud de este proceso, el sistema suelo desnudo con 21,5% del N lixiviado, en relación al N aportado, mientras que cuando el N es aportado mediante una fuente mineral, urea, se evidenciaron las mayores tasas relativas de lixiviación, 33,3% en maíz-avena y 36,4% en ballica.

Por su parte, en Lonquén, en términos relativos, la mayor lixiviación se presentó en suelo desnudo, con un 34,8% del N aportado, muy superior a los tratamientos con cultivos. Le sigue en orden decreciente respecto de este fenómeno, los tratamientos en base a fertilización mineral, que alcanzaron una lixiviación de 20,8% en maíz-avena y un 23,4% en ballica. Por último, la menor lixiviación relativa se observó en los tratamientos que consideraban la adición de purines de cerdo, la que fluctuó entre 13,3 y 19,6%, para maíz-avena y ballica, respectivamente.

Para comprender de mejor manera la información entregada en estos gráficos, se presenta la figura 3.32, con los promedios logrados bajo cada condición geográfica evaluada en este estudio.

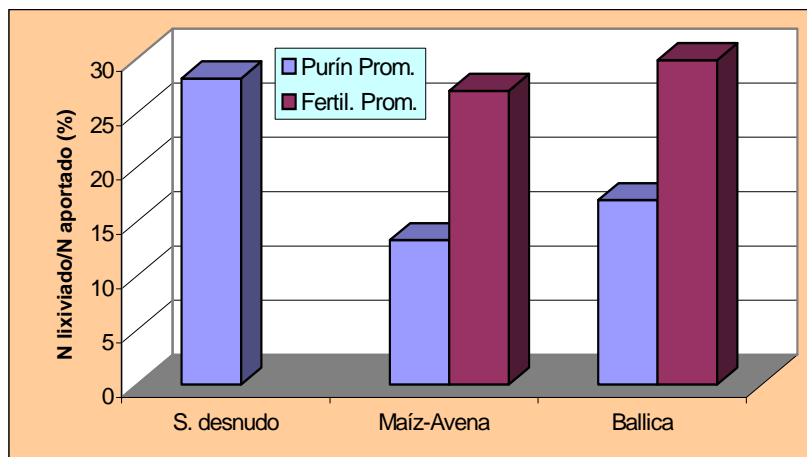


Figura 3.32. Relación entre N lixiviado y N aportado (%). Promedio Pichidegua-Lonquén.

De esta figura se observa, para el promedio de las situaciones estudiadas, que las mayores tasas relativas de lixiviación se presentan bajo suelo desnudo, donde se aplicó solo purines de cerdo (28,2%) y a un mismo nivel se evidencia la magnitud de este proceso cuando el N es aportado vía fertilizantes minerales, aún bajo condiciones de suelo cultivado en forma permanente (27,0% y 29,9%). Mientras tanto, cuando el N es aportado como purín de cerdo, en cultivos, este fenómeno disminuye drásticamente, en un 50,9 y 43,2%, en los sistemas maíz-avena y ballica, respectivamente.

De esta manera se puede concluir, que el N orgánico contenido en los purines de cerdo, no está disponible en forma inmediata para ser lixiviado y por tanto se espera quede retenido en moléculas orgánicas, de más lenta mineralización en forma residual en el suelo.

N-Residual:

El N residual, es aquel que permanece en el suelo, luego de ser aportado a éste y sufrir los procesos de volatilización (estimada), extracción por parte de los cultivos y lixiviación. A continuación se presentan la magnitud promedio de este fenómeno bajo las condiciones de suelo desnudo y cultivos permanentes, para los tratamientos evaluados, en las dos localidades de estudio.

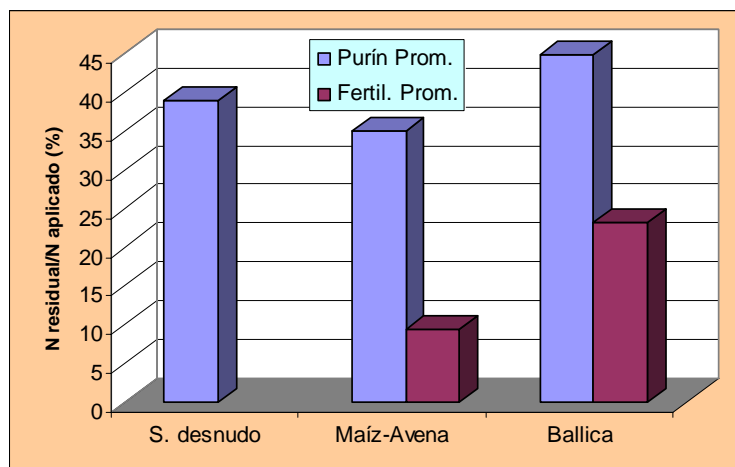


Figura 3.33. Pichidegua. Relación entre N residual y N aportado (%).

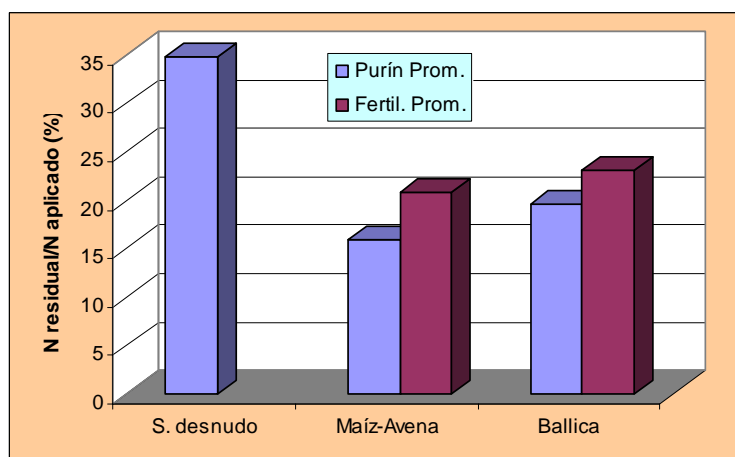


Figura 3.34. Lonquén. Relación entre N residual y N aportado (%).

En el caso de Pichidegua se observa que las mayores tasas relativas de N residual se alcanzaron en los tratamientos con aplicación de purines de cerdo. Así, en el sistema pradera permanente se alcanzó un N-residual de un 44,9%, respecto del N aplicado, seguido por suelo desnudo, con un 38,9% y sistema maíz-avena, con un 34,9%. Debe resaltarse el hecho que suelo desnudo presenta un gran porcentaje de N residual en relación al N aportado, a pesar de constituir una de las

condiciones donde mayormente se lixiviaba este elemento, situación que se puede explicar por el hecho que no existió extracción de N por parte de cultivos. Donde se establece una diferencia notable, es con los tratamientos que consideraban la adición de fertilizante minerales, puesto que el N residual alcanzó al 9,4% y 23,15 del N aplicado en los sistemas maíz-avena y ballica, respectivamente.

Por otra parte, en Lonquén, bajo condiciones de suelo desnudo se aprecia algo similar a Pichidegua, pues el N residual, superó el 30% del N aportado (34,8%). Sin embargo, bajo condición de cultivos, no se establece una gran diferencia en relación al origen de la fuente nitrogenada, con una ligera mayor tasa de N residual, en los tratamientos derivados de fertilización mineral.

Para comprender de mejor manera la información entregada en estos gráficos, y suavizar las fluctuaciones observadas entre localidades, se presenta la figura 3.35, con los promedios logrados bajo cada condición evaluada en este estudio.

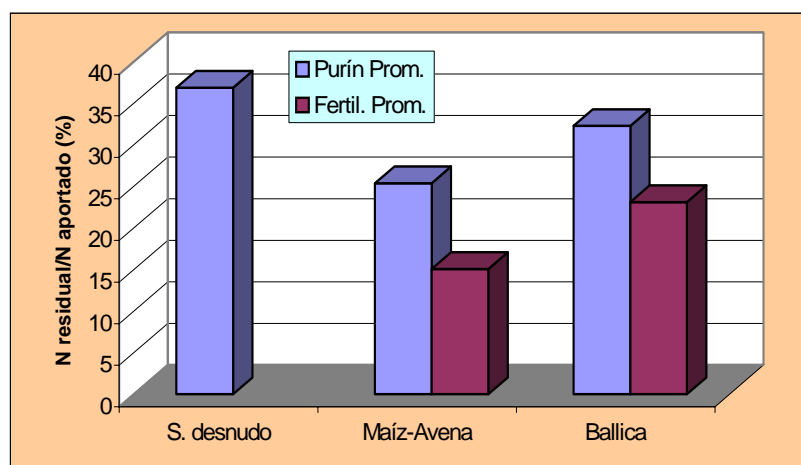


Figura 3.35. Relación entre N residual y N aportado (%). Promedio Pichidegua-Lonquén.

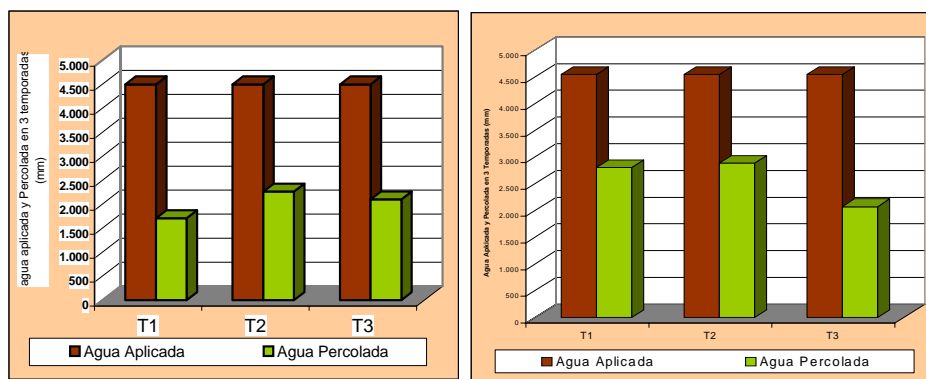
Al promediar las situaciones estudiadas se observa de esta figura, que en términos relativos, en relación al N aportado, que la mayor magnitud de N residual se presenta en promedio, en los tratamientos que consideraban la aplicación de purines de cerdo, bajo la condición de suelo desnudo con un 36,9%. Le siguen, también los tratamientos que incluían la adición de N a través de purines de cerdo, con un 32,3% de N-residual, en el caso del sistema pradera permanente de ballica y con un 25,4% para el caso del sistema de cultivos sobre la base de la rotación maíz-avena. En último lugar se ubicaron los tratamientos que aportaron el N vía fertilización mineral, con un 23,1% de N residual, en el caso del sistema ballica y un 15,1% en el sistema maíz-avena. En forma inversa a lo comentado para la lixiviación, se puede concluir respecto del N residual, al analizar exclusivamente los sistemas de cultivos, promediando la información generada, que en la rotación maíz –avena, éste se incrementa en un 68,2%, cuando el origen del N es orgánico, mientras que en el sistema de pradera permanente, este incremento es de un 39,8%, respecto del N mineral.

Estos resultados ratifican los comentarios emitidos al analizar el N lixiviado, puesto que efectivamente el N orgánico, contenido en los purines de cerdo, es de mas lenta mineralización que el N mineral y permanece por un mayor tiempo en forma residual en el suelo.

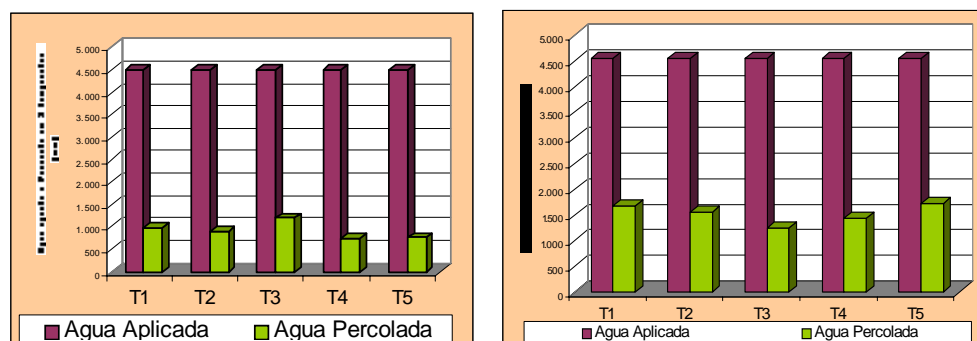
4.3.3. Balance hídrico:

En informes anteriores, anuales y semestrales, se elaboraron balances hídricos parciales, que mostraban la utilización de agua por los cultivos, las aplicaciones de agua a los lisímetros, y lo más importante, el drenaje o percolación profunda, medida en terreno, cifra que es de gran relevancia para entender la dinámica del nitrógeno en el suelo. Los resultados que se presentan en este informe, se elaboraron en base a la información colectada en terreno y al balance hídrico de todo el período de ensayos para cada sistema de manejo. En este balance se contrastaron, principalmente, el agua aplicada, que considera precipitaciones y riegos, con el agua percolada por los lisímetros, en cada tratamiento.

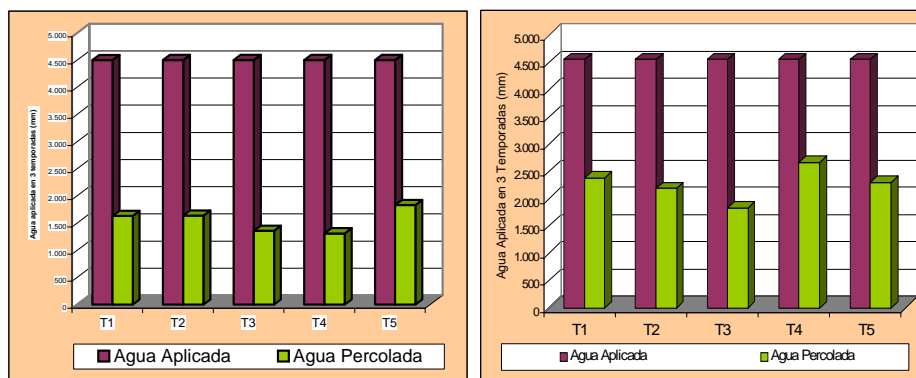
Las figuras siguientes muestran la relación entre el agua aplicada y el agua percolada, bajo la condición de suelo desnudo, sistema intensivo de cultivos maíz-avena y sistema de pradera permanente de ballica, así como el porcentaje de percolación obtenido en cada sistema de cultivo y tratamiento evaluado, tanto en Lonquén, como Pichidegua.



a) b)
Figura 3.36. Suelo desnudo. Lonquén (a)- Pichidegua (b). Relación entre agua aplicada y percolada (%). Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.



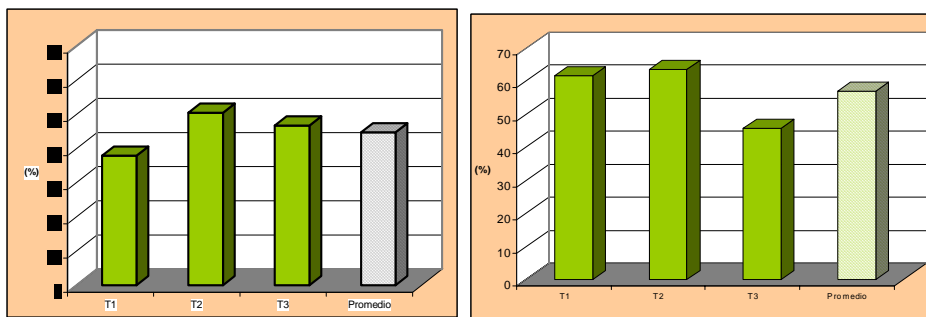
a) b)
Figura 3.37. Maíz-Avena. Lonquén (a)-Pichidegua (b). Relación entre agua aplicada y percolada (%). Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.



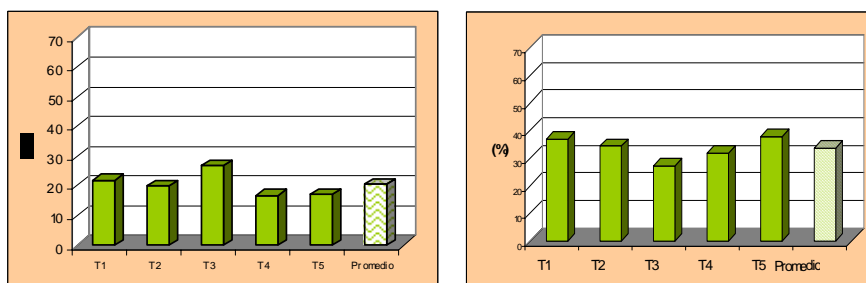
a) b)
Figura 3.38. Ballica. Lonquén (a)-Pichidegua (b). Relación entre agua aplicada y percolada (%).
Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

Considerando que el agua aplicada, ya sea a través del sistema de riego, como de las precipitaciones, durante las tres temporadas de estudio, fue igual para los tres sistemas de cultivos evaluados (4.499 mm en Lonquén y 4.548 mm en Pichidegua), se puede observar de estos gráficos, que en suelo desnudo se presentó la mayor cantidad de agua percolada, fluctuando entre 1.708 y 2.265 mm en Lonquén y entre 2.074 y 2.886 mm en Pichidegua. Le sigue la condición de suelo con pradera permanente de ballica, donde el agua percolada fluctuó entre los 1.308 y 1.829 mm en Lonquén y entre 1.821 y 2.659 mm en Pichidegua; mientras que en el sistema maíz/avena, solo se registró una percolación que fluctuó entre 752 y 1.196 mm de agua en Lonquén y entre 1.242 y 1.718 mm en Pichidegua, lo que indica que esta asociación de cultivos es la que extrae la mayor cantidad de agua, situación que resulta de extrema importancia cuando se correlaciona esta variable con la lixiviación de nitrógeno, tal como se discutirá mas adelante. Por otra parte, se evidencia que para los tres sistemas de cultivos, la mayor percolación de agua se evidenció en Pichidegua, eventualmente por el tipo de suelo del sitio de ensayos.

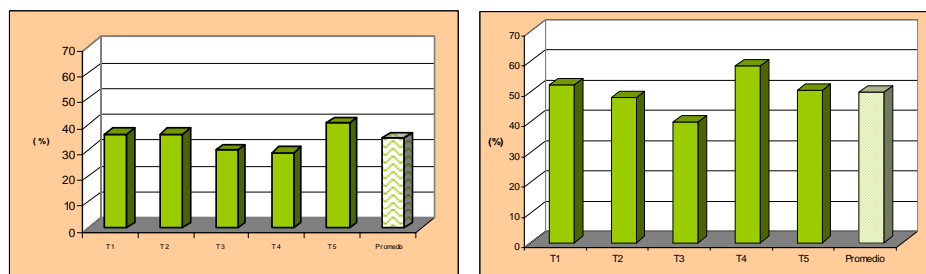
Con la finalidad de expresar la percolación del agua en términos relativos, es decir en función de las tasas aplicadas para cada condición de cultivo y cada tratamiento evaluado, así como el promedio de éstos, se presentan las Figuras siguientes:



a) b)
Figura 3.39. Suelo desnudo. Lonquén (a)-Pichidegua (b). Porcentaje de percolación. Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.



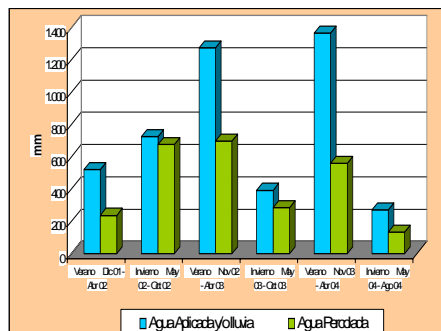
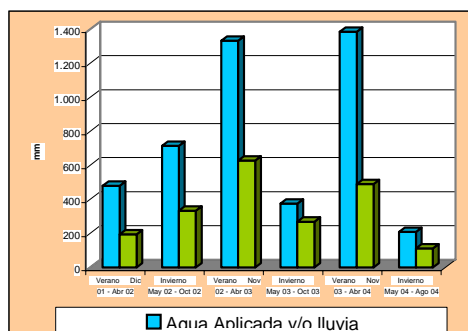
a) b)
Figura 3.40. Maíz-Avena. Lonquén (a)-Pichidegua (b). Porcentaje de percolación.. Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.



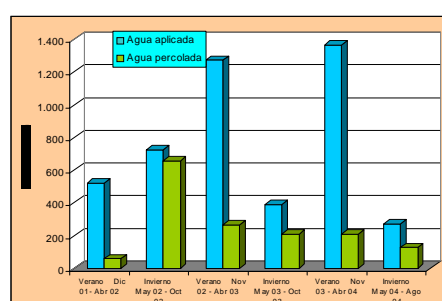
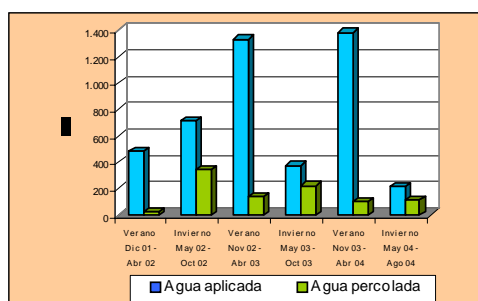
a) b)
Figura 3.41. Ballica. Lonquén (a)-Pichidegua (b). Porcentaje de percolación. Temporadas 2001-02; 2002-03 y 2003-04.

De las figuras anteriores, se observa que al comparar suelo desnudo, con los otros dos sistemas que consideraban cobertura de suelo mediante cultivos, en ambas localidades, el porcentaje promedio de agua percolada fue de 44,8% en Lonquén y 56,9% en Pichidegua, para el primer caso, mientras que en los suelos bajo condición de cobertura vegetal el agua percolada fluctuó en promedio entre el 20,4 y 34,5% en Lonquén y entre 33,6 y 49,8% en Pichidegua, en relación al agua aplicada (más precipitaciones). La mayor percolación observada bajo la condición de suelo desnudo, se produce debido a que los cultivos extraen agua, reduciendo la disponibilidad del agua para su percolación, durante las fases de crecimiento activo. Por otra parte, se ratifica lo comentado anteriormente, en el sentido que en Pichidegua se evidencia para cualquier condición de manejo del suelo, una mayor percolación del agua, entre 12,1 y 15,3 puntos porcentuales en promedio, respecto de Lonquén. Esta situación, es básica para entender el movimiento del nitrógeno en el suelo, puesto que el volumen de agua percolada tiene un efecto directo sobre la capacidad de transporte de nutrientes.

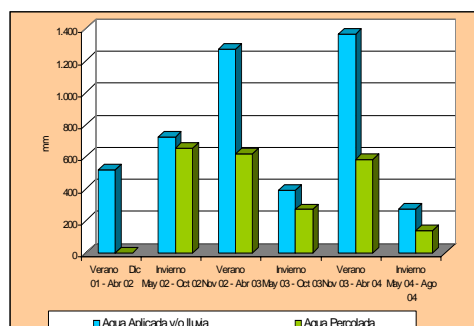
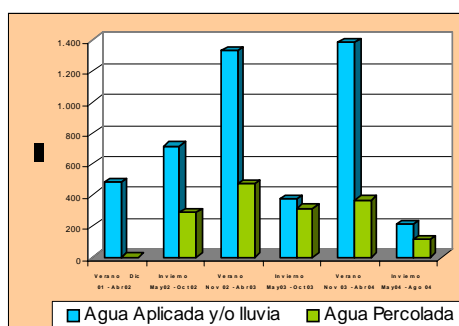
Adicionalmente se procedió a desarrollar balances parciales, por período, a objeto de discriminar más en detalle la época donde se produce la máxima percolación y la fuente principal de aporte hídrico. Se separó el período completo de estudio, en períodos de primavera-verano (noviembre-abril) y otoño-invierno (mayo – octubre). Debe indicarse que el agua aplicada en los períodos de otoño invierno corresponde casi completamente a precipitaciones, mientras en los períodos de primavera-verano, es fundamentalmente riego artificial. A continuación en las siguientes Figuras se presenta esta información para los tres sistemas de cultivos evaluados.



a) b)
Figura 3.42. Suelo Desnudo. Lonquén (a)-Pichidegua (b). Agua aplicada y percolada por temporada.



a) b)
Figura 3.43. Maíz-Avena. Lonquén (a)-Pichidegua (b). Agua aplicada y percolada por temporada.



a) b)
Figura 3.44. Ballica. Lonquén (a)-Pichidegua (b). Agua aplicada y percolada por temporada.

Al analizar el agua percolada al interior de las temporadas de invierno y verano, durante las temporadas 2 y 3 del estudio, una vez que los lisímetros se estabilizaron, se puede observar que para la condición de suelo desnudo las mayores pérdidas de agua por este fenómeno ocurren en primavera-verano, las que fluctúan entre 489 y 628 mm en Lonquén y entre 560 y 697 mm en Pichidegua. Sin embargo, en términos relativos al agua aplicada, las mayores percolaciones de agua, en promedio, se alcanzan en otoño-invierno, con un 62,3% y 60,8% en Lonquén y Pichidegua, respectivamente, respecto a un 41,2% y 47,9 % para el período de primavera-verano, en dichas localidades. Por otra parte, al analizar el agua percolada bajo cultivo de maíz-avena, se observa que en el período de primavera-verano, se logran las menores pérdidas de agua, debido a la gran capacidad que tienen las plantas de maíz para demandar este recurso. En efecto, durante esa fase del año, se alcanzaron percolaciones de agua que fluctuaron entre 94 y 132 mm en Lonquén, y entre 210 y 265 mm en Pichidegua, lo que representa, en relación al agua aplicada, un 8,4 y un 18,1% en promedio, respectivamente, contrastando fuertemente con el 55,2% y 50,1% de agua percolada bajo condiciones de otoño-invierno, para dichas localidades. Por último, en relación al sistema pradera permanente, ballica, se observa una situación intermedia, dado por la menor capacidad extractiva de agua de esta especie en comparación a maíz. Así se evidencia que los mayores volúmenes de agua percolada, en la segunda y tercera temporada de estudio, se logran en primavera-verano, con niveles que alcanzan entre 370 y 470 mm en Lonquén y entre 583 y 617 mm en Pichidegua, lo que representa en promedio un 31,0% y 45,6% del agua aplicada, respectivamente. Entre tanto, en otoño-invierno, se observan volúmenes menores, pero representa en promedio, un 68,6 en Lonquén y un 60,6% en Pichidegua, del agua aplicada.

De este análisis se puede concluir, que cuando el suelo está descubierto, las mayores pérdidas de agua se alcanzan en el período de verano, mientras que cuando el suelo está con una cobertura altamente demandante de agua, como maíz, el agua percolada es mínima en este período, entre el 8,4 y 18,1% del agua aplicada. Por otra parte, en el período invernal, aunque se observan menores volúmenes de agua percolada, en términos porcentuales representan niveles superiores al 50% del agua aplicada, bajo cualquier condición de manejo (cultivo o suelo desnudo).

Relaciones agua percolada y nitrógeno lixiviado

Con la finalidad de establecer relaciones entre el agua percolada y el nitrógeno lixiviado, se desarrollaron regresiones entre ambas variables, en cada localidad de estudio, las que se presentan para cada situación de manejo en las Figuras siguientes.

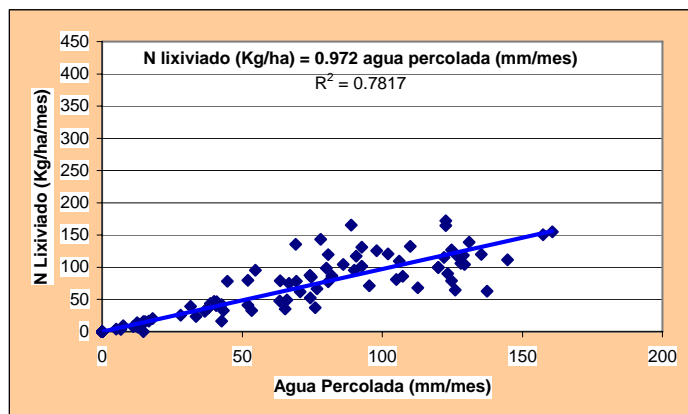


Figura 3.45. Lonquén. Suelo Desnudo, relación entre agua percolada y N lixiviado.

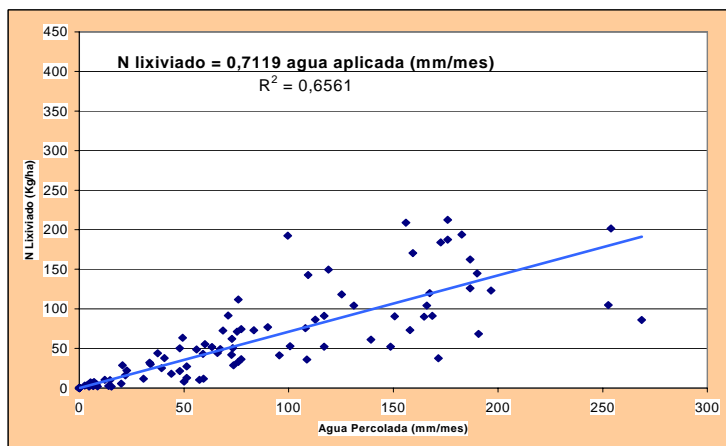


Figura 3.46. Pichidegua. Suelo Desnudo, relación entre agua percolada y N lixiviado.

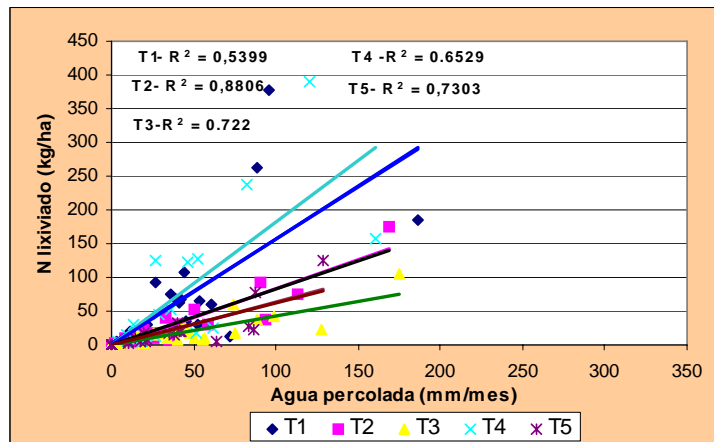


Figura 3.47. Lonquén. Maíz-Avena, relación entre Agua percolada y N lixiviado

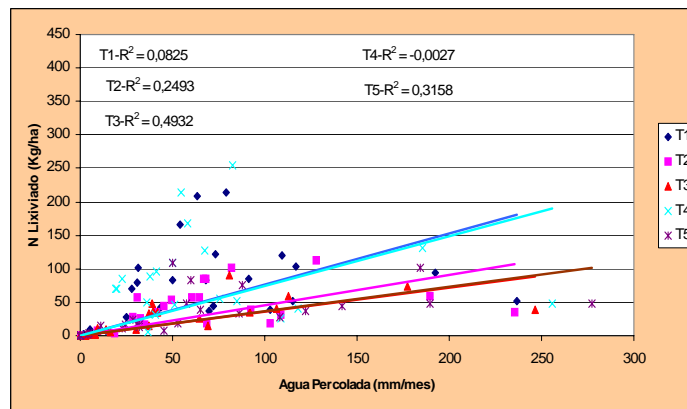


Figura 3.48. Pichidegua. Maíz-Avena, relación entre Agua percolada y N lixiviado.

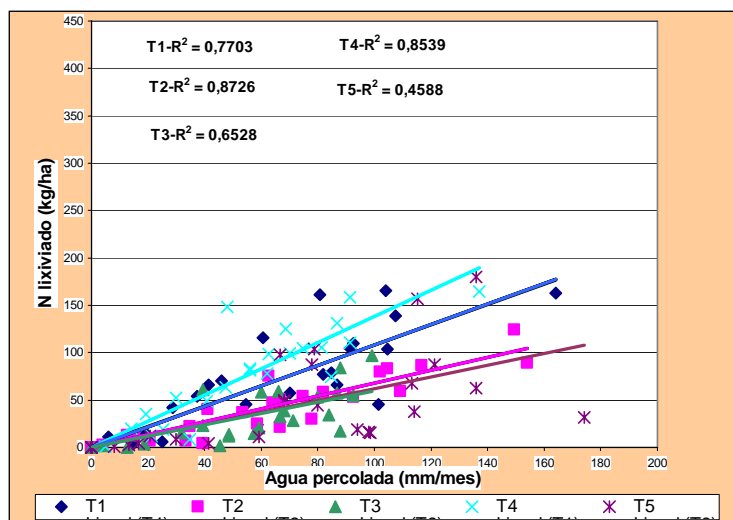


Figura 3.49. Lonquén. Ballica, relación entre Agua percolada y N lixiviado

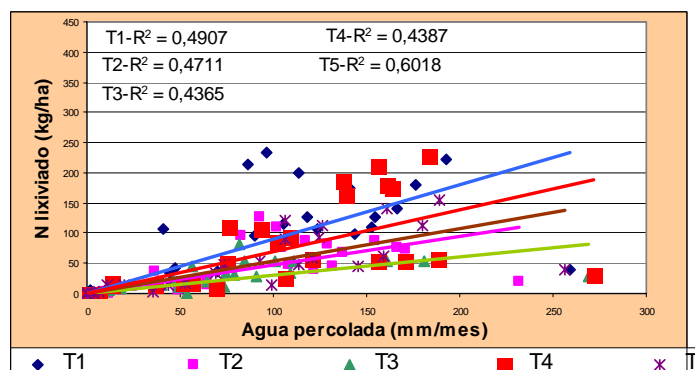


Figura 3.50. Pichidegua. Ballica, relación entre Agua percolada y N lixiviado

De estos gráficos se puede apreciar que, en general, para todas las situaciones estudiadas se tiene un alto grado de asociación entre el agua percolada y los niveles de N lixiviado. Así en suelo desnudo, para el promedio de los tratamientos, se alcanzó un $r^2 = 0,78$ en Lonquén y un $r^2 = 0,66$ en Pichidegua; para la rotación en base a pradera permanente, en Lonquén, se obtienen $r^2 = 0,77$; 0,87; 0,65; 0,85 y 0,45, para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente; mientras que en Pichidegua

se alcanzan $r^2 = 0,49; 0,47; 0,44; 0,44$ y $0,60$ para los mismos tratamientos que consideraban tasas y fuentes nitrogenadas diferentes. Sin embargo, en el sistema maíz-avena, mientras en Lonquén se aprecia un ajuste razonable para las variables agua percolada y nitrógeno lixiviado, con $r^2 = 0,54; 0,88; 0,72; 0,65$ y $0,73$ para los tratamientos evaluados, en Pichidegua se evidenció un bajísimo ajuste con $r^2 = 0,08; 0,25; 0,49; 0,00$ y $0,32$, respectivamente.

A pesar de lo anterior, es posible señalar que los mayores riesgos de lixiviación de N, se evidencian, cuando la percolación de agua es mayor, es decir, bajo condiciones de suelo desnudo o con una cobertura vegetal de baja demanda de agua. Además, se observa que no existen diferencias al comparar el origen de la fuente nitrogenada, ya que tanto cuando ésta proviene de purines de cerdo o de una fuente mineral, de igual manera se tiene un alto grado de ajuste entre las variables estudiadas.

Variabilidad estacional del agua percolada y N lixiviado

En las Figuras siguientes, se presenta la evolución mensual del agua percolada y el N lixiviado para los tres sistemas de cultivos estudiados y bajo los diferentes tratamientos aplicados.

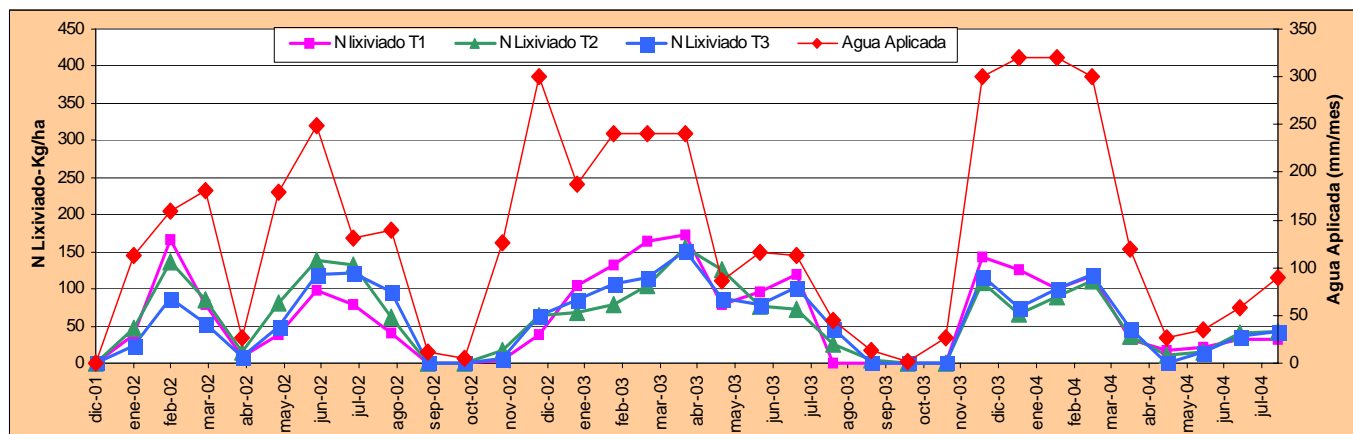


Figura 3.51. Suelo desnudo, Lonquén. Evolución mensual del agua percolada y N lixiviado.

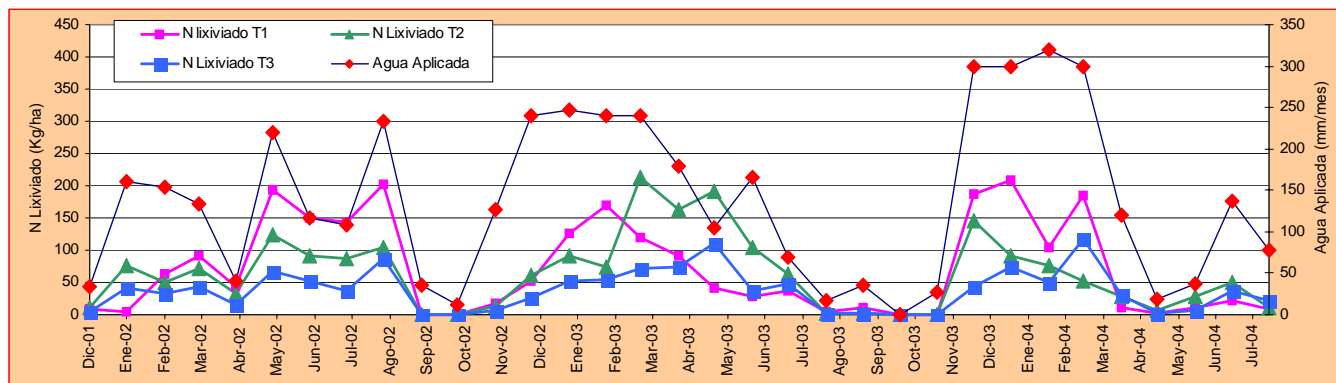


Figura 3.52. Suelo desnudo, Pichidegua. Evolución mensual del agua percolada y N lixiviado.

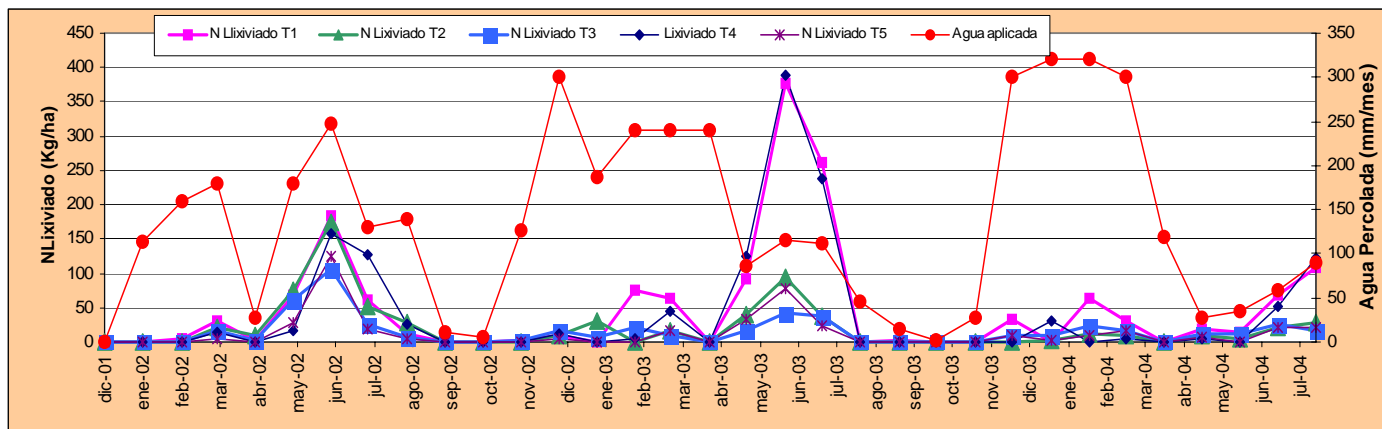


Figura 3.53. Maíz-Avena, Lonquén. Evolución mensual del agua percolada y N lixiviado.

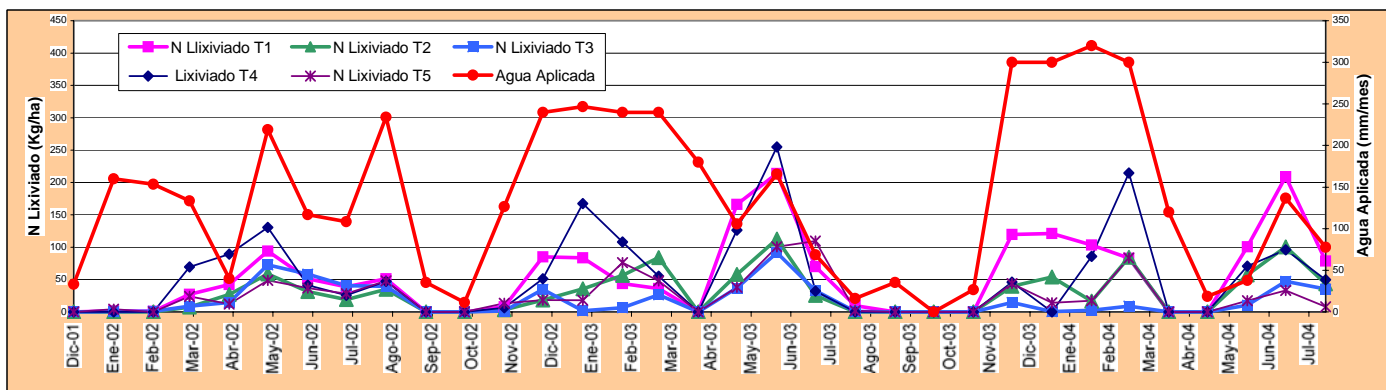


Figura 3.54. Maíz-Avena. Pichidegua. Evolución mensual del agua percolada y N lixiviado

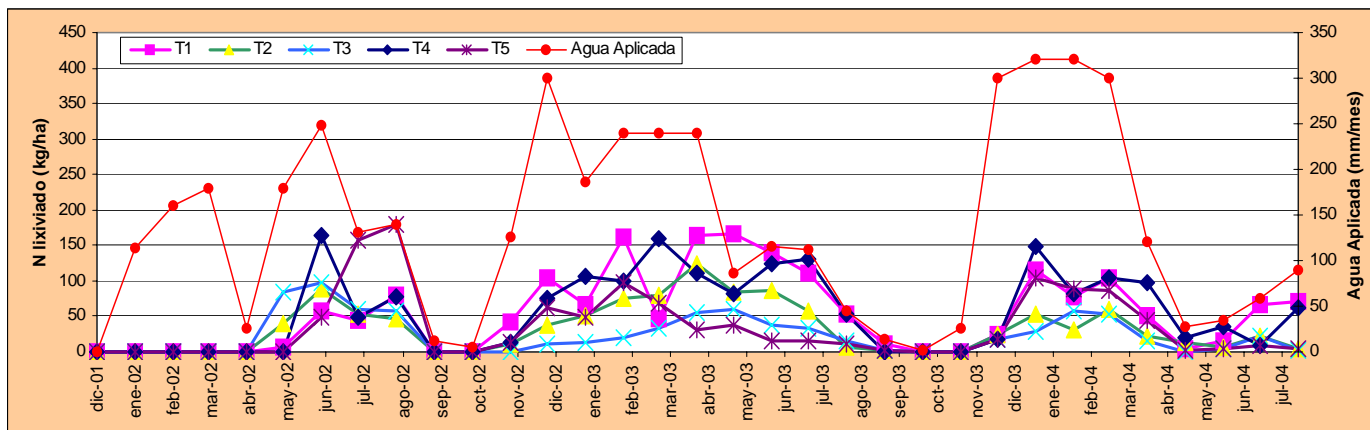


Figura 3.55. Ballica, Lonquén. Evolución mensual del agua percolada y N lixiviado.

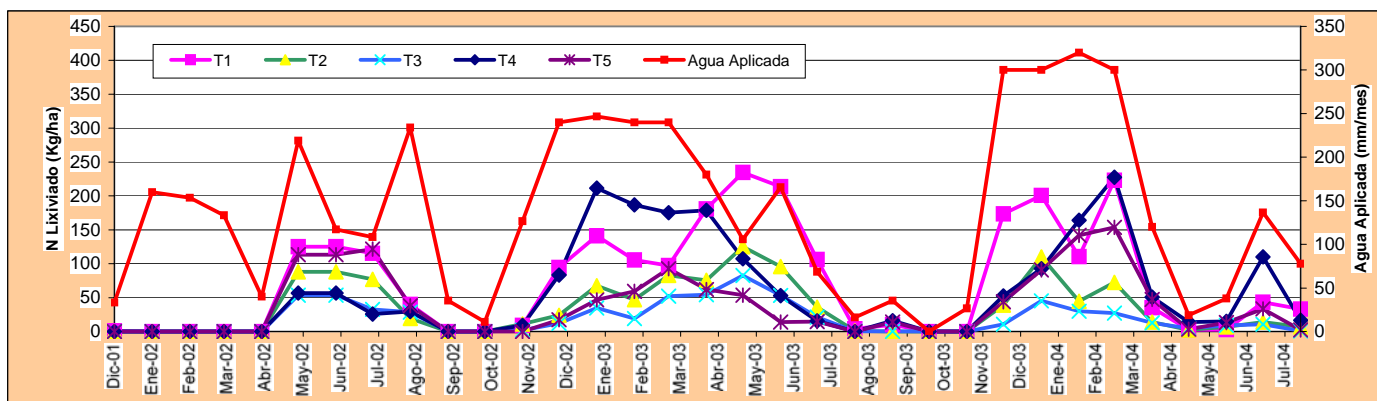


Figura 3.56. Ballica, Pichidegua. Evolución mensual del agua percolada y N lixiviado

De estos gráficos se ratifica lo indicado anteriormente, en el sentido que la lixiviación del nitrógeno, se relaciona estrechamente con el agua percolada. Para el caso de suelo desnudo, en Lonquén, no se aprecian diferencias entre los tres tratamientos evaluados (T1, T2 y T3), respecto a la tendencia y niveles de N lixiviado, a través del tiempo. Así, los “peak” mensuales de N lixiviado, alcanzaron niveles de alrededor de 150 kg/ha, durante los meses de verano, en la temporada de riego y luego de las primeras lluvias, en invierno. Entretanto en Pichidegua, se evidencia que los máximos lixiviados se alcanzan también en primavera-verano y luego de las primeras lluvias de invierno, con alrededor de 200 kg/ha de N/mes en los tratamientos T1 y T2 (mayores tasas de aplicación de N) y del orden de 100 kg/ha/mes de N, en el tratamiento T3 (menor tasa de N).

Por su parte, en el sistema maíz-avena, los mayores niveles de N lixiviado, se observan durante los meses de invierno, ya que durante la temporada de activo crecimiento del maíz, esta especie es capaz de extraer gran parte del N disponible, dejando una baja proporción de este elemento para el fenómeno de lixiviación. Así, en Lonquén se observan niveles máximos de N lixiviado, del orden de 170 kg/ha/mes durante el primer invierno, 390 kg/ha/mes (tratamientos 1 y 3) al segundo invierno y 120 kg/ha/mes al tercer y último invierno de estudio. En Pichidegua, las mayores tasas de nitrógeno lixiviado se presentan también al inicio del invierno con las primeras lluvias, lográndose del orden de 100 kg/ha/mes de este elemento durante el primer invierno de este estudio, entre 200 y 250 kg/ha/mes al segundo invierno y del orden de 200 kg/ha/mes al tercer invierno. Dentro de las curvas que representan la lixiviación de nitrógeno de los 5 tratamientos evaluados, sobresalen los tratamientos 1 y 4, que corresponden a las máximas tasas de nitrógeno aplicado, bajo las forma de purín y fertilizante mineral, respectivamente.

Por último, en relación a pradera permanente, se aprecian incrementos del N lixiviado durante el verano, junto con la temporada de riego y otro “peak”, luego de las primeras precipitaciones de invierno, debido a que la ballica es una especie de menor demanda de N, en comparación a maíz, dejando una mayor cantidad de este elemento disponible para perderse en el perfil del suelo, mas allá del alcance de las raíces. Así, en Lonquén se alcanzaron niveles de nitrógeno lixiviado que fluctuó, en sus máximos, entre 100 y 150 kg/ha/mes y en Pichidegua, entre 100 y 200 kg/ha/mes,

donde al igual que lo comentado para el caso de la rotación maíz-avena, sobresalen los tratamientos T1 y T4, que correspondieron a las mayores tasas de aplicación de nitrógeno.

De esta manera, se puede concluir en primer lugar que las mayores tasas de lixiviación de nitrógeno se relacionan con los mayores niveles de agua percolada. Asociado a lo anterior, bajo condiciones de suelo desnudo las pérdidas de nitrógeno por este fenómeno se concentran principalmente en verano, durante la temporada de riego, y luego de las primeras lluvias de otoño-invierno. Por el contrario, bajo condiciones de suelo cultivado, la lixiviación de nitrógeno se presenta, preferentemente, junto con las primeras lluvias de invierno, ya que durante la temporada de riego, el cultivo está en máximo crecimiento con una alta tasa de absorción de nitrógeno, no dejando disponible a este elemento para pérdidas en el perfil del suelo debido a este fenómeno.