

**ALTERNATIVAS DE USO DE EFLUENTES DE TAMBO. EFECTOS SOBRE LA
PRODUCCIÓN DE CULTIVOS Y PROPIEDADES DE MOLISOLES Y ENTISOLES DE
LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA.**

MARIANELA DIEZ

Trabajo de tesis para ser presentado como requisito parcial para optar al Título de

MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN REGIONES SEMIÁRIDAS

**FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA**



Universidad
Nacional de
La Pampa



Santa Rosa, La Pampa, Argentina

Febrero de 2016.



Universidad
Nacional de
La Pampa



**ALTERNATIVAS DE USO DE EFLUENTES DE TAMBO. EFECTOS SOBRE LA
PRODUCCIÓN DE CULTIVOS Y PROPIEDADES DE MOLISOLES Y ENTISOLES DE
LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA.**

MARIANELA DIEZ

**Dr. Alberto Quiroga
DIRECTOR DE TESIS**

Integrantes de la comisión de seguimiento:

Msc. Jaime Bernardos

Msc. Romina Fernández

Dr. Horacio Pagella



Universidad
Nacional de
La Pampa



**ALTERNATIVAS DE USO DE EFLUENTES DE TAMBO. EFECTOS SOBRE LA
PRODUCCIÓN DE CULTIVOS Y PROPIEDADES DE MOLISOLES Y ENTISOLES DE
LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA.**

MARIANELA DIEZ

Aprobado por:

Msc. Jaime Bernardos

Msc. Romina Fernández

Dr. Horacio Pagella

A mis padres Alberto y Graciela

A mis hermanas Melisa y Estefanía

A mi amigo Guillermo Pérez

AGRADECIMIENTOS

A mi Director Dr. Alberto Quiroga por la contribución académica, el apoyo y calidez humana.

A la comisión de seguimiento: Romina Fernández, Horacio Pagella y Jaime Bernardos por sus valiosos aportes técnicos y seguimiento durante el desarrollo del posgrado.

A la Universidad Nacional de la Pampa, Facultad de Agronomía, EEA INTA Anguil, por otorgarme el espacio físico para el desenvolvimiento de todas las actividades de elaboración de la presente tesis.

A quienes me acompañaron y colaboraron en las tareas de campo: Guillermo Pérez, Eduardo Calabaza y Roberto Gómez.

A quienes me acompañaron y colaboraron en las tareas de laboratorio: Personal del laboratorio de Producción animal de la Facultad de Agronomía, Laboratorio de suelos y forraje de INTA Anguil y laboratorio de morfología vegetal del Dpto de Ciencias Agropecuarias de la UNSL.

Al personal de cada establecimiento lechero por su colaboración y disposición en cada visita.

Al Grupo de Producción animal de la EEA INTA Gral Villegas por el acompañamiento.

A la Lic. Paula Fumagallo por su colaboración y dedicación.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| Índice de tablas | vi |
| Índice de figuras y fotos | xiv |
| Resumen | xvi |
| Abstract | xvii |
| Índice de abreviaturas | xviii |
| CAPITULO 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1 Introducción..... | 1 |
| 1.2 Planteo de hipótesis y objetivo general | 11 |
| 1.3 Objetivos específicos: | 11 |
| CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 13 |
| 2.1 Descripción de sitios experimentales..... | 13 |
| 2.2 Tratamientos | 17 |
| 2.3 Diseño experimental | 17 |
| 2.4 Análisis estadístico..... | 18 |
| 2.5 Métodos analíticos | 19 |
| 2.5.1 Determinaciones en suelo | 19 |
| 2.5.2 Determinaciones en los efluentes..... | 20 |
| 2.5.3 Determinaciones en material vegetal..... | 20 |
| 2.5.4 Determinaciones de la ficoflora edáfica | 21 |
| CAPITULO 3. EVALUACIÓN EDAFOCLIMÁTICA DE SITIOS DE PRUEBA DE EFLUENTES | 23 |
| 3.1 Sitio Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil | 23 |
| 3.2 Sitio Tambo N° 3 | 25 |
| CAPITULO 4. APLICACIÓN DE EFLUENTE SÓLIDO SOBRE CULTIVOS DE MAIZ Y CENTENO. | 26 |
| 4.1 Características del efluente aplicado | 26 |
| 4.2 Resultados de la aplicación en maíz | 26 |

| | |
|--|----|
| 4.2.1 Producción de componentes de biomasa aérea | 26 |
| 4.2.2 Calidad nutricional de componentes de biomasa aérea | 27 |
| 4.2.3 Índice de verdor de biomasa aérea | 29 |
| 4.2.4 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua para componentes de biomasa aérea | 30 |
| 4.2.5 Efectos sobre variables de suelo | 31 |
| 4.2.5.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos..... | 31 |
| 4.2.5.2 pH y conductividad eléctrica | 32 |
| 4.2.6 Consideraciones sobre los resultados | 34 |
| 4.3 Resultados de la aplicación en centeno (verde de invierno) | 36 |
| 4.3.1 Efectos sobre producción de biomasa aérea y su calidad nutricional | 36 |
| 4.3.2 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua en biomasa aérea | 37 |
| 4.3.3 Efectos sobre variables de suelo | 38 |
| 4.3.3.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos..... | 38 |
| 4.3.3.2 pH y conductividad eléctrica | 38 |
| 4.4 Resultados de la aplicación en cultivo de maíz con antecesor centeno | 39 |
| 4.4.1 Producción de componentes de biomasa aérea | 39 |
| 4.4.3 Índice de verdor de biomasa aérea | 41 |
| 4.4.4 Uso consuntivo y eficiencias de uso de agua en biomasa y grano | 41 |
| 4.4.5 Efectos sobre variables de suelo | 42 |
| 4.4.5.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos..... | 42 |
| 4.4.6 Consideraciones sobre los resultados | 43 |
| CAPITULO 5. APLICACIÓN DE EFLUENTE DE LAGUNA SOBRE CULTIVO DE MAIZ. | 45 |
| 5.1 Característica del efluente aplicado | 45 |
| 5.2 Resultados de la aplicación en maíz | 45 |
| 5.2.1 Producción de componentes de biomasa aérea..... | 46 |
| 5.2.2 Calidad nutricional de componentes de biomasa aérea | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2.3 Índice de verdor de biomasa aérea | 48 |
| 5.2.4 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua para componentes de biomasa..... | 48 |
| 5.2.5 Efectos sobre variables de suelo | 49 |
| 5.2.5.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos..... | 49 |
| 5.2.5.2 pH y conductividad eléctrica | 50 |
| 5.2.6 Consideraciones sobre los resultados | 52 |
| CAPITULO 6. APLICACIÓN DE EFLUENTE CRUDO SOBRE CULTIVOS DE MAIZ Y CENTENO. | 53 |
| 6.1 Características del efluente aplicado | 53 |
| 6.2 Resultados de la aplicación en maíz | 54 |
| 6.2.1 Producción de componentes de biomasa aérea. | 54 |
| 6.2.2 Calidad nutricional de componentes de biomasa aérea..... | 54 |
| 6.2.3 Índice de verdor de biomasa aérea | 55 |
| 6.2.4 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua para componentes de biomasa aérea..... | 56 |
| 6.2.5 Efectos sobre variables del suelo | 57 |
| 6.2.5.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos..... | 57 |
| 6.2.6 Consideraciones sobre los resultados | 60 |
| 6.3 Resultados de la aplicación en centeno (verde de invierno) | 61 |
| 6.3.1 Producción de biomasa aérea y su calidad nutricional..... | 61 |
| 6.3.2 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua para componentes de biomasa aérea..... | 62 |
| 6.3.3 Efectos sobre variables del suelo | 62 |
| 6.3.3.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos..... | 62 |
| 6.3.3.2 pH y conductividad eléctrica | 63 |
| 6.4 Resultados de la aplicación en cultivo de maíz con antecesor centeno | 64 |
| 6.4.1 Producción de componentes de biomasa aérea | 64 |
| 6.4.2 Calidad nutricional de componentes de biomasa | 64 |
| 6.4.3 Índice de verdor de biomasa..... | 65 |

| | | |
|---|---|-----|
| 6.4.4 | Uso consuntivo y eficiencias de uso de agua para componentes de biomasa. | 65 |
| 6.4.5 | Efectos sobre variables del suelo | 66 |
| 6.4.5.1 | Contenido de nitrógeno en forma de nitratos..... | 66 |
| 6.4.5.2 | pH y conductividad eléctrica | 67 |
| 6.4.6 | Consideraciones sobre los resultados | 68 |
| CAPITULO 7. APLICACIÓN DE EFLUENTE CRUDO SOBRE CULTIVO DE SORGO SILERO | | 69 |
| 7.1 | Producción de biomasa aérea y su calidad nutricional..... | 69 |
| 7.1.2 | Uso consuntivo y eficiencia de uso del agua para biomasa aérea..... | 69 |
| 7.2 | Efectos sobre variables de suelo | 70 |
| 7.3 | Consideraciones sobre los resultados | 71 |
| CAPITULO 8. EVALUACION DE LA FICOFLORA EDÁFICA | | 72 |
| 8.1 | Especies halladas de la ficoflora edáfica..... | 72 |
| 7.2 | Consideraciones sobre los resultados | 74 |
| CAPITULO 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL | | 75 |
| CAPITULO 10. CONCLUSIONES | | 87 |
| 10.1 | Consideraciones sobre la Hipótesis 1 | 87 |
| 10.2 | Consideraciones sobre la Hipótesis 2..... | 88 |
| 10.3 | Consideraciones sobre la Hipótesis 3..... | 90 |
| 10.4 | Consideraciones sobre la Hipótesis 4..... | 91 |
| 10.5 | Sugerencias para trabajos futuros | 91 |
| BIBLIOGRAFIA | | 93 |
| ANEXO..... | | 107 |

Índice de tablas

Tabla 1. Estimación de volúmenes totales de demanda de agua en un tambo tipo de la región, incidencia de cada una de las operaciones y consumo anual estimado para el total de tambos de Buenos Aires.

Tabla 2. Superficie sembrada, superficie cosechada, producción y rendimiento promedio de los principales cultivos de verano (maíz, soja y sorgo) en la Provincia de La Pampa (LP), Buenos Aires (Bs As) y total del país en los últimos 13 años (2001-2014).

Tabla 3. Localización, precipitación media anual de la zona, producción de leche y tipo de efluente generado para los tres tambos.

Tabla 4. Esquema con la distribución de los tratamientos de cada efluente, correspondiente al ensayo de cultivo de maíz.

Tabla 5. Esquema con la distribución de los tratamientos de cada efluente, correspondiente al ensayo de centeno.

Tabla 6: Características físico- química del suelo correspondiente al sitio experimental.

Tabla 7. Características físico - química del suelo correspondiente al sitio de prueba del tambo N° 3.

Tabla 8. Características químicas y nutricionales del efluente sólido (ES).

Tabla 9. Producción de materia seca (MS) en estado de floración y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹, D20s= 20 t ha⁻¹, correspondientes al período 1 y período 2.

Tabla 10. Calidad de planta entera y grano de maíz. Contenido de proteína bruta (PB, en porcentaje y Kg ha^{-1}), fibra detergente neutro (FDN, %) y fibra detergente ácida (FDA, %), digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha^{-1} , D20s= 20 t ha^{-1} correspondientes al período 1.

Tabla 11. Calidad de planta entera de maíz. Contenido de proteína bruta (PB, en porcentaje y Kg ha^{-1}) en biomasa y grano, fibra detergente neutro (FDN, %) y fibra detergente ácida (FDA, %), digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha^{-1} , D20s= 20 t ha^{-1} correspondientes al período 2.

Tabla 12. Índice de verdor (IV) en plantas de maíz determinado por SPAD para los tratamientos D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha^{-1} , D20s= 20 t ha^{-1} , correspondientes al período 1 y período 2.

Tabla 13. Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencia de uso del agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los distintos tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha^{-1} , D20s= 20 t ha^{-1} , correspondientes al período 1 y 2.

Tabla 14. Contenido de N-NO_3 (Kg ha^{-1}) en estadio V6 y floración de maíz para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha^{-1} , D20s= 20 t ha^{-1} , correspondientes al período 1.

Tabla 15. Contenido de N-NO_3 (Kg ha^{-1}) en floración de maíz para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha^{-1} , D20s= 20 t ha^{-1} , correspondientes al período 2.

Tabla 16. Valor de pH en estadio V6 y floración de maíz para los distintos tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha^{-1} , D20s= 20 t ha^{-1} , correspondientes al período 1.

Tabla 17. Valor de pH en estadio V6 y floración de maíz para los distintos tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹, D20s= 20 t ha⁻¹, correspondientes al período 2.

Tabla 18. Valor de conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en estadio V6 y floración de maíz para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹, D20s= 20 t ha⁻¹ correspondientes al período 1.

Tabla 19. Valor de conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en estadio V6 y floración de maíz para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹, D20s= 20 t ha⁻¹ correspondientes al período 2.

Tabla 20. Calidad de planta entera de centeno. Contenido de proteína bruta (PB, expresado en porcentaje y en Kg ha⁻¹), fibra detergente neutro (FDN, %) y fibra detergente ácida (FDA, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹, D20s= 20 t ha⁻¹, D40s= 40 t ha⁻¹.

Tabla 21. Uso consuntivo (UC) y eficiencia de uso del agua de biomasa (EUA_b) de centeno para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹, D20s= 20 t ha⁻¹, D40s= 40 t ha⁻¹.

Tabla 22. Contenido de N-NO₃ (Kg ha⁻¹) previo a la siembra (PS) y en estado encañazón (ENC) de centeno para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹, D20s= 20 t ha⁻¹, D40s= 40 t ha⁻¹.

Tabla 23. Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad de suelo durante la etapa previa a la siembra (PS) y encañazón (ENC) de centeno para tratamiento D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹, D20s= 20 t ha⁻¹, D40s= 40 t ha⁻¹.

Tabla 24. Producción de materia seca (MS) y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹, D20s= 20 t ha⁻¹, D40s= 40 t ha⁻¹, correspondientes al período 2.

Tabla 25. Calidad de planta entera y grano de maíz. Contenidos de proteína bruta (PB) expresada en porcentaje y en kg ha^{-1} de biomasa y grano, fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D10s= 10t ha^{-1} , D20s= 20t ha^{-1} y D40s= 40t ha^{-1} correspondientes al período 2.

Tabla 26. Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencias de uso de agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los tratamientos: D0 (testigo), D10s= 10t ha^{-1} y D40s= 40t ha^{-1} correspondiente al periodo 2.

Tabla 27: Contenido de N-NO_3 (kg ha^{-1}) en estadio V6 y floración de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D10s= 10t ha^{-1} , D20s= 20t ha^{-1} y D40s= 40t ha^{-1} , correspondientes al período 2.

Tabla 28: Valores de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m^{-1}) en estadio V6 y floración de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D10s= 10t ha^{-1} y D40s= 40t ha^{-1} en 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad de suelo, correspondientes al período 2.

Tabla 29: Características químicas y nutricionales del efluente de lagunas (EL) según tratamiento: D4=4 mm y D8=8mm.

Tabla 30: Producción de materia seca (MS) y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm y D8= 8mm correspondientes al período 1 y período 2.

Tabla 31: Calidad de planta entera y grano de maíz. Contenidos de proteína bruta (PB, expresada en porcentaje y en kg ha^{-1} en planta y grano), fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm, D8=8mm, correspondientes al período 1.

Tabla 32: Calidad de planta entera de maíz. Contenidos de proteína bruta (PB, expresada en porcentaje y en kg ha^{-1}), fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro

(FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm, D8=8mm, correspondientes al período 2.

Tabla 33: Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los distintos tratamientos D0= testigo y D8= 8mm durante el período 1 y período 2.

Tabla 34: Contenido de $N-NO_3$ ($kg\ ha^{-1}$) en estado V6 y floración de maíz para los tratamientos D0=testigo y D8=8mm correspondientes al período 1.

Tabla 35: Contenido de $N-NO_3$ ($kg\ ha^{-1}$) en floración de maíz para los tratamientos D0=testigo y D8=8mm correspondientes al período 2.

Tabla 36: Valor de pH en V6 y floración de maíz para los tratamientos D0=testigo, D8= 8mm correspondientes al período 1.

Tabla 37: Valor de conductividad eléctrica (CE, $dS\ m^{-1}$) en V6 y floración para los tratamientos D0=testigo y D8= 8mm correspondientes al período 1.

Tabla 38: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, $dS\ m^{-1}$) en floración de maíz para los tratamientos D0= testigo y D8=8mm correspondientes al período 2.

Tabla 39: Características nutricionales y físico-química del efluente crudo (EC) para los tratamientos: D4= 4mm y D8= 8mm. (Promedio de tres repeticiones).

Tabla 40: Producción de materia seca (MS) y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D4=4mm y D8= 8mm correspondientes al período 1 y período 2.

Tabla 41: Calidad en planta entera y grano de maíz .Contenido de: proteína bruta (PB) expresada en porcentaje y en $kg\ ha^{-1}$ en planta y grano, fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm y D8= 8mm correspondientes al período 1.

Tabla 42: Calidad en planta entera de maíz. Contenido de: proteína bruta (PB) expresada en porcentaje y en kg ha^{-1} en planta, fibra detergente ácido (FDA, %) , fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm y D8= 8mm correspondientes al período 2.

Tabla 43: Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los tratamientos D0= testigo y D8= 8mm durante el período 1 y período 2.

Tabla 44: Contenido de N-NO_3 (kg ha^{-1}) en estado V6 y floración de maíz para los tratamientos: D0 (testigo) y D8= 8mm correspondientes al período 1.

Tabla 45: Contenido de N-NO_3 (kg ha^{-1}) en floración de maíz para los tratamientos: D0 (testigo) y D8=8mm correspondientes al período 2.

Tabla 46: Valor de pH de suelo durante estadio V6 y floración de maíz para los tratamientos: D0 (testigo) y D8= 8mm, correspondientes al período 1.

Tabla 47: Valor de conductividad eléctrica (CE, dS m^{-1}) en estado V6 y floración de maíz para los tratamiento D0 (testigo sin efluente) y D8= 8mm correspondientes al período 1.

Tabla 48: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m^{-1}) durante la floración de maíz para los tratamientos D0 (testigo) y D8= 8mm, correspondientes al período 2.

Tabla 49: Calidad en planta entera de centeno. Contenido de proteína bruta (PB, %), fibra detergente neutro (FDN, %), fibra detergente ácida (FDA, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %), para tratamientos D0 (testigo sin efluente), D5= 5mm, D10= 10mm y D20= 20mm.

Tabla 50: Usos consuntivo (UC) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) de maíz para los tratamientos: D0 (testigo sin efluente); D5= 5mm y D20= 20mm.

Tabla 51: Contenido de N-NO_3 (kg ha^{-1}) previo a la siembra (PS) y en estado encañazón (ENC) de centeno para las dosis D0 (testigo), D5= 5mm y D20= 20mm.

Tabla 52: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m^{-1}) durante la etapa previa a la siembra (PS) y en encañazon (ENC) de centeno para los tratamientos testigo (D0), D5= 5mm y D20= 20mm.

Tabla 53: Producción de materia seca (MS) en estado de floración y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos: D0 (testigo), D5=5mm, D10=10mm y D20= 20mm, correspondientes al período 2.

Tabla 54: Calidad de planta entera y grano de maíz: contenido de proteína bruta (PB, %), Fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos: D0 (testigo), D5=5mm, D10=10mm y D20= 20mm, correspondientes al periodo 2.

Tabla 55: Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los tratamientos: D0 (testigo sin efluente), D5=5mm y D20= 20mm, correspondientes al periodo 2.

Tabla 56: Contenido de N-NO_3 (en kg ha^{-1}) en estado V6 y floración de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D5=5mm y D20= 20mm, correspondientes al periodo 2.

Tabla 57: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m^{-1}) durante el estado V_6 y floración del cultivo para los tratamientos D0 (testigo), D5=5mm y D20= 20mm, correspondientes al periodo 2.

Tabla 58: Producción de materia verde (MV), materia seca (MS) y proteína bruta (PB, en kg ha^{-1} Y %) para los tratamientos: D0 (testigo), D1 y D2, de sorgo.

Tabla 59: Especies de la ficoflora presentes en los tratamientos: testigo, D40, D200 para efluente de laguna, sólido y crudo en centeno y maíz.

Tabla 60: Resumen de tratamientos y variables evaluadas en cultivos ensayados en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil.

Tabla 61: Respuesta productiva en gramos de materia seca litro^{-1} efluente o gramos de grano litro^{-1} efluente, calculado en relación a la respuesta en producción de biomasa aérea y/o grano a diferentes láminas de efluente aplicada obtenida por otros autores.

Índice de figuras y fotos

Figura 1. Localización del sitio experimental (EEA INTA Anguil), Tambo 1 (Establecimiento Don Germán- Partido de Trenque Lauquen), Tambo 2 (Establecimiento Don Remigio- Partido Rivadavia) y Tambo 3 (Establecimiento Don Nicolás- Departamento Atreucó).

Figura 2. Distribución mensual de las precipitaciones durante el período 1 (año 2010-2011) y período 2 (año 2011-2012) de evaluación y el promedio correspondiente al período (1973-2012) registrados en la EEA INTA Anguil.

Figura 3: Producción de materia seca de centeno (MS) para los tratamientos D0= testigo (sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹, D40s= 40t ha⁻¹, utilizando efluente sólido.

Figura 4: Producción de materia seca de centeno (MS) para los tratamientos D0 (testigo), D5= 5mm, D10= 10mm y D20= 20mm, utilizando efluente crudo.

Figura 5: Contenido de nitratos en suelo (N-NO₃) para los tratamientos: D0 (testigo), D1 y D2 de cultivo de sorgo para silo.

Figura 6: Eficiencias de uso del agua de biomasa (EUA_b) para los tratamientos: Testigo, D1 y D2 de sorgo para silo.

Figura 7: Valores relativos de las variables: producción de biomasa aérea y rendimiento de grano en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna.

Figura 8: Valores relativos de a) eficiencia de uso del agua en biomasa (EUA_b) y b) eficiencia de uso del agua en grano (EUA_g) en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna.

Figura 9: Valores relativos para la variable proteína bruta a cosecha de biomasa aérea (kg ha⁻¹) en respuesta de aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna.

Figura 10: Valores relativos para la variable contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) en a) 0-20 cm de suelo y b) 20-60 cm de suelo en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna.

Figura 11: Valores relativos para la variable conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en: a) 0-10 cm de suelo y b) 10-20 cm de suelo en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna.

Figura 12: Valores relativos para la variable pH en: a) 0-10 cm de suelo y b) 10-20 cm de suelo en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna.

Foto 1: Microfotografías tomadas bajo microscopio de los géneros presentes en los distintos efluentes analizados.

Resumen

Los efluentes de tambo constituyen un peligro potencial de contaminación pero al mismo tiempo son considerados fuente importante de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio principalmente). Estudiar la viabilidad y los efectos de distintas estrategias de gestión de estos residuos resulta relevante para mitigar la contaminación de los cursos de agua superficial y subterránea. El objetivo de este trabajo fue evaluar alternativas de uso de efluentes derivados de tambos con diferentes estrategias de gestión sobre la producción de cultivos (centeno, maíz y sorgo) y propiedades edáficas en suelos de la Región Semiárida Pampeana. El estudio se llevó a cabo durante dos años consecutivos y sobre dos sitios, bajo un diseño estadístico de bloques completos aleatorizados con cinco repeticiones. Cada sitio fue caracterizado por su textura, materia orgánica, fósforo y pH. Para evaluar el aporte de los mismos se caracterizó la composición química y nutricional de los distintos efluentes, a su vez se midieron los contenidos hídricos a fin de determinar la eficiencia de uso del agua para la producción de biomasa y de grano de los cultivos, nitratos en el perfil de suelo, pH y conductividad eléctrica. Sobre el cultivo se evaluó la producción y calidad de componentes de biomasa aérea, en base a los contenidos de proteína bruta, fibra y digestibilidad. Los resultados globales muestran el efecto positivo sobre la eficiencia de uso del agua con incrementos de hasta 60 % en sorgo, 75 % en centeno y 130 % en maíz; incrementos en la producción de materia seca de hasta 30% en sorgo, 80 % en centeno y 115 % maíz, y algunas variables de calidad, principalmente proteína bruta asociada a la biomasa de hasta 29% en sorgo, 66 % en centeno y 139 % en maíz. Sobre los indicadores edáficos evaluados no se registraron variaciones significativas que puedan indicar efectos negativos por el uso de efluentes, pero sí tendencia a incrementar el pH y la conductividad eléctrica por efecto acumulado de dos años de uso de efluente. Estos resultados preliminares tienen limitaciones en cuanto a mostrar cuales serían los efectos acumulados por mayor tiempo de uso de efluente en un mismo lote que escapan a los objetivos del presente trabajo. Estudios futuros deben, en el largo plazo, contemplar el análisis de la variación estacional y relación existente entre distintas calidades de efluente y tipo de alimentación y a su vez las pérdidas de nutrientes en relación con las distintas formas y momentos de aplicación de los mismos.

Palabras claves: cultivo, efluente, eficiencia de uso del agua, sustentabilidad, tambo

Abstract

Dairy effluents constitute a potential risk of contamination but are considered, otherwise, an important source of nitrogen, phosphorus and potassium. It is relevant to study the viability and effects of different strategies of effluent management in order to mitigate surface and subsurface water courses contamination. The aim of this study was to evaluate alternatives of use of dairy effluents over crop production (rye, corn and sorghum) and soil properties in the Semiarid Pampa Region. The study was carried out during two consecutive years in two experimental sites with a complete block randomized statistical design and five replicates. Every site was characterized by texture, organic matter, phosphorus and pH. Every effluent was characterized by chemical and nutritional composition to evaluate their input and also water content to determine crops water use efficiency, soil nitrate, pH and electric conductivity. Production and quality of biomass components, such as crude protein content, fiber and digestibility, were evaluated in crops. General results show a positive effect in the water use efficiency with an increase up to 60% in sorghum, 75% in rye and 130% in corn; an increase in dry matter production up to 30% in sorghum, 80% in rye and 115% in corn and some quality variables, mainly crude protein associated to biomass up to 29% in sorghum, 66% in rye and 139% in corn . There was no significant variation that could indicate negative effects of effluents on soil properties; pH and electric conductivity wasn't modified by the accumulated effect of two consecutive years use of dairy effluent. Long term use of effluents could change these preliminary effects. Future studies should analyze seasonal variation and the relation between effluent quality and feeding type and nutrient loss related with effluent application strategie (time and application form).

Keywords: crops, effluents, water use efficiency, sustainability, dairy farm.

Índice de abreviaturas

C: N = relación carbono-nitrógeno
CE= conductividad eléctrica
D0= testigo sin efluente
DMS= digestibilidad de la materia seca
E= efluente
EC= efluente crudo
EL= efluente laguna
ES= efluente sólido
EUA_b= eficiencia de uso de agua biomasa
EUA_g= eficiencia de uso de agua grano
FDA= fibra detergente ácida
FDN= fibra detergente neutro
IV= índice de verdor
MAGyP= Ministerio de Agricultura, ganadería y pesca.
MO = materia orgánica
MS= materia seca
N= nitrógeno
P=fósforo
PB= proteína bruta
RAS= relación de absorción de sodio
RSHP= Región Subhúmeda Pampeana
RSP= Región semiárida Pampeana
SD= siembra directa
SIIA= sistema integrado de información Agropecuaria
UC_b= uso consuntivo biomasa
UC_g= uso consuntivo grano
UC= uso consuntivo
V₆= estado vegetativo de 6 hojas
VO= vaca ordeñe

CAPITULO 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

La disponibilidad de agua dulce per cápita se reduce paulatinamente a nivel mundial. El agua dulce se está convirtiendo en un recurso global, impulsado por el crecimiento del comercio internacional de bienes y servicios. Es por eso que en el marco de la búsqueda de la sostenibilidad en las formas de desarrollo humano se da una especial importancia al tema del uso eficiente del agua. Como consecuencia de la explosión demográfica y de las necesidades de la agricultura y la industria, los recursos hídricos son objeto de una demanda creciente. Diversas actividades humanas contaminan y consumen gran cantidad de agua. A escala mundial, los mayores usos del agua ocurren en la producción agrícola, pero también hay grandes volúmenes de agua consumida y contaminada en los sectores industrial y doméstico (WWAP¹, 2009). Los países que han intensificado su producción agrícola y ganadera pueden demostrar perfectamente, que ciertas prácticas asociadas con este proceso son copartícipes del deterioro de la calidad del agua de una región. Hasta 1980, en Europa tuvo lugar un incremento sostenido de la producción ganadera, que acompañó el aumento de la demanda de productos pecuarios, en particular de porcinos y aves. Estados Unidos atravesó un proceso similar, con un incremento sostenido de los denominados “establecimientos de alimentación de animales en confinamiento”. Este nuevo escenario, a su vez, originó diversas reglamentaciones con el objeto de disminuir el impacto ambiental de estas nuevas prácticas al limitar el número de animales por superficie (Herrero & Basso, 2008). La expansión de la frontera agrícola y ganadera en Argentina, junto con la adopción de tecnologías son los dos factores centrales que explican el aumento de productividad biológica y económica del sector rural en las últimas cinco décadas. En la primera mitad del siglo XX, hubo una co-evolución entre ganadería y agricultura, bajo condiciones extensivas o semi-intensivas, que consolidó el clásico y efectivo modelo de rotación de cultivos con pasturas y forrajeras anuales (Viglizzo *et al.*, 2010). La intensificación de los sistemas de producción,

¹ World water assessment programme.

orientada exclusivamente hacia el logro de una maximización de la productividad, se asocia a una serie de externalidades negativas (siendo el deterioro del ambiente uno de los puntos centrales) que repercuten sobre la sustentabilidad, tanto de las producciones como del sistema en su conjunto.

En la Argentina, la intensificación de la producción animal se inició durante la década del cincuenta y en esencia, implica la concentración de animales por unidad de superficie y el aumento en el uso de insumos (Upton, 1997). Si bien casi toda la producción de aves y cerdos se realiza en confinamiento desde hace varios años, la de leche y carne bovina comenzó a intensificarse en las últimas décadas. La intensificación agrícola de la pradera pampeana durante los '90 y comienzos del nuevo siglo, estuvo acompañada por una notoria intensificación de los sistemas ganaderos. Este nuevo planteo impuso, en superficies reducidas, una alta densidad de animales sometidos a un engorde intensivo a corral (conocido vulgarmente como "feed-lot") con granos y forrajes procesados (heno, silaje, etc). La agricultura aporta la mayor parte de los insumos que requiere ese planteo ganadero intensivo, y ambas actividades (agricultura y ganadería) que antes se articulaban en esquemas extensivos de rotación de cultivos, ahora aparecen desacopladas y especializadas (Viglizzo *et al.*, 2010). Tal cambio introdujo una modificación adicional en la funcionalidad de estos ecosistemas que, para sostener una mayor productividad, reciben más insumos y generan más residuos que afectan al ambiente (nutrientes, aguas residuales, plaguicidas, antibióticos, etc).

Del consumo total de fertilizantes en Argentina, sólo el 8 % es aplicado a recursos forrajeros, con una reposición promedio de nutrientes para los principales cultivos (trigo, maíz, soja y girasol) que oscila entre un 25 % y 35 % en promedio para los principales nutrientes (N, P y K). Esta cifra no cubre el 5% de las cantidades de nutrientes exportados por los productos animales y además no logra abastecer las necesidades nutricionales de las pasturas. Una producción ganadera donde no se devuelvan adecuadamente los nutrimentos minerales al suelo, siempre causará un deterioro del potencial productivo (Marino & Agnusdei, 2005). Las plantas forrajeras, al igual que los cultivos agrícolas, son altamente eficientes en la absorción e incorporación de nutrientes minerales, pero posteriormente su utilización por el ganado es ineficiente y sólo una pequeña cantidad de ellos es retenida por los animales. Los animales excretan al

ambiente entre 60 y 80 % del nitrógeno (N) y el fósforo (P) que ingieren, a través de la orina y las heces (Van Horn *et al.*, 1994). En este sentido Haynes & Williams (1993) citan valores de retención de nutrientes del 5 a 7 % en carne y hasta un 25 % en la leche. La producción de leche, desde 1990 mostró una tendencia a la reducción del número de tambos y de aumento del tamaño del rodeo y de la producción por vaca (Taverna *et al.*, 2004). Uno de los indicadores más notables fue el incremento de la cantidad de efluentes generados en las instalaciones de ordeño. En los tambos es indispensable considerar distintos aspectos de la gestión del agua, ya que es una de las actividades ganaderas que mayor cantidad demanda, y los residuos que generan, en su mayoría, están representados por una mayor fracción líquida que sólida (Tabla 1).

Tabla 1: Estimación de volúmenes totales de demanda de agua en un tambo tipo de la región, incidencia de cada una de las operaciones y consumo anual estimado para el total de tambos de Buenos Aires. (*Adaptado de Herrero, 2003*).

| Actividad | Demanda de tambo de 100 vacas litro /día | % respecto al total | Consumo total estimado (miles de m ³ año ⁻¹) |
|--------------------------|--|---------------------|---|
| Refrescado | 13000 | 83,65 | 16119 |
| Lavado de maquina | 180 | 1,15 | 223 |
| Lavado de tanque de frío | 80 | 0,51 | 99 |
| Lavado de sala de ordeño | 560 | 3,6 | 694 |
| Lavado de corral | 1600 | 10,32 | 1984 |
| Lavado de pezones | 120 | 0,77 | 149 |
| Consumo total (día) | 15540 | 100 | 19268 |

La principal fuente de provisión de agua en los establecimientos rurales de la Argentina es la subterránea, en consecuencia, la cantidad de efluentes generados por la actividad de los tambos constituye potencialmente una fuente importante de contaminación subterránea (Herrero, 2003). El agua que utilizan los establecimientos agropecuarios se obtienen mediante perforaciones y, por lo tanto, la calidad físico-química y microbiológica del agua es uno de los puntos claves a tener en cuenta para conservar niveles óptimos en la producción de insumos y productos. Los efluentes

originados en las áreas de ordeño contienen excretas y agua de lavado de las instalaciones, además de restos de leche, detergentes y otros productos químicos utilizados. Debido a ello, la composición del efluente es elevada en sólidos, nutrientes, materia orgánica y microorganismos que son capaces de influenciar negativamente sobre el medioambiente que reciba esta descarga (cuerpo de agua y/o suelo) (Birchall *et al.*, 2008). Cuando un exceso de fósforo se vierte a los ecosistemas acuáticos se acelera el proceso de eutrofización, caracterizado por un incremento de las plantas acuáticas, disminución del oxígeno, variación del pH, reduciendo la calidad de las aguas. En el caso de las aguas subterráneas, los nitratos provenientes de las lagunas de efluentes y de lixiviación de fertilizantes, representan un problema de contaminación y un riesgo para la salud de la población (Nosetti *et al.*, 2002). El amplio rango de variación en la composición de los efluentes, no está sólo en función de la categoría animal (vacas lecheras, novillos, cerdos, etc) o de las características climáticas de la zona, sino también de la gestión que se lleve a cabo en la propia explotación: sistemas de alimentación (determinando importantes diferencias edáficas en conductividad eléctrica y contenido de amonio), sistemas de suministro de agua, sistemas de limpieza, gestión del estiércol, etc. (Salcedo Díaz, 2010). Los efluentes de tambo constituyen un peligro potencial de contaminación, pero al mismo tiempo, son considerados una fuente de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) (Abebe *et al.*, 2005), donde existe la alternativa de utilizar estos residuos dentro del mismo establecimiento como fuente de nutrientes para abono (Nosetti *et al.*, 2002). Esta significativa cantidad de nutrientes esenciales para las plantas, los convierte potencialmente en una excelente alternativa para fertilizar los cultivos. En general es de destacar el efecto positivo de los residuos sobre las propiedades químicas del suelo debido al reciclado de nutrientes, y sobre las propiedades físicas, al aumentar el contenido de materia orgánica, la porosidad e infiltración del agua en el suelo (Feng *et al.*, 2005; Khan *et al.*, 2007 ; Schroder *et al.*, 2007; Monaco *et al.*, 2008). Estos efectos positivos se reflejaron, en la mayoría de los casos, en una mayor productividad y calidad nutricional de los cultivos. Al utilizar dicha fuente como fertilizante, no sólo se evitan pérdidas al medio, sino también, se disminuyen los requerimientos y costos de fertilización (Maldonado *et al.*, 2000).

La diversidad de sistemas de producción lechera en Argentina es marcada y se podría clasificar en base a la forma de alimentación en tres tipos (Gallardo, 2009): 1) Pastoreo + suplementación estratégica (con forrajes conservados) con un 75 % de la dieta correspondiente a pasto mediante pastoreo directo, 2) Pastoreo + TMRp (ración mezclada parcialmente) para complementar el pasto y 3) Ración totalmente mezclada (TMR) en sistemas a corral o estabulados sin pastoreo directo.

En los últimos años, las empresas lecheras han experimentado importantes cambios, principalmente incrementos de carga animal y niveles de suplementación con concentrados. Por influencia de ambos factores se infieren también cambios en la cantidad y calidad de los efluentes generados. En la Región de Cantabria (España) se compararon los parámetros físico-químicos de efluentes de 13 establecimientos lecheros con distinto grado de intensificación, encontrando diferencias muy significativas en variables edáficas como conductividad eléctrica, concentración de NH_4 y porcentaje de NH_4 sobre el N total. A su vez, se diferenció el efluente crudo comparado con la fracción sólida y líquida obtenida a partir de la utilización de un separador sólido-líquido (Salcedo Díaz, 2010). El problema del manejo de efluentes en tambos no es nuevo en el mundo, y la estrategia de abordaje en los países con historia lechera fue en primera instancia la de resolver la contaminación de cursos de agua y el manejo del área inmediata a las instalaciones del tambo, evitando anegamientos y falta de piso que afectan la transitabilidad. Luego, tomó fuerza la concepción del efluente como vehículo de nutrientes, y la necesidad de no concentrarlos ni exportarlos del predio, de modo que las recomendaciones para la mejor solución del problema generado por los efluentes pasaron de ser llamadas *tratamiento de efluentes* a *manejo de residuos* (Gutiérrez & Cabrera, 2006). El manejo que se realiza normalmente de los efluentes es clave no sólo para reducir la transferencia de nutrientes de la pastura hacia los corrales u otros sitios, sino también para limitar su efecto negativo sobre el medio ambiente, la salud humana y animal. Estos desechos son generalmente almacenados en depósitos temporarios o permanentes y luego vertidos directamente al terreno o a un curso de agua, con el potencial riesgo de la contaminación del recurso agua (aguas superficiales y subterráneas). Un buen destino es el reciclado dentro del sistema productivo, de manera que el efluente almacenado puede aplicarse a un suelo o a una pastura preferentemente

en crecimiento, utilizando carros-tolvas o tanques estercoleros o equipos de riego (Charlón et al., 2004). Existen varias alternativas de manejo o gestión de los efluentes. Los primeros sistemas de tratamiento fueron desarrollados, primordialmente, para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Asociado a ello, se pueden distinguir cuatro tipos de lagunas, considerando el tipo de actividad biológica que es llevada a cabo en ella: anaeróbica, facultativa, de maduración (o aireadas naturalmente) y aeróbicas. En Europa occidental y EEUU los sistemas que se aplican, básicamente son lagunas de almacenamiento con descarga por aplicación al terreno. En algunos casos se realiza una separación primaria por sedimentación de los sólidos gruesos (arena, piedras y partículas orgánicas rápidamente sedimentables), luego el líquido sobrenadante es almacenado en las lagunas y luego de un tiempo de residencia superior a los 180 días, es utilizado para riego. Las lagunas de tratamiento han sido ampliamente usadas en Australia y Nueva Zelanda, fundamentalmente por la necesidad del reuso del agua, mediante la reducción de olores y concentración de sólidos y patógenos en el primer caso, mientras que en el segundo caso el tratamiento se basó en sistemas de doble laguna (una laguna anaeróbica en serie con otra laguna facultativa). Ambas tienen probada efectividad en la reducir la contaminación potencial de las aguas residuales (reflejado en la disminución de la carga orgánica) pero tiene un desempeño inadecuado en la remoción de nutrientes. En la Argentina, en 1999, el INTA presentó un Manual de Manejo de Residuos en el que se discuten las fuentes disponibles de agua y los posibles métodos para reducir su consumo. Además, para el tratamiento de efluentes se propone un sistema de 3 lagunas en serie, con posterior utilización del líquido, resultante de la última laguna, para el lavado de las instalaciones del tambo (Taverna *et al.*, 2004).

En las últimas décadas la agricultura argentina sufrió un proceso de transformación pasando de sistemas productivos basados en planteos mixtos a una agricultura intensiva. Ello trajo aparejado el reemplazo de cultivos tradicionales tales como el maíz por otros de mayor atractivo económico como la soja que además posibilitaba su combinación con el ciclo del trigo de tal forma de obtener dos cosechas en un año (Casas, 2000; Díaz Zorita *et al.*, 2003). Esto produjo una elevada tasa de extracción de nutrientes que no fue repuesta en igual magnitud, generando procesos de degradación y agotamiento que pone en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (Casas, 2000; Martínez,

2002). La intensificación productiva en la Región Semiárida Pampeana (RSP) es reciente, causada principalmente por la expansión de la frontera agrícola y el incremento de los cultivos de cosecha, principalmente de verano (maíz, soja y sorgo) (Tabla 2). Según datos del SIIA² durante los últimos 13 años la superficie sembrada promedio del cultivo de maíz representó un 27,7 % del total del país para la Provincia de Bs As y sólo un 9,4 % para la Provincia de La Pampa. Comparado con los cultivos de soja y sorgo, vemos que el maíz ocupa el segundo lugar en relación al cultivo más adoptados en ambas provincias. Respecto a soja, la superficie sembrada viene en constante aumento, pasando desde 2 millones de ha (año 2000) a casi 6 millones (año 2011) para provincia de Bs As (Fuente MAGyP). El sorgo granífero se ha convertido en una alternativa a considerar en aquellas zonas donde el maíz no puede expresar su potencial de producción (Romero, 2012). La superficie sembrada desde el año 2008 viene en constante aumento en ambas provincias con producciones entre 330 mil t a 500 mil t ha⁻¹ (año 2011). Notamos que desde el año 2000, en el este de La Pampa y Sur-oeste de Bs As, la inclusión de cultivos de verano en la rotación viene siendo significativa, principalmente maíz, soja y sorgo en orden de importancia. En cualquier sistema intensivo o semi-intensivo de producción lechera, estos cultivos, forman parte de la cadena forrajera al igual que del aporte de grano como concentrado energético.

Tabla 2: Superficie sembrada, superficie cosechada, producción y rendimiento promedio de los principales cultivos de verano (maíz, soja y sorgo) en la Provincia de La Pampa (LP), Buenos Aires (Bs As) y total del país en los últimos 13 años (2001-2014).

| Año 2001-2014 | Superficie sembrada (ha) | Superficie cosechada (ha) | Producción (t) | Rendimiento (kg ha⁻¹) |
|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---|
| Maíz | | | | |
| LP | 378775 (9,4 %) | 136192 (4,3 %) | 618142 | 4443 |
| Bs As | 1110749 (27,7%) | 869346 (27,7 %) | 6247289 | 7180 |
| Total país | 4000501 | 3127788 | 20340540 | 6477 |
| Soja | | | | |
| LP | 264630 (1,6%) | 237357 (1,5 %) | 484797 | 2132 |
| Bs As | 4436925 (27,5%) | 4323044 (27,5 %) | 11467072 | 2672 |
| Total país | 16125584 | 15713099 | 40799484 | 2599 |
| Sorgo | | | | |
| LP | 59306 (7,1%) | 31182 (4,7 %) | 101893 | 3133 |
| Bs As | 77751 (9,3%) | 52387 (7,9 %) | 246223 | 4774 |
| Total país | 831987 | 660887 | 3058846 | 4657 |

Fuente: SIIA (Sistema integrado de Información Agropecuaria)

En la RSP la variabilidad de los rendimientos de maíz resultan principalmente dependiente de las precipitaciones y del agua almacenada durante el período previo a la siembra (Quiroga *et al.*, 2003; Funaro *et al.*, 2004; Rivetti, 2007), por lo tanto, ser eficiente en el uso del agua es un aspecto fundamental en esta Región. Varios autores (Rivetti, 2006; Puiatti *et al.*, 2008; Sáenz *et al.*, 2008) han evaluado la influencia del riego complementario sobre la eficiencia de uso del agua de maíz establecido en Hapludoles típicos de la Pcia de Córdoba. Las láminas de agua que se utilizan en experiencias de riego complementario, dependiendo del balance hídrico zonal, por lo general son mayores a 300 mm. En la RSP es escasa la información sobre el uso de agua con limitaciones por calidad. En las regiones semiáridas con suelos arenosos y permeables es factible alcanzar rendimientos moderados y estables (aproximadamente 60 % del potencial alcanzado en condiciones no salinas) mediante el riego por aspersion con agua salina. Lo que es de suma importancia para incrementar la producción en zonas marginales. Varios autores (Charlón *et al.*, 2005; Charlón *et al.*, 2007a; Charlón *et al.*, 2007b; Imhoff *et al.*, 2010) han generado información y tecnología en relación con la

aplicación de efluente tratado y en estado sólido. Sin embargo la bibliografía es mucho más acotada sobre las oportunidades y/o riesgos de la aplicación de efluentes líquidos o semi- líquido y crudos, es decir aquellos que son aplicados en el campo sin recibir ningún tipo de tratamiento. Para aproximar un valor total de efluentes por día y por vaca se puede considerar a la hora del diseño de instalaciones, una cantidad de 30 a 40 litros de efluente/ día. animal. Trabajos recientes en la zona de Miguel Riglos- (Departamento Atreucó- Provincia de La Pampa), muestran que un tambo con 140 vacas en ordeñe y una producción de 2500 litros /día promedio de leche, genera unos 4000 litros de efluentes por día, equivalente a 1.6 litros de efluentes por litro de leche producida. Varios trabajos científicos reportados por Paul & Beauchamp (1993); Kaffka & Kaneganti (1996); Roach *et al.*, 2001; Macoon *et al.*, 2002; Nevens & Reheul, 2004; La Manna *et al.*, 2004; Charlton *et al.*, 2005; Dordas *et al.*, 2008, han comprobado incrementos significativos de los niveles de algunos nutrientes en el suelo como consecuencia de la aplicación de estiércol sólido y efluente líquido de tambo. Pero también existen resultados en donde la aplicación de estos residuos no ha sido totalmente efectiva para mejorar las propiedades edáficas. En algunos casos, generalmente con elevadas dosis y/o reiteradas aplicaciones, el estercolado ha incrementado la salinidad del suelo o modificado el pH a niveles inconvenientes para la producción de cultivos (Butler *et al.*, 2008; Sosa, 2010). Distintas experiencias realizadas utilizando láminas de efluentes equivalentes a 5 mm y 20 mm en maíces para silo, comparándolos con tratamientos testigos en la zona de Miguel Riglos, mostraron incrementos en producción de materia seca (MS) (6000 kg ha^{-1}), proteína Bruta a cosecha (800 kg ha^{-1}), mayores eficiencias en el uso del agua ($52 \text{ kgMS ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$), y un mayor contenido de nitratos en suelo en los primeros 20 cm (31 kg ha^{-1}). Los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) no mostraron diferencias entre tratamientos con y sin aplicación de efluentes, (Diez *et al.*, 2010). Charlón *et al* (2006) evaluaron la utilización de residuos orgánicos del tambo sobre la producción de alfalfa, utilizando como referencia el contenido de S. Evaluaron producción de materia seca (MS) y calidad (% proteína bruta) y registraron un incremento significativo en ambas variables analizadas. El tratamiento que recibió dos aplicaciones, es decir a la siembra y al año de implantación, presento diferencias con el testigo (sin aplicación), se incrementó el contenido de proteína bruta en un 11 % respecto al testigo.

En el campo experimental de la EEA Rafaela, durante la campaña 2007/08, se aplicó estiércol sólido sobre un cultivo de trigo con 35 días de emergido. Luego de cosechado, se sembró soja de 2da. Registraron incrementos de rendimiento de trigo (469 y 716 kg ha⁻¹) y también respuesta en la producción del cultivo sucesor soja (230 y 509 kg ha⁻¹) cuando se aplicaron dosis de 4 y 8 t ha⁻¹ de estiércol respectivamente. Los resultados obtenidos por Charlón *et al* (2006; 2007a) referidos al uso de residuos orgánicos muestran una respuesta positiva en calidad y cantidad de forraje producido respecto a los tratamientos no fertilizados y a los tratados únicamente con fertilizante inorgánico. La aplicación de residuos orgánicos el día previo a la siembra dio lugar a incrementos superiores al 30 % en relación al testigo. A su vez la aplicación anticipada de estos residuos mejoró la disponibilidad de nitrógeno incrementando el porcentaje de proteína bruta. Taverna & Charlón (2005) observaron falta de respuesta productiva del maíz ante la adición de efluentes al suelo, infiriendo que la misma pudo deberse a pérdidas por volatilización que pueden llegar al 95 % del total aportado cuando el efluente se esparce en forma líquida sobre el suelo. Ghilberto *et al* (2012) registraron aumentos de biomasa aérea en sorgo doble propósito del 26 % con la aplicación de efluente. El aumento de las poblaciones de la micro flora del suelo tales como algas y bacterias ayudaría a mejorar la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. Las algas del suelo y cianobacterias descomponen residuos orgánicos y liberan nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas y el control de contaminación, además de mejorar la estructura de los suelos (Kondinin Group's, 2001). La incorporación de efluentes al suelo, pueden tener una influencia negativa sobre este recurso. Existen antecedentes que muestran efectos negativos del uso de efluentes sobre propiedades edáficas como por ejemplo: el pH y la conductividad eléctrica que resultarían también negativos no solo para los cultivos sino también para algunos microorganismos. Estos cambios parecen influir más sobre la composición que sobre la biomasa total. Por ejemplo se ha comprobado que las cianobacterias son incapaces de sobrevivir en condiciones ácidas, mientras que diversas y abundantes algas verdes han sido registradas en suelos ácidos (Zancan *et al.*, 2006). Por otro lado, el incremento en el contenido de sales resulta perjudicial para la mayoría de las algas, con excepción de algunas *Euglenophyta*. Este efecto perjudicial puede deberse a una competencia de los microorganismos heterótrofos que comparten el

hábitat, ya que posteriormente cuando la mineralización ha progresado, las algas pueden desarrollarse sobre la superficie de dichos suelos abonados, (Halperin, 1968).

Teniendo en cuenta las características de la producción lechera, un aspecto importante es estudiar las posibilidades de gestionar/utilizar los efluentes en la forma más segura y económica posible, tratando de no contaminar los cursos de agua superficial y subterránea y afectar propiedades edáficas que puedan afectar la productividad.

1.2 Planteo de hipótesis y objetivo general

En base a lo expuesto se plantean las siguientes hipótesis y objetivos de trabajo:

1. Por la influencia de la calidad del agua subterránea, de las estrategias forrajeras y de alimentación (suplementación) que resultan variables entre establecimientos se infiere que la contribución de nutrientes y el riesgo de contaminación y/o salinización por el uso de efluentes varía entre establecimientos.
2. El aporte de nutrientes a partir del uso de efluentes tiene un efecto positivo sobre la eficiencia de uso del agua por parte de los cultivos incidiendo sobre el rendimiento y la calidad forrajera.
3. La incorporación de efluentes en bajas dosis no tiene un efecto negativo sobre las propiedades edáficas como pH y conductividad eléctrica.
4. La incorporación de efluentes en altas dosis tiene un efecto negativo sobre el pH y conductividad eléctrica del suelo favoreciendo la presencia y/o ausencia de los principales grupos taxonómicos algales.

El **objetivo general** de este estudio fue evaluar alternativas de uso de efluentes de tambo sobre la producción de cultivos y propiedades edáficas en Molisoles y Entisoles de la Región Semiárida Pampeana.

1.3 Objetivos específicos:

1. Caracterizar la composición química de efluentes de establecimientos tamberos con diferentes modalidades en sus sistemas de producción,
2. Evaluar el efecto de distintas dosis de efluentes sobre la producción de biomasa y grano de maíz y verdeo de invierno (centeno),

3. Evaluar el efecto del uso de efluentes sobre indicadores de calidad de forraje,
4. Evaluar el efecto sobre propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

Estructura de la tesis

El presente documento de tesis se ha organizado siguiendo la estructura común de un trabajo científico: Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones.

Para facilitar su lectura e interpretación, se dividió en seis capítulos de acuerdo al tipo de evaluación realizada. En el primero de tales capítulos se muestran datos de la evaluación edafoclimática de los dos sitios de ensayos a campo, a los que siguen otros cuatro que contienen resultados de las pruebas de aplicación de distintas variantes de efluentes de tambo, sobre cultivos de maíz, centeno y sorgo. Un último capítulo referido a la evaluación de la respuesta de la ficoflora edáfica en las pruebas de aplicación de efluentes, llevadas a cabo en uno de los sitios experimentales. Cada uno de estos capítulos incluyó un análisis, en particular, de las observaciones experimentales.

El capítulo 9 incluye “Resultados y discusión general”, es decir se integran y analizan todas las pruebas de aplicación de efluente (tanto líquido como sólido), y sus principales aportes a la producción y calidad de forraje y/o grano, como a variables edáficas. Luego el capítulo 10 donde se abordan las “Conclusiones” y consideraciones sobre las cuatro hipótesis planteadas al inicio del trabajo.

CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción de sitios experimentales

2.1.1 Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil como sitio de prueba de efluentes

El estudio se desarrolló en la Experimental INTA Anguil (ruta nacional 5 km 580) sobre suelos Molisoles y Entisoles con régimen de humedad ústico y donde se encuentran establecidos la mayor parte de los tambos de La Pampa. Es una zona medanosa, característica de la subregión de las Planicies del Este de La Pampa, con predominio de Molisoles e importantes inclusiones de Entisoles de texturas arenosa franca a franco arenosa, bajos contenidos de materia orgánica, pobre desarrollo de estructura (bloques subangulares finos y débiles) con escasa retención de agua útil (aproximadamente 60mm/m del perfil), según se desprende del Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa, (2004). Poseen secuencia de horizontes A, AC y C y los contenidos de arena pueden alcanzar valores del 80 % (Fernández *et al.*, 2003). En la Figura 1 se presenta la ubicación del sitio experimental y la localización de los tambos cuyos efluentes fueron utilizados.

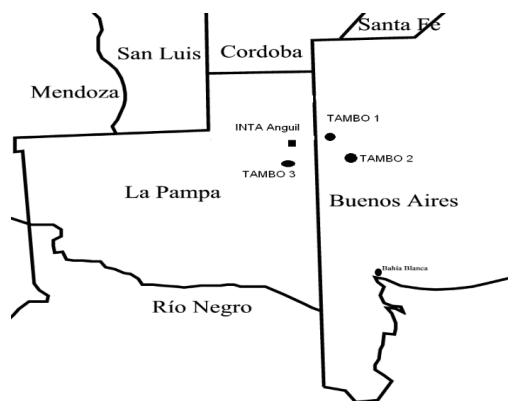


Figura 1: Localización del sitio experimental (EEA INTA Anguil), Tambo 1 (Establecimiento Don Germán- Partido de Trenque Lauquen), Tambo 2 (Establecimiento Don Remigio- Partido Rivadavia) y Tambo 3 (Establecimiento Don Nicolás- Departamento Atreucó).

2.1.2 Tambo Nº 1 como fuente de efluente sólido

Involucró al establecimiento Don Germán, ubicado en cercanías de la ciudad de Trenque Lauquen, con una extensión de 3433 ha, de las cuales 404 (13%) se destinaban a la actividad tambera. Se trató de un tambo semi pastoril con 558 vacas en ordeño (VO) (Tabla 3). La alimentación de las VO estuvo basada en un 32% de silo de pastura, maíz, sorgo y verdes y un 68% de concentrados (pellet de soja, afrechillo, expeller de girasol, extrusado de soja, semillas de algodón). Para el manejo de los efluentes se disponía de una pileta de decantación, en cercanías al corral de espera, donde se realizaba la primera filtración de la parte sólida del efluente. El producto de esa decantación fue el estiércol, el cual se apilaba para ser secado a temperatura ambiente y luego ser esparcido sobre lotes de producción. La corriente líquida (efluente) se derivaba hacia una laguna artificial permanente ubicada a 270 m del tambo. El agua del establecimiento era utilizada únicamente para el lavado de la sala y máquina de ordeño, debido a sus características. Los valores de ella incluyeron: conductividad eléctrica (CE)= 2,91 dS m⁻¹; relación de adsorción de sodio (RAS)= 12,2; pH= 8,55; nitrógeno de nitratos (N-NO₃)= 6 mg l⁻¹ y un residuo seco (sólidos disueltos) de 1392 mg l⁻¹. Para el consumo animal se transfería agua de mejor calidad del otro establecimiento cercano.

2.1.3 Tambo Nº 2 como fuente de efluente líquido

Se trató del establecimiento Don Remigio, el cual se encuentra ubicado en cercanías de la localidad de González Moreno, partido de Rivadavia (provincia de Buenos Aires). Este involucró un tambo semi pastoril con 600 VO (Tabla 3) bajo alimentación fija todo el año y a base de un 68,5% de forraje y 31,5 % de concentrados. Al resto de las categorías se les brinda un 100% de forraje, excepto a las vacas preparto. El manejo de los efluentes llevado a cabo en el predio se basó en lagunas de tratamientos para su estabilización, es decir, una vez generados en la sala de ordeño se dirigían hacia una primera laguna (tipo anaeróbica), para luego pasar por rebalse hacia una segunda laguna (tipo facultativa) y terminar en una tercera laguna aeróbica. En esta última, el líquido quedaba almacenado de manera permanente. Dichos líquidos no eran sometidos a ningún tipo de aprovechamiento pero se estaba contemplando incorporar al establecimiento un sistema de riego por cañón para aplicar estos efluentes a lotes de

producción. La provisión de agua para el lavado de las instalaciones y suministro a los animales tenía origen subterráneo. Según un análisis químico, realizado en el año 2013, el agua del tambo presentó valores de $CE=2,36 \text{ dS m}^{-1}$; $pH= 7.85$; $N-NO_3= 50 \text{ ppm}$; dureza total= 670 mg l^{-1} y alcalinidad total= 425 mg l^{-1} .

2.1.4 Tambo Nº 3 como fuente y sitio de prueba de efluente crudo

Involucró al establecimiento Don Nicolás ubicado en cercanías de la localidad de Miguel Riglos, departamento Atreucó (provincia de La Pampa). Se trató de un tambo semi pastoril con 140 VO (Tabla 3). Los efluentes generados en este establecimiento resultaron del almacenamiento del efluente “crudo” en una pileta, forma en la que son esparcidos en lotes de producción mediante un tanque estercolero con capacidad de 4500 litros. La alimentación se realizaba en base a pasturas de alfalfa en los meses de otoño, primavera y verano, y durante el invierno, pastoreo sobre verdeos de invierno, principalmente centeno. El silo de maíz y sorgo ocupaba un alto porcentaje en la dieta durante todo el año. Los concentrados o balanceados se utilizaban para corregir la proteína a razón de $2,5 \text{ kg /VO día}$ promedio. El agua para el lavado de las instalaciones era obtenida mediante perforación y su calidad química arrojaba valores de $pH= 7.48$; $CE= 1.44 \text{ dS m}^{-1}$; residuo seco= 0.65 g l^{-1} ; dureza total= 354 mg l^{-1} y $RAS= 2.4$. Dichos valores la categorizaron como un agua dura, de baja conductividad eléctrica que se incluye en el Grupo S1 según la clasificación del Laboratorio Riverside.

En este establecimiento se realizó una experiencia a campo que se basó en aplicar el efluente crudo (EC) generado en el mismo mediante una estercolera líquida sobre un lote de sorgo con destino a silaje. Los tratamientos fueron dosis de EC: D0= testigo, sin efluente; D1= una pasada con estercolera líquida equivalente a una lámina de 5.5 mm y D2= dos pasadas con estercolera líquida equivalente una lámina de 11 mm. El tamaño de parcela que se utilizó fue de 720 m^2 . La siembra del cultivo se realizó el 10 de noviembre de 2011, y luego a los 13 días se aplicó el EC. En estado de macollaje se evaluó en el suelo el contenido de $N-NO_3$, pH y CE , al igual que el contenido de humedad del suelo hasta los 120 cm de profundidad. Luego en estado óptimo de corte para silo (grano lechoso-pastoso) se cortaron plantas para evaluar la producción de materia verde (MV), producción de materia seca (MS) y proteína bruta (PB) en planta entera.

Registro de precipitaciones

La EEA Anguil del INTA cuenta con un observatorio meteorológico distante 300 m del sitio experimental donde fueron conducidos los ensayos. Se registraron las precipitaciones mensuales y se consideró el promedio histórico a fin de caracterizar la oferta hídrica de los dos períodos evaluados.

Tipos de efluentes

Los efluentes utilizados en esta experiencia se colectaron de tres tambos (Tabla 3), diferenciados según el grado de intensificación, tratamiento y/o destino final de los mismos. Del tambo 1 se utilizó el efluente sólido (ES), del tambo 2 el efluente de laguna (EL) y del tambo 3 el efluente crudo (EC).

Tabla 3: Localización, precipitación media anual de la zona, producción de leche y tipo de efluente generado para los tres tambos.

| Características | Tambo 1 | Tambo 2 | Tambo 3 |
|------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Coordenadas | 36° 05'48.4 ''S | 35°29.12'S | 36°49'786''S |
| | 62°33'28.2''WO | 63°13.659''WO | 63°42'088''WO |
| | Trenque lauquen | Gonzales Moreno | Miguel Riglos |
| Precipitación media anual | 833 mm | 750 mm | 664 mm |
| vaca ordeñe (VO) | 558 | 600 | 140 |
| Litros de leche (promedio mensual) | 528.984 | 540.000 | 96.000 |
| Litros de leche/ VO | 31.5 | 30 | 23 |
| Gestión de efluentes | Distribución del Sólido | Lagunas de tratamiento | Distribución del crudo |
| Manejo | Semi pastoril | Semi pastoril | Semi pastoril |

Cultivos

Los efluentes (tanto líquido como sólido) se aplicaron sobre un cultivo de maíz en forma anticipada (10 días previos a la siembra) luego de un verdeo y en forma tardía (estado vegetativo de 6 hojas, V_6) luego de un maíz, durante dos períodos consecutivos. Los maíces correspondientes al período 1 se sembraron el 15/11/2010 y cosecharon el 25/04/2011, mientras que los maíces del período 2 se sembraron el 22/11/2011 y cosecharon el 02/05/2012. Durante la estación otoño-invierno del primer período se sembró (15/03/2011) un verdeo de invierno (Centeno- Var Quehué INTA) con destino a cultivo de cobertura sobre un sitio de textura arenosa, 41 ppm de fósforo y 5.98 de pH, aplicando las dosis de manera anticipada 40 días previos a la siembra, utilizando únicamente EC y ES. Luego de la aplicación del herbicida para cortar el ciclo del cultivo de cobertura, se sembró maíz (16/11/2011) aplicando de manera anticipada (10 días previos a la siembra) el EC y ES. En todos los casos los cultivos fueron establecidos bajo siembra directa (SD), utilizando sembradora Baummer (maíz) y Schiarre (centeno).

2.2 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en un testigo y distintas dosis de efluente (E). De acuerdo a la superficie utilizada en cada ensayo, se ajustó la dosis en mm y/o t por ha de efluente líquido o sólido. Para los efluentes líquidos se utilizó el equivalente a lámina de agua (mm) y para el efluente sólido el equivalente a $t\ ha^{-1}$ de estiércol. En ambos períodos las aplicaciones fueron postergadas en V_6 de maíz y los tratamientos de dosis líquida fueron: 0 (D0) (testigo sin efluente), 4mm (D4), 8mm (D8) y dosis sólida: 0 (D0) (testigo sin efluente), $10\ t\ ha^{-1}$ (D10s), $20\ t\ ha^{-1}$ (D20s). En centeno y maíz, con aplicación anticipada de efluente, los tratamientos fueron: D0 (testigo sin efluente), 5mm (D5), 10mm (D10), 20mm (D20) y 0 (D0), $10\ t\ ha^{-1}$ (D10s), $20\ t\ ha^{-1}$ (D20s), $40\ t\ ha^{-1}$ (D40s).

2.3 Diseño experimental

Se utilizaron parcelas de 2 x 5 m de largo ($10\ m^2$) en un diseño en bloques completamente aleatorizado. La Tabla 4 corresponde a los ensayos de maíz de ambos períodos con 5 repeticiones y la Tabla 5 al ensayo de aplicación de ES y EC sobre centeno con cuatro repeticiones.

Tabla 4: Esquema con la distribución de los tratamientos de cada efluente: D0= testigo (sin efluente), D4= 4 mm, D8= 8 mm para efluente laguna (EL) y efluente crudo (EC) y D10s= 10 t ha⁻¹ y D20s= 20 t ha⁻¹ para efluente sólido (ES) correspondientes al ensayo de cultivo de maíz.

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|----|----|--------------------------|------|------|---------|----|----|
| B V | D0 | D8 | D4 | D0 | D20s | D10s | D0 | D8 | D4 |
| B IV | D4 | D0 | D8 | D10s | D0 | D20s | D4 | D0 | D8 |
| B III | D8 | D4 | D0 | D20s | D10s | D0 | D8 | D4 | D0 |
| B II | D0 | D8 | D4 | D0 | D20s | D10s | D0 | D8 | D4 |
| B I | D4 | D0 | D8 | D10s | D0 | D20s | D4 | D0 | D8 |
| Bloques | EL (mm) | | | ES (t ha ⁻¹) | | | EC (mm) | | |

Tabla 5: Esquema con la distribución de los tratamientos de cada efluente: D0= testigo (sin efluente), D5= 5 mm, D10= 10 mm y D20= 20 mm para efluente laguna (EL) y efluente crudo (EC) y D0= testigo (sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹ y D40s= 40t ha⁻¹ para efluente sólido (ES) correspondientes al ensayo de centeno.

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| B I | D0 | D10s | D20s | D40s | B II | D20s | D10s | D0 | D40s |
| B III | D10s | D0 | D40s | D20s | B IV | D10s | D20s | D40s | D0 |
| ES (t ha ⁻¹) | | | | | | | | | |
| B I | D0 | D5 | D10 | D20 | B II | D10 | D0 | D20 | D50 |
| B III | D20 | D10 | D5 | D0 | B IV | D50 | D20 | D0 | D10 |
| EC (mm) | | | | | | | | | |

2.4 Análisis estadístico

Los resultados de los ensayos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA y las diferencias entre medias a partir del Test LSD Fisher mediante el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2008). Cada tipo de efluente se analizó de manera independiente, sin realizar comparaciones entre los tipos de efluentes empleados.

2.5 Métodos analíticos

2.5.1 Determinaciones en suelo

Durante la primera etapa del trabajo se caracterizaron los sitios en cuanto a su contenido de materia orgánica (Walkley & Black, 1934), fósforo disponible (Bray & Kurtz, 1945) y contenido de limo, arena y arcilla (Pipeta de Robinson)

Luego de establecido los ensayos se realizaron las siguientes determinaciones:

- Nitrógeno de nitratos: se evaluó sobre tres espesores de suelo: 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm de profundidad. Extracto acuoso con sulfato de calcio y determinación calorimétrica con ácido cromotrópico (West & Ramachandran, 1962). Las etapas de muestreo fueron a la siembra, en estado fenológico de 6 hojas (V_6) y floración (F) para maíz. En centeno se determinaron durante siembra e inicio de macollaje.
- pH y conductividad eléctrica en pasta saturada: se determinaron sobre los estratos de: 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad. Se evaluaron en el mismo momento que para nitrógeno de nitratos.
- Contenido de agua: a intervalos de 20 cm, hasta los 200 cm de profundidad (método gravimétrico), fueron determinados a la siembra, V_6 , floración y madurez fisiológica en maíz mientras que en centeno fue evaluado previo a la siembra (PS) y en encañazon (E).
- Uso consuntivo (UC): se calculó como la suma del contenido hídrico inicial del suelo y las precipitaciones ocurridas en ese período. A esta suma se le resto el contenido hídrico del suelo determinado al final de cada período considerado, de acuerdo con la metodología propuesta por López & Arrué (1997). Las mediciones de UC se realizaron en biomasa (UC_b) y grano (UC_g), cuando el cultivo alcanzó el estado fenológico de floración y madurez fisiológica, respectivamente.

- Eficiencia de Uso de Agua (EUA): se calculó en biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g). La primera fue determinada como el cociente entre la producción de materia seca y el uso consuntivo (UC) del cultivo en floración en el período evaluado y la segunda como el cociente entre la producción de grano y el uso consuntivo (UC) del cultivo hasta el momento de la cosecha (madurez fisiológica).

2.5.2 Determinaciones en los efluentes

Se extrajeron 3 muestras de efluentes de cada tambo, las que luego fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional del Sur de Bahía Blanca donde se les realizaron las siguientes determinaciones:

- Contenido de nutrientes: comprendió el análisis de Na (sodio), Ca (calcio), Mg (magnesio), K (potasio), S (azufre), P (fósforo) y B (boro) (Johnson & Ulrich, 1959). Las determinaciones fueron efectuadas con Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-AES), Shimadzu Secuencial 1000 modelo III, con nebulización convencional, según Norma EPA 200.7.
- Compuestos de nitrógeno: se determinaron en la forma de N total (%), N-NO₃, N-NH₄ (método semimicro Kjeldahl).
- Contenido de carbono total: se determinó por el método de combustión seca (IR), utilizando un analizador automático Leco modelo CR1.

2.5.3 Determinaciones en material vegetal

Mediante la cosecha por corte de material vegetal, efectuada en estado fenológico de F para maíz y de E para centeno se evaluó la producción de biomasa aérea total. A su vez, del material vegetal cosechado se tomaron muestras sobre las que se realizaron las siguientes determinaciones:

- Materia seca (MS): determinada por secado en estufa a 60° C hasta peso constante durante 72 hs. Luego de pesado dicho material seco se sometió a molienda (molino Ciclotec con tamaño de malla de 1mm) para su posterior análisis de parámetros de calidad nutricional que a continuación se describen.

- Concentración de proteína Bruta (PB, método Kjeldhal).
- Concentraciones de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) según Goering & Van Soest (1970).
- Digestibilidad de la materia seca (DMS) estimada a partir de la concentración de FDA mediante el uso de la ecuación $DMS = 88.9 - (0.779 * FDA)$ de Rohweder *et al.*, 1978.
- Índice de verdor (IV) como forma rápida y no destructiva de evaluar la concentración de N foliar. Dicha determinación fue realizada utilizando un medidor de clorofila Minolta SPAD 502, que estima la concentración relativa de clorofila por medio de la luz transmitida, a través de la hoja, en 650 nm (longitud de onda fotosintéticamente activa) y 940 nm. Las mediciones de IV se aplicaron al cultivo de maíz sobre la última hoja expandida, aproximadamente a la mitad de la distancia entre el tallo y el ápice y a la mitad de distancia entre el borde de la hoja y la nervadura central. De cada parcela se obtuvieron unas 10 lecturas en promedio.
- Alcanzado su estado fenológico de madurez fisiológica en cultivo de maíz también se evaluó el rendimiento de grano (Rto grano) y como parámetro de calidad, la concentración de PB del grano. A la cosecha del material, se contó el número de plantas y espiga por planta. Luego se extrajo una submuestra de todo el material cosechado y se corrigió por humedad a 60°C hasta peso constante durante 72 hs. Una vez secada la muestra se procesó con molinillo Ciclotex provisto de malla de 1 mm para realizar el análisis de PB correspondiente.

2.5.4 Determinaciones de la ficoflora edáfica

Considerando su utilidad potencial como indicador biológico muy sensible a cambios en las propiedades edáficas, la población algal del suelo fue también evaluada, en

este trabajo, como respuesta a los tratamientos experimentales. Para ello, de las parcelas correspondientes a todos los tratamientos ensayados, se extrajeron muestras del estrato superior del perfil del suelo (0-10 cm) a las que luego se aplicaron técnicas de cultivo, bajo cámara con condiciones controladas de fotoperíodo y temperatura, con el propósito de conocer la evaluación de la flora algal autóctona. Como registro de las algas presentes en las muestras, en el Laboratorio de Morfología Vegetal del Departamento de Ciencias Agropecuarias de la FICES, UNSL, se procedió a tomar fotomicrografías de las mismas.

CAPITULO 3. EVALUACIÓN EDAFOCLIMÁTICA DE SITIOS DE PRUEBA DE EFLUENTES

3.1 Sitio Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil

En la Figura 2 se observan las precipitaciones registradas durante los períodos donde se llevaron a cabo los ensayos. Las precipitaciones totales ocurridas en todo el ciclo del cultivo de maíz (comprendidos entre los meses de noviembre- abril) para el período 1 fueron de 409 mm y para el período 2 (comprendidos entre los meses de noviembre- mayo) fueron de 429 mm, siendo la media histórica en ese período de 569 mm. Los meses previos a la siembra (Agosto-October) se registraron 82 mm (período 1) y 318 mm (período 2), con una media histórica registrada de 152 mm. En el período 1 se registraron 295 mm entre siembra y floración y 114 mm entre floración y cosecha y en el período 2 se registraron 225 mm y 204 mm, respectivamente. En ambos períodos, el perfil del suelo estuvo a capacidad de campo al momento de la siembra. Si consideramos que en estos suelos hay un predominio de la fracción arena, la capacidad de retención de agua (CRA) y el agua útil en el suelo resultan claves para cubrir los requerimientos de estos cultivos. Si comparamos con la media histórica mensual de los últimos 39 años podemos observar a la siembra de los cultivos un buen estado hídrico del suelo para ambos períodos al igual que los momentos críticos del cultivo de maíz (estado floración enero-febrero). Para el ensayo de verdeo de invierno (año 2011), se registraron precipitaciones de 195 mm entre siembra y macollaje, alcanzando una lámina total de 270 mm.

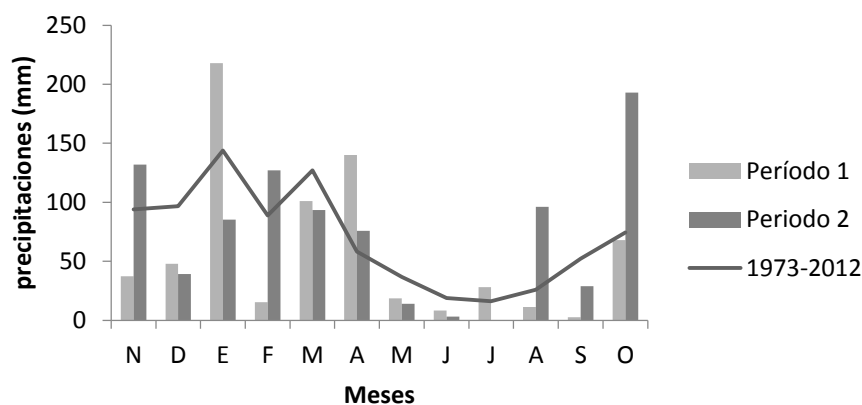


Figura 2: Distribución mensual de las precipitaciones durante el período 1 (año 2010-2011) y período 2 (año 2011-2012) de evaluación y el promedio correspondiente al período (1973-2012) registrados en la EEA INTA Anguil.

En la Tabla 6 se presentan algunas propiedades edáficas del sitio donde se llevaron a cabo los ensayos. Esta información sumada a condiciones climáticas registradas durante los períodos de evaluación permite hacer una caracterización preliminar del ambiente.

Tabla 6: Características físico- química del suelo correspondiente al sitio experimental.

| Profundidad (cm) | Arcilla (%) | Limo (%) | Arena (%) | MO (%) | P (ppm) | pH | N-NO ₃ (ppm) |
|------------------|-------------|----------|-----------|--------|---------|-----|-------------------------|
| 0-20 | 2 | 11 | 86 | 1,22 | 10,1 | 6 | 26,8 |
| 20-40 | - | - | - | - | 6,7 | 6,7 | 26,7 |
| 40-60 | - | - | - | - | - | - | 26 |

MO= materia orgánica. P= fósforo

3.2 Sitio Tambo N° 3

El sitio de prueba correspondiente al Tambo N°3 se caracterizó previo a la siembra del cultivo de sorgo, registrándose los datos que se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Características físico química del suelo correspondiente al sitio de prueba: Textura (%), fracción arena, arcilla, limo y arcilla + limo), P (ppm, fósforo), materia orgánica (%), MO) y contenido de nitrógeno de nitratos (N-NO₃) del Tambo N° 3.

| Fracción | Textura (%) | P (ppm) | MO% | N-NO ₃ (kg ha ⁻¹) |
|----------|-------------|---------|------|--|
| Arena | 84 | 30,94 | 1,55 | 0-20 cm= 13,3 |
| Arcilla | 2 | | | 20-40 cm= 9,4 |
| Limo | 14 | | | 40-60 cm= 12 |
| A+L | 16 | | | 0-60 cm= 34,7 |

CAPITULO 4. APLICACIÓN DE EFLUENTE SÓLIDO SOBRE CULTIVOS DE MAÍZ Y CENTENO.

4.1 Características del efluente aplicado

En Tabla 8 se presentan los valores promedios de parámetros químicos y nutricionales del efluente sólido (ES) recolectado en dicho establecimiento. Previo a la aplicación del estiércol sobre el sitio experimental, del mismo se extrajeron dos muestras de 500 gramos y se enviaron al Laboratorio de Forraje de la EEA INTA Anguil. Según los análisis, en 100 g de estiércol hay presente 53 g de materia seca, 8,8 g de materia orgánica y 0,30 g de nitrógeno. Aplicando dosis de 10t y 20t ha⁻¹ de ES, se habría incorporado al suelo, 0,03 t y 0,06 t de N ha⁻¹, respectivamente. La relación C: N fue de 17:1. Este “beneficio” de aplicar estiércol sólido al suelo resulta fundamental para evitar riesgo de contaminación puntual, o difusa, en el establecimiento lechero.

Tabla 8: Características químicas y nutricionales del efluente sólido (ES).

| Muestra | MS (%) | Cenizas (%) | MO (%) | N (%) |
|-----------------|--------|-------------|--------|-------|
| ES ¹ | 53 | 83,5 | 16,5 | 0,55 |

¹ promedio de dos repeticiones

4.2 Resultados de la aplicación en maíz

4.2.1 Producción de componentes de biomasa aérea

Durante el primer período el maíz respondió significativamente al agregado de efluentes incrementando la producción de MS en 1760 Kg ha⁻¹ para dosis mínima y 1865 Kg ha⁻¹ para la dosis máxima aplicada respecto al testigo ($P = 0,018$) (Tabla 9) El rendimiento de grano se incrementó 600 Kg ha⁻¹ debido al agregado de efluentes de dosis máxima respecto al testigo detectando diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($P = 0,05$). Para el período 2 la producción de biomasa ($P = 0,33$) no se diferenció entre tratamientos alcanzando un promedio de 12664 Kg ha⁻¹ mientras que el rendimiento de grano fue mayor en testigo que en el tratamiento de máxima dosis ($P = 0,04$), produciendo un 6% más de grano. Esta falta de respuesta en la producción de biomasa estaría relacionada con las mayores precipitaciones durante el período de

crecimiento- floración que tuvo lugar durante el 2do período. Sin embargo, los rendimientos fueron bajos debido a que en ambos períodos las precipitaciones durante el llenado de grano fueron escasas.

Tabla 9: Producción de materia seca (MS) en estado de floración y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos D0= testigo (sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹, correspondientes al período 1 y período 2.

| | Ítem | Tratamientos | | | EEM ¹ | P |
|-----------|--------------------------------|--------------|---------|---------|------------------|--------|
| | | D0 | D10s | D20s | | |
| Período 1 | MS, Kg ha ⁻¹ | 3806 B | 5566 A | 5671 A | 400,92 | < 0,01 |
| | Rto grano, Kg ha ⁻¹ | 2580 B | 2748 AB | 3181 A | 149,74 | < 0,05 |
| Período 2 | MS, kg ha ⁻¹ | 13079 | 11495 | 14267 | 921,94 | > 0,10 |
| | Rto grano, Kg ha ⁻¹ | 2955 A | 2405 B | 2764 AB | 130,22 | < 0,05 |

¹EEM= error estándar media

4.2.2 Calidad nutricional de componentes de biomasa aérea

Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para algunas variables de calidad analizadas. El contenido de PB fue mayor en los testigos que en los fertilizados, diferenciándose los tratamientos D0 y D10s. Cuando se consideró la producción de biomasa y grano, la PB (kg ha⁻¹) resultó mayor en los tratamientos fertilizados que en testigo. Resultados similares encontraron Charlón *et al* (2006; 2007 a; 2007b) evaluando el efecto del tipo y tiempo de aplicación de residuos orgánicos sobre el rendimiento y calidad en pasturas de alfalfa, avena y sorgos con destino a silaje, observando valores aún más bajos que los hallados en este trabajo.

Tabla 10: Calidad de planta entera y grano de maíz. Contenido de proteína bruta (PB, en porcentaje y kg ha⁻¹), fibra detergente neutro (FDN, %) y fibra detergente ácida (FDA, %), digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹, correspondientes al período 1.

| | Ítem | Tratamientos | | | EEM ¹ | P |
|---------------|-------------|--------------|--------|---------|------------------|--------|
| | | D0 | D10s | D20s | | |
| Planta entera | PB, Kg ha-1 | 249 B | 313 A | 351 A | 26,81 | < 0,10 |
| | PB, % | 6,52 A | 5,55 B | 6,17 AB | 0,19 | < 0,01 |
| | FDN, % | 68,58 | 67,30 | 68,13 | 0,82 | > 0,10 |
| | FDA,% | 36,35 | 34,96 | 35,42 | 0,78 | > 0,10 |
| | DMS, % | 60,58 | 61,66 | 61,30 | 0,82 | > 0,10 |
| Grano | PB, % | 7,54 B | 7,46 B | 7,85 A | 0,07 | < 0,01 |
| | PB, Kg ha-1 | 193 B | 204 B | 250 A | 12,02 | < 0,01 |

¹EEM= error estándar media

En grano, los valores de PB se diferenciaron estadísticamente entre tratamientos, alcanzando el mayor valor de PB el tratamiento D20s y a su vez diferenciándose del resto de los tratamientos. Estos valores resultaron bajos, comparados con los valores promedios (10 y 12 %) reportados por Coronel *et al* (2009) evaluando la producción y calidad de grano de cinco híbridos de maíz. Respecto al período 2 (Tabla 11), los valores alcanzados en cada variable de calidad analizada resultaron menores que en el período 1 y no se diferenciaron entre tratamientos.

Tabla 11: Calidad de planta entera de maíz. Contenidos de proteína bruta (PB en porcentaje y kg ha⁻¹), fibra detergente neutro (FDN, %) y fibra detergente ácida (FDA, %), digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹, correspondientes al período 2.

| | | Tratamientos | | | | |
|---------------|-------------------------|--------------|-------|-------|------------------|-------|
| Ítem | | D0 | D10s | D20s | EEM ¹ | P |
| Planta entera | PB, Kg ha ⁻¹ | 944 | 794 | 949 | 91,35 | >0,10 |
| | PB, % | 7,21 | 6,85 | 7,05 | 0,37 | >0,10 |
| | FDN, % | 62,86 | 61,01 | 60,50 | 1,33 | >0,10 |
| | FDA, % | 30,52 | 30,36 | 30,93 | 0,49 | >0,10 |
| | DMS, % | 65,13 | 65,25 | 64,81 | 0,39 | >0,10 |

¹EEM= error estándar media

4.2.3 Índice de verdor de biomasa aérea

El índice de verdor (IV) se diferenció estadísticamente entre tratamientos en el período ($P=0,01$), mientras que en el período 2 los tratamientos resultaron similares ($P=0,35$). Los tratamientos que recibieron efluente incrementaron el valor del IV en 12 y 6 unidades de SPAD para D10s y D20s respectivamente respecto al testigo. Las lecturas de SPAD promedio fueron menores a las encontradas por Sosa *et al* (2010) midiendo la clorofila en hoja en estado R1 de maíz aplicando efluente sólido de tambo. García & Espinosa (2008) estudiando la relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz durante distintas etapas fenológicas, encontraron que el incremento en la dosis de N (hasta 200 kg ha⁻¹) aumentó los valores de las lecturas con SPAD. El promedio de IV de todos los materiales para una dosis 0 (sin nitrógeno) fue de 37.3 para V₆ y 40.5 para V₁₂, en cambio, para una dosis máxima de N (200 kg) los valores de SPAD fueron de 45 en V₆ y 54 V₁₂. Los valores registrados en maíces fertilizados con dosis de efluente máxima (D20s) resultaron similares a los encontrados por estos autores cuando aplicaron una dosis de 75 kg N ha⁻¹.

Tabla 12: Índice de verdor (IV) en plantas de maíz, determinado por SPAD para los tratamientos D0= testigo (sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹, correspondientes al período 1 y período 2.

| | Tratamientos | | | EEM ¹ | P |
|-----------|--------------|--------|--------|------------------|--------|
| | D0 | D10s | D20s | | |
| Período 1 | 37,3 B | 49,6 A | 43,1 A | 0,82 | < 0,01 |
| Período 2 | 47 | 47,7 | 48,9 | 1,04 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

4.2.4 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua para componentes de biomasa aérea

El consumo de agua de maíz en floración (UC_b) y madurez fisiológica (UC_g) fue diferente, siendo mayor en este último estado fenológico. (Tabla 13). El agregado de efluente mejoró la EUA_b de los maíces en un 36% ($P = 0,04$), y la EUA_g en un 25 %, ($P = 0,05$) diferenciándose del testigo para el período 1. En el período 2 la EUA_b y EUA_g no se diferenció entre tratamientos, $P = 0,33$ y $P = 0,66$, respectivamente. Durante este período se alcanzaron mayores EUA_b, los que estarían dados por las mayores precipitaciones de noviembre, respecto al periodo 1.

Tabla 13: Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los distintos tratamientos: D0= testigo (sin efluente) y D20s= 20t ha⁻¹ correspondientes al período 1 y período 2.

| Ítem | Período 1 | | Período 2 | |
|--|--------------|--------|--------------|-------|
| | Tratamientos | | Tratamientos | |
| | D0 | D20s | D0 | D20s |
| MS, kg ha ⁻¹ | 3806 | 5269 | 13079 | 14267 |
| UC_b , mm | 333 | 355 | 368 | 349 |
| EUA_b KgMS ha ⁻¹ mm ⁻¹ | 11B | 15 A | 35 | 40 |
| Rto grano, kg ha ⁻¹ | 2580 | 3181 | 2955 | 2764 |
| UC_g , mm | 380 | 373 | 493 | 445 |
| EUA_g Kg ha ⁻¹ mm ⁻¹ | 6,78 B | 8,52 A | 5,99 | 6,21 |

4.2.5 Efectos sobre variables de suelo

4.2.5.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos

El contenido inicial de nitratos (N-NO₃) a la siembra durante el período 1 fue de 17,4 Kg ha⁻¹ en los primeros 0-20 cm y 28,2 Kg ha⁻¹ en 20-60 cm de perfil de suelo, haciendo un total de 45 Kg ha⁻¹ de N-NO₃ en los primeros 60 cm de suelo. Luego de 20 días de la aplicación del ES no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de N-NO₃ entre tratamientos en V₆ e inicios de floración (Tabla 14).

Tabla 14: Contenido de N-NO₃ (Kg ha⁻¹) en estado V6 y floración de maíz para los distintos tratamientos: D0= testigo (sin efluente) y D20s= 20t ha⁻¹ correspondientes al período 1.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|----------------|-----------|--------------|------|------------------|--------|
| | | D0 | D20s | | |
| V ₆ | 0-20 | 19,2 | 18,9 | 1,24 | > 0,10 |
| | 20-60 | 12,3 | 11,3 | 0,68 | > 0,10 |
| Floración | 0-20 | 19,7 | 26,2 | 2,19 | > 0,10 |
| | 20-60 | 17,1 | 19,2 | 0,85 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

Para el período 2, el contenido inicial de nitratos a la siembra fue de 13,3 kg ha⁻¹ en los primeros 0-20 cm y 26,2 kg ha⁻¹ en 20-60 cm de profundidad de suelo, haciendo un total de 39,5 Kg ha⁻¹ de N-NO₃ en los 60 cm de profundidad. En floración los tratamientos se diferenciaron estadísticamente ($P < 0.10$), únicamente en los primeros 20 cm de perfil de suelo (Tabla 15). El fertilizado con D20s triplicó el contenido de nitratos respecto a D0, luego de 80 días de aplicado el ES.

Tabla 15: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) en estado de floración de maíz para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente) y D20s= 20t ha⁻¹ correspondientes al período 2.

| Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|-----------|--------------|--------|------------------|--------|
| | D0 | D20s | | |
| 0-20 | 9,14 A | 29,4 B | 4,91 | < 0,10 |
| 20-60 | 9,5 | 27 | 9,32 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

4.2.5.2 pH y conductividad eléctrica

Los valores iniciales de pH y conductividad eléctrica en los primeros 0-10 cm y 10-20 cm de perfil de suelo fueron: 6,3 y 6,2 y 0,12 y 0,13 dS m⁻¹, respectivamente. En el período 1, tanto en V₆ como en floración, se detectaron diferencias entre tratamientos para las dos profundidades evaluadas (Tabla 16), observando valores mayores en D20s comparado con D0.

Tabla 16: Valor de pH en estadio V₆ y floración de maíz para los tratamiento: D0= testigo (sin efluentes) y D20s= 20t ha⁻¹ correspondiente al período 1.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|----------------|-----------|--------------|--------|------------------|--------|
| | | D0 | D20s | | |
| V ₆ | 0-10 | 6,14 b | 6,36 a | 0,05 | < 0,10 |
| | 10-20 | 6,11 B | 6,27 A | 0,01 | < 0,01 |
| Floración | 0-10 | 6,26 b | 6,68 a | 0,06 | < 0,05 |
| | 10-20 | 6,24 B | 6,44 A | 0,04 | < 0,10 |

¹EEM= error estándar media

Tabla 17: Valor de pH en floración de maíz para los tratamientos D0= testigo (sin efluente) y D20s= 20t ha⁻¹ correspondientes al período 2.

| Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|-----------|--------------|--------|------------------|--------|
| | D0 | D20s | | |
| 0-10 | 5,98 | 6,17 | 0,08 | > 0,10 |
| 10-20 | 6,08 B | 6,14 A | 0,01 | < 0,01 |

¹EEM= error estándar media

Para el período 2, los valores de pH a la siembra fueron 6,13 en los primeros 0-10 cm y 6,14 en 10-20 cm de perfil de suelo. Luego, en floración (Tabla 17) se detectaron diferencias estadísticas significativas en ambos tratamientos en los 10-20 cm de profundidad de suelo ($P = 0,02$). Bhatti *et al* (2011) mostraron que el estiércol puede incrementar el rendimiento de trigo y arroz significativamente y disminuir el pH, CE y RAS del suelo. En cambio, Briceno *et al* (2008) informó que el pH del suelo se incrementó inmediatamente debido a altas tasas aplicadas pero que retornó a valores similares al control. En cuanto a la CE los valores a la siembra fueron 0,12 y 0,13 y 0,09 y 0,08 en 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad para el período 1 y 2, respectivamente. Esta variable de suelo no se vio incrementada debido al agregado de ES en los períodos analizados, tanto en V₆ como en floración (Tabla 18 y 19). Lithourgidis *et al* (2007) encontraron incrementos de salinidad en el perfil de suelo, luego de aplicar efluentes a tasas equivalentes a la recomendada para fertilización inorgánica durante 8 años, pero a niveles aceptables para la mayoría de los cultivos y similares a los valores de salinidad alcanzada debido al uso de fertilizante inorgánico. Resultados obtenidos por Imhoff *et al* (2012) indicaron que aplicando efluente líquido sobre un suelo argiudol típico indujo mejoras en las propiedades químicas del suelo, pero a su vez incrementos en los contenidos de sales, sodio y potasio. Estas tendencias a incrementar el pH, sales y Na podría deberse a que la mayor parte de las aguas subterráneas califican como bicarbonatadas sódicas (Génova, 2005).

Tabla 18: Valor de conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en estadio V₆ y floración de maíz para los tratamientos D0= testigo (sin efluentes) y D20s= 20t ha⁻¹ correspondiente al período 1.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|----------------|-----------|--------------|------|------------------|-------|
| | | D0 | D20s | | |
| V ₆ | 0-10 | 0,13 | 0,13 | 0,01 | >0,10 |
| | 10-20 | 0,12 | 0,13 | 0,01 | >0,10 |
| Floración | 0-10 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | >0,10 |
| | 10-20 | 0,11 | 0,16 | 0,04 | >0,10 |

¹EEM= error estándar media

Tabla 19: Valor de conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en floración de maíz para tratamientos D0: testigo (sin efluentes) y D20s= 20t ha⁻¹ correspondiente al período 2.

| Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|-----------|--------------|------|------------------|-------|
| | D0 | D20s | | |
| 0-10 | 0,10 | 0,14 | 0,01 | >0,10 |
| 10-20 | 0,08 | 0,11 | 0,01 | >0,10 |

¹EEM= error estándar media

4.2.6 Consideraciones sobre los resultados

Las precipitaciones durante el período 1 y 2 fueron diferentes condicionando la respuesta en producción de materia seca. El agregado de ES mejoró la producción de MS en un 46 % y 49 % respecto al testigo sin efluente en el primer período, mientras que al segundo período con un régimen de precipitaciones mayor esa respuesta no se vio favorecida. El rendimiento de grano tuvo similar respuesta. A su vez la EUA del tratamiento que recibió ES mejoró en un 36% y 25% y 14 % y 3 % tanto para biomasa como grano, cuando se lo comparó con D0 en el período 1 y 2, respectivamente. Experiencias realizadas por Fontanetto *et al* (2010) mostraron incrementos en el rendimiento de trigo cuando aplicaron 4 t ha⁻¹ y 8 t ha⁻¹ de estiércol, y a su vez observaron respuesta del cultivo sucesor. Sosa *et al* (2010) aplicando 13 t ha⁻¹ de estiércol sobre maíz evidenciaron incrementos de 2572 Kg ha⁻¹ de MS respecto al testigo sin efluente, registrando a su vez una mayor concentración de N en planta. Estos autores

también evaluaron el efecto del estiércol sobre la producción de forraje en alfalfa aplicando 10 t ha^{-1} y 20 t ha^{-1} a la siembra y 45 días previos a la siembra. En cambio, Kaffka & Kanneganti (1996) encontraron respuesta en producción de materia seca de una pastura perenne al segundo año de aplicación de estiércol, debido a la disponibilidad de N orgánico residual. En el primer año el contenido de N-NO_3 no varió respecto a los tratamientos fertilizados con efluentes, esto puede deberse a que el N orgánico en el estiércol está disponible para el cultivo a tasas más lentas si se compara con la fracción de N inorgánico, requiriendo varios años para ser absorbido (citado por Kaffka y Kanneganti, 1996). En cambio en el período 2, el tratamiento de máxima aplicación de ES triplicó el contenido de nitratos en los primeros 20 cm respecto a D0. Este aporte de nitrógeno no afectó la calidad del maíz. Estos resultados coinciden con los encontrados por Charlon *et al* (2006; 2007b) evaluando la calidad de pasturas de alfalfa, avena y sorgo sobre la FDN y FDA. En cambio Charlon *et al* (2007a) han encontrado diferencias en los porcentajes de proteína bruta en avena utilizando residuos orgánicos aplicados previos a la siembra y en alta dosis comparados con fertilizante comercial y testigo sin fertilización. En esta experiencia, teniendo en cuenta las características del ES (Tabla 7), la D20s aportó 60 Kg ha^{-1} de N, equivalente a 130 Kg ha^{-1} urea, lo cual no se vio reflejado en el contenido de nitratos en suelo al primer año. Esto podría deberse a que durante la recolección, almacenamiento y utilización de los efluentes, cantidades significativas de N se pierden. Según Birchall *et al* (2008) en los sistemas de separación de sólidos, alrededor del 10 % del N total es retenido en los sólidos. El pH se vio incrementado durante el primer año aunque se mantuvo en valores de pH neutro, mientras que la CE no se modificó para ninguno de los dos períodos en la dosis máxima de estiércol aplicada.

4.3 Resultados de la aplicación en centeno (verdeo de invierno)

4.3.1 Efectos sobre producción de biomasa aérea y su calidad nutricional

El agregado de estiércol produjo incrementos de 3220 Kg ha⁻¹ (D40s), 2346 Kg ha⁻¹ (D20s) y 1353 Kg ha⁻¹ (D10s), comparándose respectivamente con el testigo (Figura 3). A medida que se incrementó la dosis, la producción de MS de centeno aumentó de manera lineal, en el orden de 1000 Kg ha⁻¹ ($P < 0.01$).

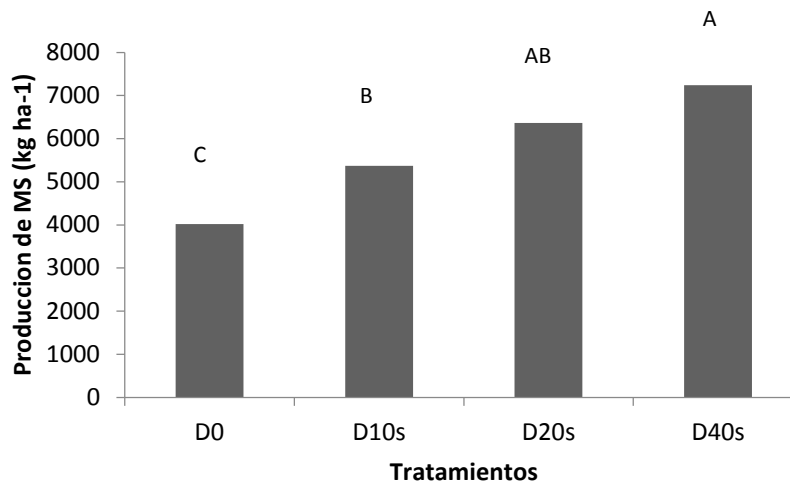


Figura 3: Producción de materia seca (MS) de centeno para los tratamientos D0= testigo (sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹, D40s= 40t ha⁻¹, utilizando efluente sólido.

El % de PB no se diferenció estadísticamente entre tratamientos, alcanzando un promedio de 10.5% (Tabla 20). No obstante cuando se consideró la biomasa producida, el contenido de proteína en kg ha⁻¹ incrementó con el agregado de efluente diferenciándose significativamente las mayores dosis respecto del testigo. Los valores de FDA resultaron mayores en los tratamientos fertilizados respecto al testigo diferenciándose estadísticamente D0 y D10s de D20s y D40s. La DMS fue mayor en los tratamientos D0 y D10 comparado con el resto de los tratamientos diferenciándose entre tratamientos, respectivamente.

Tabla 20: Calidad de planta entera de centeno. Contenido de proteína bruta (PB) expresado en porcentaje y en kg ha⁻¹, fibra detergente neutro (FDN, %) y fibra detergente ácida (FDA, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %), para tratamientos D0 (testigo sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹ y D40s= 40t ha⁻¹.

| Ítem | Tratamiento | | | | EEM ¹ | P |
|-------------------------|-------------|---------|---------|---------|------------------|--------|
| | D0 | D10s | D20s | D40s | | |
| PB, % | 11,18 | 9,88 | 11,76 | 9,73 | 0,56 | >0,10 |
| PB, kg ha ⁻¹ | 451 C | 530 BC | 710 AB | 750 A | 69,02 | < 0,01 |
| FDA, % | 18,09 B | 19,13 B | 31,58 A | 29,47 A | 1,46 | < 0,01 |
| FDN, % | 46,00 | 51,37 | 48,76 | 53,74 | 3,00 | > 0,10 |
| DMS, % | 74,81 A | 74 A | 64,30 B | 65,95 B | 1,14 | < 0,01 |

¹EEM= error estándar media

4.3.2 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua en biomasa aérea

El consumo de agua (mm) del centeno hasta el período evaluado fue mayor en los tratamientos que recibieron ES (Tabla 21). La EUA_b incrementó 12 Kg ha⁻¹ de MS cuando se comparó D0 con D40s y se diferenciaron significativamente entre los tratamientos. Los fertilizados con efluente alcanzaron valores de EUA por encima de los 20 kg.MS ha⁻¹ mm⁻¹. Estos resultados fueron menores a los hallados por Frasier *et al* (2009) quienes informaron valores de 35 kg MS ha⁻¹ de EUA para centeno (sin efluente aplicado) evaluado hasta encañazón, como cultivo de cobertura.

Tabla 21: Uso consuntivo (UC) y eficiencia de uso del agua de biomasa (EUA_b) de centeno para los tratamientos: D0 (testigo sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹ y D40s= 40t ha⁻¹.

| Tratamiento | MS (kg ha ⁻¹) | UC (mm) | EUA _b (kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹) | P |
|-------------|---------------------------|---------|---|--------|
| D0 | 4016 | 247 | 16 C | < 0,01 |
| D10s | 5369 | 254 | 21 B | |
| D40s | 7236 | 251 | 28 A | |

4.3.3 Efectos sobre variables de suelo

4.3.3.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos

El contenido de N-NO₃ (Kg ha⁻¹) 10 días previos a la siembra no difirió entre tratamientos (Tabla 22). En el estado de encañazon, se detectaron diferencias entre tratamientos en los primeros 20 cm del perfil siendo mayor a medida que incrementó la dosis de efluente, mientras que en los 20-60 cm de profundidad, los valores fueron similares entre tratamientos.

Tabla 22: Contenido de N-NO₃ (Kg ha⁻¹) previo a la siembra (PS) y en estado encañazon (ENC) de centeno para los tratamientos: D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹ y D40s= 40 t ha⁻¹.

| Momento de aplicación | Prof (cm) | Tratamientos | | | EEM ¹ | P |
|-----------------------|-----------|--------------|---------|---------|------------------|--------|
| | | D0 | D10s | D40s | | |
| PS | 0-20 | 28,4 | 23,11 | 30,42 | 8,12 | > 0,10 |
| | 20-60 | 50,83 | 48,80 | 31,68 | 10,31 | > 0,10 |
| ENC | 0-20 | 9,49 C | 10,43 B | 11,39 A | 0,21 | < 0,01 |
| | 20-60 | 17,74 | 19,25 | 21,27 | 3,6 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

4.3.3.2 pH y conductividad eléctrica

El pH no se diferenció entre tratamientos en ambas profundidades (Tabla 23) cuando se lo evaluó PS. En ENC se detectó diferencias estadísticas entre tratamientos únicamente entre 10-20 cm de perfil de suelo, diferenciándose D10s del resto. De todas maneras, el agregado de ES mantuvo los valores de pH considerado neutro (6-7). Los valores de CE evaluados PS, fueron mayores en los tratamientos con ES, diferenciándose del testigo (sin efluente) en los primeros 10 cm del perfil. En ENC los tratamientos no se diferenciaron entre sí en ambas profundidades, registrando aún valores más bajos de CE que el período PS.

Tabla 23: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad de suelo durante la etapa previa a la siembra (PS) y encañazon (ENC) de centeno para tratamiento D0= testigo (sin efluente), D10s= 10 t ha⁻¹ y D40s= 40 t ha⁻¹.

| Ítem | Momento de aplicación | Prof (cm) | Tratamientos | | | EEM ¹ | P |
|------------------------|-----------------------|-----------|--------------|--------|--------|------------------|--------|
| | | | D0 | D10 | D40 | | |
| pH | PS | 0-10 | 5,96 | 5,92 | 5,93 | 0,06 | > 0,10 |
| | | 10-20 | 6,18 | 6,18 | 6,08 | 0,10 | > 0,10 |
| | ENC | 0-10 | 6,17 | 6,19 | 6,48 | 0,10 | > 0,10 |
| | | 10-20 | 6,41 a | 6,26 b | 6,52 a | 0,04 | < 0,01 |
| CE, dS m ⁻¹ | PS | 0-10 | 0,24 b | 0,38 a | 0,36 a | 0,02 | < 0,01 |
| | | 10-20 | 0,18 | 0,22 | 0,33 | 0,04 | > 0,10 |
| | ENC | 0-10 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,01 | > 0,10 |
| | | 10-20 | 0,1 | 0,08 | 0,12 | 0,02 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

4.4 Resultados de la aplicación en cultivo de maíz con antecesor centeno

4.4.1 Producción de componentes de biomasa aérea

La producción de MS se diferenció entre tratamientos ($P = 0,075$), incrementando 3795 kg ha⁻¹ el tratamiento D40s respecto de D0. El incremento en el rendimiento de grano fue de 284, 730 y 694 Kg ha⁻¹ para D10s, D20s y D40s respecto a D0 diferenciándose estadísticamente los tratamientos D20s y D40s de D10s y D0 (Tabla 24).

Tabla 24: Producción de materia seca (MS) y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos D0= testigo (sin efluente), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹, D40s= 40t ha⁻¹, correspondientes al período 2.

| Ítem | Tratamientos | | | | EEM ¹ | P |
|--------------------------------|--------------|---------|----------|---------|------------------|--------|
| | D0 | D10s | D20s | D40s | | |
| MS, Kg ha ⁻¹ | 12155 B | 11811 B | 15221 AB | 15950 A | 1172 | < 0,10 |
| Rto grano, Kg ha ⁻¹ | 1795 C | 2079 B | 2525 A | 2489 A | 88,44 | < 0,01 |

¹EEM= error estándar media

4.4.2 Calidad nutricional de componentes de biomasa aérea

Cuando el ES se aplicó de manera anticipada, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de las variables de calidad en planta entera (Tabla 25). Estos resultados coinciden con los encontrados por Charlton *et al* (2007) quienes observaron que tanto FDN como FDA no variaron significativamente respecto al testigo cuando se aplicaron efluente de tambo sobre pastura de alfalfa y avena.

Tabla 25: Calidad de planta entera y grano de maíz. Contenidos de proteína bruta (PB) expresada en porcentaje y en kg ha⁻¹ de biomasa y grano, fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹ y D40s= 40t ha⁻¹ correspondientes al período 2.

| | | Tratamientos | | | | | |
|---------------|-------------------------|--------------|-------|-------|-------|------------------|--------|
| Ítem | | D0 | D10s | D20s | D40s | EEM ¹ | P |
| Planta entera | PB, Kg ha ⁻¹ | 914 | 879 | 1180 | 1175 | 0,28 | > 0,10 |
| | PB, % | 7,7 | 7,4 | 7,7 | 7,8 | 117,21 | > 0,10 |
| | FDN, % | 61,32 | 59,94 | 60,26 | 62,07 | 0,21 | > 0,10 |
| | FDA, % | 29,35 | 29,83 | 29,54 | 30,15 | 0,26 | > 0,10 |
| | DMS, % | 66,05 | 65,67 | 65,88 | 65,4 | 1,1 | > 0,10 |
| Grano | PB, % | 8,1 | 8,4 | 8,4 | 8,8 | 0,19 | > 0,10 |
| | PB, Kg ha ⁻¹ | 144 B | 175 B | 213 A | 219 A | 9,54 | < 0,01 |

¹EEM= error estándar media

Cuando se analizó la variable PB en grano (en kg ha⁻¹) se observó que los tratamientos resultaron estadísticamente diferentes, alcanzando los máximos valores en los tratamientos D20s y D40s, diferenciándolos de D0 y D10s. En cambio el porcentaje de PB resultó similar en todos los tratamientos y se mantuvo dentro del rango 8,1-8,8 %, siendo valores bajos comparados con los encontrados por Coronel *et al* (2009) evaluando cinco híbridos comerciales de maíz (10-12 %). La PB del grano asociada al rendimiento, varió significativamente entre tratamientos, siendo un 52% mayor comparando D40s con D0, mientras que D10s resultado similar que D0.

4.4.3 Índice de verdor de biomasa aérea

El índice de verdor (IV) para cada tratamiento no resultó estadísticamente diferentes entre sí ($P = 0,76$), alcanzando un valor promedio de IV de 47,89.

4.4.4 Uso consuntivo y eficiencias de uso de agua en biomasa y grano

El consumo de agua (mm) de maíz en floración (UC_b) y madurez fisiológica (UC_g) se presentan en la Tabla 26 y según los tratamientos, D0 (testigo) fue el de mayor consumo de agua durante todo su ciclo comparado con los tratamientos que recibieron efluentes. La EUA_b del maíz estuvo dentro del rango de 36 y 45 $kg\ MS\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ mejorando un 5% y 25 % para D10s y D40s respecto a D0. El tratamiento de máxima dosis (D40s) produjo mayor biomasa por milímetro de agua consumido, arrojando un valor de 45 $kg.MS\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ y diferenciándose de D0 y D10s ($P < 0,10$). Andrade *et al.*, 1996, reportan EUA en maíz en la zona de Catriló (La Pampa) de 1.88 gr fotoasimilados mm^{-1} (valor promedio de cinco campañas agrícolas consecutivas), concluyendo que el maíz resultó ser el cultivo más eficiente comparándolo con soja y girasol. Rivetti, A (2007), encontró diferencias significativas en las EUA en maíz bajo riego (57 $kg.MS\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) y sin riego (66 $kg.MS\ ha^{-1}\ mm^{-1}$), con UC entre 575 mm (bajo riego) y 308 mm (sin riego), sobre un hapludol típico. La EUA_g se diferenció entre los tratamientos ($P < 0.01$) mejorando un 13% y 37% para D10s y D402 respecto a D0.

Tabla 26: Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los distintos tratamientos: D0 (testigo), D10s= 10t ha^{-1} y D40s= 40t ha^{-1} correspondiente al periodo 2.

| Ítem | Tratamientos | | |
|------------------------------------|--------------|--------|--------|
| | D0 | D10s | D40s |
| MS, $kg\ ha^{-1}$ | 12155 | 11811 | 15950 |
| UC_b , mm | 333 | 309 | 351 |
| EUA_b , $KgMS\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ | 36 B | 38 AB | 45 A |
| Rto grano, $kg\ ha^{-1}$ | 1795 | 2079 | 2489 |
| UC_g , mm | 501 | 481 | 476 |
| EUA_g , $Kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ | 3,80 C | 4,32 B | 5,23 A |

4.4.5 Efectos sobre variables de suelo

4.4.5.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos

El contenido inicial de N-NO₃ (kg ha⁻¹) previo a la aplicación de ES fue de 13,11 kg ha⁻¹ en los primeros 20 cm, 14,3 kg ha⁻¹ en 20-40 cm y 12,62 kg ha⁻¹ en 40-60 cm de perfil de suelo. A los 30 días luego de la aplicación (V₆), en los tratamientos fertilizados se registró un mayor contenido de nitratos, incrementando 75 kg ha⁻¹ y 67 kg ha⁻¹ la dosis máxima respecto a D0 en 0-10 cm y 10-20 cm de perfil, respectivamente. Esta diferencia fue altamente significativa (Tabla 27). En floración, los valores alcanzados resultaron similares entre tratamientos.

Tabla 27: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) en estadio V₆ y floración de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D10s= 10t ha⁻¹, D20s= 20t ha⁻¹ y D40s= 40t ha⁻¹, correspondientes al período 2.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | | EEM ¹ | P |
|----------------|-----------|--------------|----------|---------|------------------|--------|
| | | D0 | D10s | D40s | | |
| V ₆ | 0-20 | 13,10 B | 86,08 A | 88,28 A | 7,76 | < 0,01 |
| | 20-60 | 30,87 B | 75,33 AB | 97,86 A | 13,88 | < 0,10 |
| Floración | 0-20 | 62,1 | 67,75 | 131,87 | 22,00 | > 0,10 |
| | 20-60 | 61,28 | 68,13 | 82,17 | 7,01 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

4.4.5.2 pH y conductividad eléctrica

El valor inicial de pH y CE (dS m⁻¹) previo a la aplicación del efluente fue de 6,03 y 6,20 y 0,11 y 0,07 en 0-10 y 10-20 cm de profundidad de suelo, respectivamente. Luego, los valores registrados de pH en V₆ no variaron entre tratamientos, sin detectarse diferencias estadísticas entre los mismos, mientras que en floración el tratamiento D0 se diferenció de D40s en los primeros 10 cm de suelo (Tabla 28). La CE en V₆ fue diferente entre tratamientos en ambas profundidades, diferenciándose el tratamiento D40s respecto a D10s y D0.

Tabla 28: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en estadio V₆ y floración de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D10s= 10t ha⁻¹ y D40s= 40t ha⁻¹ en 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad de suelo, correspondientes al período 2.

| Fenología | Tratamiento | pH | | CE | |
|----------------|-------------------------|---------|----------|---------|----------|
| | | 0-10 cm | 10-20 cm | 0-10 cm | 10-20 cm |
| V ₆ | D0 | 5,98 | 6,00 | 0,13 B | 0,13 B |
| | D10s | 5,86 | 5,93 | 0,17 B | 0,18 B |
| | D40s | 6,25 | 6,30 | 0,31 A | 0,35 A |
| | <i>P</i> | > 0,10 | > 0,10 | < 0,10 | < 0,10 |
| | <i>EEM</i> ¹ | 0,10 | 0,17 | 0,03 | 0,04 |
| Floración | D0 | 5,87 B | 6,04 | 0,12 B | 0,12 |
| | D10s | 6,10 AB | 6,08 | 0,15 B | 0,12 |
| | D40s | 6,23 A | 6,12 | 0,32 A | 0,18 |
| | <i>P</i> | < 0,10 | > 0,10 | < 0,10 | > 0,10 |
| | <i>EEM</i> ¹ | 0,08 | 0,10 | 0,04 | 0,04 |

¹EEM= error estándar media

4.4.6 Consideraciones sobre los resultados

La aplicación anticipada de estiércol al suelo produjo incrementos en la producción de MS del centeno y una mejora de la EUA del 31% y 75 % en los tratamientos que recibieron efluentes. El contenido de nitrógeno en forma de nitratos se incrementó en ENC en los primeros 20 cm de perfil en los tratamientos con ES, esto se vio reflejado en un mayor aporte de PB asociado a la biomasa. Los valores de pH se mantuvieron dentro del valor neutro para todos los tratamientos y similares a los registrados al inicio previo a la aplicación, mientras que la CE en los primeros 10 cm de perfil se diferenció entre testigo y fertilizado con 10 t y 20 t ha⁻¹ y a su vez desde la aplicación hasta ENC los valores fueron disminuyendo. Luego del cultivo de cobertura, cuando el ES se aplicó 10 días previos a la siembra del maíz, la producción de biomasa incrementó en un 31 % en D40s respecto a D0 y la producción de grano incrementó en un 15%, 40 % y 38 % para D10s, D20s y D40s respecto a D0, respectivamente. La EUA, tanto para biomasa como grano, mejoró en un 25 % y 37 % cuando se comparó D40s con D0, respectivamente. El aporte de nitrógeno que realizó el ES al suelo se vio reflejado en el cultivo de maíz sucesor en V₆, incrementando 75 Kg ha⁻¹ de N-NO₃ y 66 Kg ha⁻¹ de N-NO₃ en los primeros 10 y 20 cm de suelo respecto al testigo que no recibió efluente, mientras que en floración

no se diferenci6 vi6ndose reflejado en los valores de IV y prote6na bruta en planta entera. La falta de respuesta coincide con los hallado por Schmitt *et al* (1993, 1994) quienes durante dos a6os de aplicaci6n de esti6rcol (28 t ha⁻¹; 56 t ha⁻¹ y 112 t ha⁻¹) sobre alfalfa encontraron un efecto positivo o neutro en el rendimiento y no evidenciaron cambios en los niveles de N del suelo y planta. Resultados similares por Martin *et al* (2006) aplicando 1,856 t ha⁻¹ y 1,975 t ha⁻¹ de N de esti6rcol fresco y compostado, respectivamente, luego de cada corte de alfalfa durante un a6o y medio, no encontraron diferencias en el N del suelo hasta los 150 cm de perfil. El pH del suelo se mantuvo inalterado luego de la aplicaci6n de ES, mientras que la CE en V₆ fue mayor que en floraci6n, diferenci6ndose el D0 (testigo) del D40s. Estos resultados no coinciden con los encontrados por Martin *et al* (2006), donde no verificaron cambios en la CE al inicio, mitad y final de su experimento, alcanzando valores de 1,08; 0,55 y 0,44 dS m⁻¹, respectivamente, aplicando esti6rcol fresco y compostado durante un a6o y medio.

CAPITULO 5. APLICACIÓN DE EFLUENTE DE LAGUNA SOBRE CULTIVO DE MAIZ.

5.1 Característica del efluente aplicado

Según la tabla 29 los valores de pH y CE del efluente proveniente de la tercer laguna coinciden con los encontrados por Nosetti *et al* (2002) en lagunas de tratamientos de tambos pertenecientes a la Cuenca Lechera de Buenos Aires. La complejidad del ciclo del nitrógeno dentro de las lagunas de tratamiento, dificulta predecir el contenido de este elemento en la porción final de las mismas, siendo el elemento que sufre las mayores pérdidas por volatilización en los procesos de reutilización del efluente tratado como abono (Nosetti *et al.*, 2002). Se calculó la relación de absorción de sodio (RAS) con los miliequivalentes Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} dando un valor de 9,4. Según el laboratorio de Salinidad Riverside, el cual agrupa y define distintos tipos de agua de acuerdo al valor del RAS y CE, para este caso, según el RAS se lo considera como un agua de grupo S1, de bajo contenido en sodio, útiles para el riego de la mayoría de suelos y cultivos y según los valores de CE, un agua de grupo C4 con riego, de salinidad “muy alta”, la cual puede utilizarse en suelos de alta permeabilidad y buen drenaje.

Tabla 29: Características químicas y nutricionales del efluente de lagunas (EL) según tratamiento: D4=4 mm y D8=8mm, expresado en ppm y kg ha^{-1} .

| Ítem | Promedio | Tratamientos | |
|---------------------------|----------|---------------------|---------|
| | Ppm | D4 (mm) | D8 (mm) |
| pH | 8,4 | 8,4 | 8,4 |
| CE (dS m^{-1}) | 4,4 | 4,4 | 4,4 |
| | | Kg ha^{-1} | |
| Na | 578 | 23 | 46 |
| Ca | 116,7 | 4 | 9 |
| Mg | 101,7 | 4 | 8 |
| K | 409 | 16 | 32 |
| S | 19,4 | 0,78 | 1 |
| P | 20 | 0,8 | 2 |
| B | 1,4 | 0,05 | 0,11 |
| N- NO_3 | 32,2 | 1,28 | 2 |
| N- NH_4 | 721 | 29 | 57 |
| Valor RAS | | 9,4 | |

5.2 Resultados de la aplicación en maíz

5.2.1 Producción de componentes de biomasa aérea.

Durante el período 1, tanto la producción de biomasa aérea como el rendimiento de grano, respondieron al agregado de EL produciendo un incremento de biomasa de 2665 Kg ha⁻¹ y 4378 Kg ha⁻¹ para dosis D4 y D8, respectivamente, respecto D0 (Tabla 30), detectando diferencias estadísticas en todos los tratamientos ($P = 0.002$). El rendimiento de grano fue mayor en la dosis D8 incrementando 790 kg ha⁻¹ respecto de D4 y diferenciándose estadísticamente, mientras que resultó similar entre D0 y D4. En el período 2 la producción de biomasa fue mayor en D0 que en los fertilizados, diferenciándose estadísticamente D4 del resto, en cambio el rendimiento de grano fue similar en todos los tratamientos.

Tabla 30: Producción de materia seca (MS) en estado de floración y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm y D8= 8mm correspondientes al período 1 y período 2.

| | Ítem | Tratamientos | | | EEM ¹ | P |
|-----------|--------------------------------|--------------|--------|---------|------------------|--------|
| | | D0 | D4 | D8 | | |
| Período 1 | MS, Kg ha ⁻¹ | 3789 C | 6454 B | 8167 A | 411,43 | < 0,01 |
| | Rto grano, Kg ha ⁻¹ | 3334 AB | 2952 B | 3742 A | 214 | < 0,10 |
| Período 2 | MS, Kg ha ⁻¹ | 13932 A | 8937 B | 13101 A | 1141,5 | < 0,01 |
| | Rto grano, Kg ha ⁻¹ | 2042 | 2172 | 1781 | 130,22 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

5.2.2 Calidad nutricional de componentes de biomasa aérea.

Para el período 1 las diferencias en calidad se encontraron únicamente en la variable PB, tanto en planta entera como grano. Los fertilizados con EL aportaron 256 Kg ha⁻¹ de PB (asociada a la biomasa) respecto al testigo sin fertilizar, diferenciándose con el mismo (Tabla 31). A su vez, el porcentaje de PB del grano fue mayor en D0 y D4 respecto a D8, diferenciándose estadísticamente.

Tabla 31: Calidad de planta entera y grano de maíz. Contenidos de proteína bruta (PB, expresada en porcentaje y en kg ha⁻¹ en planta y grano), fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm, D8=8mm, correspondientes al período 1.

| | | Tratamientos | | | | |
|---------------|-------------------------|--------------|--------|--------|------------------|--------|
| Ítem | | D0 | D4 | D8 | EEM ¹ | P |
| Planta entera | PB, Kg ha ⁻¹ | 183 B | 361 A | 439 A | 34,37 | < 0,01 |
| | PB, % | 4,78 | 5,62 | 5,38 | 0,49 | >0,10 |
| | FDN, % | 67,06 | 63,69 | 65,16 | 1,36 | >0,10 |
| | FDA,% | 35 | 33,16 | 35,87 | 1,32 | >0,10 |
| | DMS, % | 61,63 | 63,07 | 60,96 | 1,03 | >0,10 |
| Grano | PB, % | 7,74 A | 7,69 A | 7,08 B | 0,16 | < 0,01 |
| | PB, Kg ha ⁻¹ | 258 | 226 | 264 | 14,37 | >0,10 |

¹EEM= error estándar media

Durante el período 2 (Tabla 32), ninguno de los parámetros evaluados respondió al agregado de efluentes, alcanzando valores similares entre D0 (testigo sin efluente) y fertilizados.

Tabla 32: Calidad de planta entera de maíz. Contenidos de proteína bruta (PB, expresada en porcentaje y en kg ha⁻¹), fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm, D8=8mm, correspondientes al período 2.

| | | Tratamientos | | | | |
|---------------|-------------------------|--------------|-------|--------|------------------|--------|
| Ítem | | D0 | D4 | D8 | EEM ¹ | P |
| Planta entera | PB, Kg ha ⁻¹ | 1089 A | 610 B | 972 AB | 129,81 | < 0,10 |
| | PB, % | 7,81 | 6,81 | 7,26 | 0,38 | >0,10 |
| | FDN, % | 61,42 | 60,73 | 62,13 | 1,09 | >0,10 |
| | FDA,% | 31,02 | 30,35 | 31,39 | 0,78 | >0,10 |
| | DMS, % | 64,74 | 65,26 | 64,45 | 0,61 | >0,10 |

¹EEM= error estándar media

5.2.3 Índice de verdor de biomasa aérea

En el período 1 el tratamiento D0 arrojó un valor de IV de 39,2 mientras que en los fertilizados se registraron valores de 43,4 y 44,4 para dosis D4 y D8, respectivamente, detectando diferencias entre D0 y fertilizados ($P = 0,01$). En cambio para el período 2 los valores de IV fueron similares: D0= 48,2; D4= 48,4 y D8= 47,2 sin detectar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($P = 0,73$). Sainz Rozas & Echeverría (1998) determinaron que un valor adecuado de clorofila para un buen rendimiento de grano de maíz debe ser superior a las 50 unidades SPAD. Como valor crítico para el maíz informaron 35,3 unidades SPAD que equivalen a 1.83 % de N en planta.

5.2.4 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua para componentes de biomasa.

En el período 1, la EUA_b se diferenció entre tratamientos ($P < 0,001$), el tratamiento fertilizado con 8 mm produjo incrementos de 12,4 kg MS $ha^{-1} mm^{-1}$ respecto a D0, duplicando el valor de EUA_b , mientras que en el período 2 ambos tratamientos alcanzaron el mismo valor, sin diferenciarse estadísticamente ($P = 0,70$). La EUA_g resultó similar en todos los tratamientos en el período 1 ($P = 0,51$) y período 2 ($P = 0,33$) (tabla 33).

Tabla 33: Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los distintos tratamientos D0= testigo y D8= 8mm durante el período 1 y período 2.

| Ítem | Período 1 | | Período 2 | |
|-----------------------------------|--------------|-------|--------------|-------|
| | Tratamientos | | Tratamientos | |
| | D0 | D8 | D0 | D8 |
| MS, kg ha^{-1} | 3789 | 8167 | 13932 | 13101 |
| UC_b , mm | 287 | 293 | 505 | 505 |
| EUA_b , Kg MS $ha^{-1} mm^{-1}$ | 10 B | 23 A | 27 | 26 |
| Rto grano, kg ha^{-1} | 3334 | 3742 | 2042 | 1781 |
| UC_g , mm | 311 | 326 | 505 | 505 |
| EUA_g , Kg $ha^{-1} mm^{-1}$ | 10,72 | 11,48 | 4,04 | 3,53 |

5.2.5 Efectos sobre variables de suelo

5.2.5.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos

El contenido inicial de nitratos (N-NO_3 , Kg ha^{-1}) a la siembra fue de 17 en los primeros 0-20 cm y 28 en 20-60 cm de profundidad de suelo. En total se registraron 45 Kg ha^{-1} a la siembra (0-60 cm). Luego de la aplicación del EL, se evaluaron los nitratos en V_6 sin encontrar diferencias entre tratamiento, mientras que en la floración del maíz los valores de nitratos fue mayor en el testigo en los primeros 20 cm de profundidad, diferenciándose del tratamiento que recibió efluente (Tabla 34). Gran parte del nitrógeno contenido en el efluente al momento de la aplicación se encontraba bajo la forma de N-NH_4 (Tabla 2), siendo relativamente inmóvil en el suelo dado que su carga positiva generalmente es atraída por la arcilla, esto podría explicar la falta de respuesta del nitrógeno, bajo la forma de nitratos, debido al agregado de EL.

Tabla 34: Contenido de N-NO_3 (kg ha^{-1}) en estadio V_6 y floración de maíz para los tratamientos D0=testigo y D8=8mm correspondientes al período 1.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|-----------|-----------|--------------|---------|------------------|--------|
| | | D0 | D8 | | |
| V_6 | 0-20 | 19,52 | 18,98 | 2,05 | > 0,10 |
| | 20-60 | 14,01 | 13,12 | 0,33 | > 0,10 |
| Floración | 0-20 | 24,95 A | 16,44 B | 1,62 | < 0,10 |
| | 20-60 | 17,26 | 18,49 | 3,69 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

Durante el período 2 el contenido inicial de nitratos (N-NO_3 , Kg ha^{-1}) fue de 13,3 en los primeros 20 cm y 26,2 en 20-60 cm de profundidad de suelo. En total se registraron 40 kg ha^{-1} de nitratos a la siembra (0-60 cm). Luego en floración (Tabla 35), el tratamiento D8 incrementó 18 Kg ha^{-1} los nitratos respecto a D0 y se diferenció estadísticamente. Matsi *et al* (2003) aplicando efluente líquido y fertilizante inorgánico durante 4 años, evidenciaron incrementos de nitratos en suelo en los primeros 30 cm de perfil de suelo, al final de cada estación de crecimiento en trigo.

Tabla 35: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) en floración de maíz para los tratamientos D0=testigo y D8=8mm correspondientes al período 2.

| Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|-----------|--------------|---------|------------------|--------|
| | D0 | D20s | | |
| 0-20 | 8 B | 26,10 A | 1,30 | < 0,01 |
| 20-60 | 17,30 | 12,30 | 1,88 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

5.2.5.2 pH y conductividad eléctrica

El valor inicial de pH a la siembra fue de 6,3 en 10 cm y 6,2 en 10-20 cm de perfil de suelo. Luego, en las etapas posteriores de evaluación no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos y en profundidad para D0 y D8 (Tabla 36).

Tabla 36: Valor de pH en V₆ y floración de maíz para los tratamientos D0=testigo, D8=8mm correspondientes al período 1.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|----------------|-----------|--------------|------|------------------|-------|
| | | D0 | D8 | | |
| V ₆ | 0-10 | 6,25 | 6,31 | 0,06 | >0,10 |
| | 10-20 | 6,33 | 6,35 | 0,01 | >0,10 |
| Floración | 0-10 | 6,45 | 6,44 | 0,12 | >0,10 |
| | 10-20 | 6,35 | 6,37 | 0,12 | >0,10 |

¹EEM= error estándar media

Los valores iniciales de CE fueron: 0,12 dS m⁻¹ en 10 cm de suelo y 0,13 dS m⁻¹ en 10-20 cm de perfil de suelo. Luego de la aplicación la CE se mantuvo entre 0,10-0,13 dS m⁻¹ para ambos tratamientos (tabla 37). Similares resultados obtuvieron Matsi *et al* (2003) sobre la CE al inicio (0,58 dS m⁻¹) y final (0,52 dS m⁻¹) durante 4 años de aplicación de efluente líquido.

Tabla 37: Valor de conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en V₆ y floración de maíz para los tratamientos D0=testigo y D8= 8mm correspondientes al período 1.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | EEM | P |
|----------------|-----------|--------------|------|----------------------|--------|
| | | D0 | D8 | | |
| V ₆ | 0-10 | 0,12 | 0,12 | 0,01 | > 0,10 |
| | 10-20 | 0,10 | 0,10 | 0,01 | > 0,10 |
| Floración | 0-10 | 0,12 | 0,13 | 0,02 | > 0,10 |
| | 10-20 | 0,11 | 0,10 | 2,4 E ⁻⁰³ | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

Para el período 2, los contenidos iniciales de pH fueron: 6,13 y 6,14 y 0,09 dS m⁻¹ y 0,08 dS m⁻¹ de CE para 0-10 cm y 10-20 cm de perfil de suelo, respectivamente. Luego de la aplicación, el pH disminuyó en ambos tratamientos, pero no se diferenció estadísticamente, mientras que la CE resultó similar en los primeros 10 cm de profundidad de suelo, diferenciándose estadísticamente en los próximos 10-20 cm de profundidad en ambos tratamientos, incrementando la CE del tratamiento con efluente en un 50% respecto a D0 (tabla 38).

Tabla 38: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en floración de maíz para los tratamientos D0= testigo y D8=8mm correspondientes al período 2.

| pH | | | | |
|--------------------------|--------|--------|----------------------|--------|
| Prof (cm) | D0 | D8 | EEM ¹ | P |
| 0-10 | 5,75 | 5,65 | 0,25 | > 0,10 |
| 10-20 | 5,92 | 6,04 | 0,07 | > 0,10 |
| CE (dS m ⁻¹) | | | | |
| Prof (cm) | D0 | D8 | EEM ¹ | P |
| 0-10 | 0,13 | 0,18 | 0,02 | > 0,10 |
| 10-20 | 0,08 B | 0,12 A | 2,4 E ⁻⁰³ | < 0,01 |

¹EEM= error estándar media

5.2.6 Consideraciones sobre los resultados

El agregado de efluente proveniente de laguna tuvo efectos sobre la producción de biomasa aérea y rendimiento de grano de maíz en el período 1, en cambio en el período 2 ambas variables productivas fueron mayores en el tratamiento D0 (testigo, sin efluente) comparado con los tratamientos fertilizados. Estos resultados coinciden con los hallados por Matsi *et al* (2003) quienes durante 4 años incorporando 4 mm de efluente líquido encontraron incrementos significativos de materia seca respecto al control en todos los años, atribuyendo esta respuesta en biomasa a mejoras en la fertilidad y condición física del suelo. En cambio los autores establecen que la falta de respuesta al rendimiento de grano fue debido a las condiciones de precipitaciones durante la primavera de los primeros dos años. Fontanetto *et al* (2009) aplicando 4mm, 8mm, 16mm y 32mm ha⁻¹ de dosis de efluente líquido sobre alfalfa, encontraron que a medida que duplicaban la dosis, los tratamientos con efluente incrementaban 1000 kg MS ha⁻¹, alcanzando 9232 kg ha⁻¹ el testigo y 13225 kg MS ha⁻¹ el tratamiento de dosis máxima de efluente. A su vez, los mismos autores encontraron que aplicando 60 m³ ha⁻¹ de efluente de tambo la producción de MS de maíz incrementaba 3869 kg MS ha⁻¹ respecto al testigo. Estos resultados coinciden con los valores encontrados en este trabajo, ya que aplicando 8mm (equivalente a 80000 l ha⁻¹) el incremento respecto al testigo fue de 4378 kg MS ha⁻¹. Esta respuesta en producción de biomasa se vio reflejada en una mayor EUA_b para el período 1 del tratamiento con efluente, incrementando en 15 kgMS ha⁻¹mm⁻¹ comparada con el testigo, mientras que en el período 2 la EUA_b no se diferenciaron entre tratamientos. La calidad de biomasa y grano no se vio afectada para ninguno de los tratamientos en ambos períodos evaluados, como así también las variables de suelo como pH y CE. Kurunt *et al* (2004) evaluando durante tres años el efecto de aplicar efluente de laguna sobre la conductividad eléctrica del suelo concluyen que el valor promedio de CE al inicio y final del experimento varió entre 0,69 a 2,29 dS m⁻¹ y 0,39 a 2,25 dSm⁻¹, respectivamente, incrementando en profundidad debido a cambios en la textura del suelo. King *et al* (1990), Liu *et al* (2010) y Evans *et al* (1977) expresan que cada año se acumulan nitratos en las capas sub superficiales del suelo y que a su vez reiteradas aplicaciones de efluente líquido de laguna podría tener implicancias ambientales en calidad de suelo, agua subterránea, escorrentía superficial.

CAPITULO 6. APLICACIÓN DE EFLUENTE CRUDO SOBRE CULTIVOS DE MAIZ Y CENTENO.

6.1 Características del efluente aplicado

La tabla 39 muestra las características del efluente crudo y el aporte de nutrientes (macro y micro nutrientes) según la dosis utilizada en esta experiencia. Según el valor del RAS se la considera un agua de bajo contenido de sodio y según el valor de CE un agua de salinidad alta, clasificándola como tipo C4S1, según el laboratorio Riverside. En relación a los nutrientes, el principal aporte corresponde al nitrógeno (principalmente en forma de amonio), mientras que el aporte de sodio (kg ha^{-1}) resultó similar al obtenido por Diez *et al* (2010) cuando utilizó dosis de 5 mm y 20 mm, aportando 6 kg y 26 kg ha^{-1} de sodio al suelo de un efluente crudo.

Tabla 39: Características nutricionales y físico-química del efluente crudo (EC) para los tratamientos: D4= 4mm y D8= 8mm, expresado en ppm y kg ha^{-1} .

| Ítem | Promedio | Tratamientos | |
|--|----------|---------------------|---------|
| | ppm | D4 (mm) | D8 (mm) |
| pH | 6,9 | 6,9 | 6,9 |
| CE dS m^{-1} | 3,6 | 3,58 | 3,58 |
| | | Kg ha^{-1} | |
| Na | 260 | 10 | 20 |
| Ca | 88,8 | 3,5 | 7 |
| Mg | 72 | 3 | 6 |
| K | 299 | 12 | 24 |
| S | 26 | 1,04 | 2,08 |
| P | 29 | 1,18 | 2,36 |
| B | 0,6 | 0,024 | 0,048 |
| N-NO ₃ (mg l^{-1}) | 3,5 | 0,14 | 0,28 |
| N-NH ₄ (mg l^{-1}) | 163 | 6,54 | 13,08 |
| Valor RAS | 4,9 | | |

6.2 Resultados de la aplicación en maíz

6.2.1 Producción de componentes de biomasa aérea.

Como se muestra en la tabla 40, para el primer período observamos una respuesta al agregado de efluente al suelo, incrementando en 2280 Kg ha⁻¹ la producción de biomasa para D8 y 3751 Kg ha⁻¹ para D4 respecto a D0 (testigo sin efluente), diferenciándose estadísticamente todos los tratamientos. En el período 2, el tratamiento D0 se diferenció únicamente del tratamiento de dosis máxima (D8) produciendo un incremento de biomasa de 2750 kg ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento de grano en el período 1 se incrementó 1424 Kg ha⁻¹ y 1231 Kg ha⁻¹ para D4 y D8 respecto a D0, y a su vez diferenciándose estadísticamente del tratamiento sin efluente. En cambio en el período 2, el rendimiento fue similar entre tratamientos, produciendo, en promedio, 2712 Kg ha⁻¹ de grano.

Tabla 40: Producción de materia seca (MS) y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D4=4mm y D8= 8mm correspondientes al período 1 y período 2.

| | Ítem | Tratamientos | | | EEM ¹ | P |
|-----------|--------------------------------|--------------|----------|--------|------------------|--------|
| | | D0 | D4 | D8 | | |
| Período 1 | MS, kg ha ⁻¹ | 3756 C | 7507 A | 6036 B | 373,58 | < 0,01 |
| | Rto grano, kg ha ⁻¹ | 3175 B | 4406 A | 4599 A | 343,75 | < 0,01 |
| Período 2 | MS, kg ha ⁻¹ | 12045 A | 11594 AB | 9295 B | 745,46 | < 0,10 |
| | Rto grano, kg ha ⁻¹ | 2587 | 3154 | 2396 | 249,27 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

6.2.2 Calidad nutricional de componentes de biomasa aérea

En el período 1, el único parámetro que se diferenció entre tratamientos fue la proteína bruta cuando se la asoció a la producción de biomasa, incrementando 259 kg ha⁻¹ y 206 kg ha⁻¹ para D4 y D8 respecto a D0. En grano sucedió lo mismo, el aporte de proteína bruta en Kg ha⁻¹ de grano se diferenció entre tratamientos, incrementando en un 53 % y

50 % para D4 y D8 más, respecto a D0 (Tabla 41). En cambio, en el período 2 el agregado de efluente no produjo efectos sobre los parámetros evaluados (tabla 42).

Tabla 41: Calidad en planta entera y grano de maíz .Contenido de: proteína bruta (PB) expresada en porcentaje y en kg ha⁻¹ en planta y grano, fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm y D8= 8mm correspondientes al período 1.

| | | Tratamientos | | | | |
|---------------|-------------------------|--------------|-------|-------|------------------|--------|
| Ítem | | D0 | D4 | D8 | EEM ¹ | P |
| Planta entera | PB, Kg ha ⁻¹ | 248 B | 507 A | 454 A | 54,5 | >0,10 |
| | PB, % | 6,60 | 6,59 | 7,48 | 0,63 | >0,10 |
| | FDN, % | 66,91 | 65,64 | 67,18 | 1,02 | >0,10 |
| | FDA,% | 34,71 | 33,68 | 34,76 | 0,65 | >0,10 |
| | DMS, % | 61,86 | 62,66 | 61,83 | 0,50 | >0,10 |
| Grano | PB, % | 7,70 | 8,51 | 8,16 | 0,24 | >0,10 |
| | PB, Kg ha ⁻¹ | 243 B | 379 A | 375 A | 36,46 | < 0,10 |

¹EEM= error estándar media

Tabla 42: Calidad en planta entera de maíz. Contenido de: proteína bruta (PB) expresada en porcentaje y en kg ha⁻¹ en planta, fibra detergente ácido (FDA, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos D0 (testigo), D4= 4mm y D8= 8mm correspondientes al período 2.

| | | Tratamientos | | | | |
|---------------|-------------------------|--------------|-------|-------|------------------|--------|
| Ítem | | D0 | D4 | D8 | EEM ¹ | P |
| Planta entera | PB, Kg ha ⁻¹ | 840 | 804 | 705 | 45,39 | > 0,10 |
| | PB, % | 7,04 | 7,04 | 7,51 | 0,17 | > 0,10 |
| | FDN, % | 60,53 | 59,57 | 59,89 | 0,90 | > 0,10 |
| | FDA,% | 30,53 | 29,70 | 29,97 | 0,52 | > 0,10 |
| | DMS, % | 65,12 | 65,76 | 65,56 | 0,40 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

6.2.3 Índice de verdor de biomasa aérea

Los resultados de IV para el período 1 fueron: D0= 38,40; D4= 43,93 y D8= 46,43, detectándose diferencias entre el testigo y fertilizados ($P = 0,02$). Durante el período 2, los IV fueron mayores en todos los tratamientos respecto al período anterior, con valores para D0= 47,7, D4= 48,08 y D8= 48,74, sin detectar diferencias estadísticas significativas ($P = 0,72$). Civalero y kolman, (2013) no detectaron diferencias estadísticas significativas en maíces fertilizados hasta 180 kg. ha^{-1} de N encontrando valores de IV entre 42 y 50,5.

6.2.4 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua para componentes de biomasa aérea.

El agua total consumida durante el período del cultivo fue similar entre tratamientos, observando un mayor consumo de agua durante el período 2 (Tabla 43). El tratamiento fertilizado con efluente alcanzó una EUA_b mayor que D0 para el período 1 ($P = 0,005$), mejorando la misma en un 54%, mientras que en el período 2 el tratamiento que recibió efluente redujo su eficiencia en un 23 % respecto D0 ($P = 0,03$). Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Diez *et al* (2010) donde informan EUA_b en maíces fertilizados con efluente crudo desde 2,1 a 4,0 y 3,1 a 5,2 g de materia seca por kg de agua evapotranspirada para Entisoles y Molisoles, respectivamente, utilizando dosis de 5 mm y 20 mm. Respecto al grano, en el período 1 la mayor EUA_g se detectó en el tratamiento fertilizado con efluente, mejorando en un 37 % respecto a D0 y diferenciándose estadísticamente ($P = 0,007$), mientras que en el período 2 ambos tratamientos alcanzaron la misma EUA_g ($P = 0,83$).

Tabla 43: Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los tratamientos D0= testigo y D8= 8mm durante el período 1 y período 2.

| Ítem | Período 1 | | Período 2 | |
|------------------------------------|--------------|------|--------------|------|
| | Tratamientos | | Tratamientos | |
| | D0 | D8 | D0 | D8 |
| MS, $kg\ ha^{-1}$ | 3756 | 6036 | 12045 | 9295 |
| UC_b , mm | 337 | 363 | 391 | 397 |
| EUA_b , $KgMS\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ | 11 B | 17 A | 31 A | 23 B |
| Rto grano, $kg\ ha^{-1}$ | 3175 | 4599 | 2587 | 2396 |
| UC_g , mm | 403 | 403 | 601 | 572 |
| EUA_g , $Kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ | 8 B | 11 A | 4 | 4 |

6.2.5 Efectos sobre variables del suelo

6.2.5.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos

El contenido de nitratos a la siembra fue de $17,40\ kg\ ha^{-1}$ en los primeros 0-20 cm y de $28,20\ kg\ ha^{-1}$ en los 20-60 cm de profundidad de suelo, haciendo un total de $45,60\ kg\ ha^{-1}$ en los primeros 60 cm de suelo. Luego de la aplicación, tanto en V6 como en floración, no se encontraron diferencias entre tratamientos (tabla 44). Estos resultados no coinciden con los encontrados por Diez *et al* (2010) quienes aplicando 5mm y 20 mm de efluente crudo encontraron incrementos, principalmente en los primeros 20 cm de suelo, llegando a valores de $33\ kg\ ha^{-1}$ y $31.8\ kg\ ha^{-1}$ de $N-NO_3$ para 5 y 20 mm mientras que el testigo (sin efluente) registró menos de $10\ kg\ ha^{-1}$ de $N-NO_3$, en suelos entisoles y molisoles de la RSP, respectivamente.

Tabla 44: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) en estado V₆ y floración de maíz para los tratamientos: D0 (testigo) y D8= 8mm correspondientes al período 1.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|----------------|-----------|--------------|-------|------------------|-------|
| | | D0 | D8 | | |
| V ₆ | 0-20 | 20,58 | 20,57 | 1,76 | >0,10 |
| | 20-60 | 13,32 | 14,04 | 1,85 | >0,10 |
| Floración | 0-20 | 22,5 | 25,4 | 3,35 | >0,10 |
| | 20-60 | 15,65 | 18,65 | 2,67 | >0,10 |

¹EEM= error estándar media

En el período 2, el contenido de nitratos a la siembra fue de 13,36 kg ha⁻¹ en los primeros 20 cm de perfil y 26,22 kg ha⁻¹ en los 20-60 cm, alcanzando un total de 39,5 kg ha⁻¹ a los 60 cm de perfil de suelo. En la floración del cultivo (60 días luego de la aplicación del EC), se detectaron diferencias entre tratamientos (Tabla 45). El tratamiento D8 duplicó el contenido de nitratos, incrementando 16,24 kg ha⁻¹ en los primeros 20 cm de perfil de suelo.

Tabla 45: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) en estado de floración de maíz para los tratamientos: D0 (testigo) y D8=8mm correspondientes al período 2.

| Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | P |
|-----------|--------------|---------|------------------|--------|
| | D0 | D8 | | |
| 0-20 | 11,78 B | 28,02 A | 1,43 | < 0,01 |
| 20-60 | 16,82 | 21 | 1,34 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

6.2.5.2 pH y conductividad eléctrica

Para el período 1, el valor de pH inicial a la siembra fue 6,3 en los primeros 10 cm y 6,2 en los próximos 10-20 cm de perfil. Luego de la aplicación, los valores no se diferenciaron estadísticamente en ambos tratamientos, tanto en V₆ como en floración (Tabla 46).

Tabla 46: Valor de pH de suelo durante estadio V_6 y floración de maíz para tratamientos: D0 (testigo) y D8= 8mm, correspondientes al período 1.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | <i>P</i> |
|-----------|-----------|--------------|------|------------------|----------|
| | | D0 | D8 | | |
| V_6 | 0-10 | 6,3 | 6,33 | 0,07 | > 0,10 |
| | 10-20 | 6,2 | 6,3 | 0,07 | > 0,10 |
| Floración | 0-10 | 6,28 | 6,57 | 0,11 | > 0,10 |
| | 10-20 | 6,22 | 6,47 | 0,09 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

La CE a la siembra fue 0,12 dS m⁻¹ en los primeros 0-10 cm y 0,13 dS m⁻¹ en los próximos 10-20 cm de perfil de suelo. No se detectaron cambios en la CE en ambos momentos, alcanzando valores promedios de 0,13 dS m⁻¹ y 0,16 dS m⁻¹, en los primeros 20 cm de suelo en V_6 y floración, respectivamente (Tabla 47).

Tabla 47: Valor de conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en estado V_6 y floración de maíz para los tratamiento D0 (testigo sin efluente) y D8= 8mm correspondientes al período 1.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | EEM ¹ | <i>P</i> |
|-----------|-----------|--------------|------|------------------|----------|
| | | D0 | D8 | | |
| V_6 | 0-10 | 0,13 | 0,14 | 0,01 | > 0,10 |
| | 10-20 | 0,13 | 0,15 | 0,01 | > 0,10 |
| Floración | 0-10 | 0,14 | 0,18 | 0,02 | > 0,10 |
| | 10-20 | 0,14 | 0,18 | 0,02 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

Durante el período 2, el valor inicial de pH fue: 6,13 y 6,14 y el de CE de 0,09 dS m⁻¹ y 0,08 dS m⁻¹ en los 0-10 cm y 10-20 cm de suelo, respectivamente. Luego de la aplicación, los valores de pH en ambos tratamientos se mantuvieron dentro del rango de pH neutro, sin diferenciarse entre sí al igual que los valores de CE (Tabla 48).

Tabla 48: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) durante la etapa de floración de maíz para los tratamientos D0 (testigo) y D8= 8mm, correspondientes al período 2.

| pH | | | | |
|--------------------------|------|------|------------------|--------|
| Prof (cm) | D0 | D8 | EEM ¹ | P |
| 0-10 | 6,11 | 6,07 | 0,09 | > 0,10 |
| 10-20 | 6,11 | 6,07 | 0,01 | > 0,10 |
| CE (dS m ⁻¹) | | | | |
| Prof (cm) | D0 | D8 | EEM | P |
| 0-10 | 0,12 | 0,15 | 0,02 | > 0,10 |
| 10-20 | 0,10 | 0,12 | 0,02 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

6.2.6 Consideraciones sobre los resultados

Los resultados muestran una respuesta positiva a la aplicación de efluente crudo, en producción de biomasa aérea y grano en el período 1 para ambas dosis. Los incrementos en producción fueron del 60% y 99% mientras que en rendimiento fueron del 38 % y 44%, para D4 y D8 comparado con D0, respectivamente. En cambio en el período 2 el testigo (sin efluente) respondió en producción de biomasa de manera positiva diferenciándose del tratamiento de máxima dosis (D8), mientras que en rendimiento de grano no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Este incremento de biomasa se vio reflejado en un mayor aporte de PB en kg ha⁻¹, diferenciándose los tratamientos que recibieron efluente con el testigo (sin efluente), únicamente en el periodo 1. El resto de los parámetros de calidad no se vieron modificados. Similares resultados encontraron Sosa *et al* (2010) registrando incrementos del 35 % en el rendimiento de grano de maíz respecto al testigo, aplicando 60m³ ha⁻¹ de efluente crudo. Kaffka y Kanneganti (1996) comprobaron incrementos de 8100 kg ha⁻¹ aplicando 450 kg N como efluente en una pastura perenne. A su vez, Nevens & Reheul, (2004) encontraron que el rendimiento promedio de materia seca de maíz para silo sobre parcelas que fertilizadas con efluente líquido durante 15 años fue mayor que las parcelas con fertilizante inorgánico. Aplicando 60 m³ ha⁻¹ de efluente crudo, equivalente a 182 kg N orgánico, Sosa *et al* (2010) registraron los valores más altos de N en planta de maíz comparado con el testigo. Sobre parámetros químicos de suelo como pH y CE no se

detectaron efectos en ningún período. En cambio en el período 2 en el tratamiento D8 se registró el doble de nitratos en suelo respecto a D0. La EUA_b y EUA_g en el primer período mejoro en un 54 y 37%, respectivamente, mientras que al segundo período la EUA_b se redujo un 24 % respecto al testigo.

6.3 Resultados de la aplicación en centeno (verdeo de invierno)

6.3.1 Producción de biomasa aérea y su calidad nutricional

La producción de MS para cada tratamiento se presenta en la Figura 4. A medida que aumentamos la dosis de efluente aplicada, la producción de MS se incrementó. La dosis máxima (D20) incremento 2086 kg ha⁻¹ de MS comparada con D0, diferenciándose de D5, D10 y D0 ($P = 0,02$).

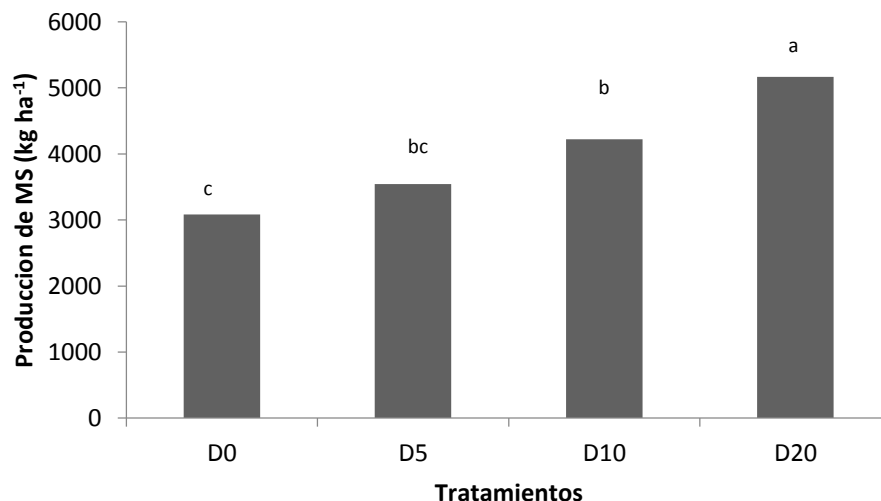


Figura 4: Producción de materia seca de centeno (MS) para los tratamientos D0 (testigo), D5= 5mm, D10= 10mm y D20= 20mm, utilizando efluente crudo.

La PB asociada a la biomasa incremento (259 kg ha⁻¹) con el agregado de la dosis máxima respecto al testigo y resultó estadísticamente significativa ($P = 0,01$). El resto de los parámetros evaluados no se diferenciaron entre tratamientos y no respondieron al agregado de efluentes (Tabla 49). Estos resultados coinciden con los encontrados por Charlon *et al* (2007a; 2007b).

Tabla 49: Calidad en planta entera de centeno. Contenido de proteína bruta (PB, %), fibra detergente neutro (FDN, %), fibra detergente ácida (FDA, %) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %), para tratamientos D0 (testigo sin efluente), D5= 5mm, D10= 10mm y D20= 20mm.

| Ítem | Tratamientos | | | | EEM ¹ | P |
|-------------------------|--------------|-------|-------|-------|------------------|--------|
| | D0 | D5 | D10 | D20 | | |
| PB, Kg ha ⁻¹ | 394 B | 446 B | 459 B | 653 A | 42,98 | < 0,01 |
| PB, % | 12,89 | 10,55 | 11,04 | 12,66 | 1,03 | > 0,10 |
| FDN, % | 51,68 | 67,4 | 55,95 | 62,98 | 5,14 | > 0,10 |
| FDA, % | 30,4 | 24,9 | 26,65 | 29,45 | 1,71 | > 0,10 |
| DMS, % | 65,22 | 69,5 | 68,14 | 65,96 | 1,33 | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

6.3.2 Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua para componentes de biomasa aérea.

El consumo de agua fue similar entre tratamientos con un mayor consumo por parte de los tratamientos que recibieron efluente. El tratamiento D20 presentó una mayor eficiencia que el resto de los tratamientos, mejorando en un 66% respecto al testigo, mientras que el tratamientos que recibió 5mm de efluente alcanzo igual EUA_b que el testigo (tabla 50).

Tabla 50: Usos consuntivos (UC) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) de maíz para los tratamientos: D0 (testigo sin efluente); D5= 5mm y D20= 20mm.

| Tratamientos | MS (kg ha ⁻¹) | UC (mm) | EUA _b (kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹) | P |
|--------------|---------------------------|---------|---|--------|
| D0 | 3081 | 244 | 12 B | < 0,01 |
| D5 | 3542 | 253 | 14 B | |
| D20 | 5167 | 246 | 21 A | |

6.3.3 Efectos sobre variables del suelo

6.3.3.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos

El agregado de efluentes de manera anticipada (40 días PS), no incremento el contenido de nitratos en ninguno de los tratamientos evaluados (Tabla 51).

Tabla 51: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) previo a la siembra (PS) y en estado encañazón (ENC) de centeno para las dosis D0 (testigo), D5= 5mm y D20= 20mm.

| | | Tratamientos | | | | | |
|-----------------------|-----------|--------------|-------|-------|------------------|--------|--|
| Momento de aplicación | Prof (cm) | D0 | D5 | D20 | EEM ¹ | P | |
| PS | 0-20 | 34,32 | 34,9 | 38,12 | 6,94 | > 0,10 | |
| | 20-60 | 33,21 | 32,58 | 42,26 | 2,99 | > 0,10 | |
| ENC | 0-20 | 10,09 | 8,41 | 9,82 | 2,99 | > 0,10 | |
| | 20-60 | 18,26 | 18,34 | 15,87 | 1,48 | > 0,10 | |

¹EEM= error estándar media

6.3.3.2 pH y conductividad eléctrica

El pH en el momento PS resulto similar en todos los tratamientos, mientras que en ENC el tratamiento D20 se diferenció de D0 y D5. La CE evaluada PS incremento en los primeros 10 cm de suelo, y se diferenció D0 y D20. Luego en ENC se redujo, respecto al momento PS, diferenciándose D5 de D0 y D20 (Tabla 52).

Tabla 52: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) durante la etapa previa a la siembra (PS) y en encañazon (ENC) de centeno para los tratamiento testigo (D0), D5= 5mm y D20= 20mm.

| | | Tratamientos | | | | | |
|------------------------|-----------------------|--------------|-------|---------|--------|----------------------|--------|
| Ítem | Momento de aplicación | Prof (cm) | D0 | D5 | D20 | EEM ¹ | P |
| pH | PS | 0-10 | 6,09 | 6,03 | 6,14 | 0,07 | > 0,10 |
| | | 10-20 | 6,1 | 6,23 | 6,31 | 0,07 | > 0,10 |
| | ENC | 0-10 | 6,1 B | 6,12 AB | 6,39 A | 0,08 | < 0,10 |
| | | 10-20 | 6,21 | 6,35 | 6,24 | 0,16 | > 0,10 |
| CE, dS m ⁻¹ | PS | 0-10 | 0,2 B | 0,22 AB | 0,28 A | 0,02 | < 0,10 |
| | | 10-20 | 0,18 | 0,18 | 0,22 | 0,03 | > 0,10 |
| | ENC | 0-10 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | 2,1 E ⁻⁰³ | > 0,10 |
| | | 10-20 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 4,4 E ⁻⁰³ | > 0,10 |

¹EEM= error estándar media

6.4 Resultados de la aplicación en cultivo de maíz con antecesor centeno

6.4.1 Producción de componentes de biomasa aérea

Los tratamientos que recibieron efluentes incrementaron la producción de MS de maíz hasta D10. Los incrementos fueron de 2777, 5909 y 1939 kg MS ha⁻¹ para D5, D10 y D20, respectivamente, cuando se lo comparo con el testigo (sin efluente). Las diferencias estadísticas se detectaron entre D10 y D0 y D20. El rendimiento de grano se vio favorecido debido al agregado de 20mm, incrementando 1055 kg ha⁻¹ la producción de grano respecto al testigo (sin efluente), diferenciándose estadísticamente del resto de los tratamientos (Tabla 53).

Tabla 53: Producción de materia seca (MS) en estado de floración y rendimiento de grano (Rto grano) en madurez fisiológica de maíz para los tratamientos: D0 (testigo), D5=5mm, D10=10mm y D20= 20mm, correspondientes al período 2.

| Ítem | Tratamientos | | | | EEM ¹ | P |
|--------------------------------|--------------|----------|---------|---------|------------------|--------|
| | D0 | D5 | D10 | D20 | | |
| MS, kg ha ⁻¹ | 9556 B | 12333 AB | 15465 A | 11495 B | 1014 | < 0,01 |
| Rto grano, Kg ha ⁻¹ | 1784 B | 2243 B | 2181 B | 2839 A | 185 | < 0,01 |

¹EEM= error estándar media

6.4.2 Calidad nutricional de componentes de biomasa

En base a los valores presentados en la Tabla 54, se observa que el agregado de EC tuvo influencia únicamente en la PB (kg ha⁻¹). Al considerar la producción de biomasa y la producción de grano, el aporte en kg ha⁻¹ de PB fue mayor en los tratamientos que recibieron efluente, detectando diferencias entre D0 y D10 en biomasa y D0 y D20 en grano. El resto de los parámetros no se vieron favorecidos debido al agregado de efluente.

Tabla 54: Calidad en planta entera y grano de maíz. Contenido de proteína bruta (PB, %), fibra detergente neutro (FDN, %) y fibra detergente ácido (FDA, %), digestibilidad de la materia seca (DMS, %) para los tratamientos: D0 (testigo), D5=5mm, D10=10mm y D20= 20mm, correspondientes al periodo 2.

| | | Tratamientos | | | | | |
|---------------|-------------------------|--------------|--------|--------|--------|-------|----------|
| Ítem | | D0 | D5 | D10 | D20 | EEM | <i>P</i> |
| Planta entera | PB, Kg ha ⁻¹ | 717 B | 971 AB | 1274 A | 950 AB | 131 | < 0,10 |
| | PB, % | 7,5 | 7,76 | 8,15 | 8,26 | 0,49 | > 0,10 |
| | FDN, % | 61,25 | 58,64 | 59,79 | 59,81 | 0,75 | > 0,10 |
| | FDA, % | 30,05 | 29,25 | 29,27 | 29,64 | 0,38 | > 0,10 |
| | DMS, % | 65,51 | 66,12 | 66,11 | 65,8 | 0,3 | > 0,10 |
| Grano | PB, % | 7,14 | 7,57 | 8,24 | 8,23 | 0,36 | > 0,10 |
| | PB, Kg ha ⁻¹ | 127 B | 172 AB | 180 AB | 233 A | 20,14 | < 0,10 |

¹EEM= error estándar media

6.4.3 Índice de verdor de biomasa

EL IV se evaluó en estado de floración del maíz. Los valores encontrados fueron similares entre tratamientos ($P= 0,17$) arrojando valores de IV de 48,13 para D0; 49,30 para D5 y 52,10 para D20. En cambio, otros autores como Castillo y Ligarreto (2010) detectaron diferencias significativas en el contenido de clorofila en maíz fertilizado con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N alcanzando valores de 48.9a y 51.6b unidades SPAD para ambas dosis respectivamente, aunque sin detectar diferencias en el rendimiento de maíz (5.18 y 5.39 t ha⁻¹).

6.4.4 Uso consuntivo y eficiencias de uso de agua para componentes de biomasa.

El agregado de efluentes mejoró la EUA_b respecto a D0 ($P= 0.05$), incrementando 6 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ y 3 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ en D5 y D20 respectivamente, diferenciándose el tratamiento D5 del testigo (sin efluente) (Tabla 55). La EUA_g fue diferente en todos los tratamientos, mejorando en un 29% y 67 % en los tratamientos D5 y D20 respecto a D0 ($P= 0.01$).

Tabla 55: Uso consuntivo biomasa (UC_b) y grano (UC_g) y eficiencia de uso de agua de biomasa (EUA_b) y grano (EUA_g) de maíz para los tratamientos: D0 (testigo sin efluente), D5=5mm y D20= 20mm, correspondientes al periodo 2.

| Ítem | Tratamientos | | |
|------------------------------------|--------------|--------|--------|
| | D0 | D5 | D20 |
| MS, $kg\ ha^{-1}$ | 9556 | 12333 | 11495 |
| UC_b , mm | 328 | 349 | 349 |
| EUA_b , $KgMS\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ | 29 B | 35 A | 32 AB |
| Rto grano, $kg\ ha^{-1}$ | 1784 | 2243 | 2839 |
| UC_g , mm | 501 | 481 | 476 |
| EUA_g , $Kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ | 3,56 C | 4,60 B | 5,96 A |

6.4.5 Efectos sobre variables del suelo

6.4.5.1 Contenido de nitrógeno en forma de nitratos

El contenido de $N-NO_3$ ($kg\ ha^{-1}$) a la siembra fue de 13,11 en 0-20 cm; 14,39 en 20-40 cm y 12,62 en 40-60 cm de profundidad de suelo. En total se registraron $40,12\ kg\ ha^{-1}$ de $N-NO_3$ en los primeros 60 cm de suelo. Debido al agregado de efluente se incrementó el contenido de $N-NO_3$ en los primeros 20 cm de perfil de suelo, tanto en V_6 como en floración. Ese incremento respecto a D0 fue de $23,5\ kg\ ha^{-1}$ y $48,5\ kg\ ha^{-1}$ de $N-NO_3$ y 96 y 99 $kg\ ha^{-1}$ para D5 y D20, respectivamente. En cambio en los 20-60 cm de perfil el tratamiento D20 se diferenció del resto en floración incrementando $43,3\ kg\ ha^{-1}$ respecto al testigo (Tabla 56).

Tabla 56. Contenido de N-NO₃ (Kg ha⁻¹) en estado V₆ y floración de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D5=5mm y D20= 20mm, correspondientes al periodo 2.

| Fenología | Prof (cm) | Tratamientos | | | EEM ¹ | P |
|----------------|-----------|--------------|----------|----------|------------------|--------|
| | | D0 | D5 | D20 | | |
| V ₆ | 0-20 | 16,05 B | 39,55 AB | 64,36 A | 9,08 | < 0,05 |
| | 20-60 | 37,99 | 50,64 | 85,21 | 12,32 | > 0,10 |
| Floración | 0-20 | 60,46 B | 156,90 A | 159,86 A | 24,15 | <0,10 |
| | 20-60 | 78,99 B | 92,34 B | 122,34 A | 3,59 | < 0,01 |

¹EEM= error estándar media

6.4.5.2 pH y conductividad eléctrica

Como se muestra en la Tabla 57, el pH no se vio modificado debido al agregado de EC, alcanzando un valor promedio de 5,89 y 5,93 en V₆ y 6,14 y 6,19 en floración para 0-10 y 10-20 cm de perfil de suelo, respectivamente. Los valores de CE fueron iguales entre similares en los primeros 10 cm de suelo tanto en V₆ como floración, en cambio en 10-20 cm de suelo en V₆ el tratamiento D20 se diferenció del resto incrementando en 0,07 el valor de CE.

Tabla 57: Valor de pH y conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) durante el estadio V₆ y floración de maíz para los tratamientos D0 (testigo), D5=5mm y D20= 20mm, correspondientes al periodo 2.

| Fenología | Tratamiento | pH | | CE | |
|----------------|------------------|---------|----------|---------|----------|
| | | 0-10 cm | 10-20 cm | 0-10 cm | 10-20 cm |
| V ₆ | D0 | 5,84 | 5,97 | 0,18 | 0,13 B |
| | D5 | 5,97 | 5,94 | 0,15 | 0,14 B |
| | D20 | 5,87 | 5,90 | 0,20 | 0,20 A |
| | P | >0,10 | >0,10 | >0,10 | <0,10 |
| | EEM ¹ | 0,09 | 0,07 | 0,02 | 0,02 |
| Floración | D0 | 6,02 | 6,15 | 0,14 | 0,10 B |
| | D5 | 6,14 | 6,18 | 0,17 | 0,12 A |
| | D20 | 6,26 | 6,26 | 0,25 | 0,13 A |
| | P | >0,10 | >0,10 | >0,10 | <0,10 |
| | EEM ¹ | 0,09 | 0,07 | 0,03 | 0,02 |

¹EEM= error estándar media

6.4.6 Consideraciones sobre los resultados

Cuando el efluente se aplicó 40 días previos a la siembra, se observó una respuesta positiva en producción de biomasa aérea del centeno en la dosis de efluente máxima (D20) con incrementos del 14% (461 kg ha^{-1}), 37 % (1141 kg ha^{-1}) y 67 % (2806 kg ha^{-1}) para D5, D10 y D20 comparado con D0. Este incremento en biomasa produjo diferencias entre tratamientos en el aporte de PB (en kg ha^{-1}), resultando mayor en D20 respecto al resto de los tratamientos. La EUA_b en D20 mejoró un 75%, con incrementos de $9 \text{ kgMS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ respecto a D0, mientras que la EUA en D5 resultó igual a D0. El contenido de nitratos no se vio incrementado por el agregado de efluentes, en ambas profundidades, asociado a una falta de respuesta de calidad en planta entera, principalmente en porcentaje de PB. Estos resultados coinciden con lo hallado por Beauchamp (1983) quien comprobó que el contenido de nitratos del suelo no aumento luego de tres años de aplicación de efluente líquido de tambo al doble de la dosis de N aplicada como fertilizante. Los valores de pH se mantuvieron dentro de los valores neutros para todos los tratamientos mientras que la CE resultó levemente mayor en el momento PS respecto a ENC. Luego en maíz, aplicando el EC diez días previos a la siembra, la producción de MS se incrementó en un 29 %, 61 % y 20% y el rendimiento de grano un 25%, 22% y 59% para D5, D10 y D20 respecto al testigo. Otros trabajos como el de Sosa *et al* (2010) muestran que aplicando efluente crudo a los 20 días previos a la siembra no encontraron respuesta en producción de biomasa para maíz, utilizando hasta 90000 l ha^{-1} de efluente. Similares resultados fueron encontrados por Dordas *et al* (2008) quienes no encontraron diferencias en producción y rendimiento de grano de maíz entre distintos momentos de aplicación de fertilizantes (pre siembra y V_8) durante tres años consecutivos. Esta respuesta en producción de biomasa y grano llevo a cambios en la proteína bruta, siendo mayor en los tratamientos con efluente, viéndose reflejado en el contenido de nitratos en los primeros 20 cm de perfil de suelo en V_6 y en floración diferenciándose D0 y D20. Aplicando láminas de efluente de 5 mm y 20 mm la EUA_b mejoró en un 20 % y 10 % mientras que la EUA_g en un 20 % y 46 %, respectivamente comparado con el testigo.

CAPITULO 7. APLICACIÓN DE EFLUENTE CRUDO SOBRE CULTIVO DE SORGO SILERO

7.1 Producción de biomasa aérea y su calidad nutricional.

Los resultados se presentan en la Tabla 59. La producción de MV fue estadísticamente significativa para el tratamiento D1 y se diferenció respecto al resto. El incremento en producción de MS fue de 584 kg ha⁻¹ y 466 kg ha⁻¹, representando en porcentaje un 30 % y 24 %, respecto al testigo. Los tratamientos fertilizados no se diferenciaron entre sí. Estos resultados coinciden con los hallados por Imhoff *et al* (2011) aplicando dosis de 60m³, 120 m³ y 180 m³ ha⁻¹ de efluente líquido sobre un cultivo de sorgo doble propósito para silo evidenciaron incrementos del 5 %, 20% y 26% en producción de materia seca respecto al testigo, respectivamente. La proteína bruta (PB), se expresó en porcentaje y en kg ha⁻¹. Las diferencias estadísticas se encontraron únicamente entre el testigo y los fertilizados cuando se asoció la proteína a la producción de biomasa aérea. El tratamiento D1 fue el de mayor producción de PB por ha⁻¹ respecto a D2 y D0.

Tabla 58: Producción de materia verde (MV), materia seca (MS) y proteína bruta (PB, en porcentaje y en kg ha⁻¹) para los tratamientos: D0 (testigo), D1 y D2, de sorgo.

| Tratamiento | MV (kg ha ⁻¹) | MS (kg ha ⁻¹) | PB (%) | PB (kg ha ⁻¹) |
|-------------|---------------------------|---------------------------|--------|---------------------------|
| D0 | 30288 B | 1937 B | 7,65 | 187 B |
| D1 | 44951 A | 2521 A | 8,09 | 243 A |
| D2 | 34134 B | 2403 A | 7,05 | 232 A |
| <i>P</i> | < 0,01 | < 0,01 | > 0,10 | < 0,01 |

7.1.2 Uso consuntivo y eficiencia de uso del agua para biomasa aérea.

El consumo de agua (mm) de cultivo de sorgo hasta el momento óptimo para silo fue mayor en el tratamiento D2 (278 mm) comparado con D1 (205 mm) y D0 (243mm). La EUA_b resultó altamente significativa entre tratamientos, diferenciándose aquellos que recibieron efluente del tratamiento testigo, sin efluente ($P < 0,01$).

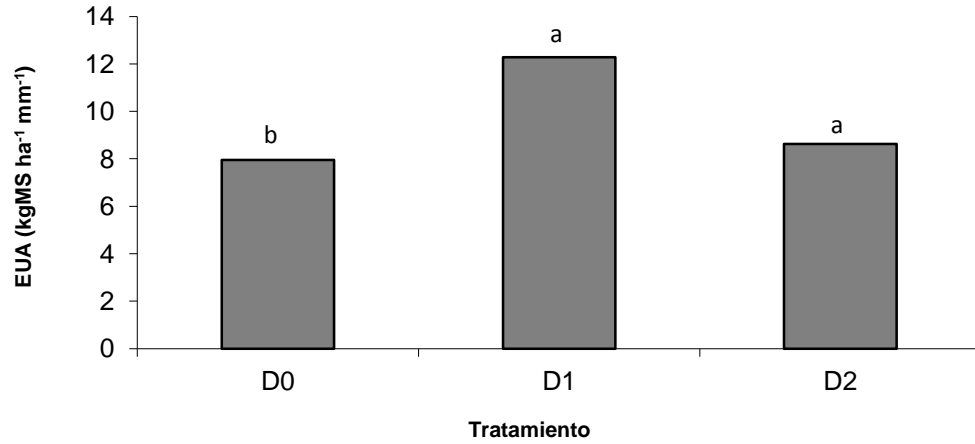


Figura 6: Eficiencias de uso del agua de biomasa (EUA_b) para los tratamientos: Testigo, D1 y D2 de sorgo para silo.

7.2 Efectos sobre variables de suelo

En macollaje se evaluó el contenido de nitratos ($N-NO_3$), pH y CE. En la figura 5 se muestra el contenido de nitratos de cada tratamiento luego de la aplicación del efluente. No se encontraron diferencias entre tratamientos en 0-20 cm y 20-60 cm de perfil de suelo, respectivamente ($P= 0,47$ y $0,63$).

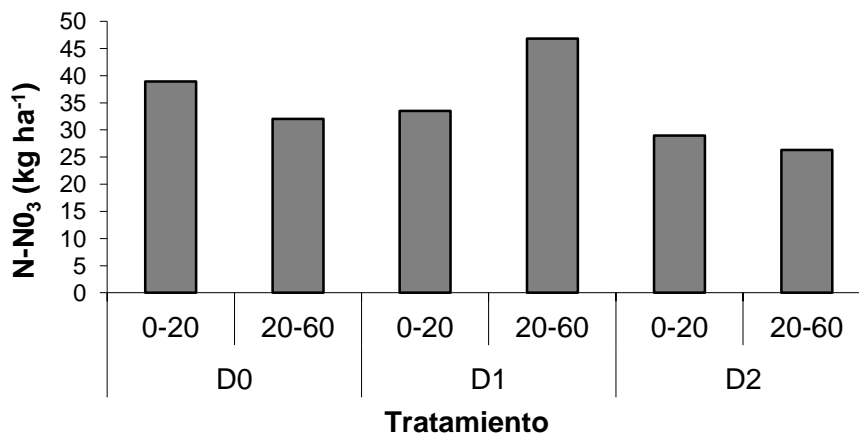


Figura 5: Contenido de nitratos en suelo ($N-NO_3$) para los tratamientos: D0 (testigo), D1 y D2 de cultivo de sorgo para silo.

El agregado de efluentes no produjo ninguna variación en el pH y CE. Respecto al pH el D0 alcanzó un valor de 5,71; D1= 6,06 y D2= 5,99 ($P= 0,17$) para los primeros 20 cm de suelo, mientras que la CE fue de 0,24 para D0; D1= 0,22 y D2= 0,27 ($P = 0,28$).

7.3 Consideraciones sobre los resultados

En un suelo de clase textural arenosa franca sobre un lote de sorgo para silo, se concluye que el agregado de efluentes al suelo en baja y alta dosis incrementó un 30% la producción de biomasa hasta D1, luego disminuyó. Sobre el suelo no se produjo ningún efecto, alcanzando valores de pH neutro y CE aceptables para los cultivos. El aspecto clave a resaltar fue la mejora en la EUA_b del 54% y 8% para D1 y D2 respecto a D0, este aspecto es de gran importancia para los sistemas productivos de la Región Semiárida.

CAPITULO 8. EVALUACION DE LA FICOFLORA EDÁFICA

8.1 Especies halladas de la ficoflora edáfica.

Se extrajeron muestras a 0-10 cm de profundidad de suelo de todos los tratamientos y sus repeticiones del ensayo de maíz y centeno. Se obtuvo una submuestra de 10 gramos, cada una fue colocada en cajas de petri, rotulada, para luego ser regadas con el medio de cultivo líquido de modo que quedaran cubiertas por una fina película. Se colocaron en cámara de cultivo bajo condiciones controladas de temperatura, 20^o-30^oC, y foto periodo de 12 hs luz-12 hs oscuridad. Para su observación al microscopio óptico se utilizó un microscopio Olympus BX50 con tubo de dibujo y cámara fotográfica. Se obtuvieron fotomicrografías de los principales géneros. La determinación taxonómica se realizó basándose en los siguientes autores: **Desikachary, 1959 y Anagnostidis & Komarek 1985-1990 y Komarek & Hauer, 2012**. Los principales géneros y especies que se identificaron todas pertenecientes al orden Nostocales de algas verdeazuladas, se presentan en la Tabla 57.

Tabla 59: Especies de la ficoflora presentes en los tratamientos: testigo, D40, D200 para efluente laguna, sólido y crudo en centeno y maíz.

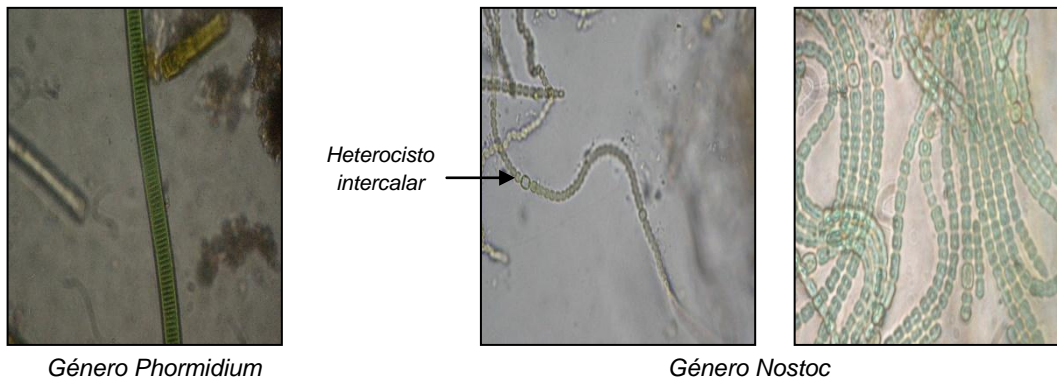
| Ensayo | Efluente | Tratamiento | Especie | Observaciones |
|---------|----------|-------------|---|---|
| Maíz | EL | Testigo | <i>Nostoc commune</i> <i>Nostoc verrucosum</i> | acinetas con heterocistos terminal, filamentos rectos |
| | EC | Testigo | NI | filamentos curvos |
| | ES | D40 | NI | heterocistos terminales e intercalares, filamentos no curvos |
| Centeno | ES | D40 | <i>Nostoc paludosum-Phormidium orientale</i> | heterocisto terminal |
| | EL | D200 | <i>Cylindrospermum</i> | heterocistos terminales, acinetas |
| | | Testigo | <i>Nostoc punctiformes</i> | heterocisto terminal e intercalar- gran crecimiento de nostoc verde |

NI= no identificado

7.2 Consideraciones sobre los resultados

Durante el análisis y determinación de la ficoflora edáfica sólo se pudo identificar aquellos géneros presentes en un único momento, es decir no se pudo establecer un seguimiento mensual de los tratamientos, bajo cámara de cultivo, que permita evaluar la colonización y reemplazo de especies en parcelas con alta dosis de efluente. Con relación a la hipótesis planteada al inicio de este trabajo, sosteniendo que “la incorporación de efluentes en altas dosis tendrá un efecto negativo sobre el pH y conductividad eléctrica del suelo, favoreciendo la presencia y/o ausencia de los principales grupos taxonómicos algales” las observaciones realizadas no fueron suficientes para que la incorporación de altas dosis modificaron condiciones químicas de suelo favoreciendo o no al desarrollo de grupos taxonómicos algales, principalmente *cyanobacterias*. De acuerdo a las observaciones realizadas en los tratamientos, parecería haber una tendencia de predominio del género *Phormidium* y *Nostoc* en las parcelas que recibieron efluentes, mientras que en los testigos únicamente se observó el género *Nostoc* (fotos).

Foto 1: Microfotografías tomadas bajo microscopio de los géneros presentes en los distintos efluentes analizados.



CAPITULO 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL

Los “beneficios” de la aplicación de efluente (líquido o sólido) se comprueban, en parte, en estos dos períodos de experimentación, de acuerdo a los objetivos planteados al comienzo de este trabajo. Los resultados demuestran que tanto la producción de biomasa aérea (maíz, sorgo y verdeo de invierno) y rendimiento de grano (maíz) respondieron a las distintas dosis de efluente aplicado. A su vez, el uso de “bajas” láminas de efluente (tratamiento), no generaron cambios en las variables edáficas analizadas a pesar de “intensificar” durante dos años consecutivos la aplicación de efluente. Pueden ser distintos los efectos cuando se realiza riego complementario de cultivos con efluentes y se utilizan láminas mayores y en mayor frecuencia. Distintos autores (Peinemman *et al.*, 1998; Charlon *et al.*, 2004; Saez *et al.*, 2008).han comprobado cambios significativos en propiedades edáficas cuando se aplican láminas mayores de efluentes.

Por otra parte son numerosos los trabajos que confirman el efecto benéfico del efluente líquido sobre el crecimiento de los cultivos, rendimiento y absorción de nutrientes. Su principal contribución es debida principalmente al mejoramiento de la fertilidad del suelo con respecto a los macronutrientes, especialmente nitrógeno, llevando a una mejora en el crecimiento de las plantas y rendimiento de los cultivos (Beauchamp, 1986., Sutton *et al.*, 1986., Kaffka y Kanneganti, 1996., Charlón *et al.*, 2004., Rassol *et al.*, 2007., Lithourgidis *et al.*, 2007., Diez *et al.*, 2010., Fontanetto, *et al.*, 2010., Sosa *et al.*, 2010). En la mayoría de los casos, este incremento en el rendimiento se ve acompañado por aumentos en la concentración y absorción de macronutrientes en las plantas (Sutton *et al.*, 1986., Chastain & Montes, 2004., Lithourgidis *et al.*, 2007., Fontanetto *et al.*, 2010). Las características físicas, químicas y biológicas del efluente crudo tienen una alta influencia sobre el suelo y los cultivos. Por un lado, la composición es altamente variable y varía dentro y entre establecimientos debido a las distintas gestiones que realizan los productores respecto al agua de lavado y precipitaciones, número de vacas, alimentación, edad y raza (Longhurst *et al.*, 2000). Según estos últimos autores la composición promedio del efluente está compuesta de 8 % de

excretas, 4 % del lavado de pezones y 86 % de agua de lavado. A su vez estos autores han encontrado que el contenido de sólidos en el efluente varía desde 0,04 a 5.3% con un promedio de 0,9%, en más de 63 sitios estudiados. A su vez, han informado una concentración de N promedio en efluente crudo de 269 mg l⁻¹ (rango de 181-506). Las hipótesis planteadas al inicio de este trabajo serán discutidas a continuación.

Tabla 60: Resumen de tratamientos y variables evaluadas en cultivos ensayados en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil

| Cultivo Ensayado | Período experimental | Efluente Aplicado | Dosis aplicada de efluente (α) | Variables respuesta evaluadas | | | |
|-----------------------|----------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------|----|----------|
| | | | | Producción y calidad nutricional | | IV | UC y EUA |
| | | | | Biomasa aérea (*) | Grano | | |
| Maíz | 1 | Sólido (§) | 0-10-20 | Si | Si | Si | Si |
| Maíz luego de maíz | 2 | Sólido (§) | 0-10-20 | Si | No | No | No |
| Centeno | 1 | Sólido (#) | 0-10-20-40 | Si | - | - | Si |
| Maíz luego de centeno | 2 | Sólido (¥) | 0-10-20-40 | Si | Si | No | Si |
| Maíz | 1 | Laguna (§) | 0-4-8 | Si | Si | Si | Si |
| Maíz luego de maíz | 2 | Laguna (§) | 0-4-8 | No | No | No | No |
| Maíz | 1 | Crudo (§) | 0-4-8 | Si | Si | Si | Si |
| Maíz luego de maíz | 2 | Crudo (§) | 0-4-8 | No | No | No | No |
| Centeno | 1 | Crudo (#) | 0-5-10-20 | Si | - | - | Si |
| Maíz luego de centeno | 2 | Crudo (¥) | 0-5-10-20 | Si | Si | No | Si |

(α), dosis expresadas en unidades equivalentes de $t\ ha^{-1}$ para el efluente Sólido, y de mm de lámina para los efluentes Laguna y Crudo; (§), aplicaciones de efluente en parcelas con maíz al estado fenológico V6; (#), aplicaciones de efluente en parcelas, 40 días previos a sembrarse en ellas centeno; (¥), aplicaciones de efluente en parcelas, 10 días previos a sembrarse en ellas maíz; (*), en estado fenológico de floración para maíz, y encañazón para centeno; IV, índice de verdor, medido en estado fenológico de floración para maíz; UC, uso consuntivo del agua para componentes de biomasa aérea; EUA, eficiencia del uso del agua para componentes de biomasa aérea.

Es de esperar que no siempre la aplicación de efluentes genere respuestas significativas de rendimiento de los cultivos en regímenes ústicos de humedad, dado que también cuando se utilizan fertilizantes inorgánicos nitrogenados y/o fosforados, la respuesta de los cultivos resulta significativa en menos del 40 % de los lotes en que se aplicaron nutrientes. Tomando como 100 % el rendimiento relativo del tratamiento testigo (sin efluente) en esta experiencia se concluye que en el 80 % de los casos se obtuvo respuesta significativa en producción de biomasa y en el 62% de los casos en rendimiento de grano (Figura 7). Cuando los efluentes fueron aplicados en un estadio de V₆ en maíz, las mayores respuestas en biomasa y grano se observaron en el período 1 (Mz y Centeno). Por otra parte, cuando se aplicaron de manera anticipada (10 días previos a la siembra de maíz) la respuesta fue similar entre EC y ES (Mz-AC).

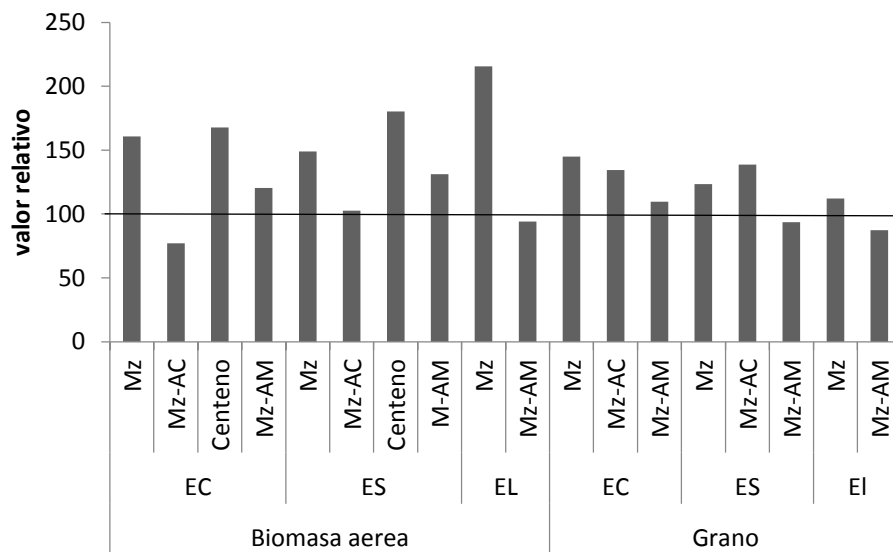
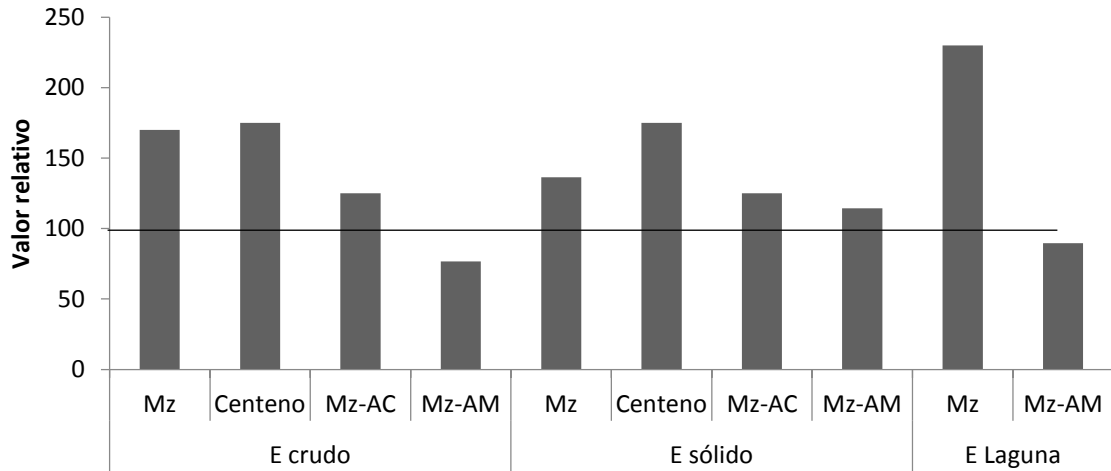


Figura 7: Valores relativos de las variables: producción de biomasa aérea y rendimiento de grano en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna. Mz= maíz; Mz-AC= maíz-antecesor centeno; Mz-AM= maíz- antecesor-maíz.

a)



b)

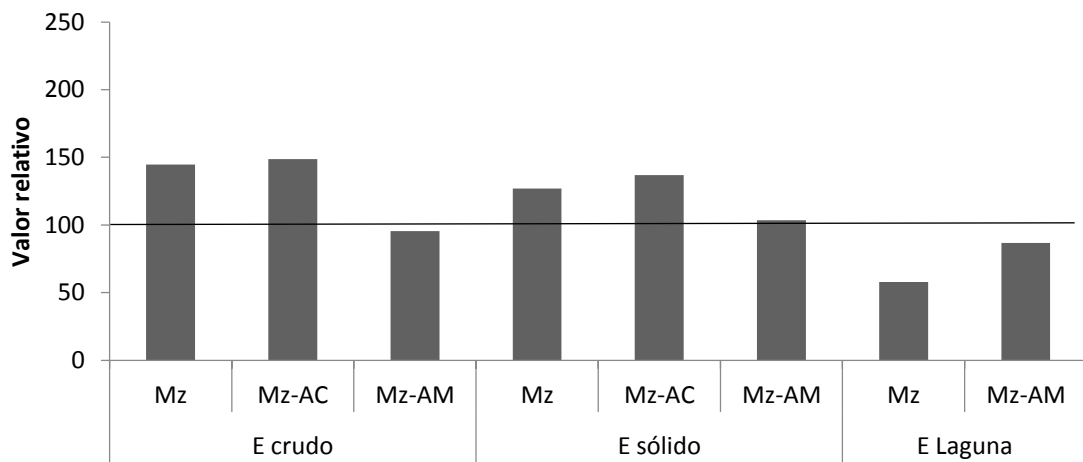


Figura 8: Valores relativos de a) Eficiencia de uso del agua en biomasa (EUA_b) y b) Eficiencia de uso del agua en grano (EUA_g) en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna. Mz= maíz; Mz-AC= maíz-antecesor centeno; Mz-AM= maíz-antecesor-maíz.

La EUA_b mejoró en un 75 % de los casos para EC, 100% de los casos para ES y 50 % de los casos para EL y la EUA_g en un 33% para EC y ES mientras que para EL no mejoro en ninguna de las dos situaciones evaluadas (Figura 8). La cantidad de proteína bruta cosechada en cada uno de los efluentes fue superior al testigo (valor de 100 %) en un 75 % de los casos para EC (Mz, Centeno, Mz-Ac) y ES (Mz, Centeno, Mz-Ac) y en un 50 % para EL (Mz), como se observa en la Figura 9.

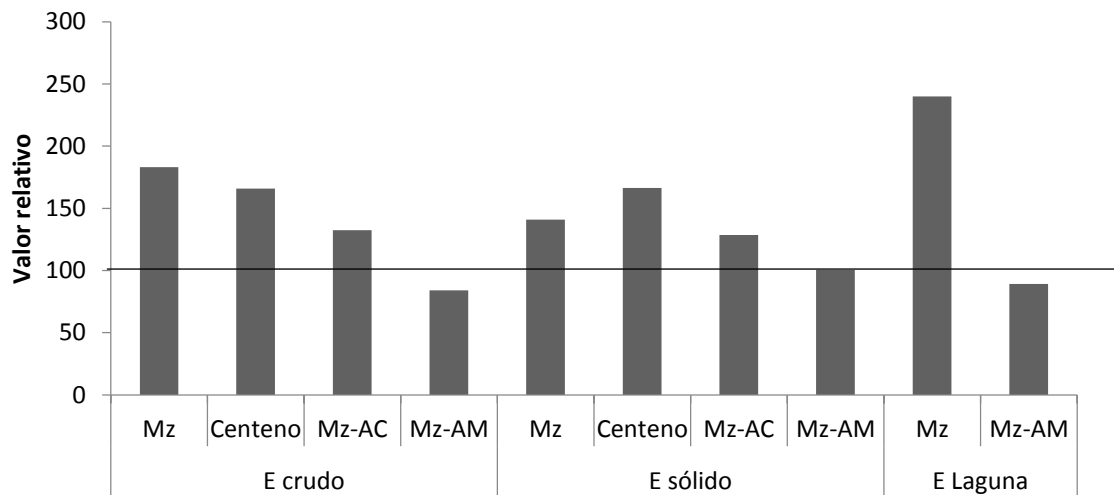
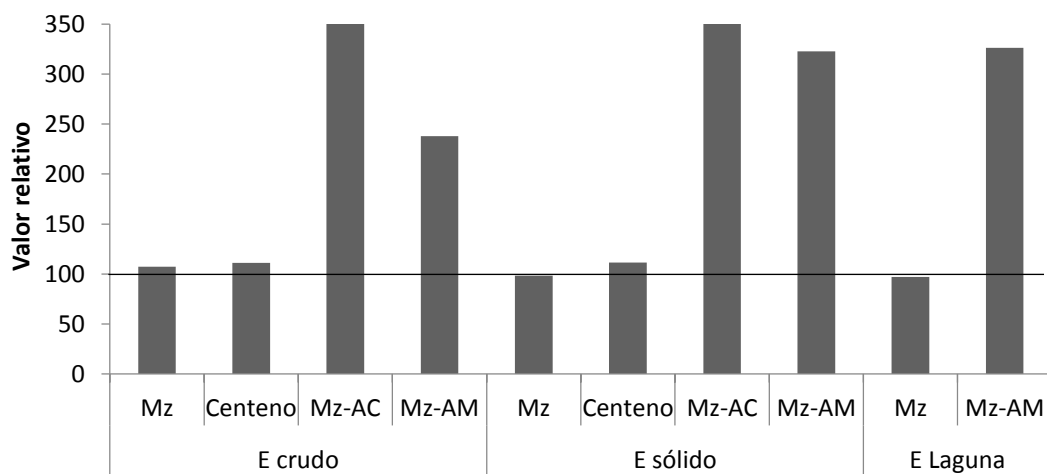


Figura 9: Valores relativos para la variable proteína bruta a cosecha de biomasa aérea (kg ha^{-1}) en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna. Mz= maíz; Mz-AC= maíz-antecesor centeno; Mz-AM= maíz- antecesor-maíz.

En las variables de suelo, la respuesta fue menor. En la figura 10, el contenido de nitratos fue superior en un 50 % para EC (Mz-AC y Mz-AM), ES (Mz-AC y Mz-AM) y EL (Mz-AM) en los primeros 20 cm de suelo, y un 75 % y 50 % para EC (Centeno, Mz-AC y Mz-AM) y ES (Mz-AC y Mz-AM) en los siguientes 20-60 cm de perfil de suelo. La respuesta en CE (figura 11) fue mayor en un 75 % de los casos para EC y ES y un 50 % de los casos para EL, siendo estadísticamente significativa en Centeno aplicando EC, en los primeros 10 cm de perfil de suelo, luego en los próximos 20 cm de suelo, superó al 100 % de máximo rendimiento relativo del testigo en todos los casos para EC y ES y un 50 % para E, aunque la respuesta fue estadísticamente significativa sólo en Mz-AM

aplicando EL. En cambio para pH en la mayoría de los casos ensayados, la variación de pH en los tratamientos con efluente fue mínima respecto al testigo sin efluente para ambas profundidades (Figura 12). Estos “efectos positivos o neutros” que genera la aplicación de efluentes al suelo han sido reportados por varios autores en diferentes años y utilizando distintas dosis.

a)



b)

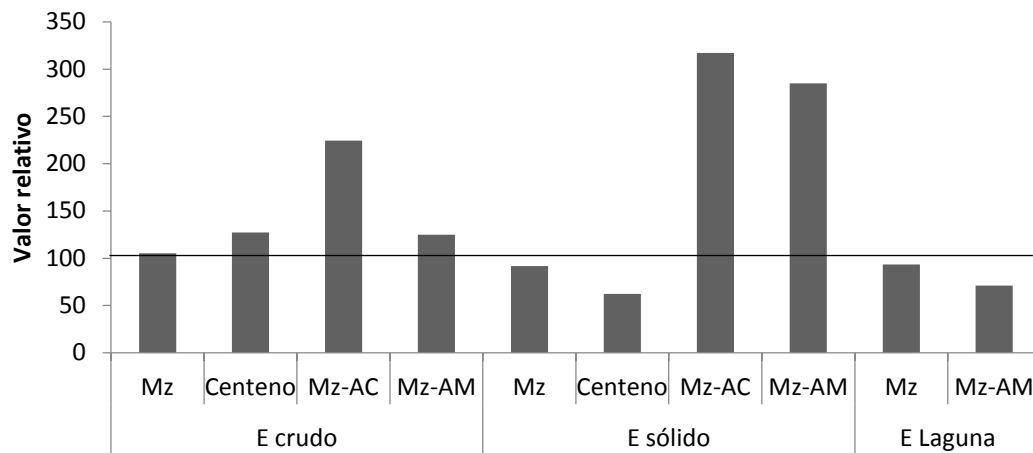


Figura 10: Valores relativos para la variable contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) en a) 0-20 cm de suelo y b) 20-60 cm de suelo en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna. Mz= maíz; Mz-AC= maíz-antecesor centeno; Mz-AM= maíz- antecesor-maíz.

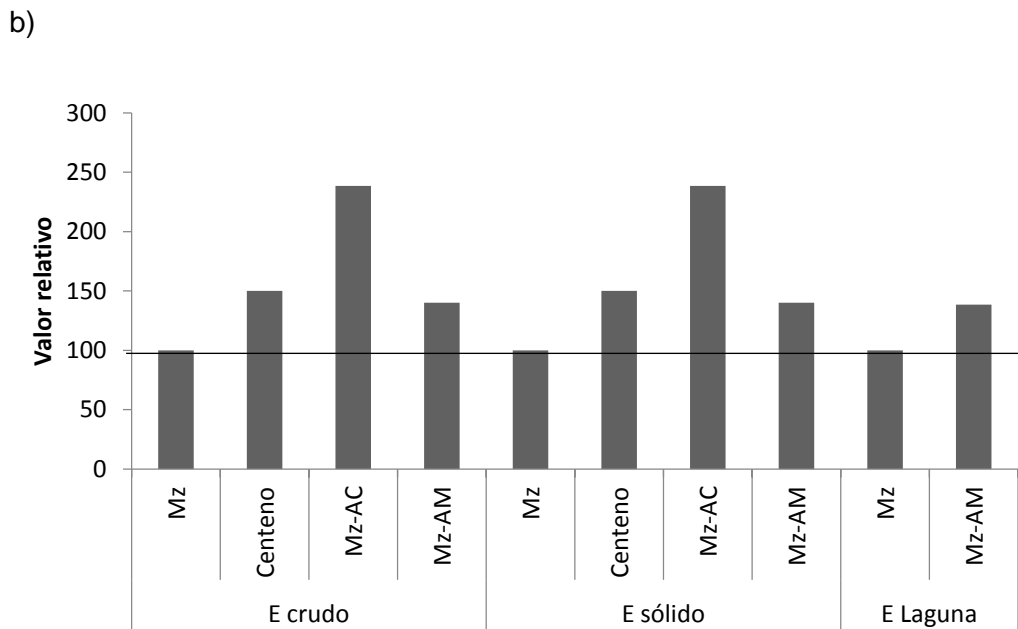
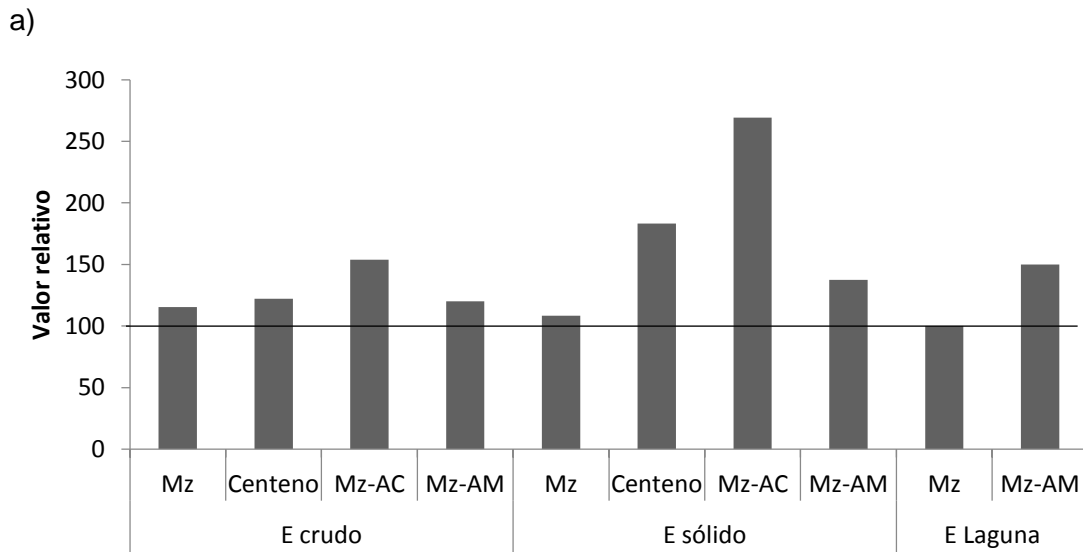
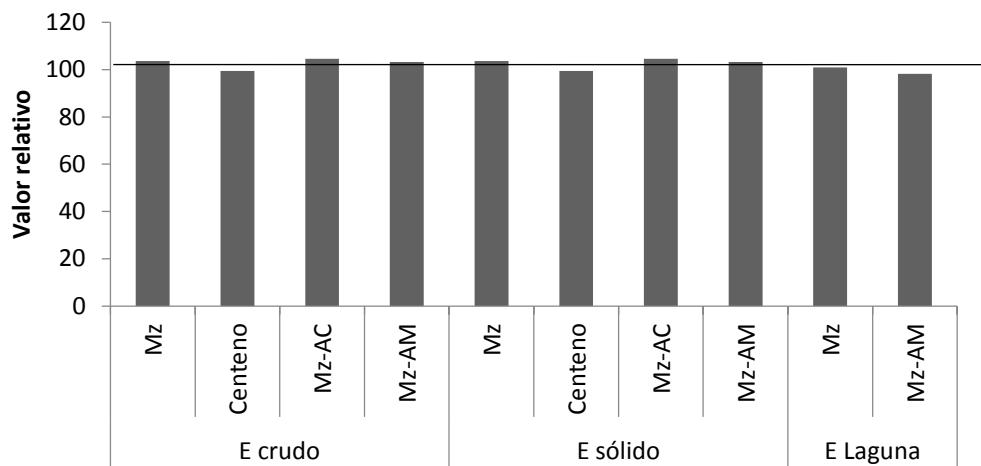


Figura 11: Valores relativos para la variable conductividad eléctrica (CE, dS m^{-1}) en: a) 0-10 cm de suelo y b) 10-20 cm de suelo en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna. Mz= maíz; Mz-AC= maíz-antecesor centeno; Mz-AM= maíz- antecesor-maíz.

a)



b)

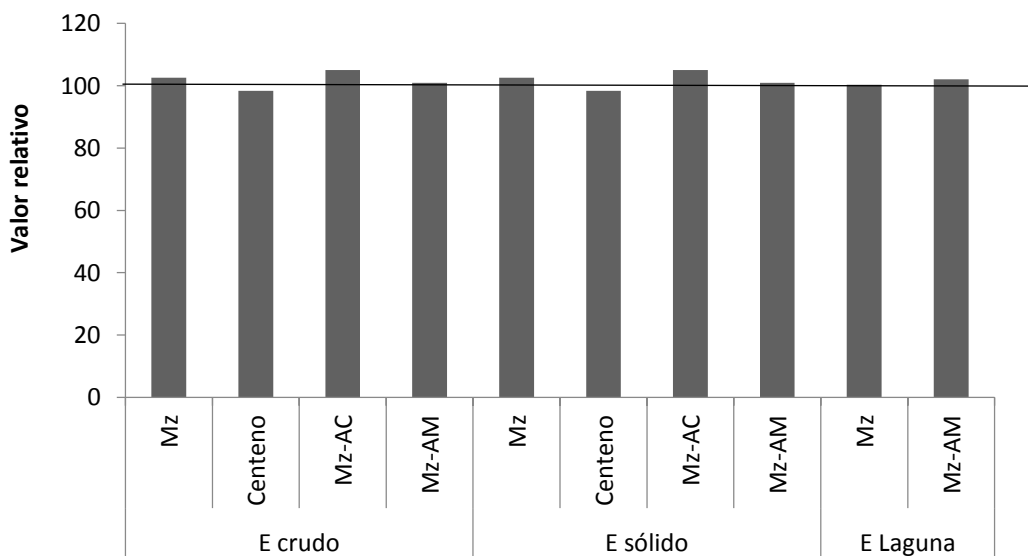


Figura 12: Valores relativos para la variable pH en: a) 0-10 cm de suelo y b) 10-20 cm de suelo en respuesta a aplicaciones de efluente crudo, sólido y laguna. Mz= maíz; Mz-AC= maíz-antecesor centeno; Mz-AM= maíz- antecesor-maíz.

La producción promedio de leche anual en la provincia de La Pampa es de 134947800 litros con 20540³ vacas en ordeño (VO), con una producción diaria de leche promedio por vaca de 18 litros. Según Fontanetto *et al* (2010), 100 vacas genera 7200 litros de efluente en promedio por día. Por otra parte en la provincia de La Pampa, en el 2004 el censo provincial de lechería estableció un total de 20540 VO para la provincia. A su vez, sabiendo la cantidad promedio de efluente diario que se genera por vaca, podríamos establecer que en la Pampa se estarían generando, en promedio, alrededor de 1.478.880 litros efluente líquido /día. De esta manera, se podrían definir y calcular índices, de gran utilidad, que permitirían dar una idea aproximada de cuantos litros de efluente por VO se produce en un establecimiento y a su vez la relación litros de efluente / litro de leche. Para la provincia de La Pampa, podríamos aproximarnos a valores de 72 litros por efluente por vaca ordeño y 4 litros de efluente por cada litro de leche producido.

Índice 1= efluente / VO día= 72 l efluente / VO día

Índice 2= efluente / l leche.día = 4 l efluente / l leche. día

De acuerdo a las dosis utilizadas y al potencial incremento productivo en base a la respuesta promedio de ensayos locales, ya sea en cultivos y/o verdeos de invierno, se detalla a continuación, respuestas en producción de biomasa aérea (en gramos), de cultivos y verdeos, por cada litro de efluente líquido aplicado (crudo o de laguna). Allí, por ejemplo, haciendo cálculos observamos que para un maíz con destino a silaje se han obtenido potenciales de respuesta promedio en biomasa aérea de entre 20-30 gramos y 54-93 gramos por cada litro de efluente aplicado.

³ Censo provincial de lechería (año 2004)

Maíz silo

- 20-30 gramos de MS / litro efluente (año 2009)
- 54-93 gramos de MS / litro efluente (año 2011)

Centeno forraje

- 10 gramos de MS / litro efluente

Sorgo silo

- 5 gramos de MS / litro efluente

Trabajos realizados por varios autores permitieron calcular la respuesta en producción de biomasa aérea en varios cultivos y/o pasturas utilizando distintas láminas de efluente. Las láminas citadas en la Tabla 61 son bien contrastantes y permiten, de manera orientativa, calcular cuál será la producción de biomasa aérea para un maíz y/o sorgo con destino a grano o silo o una pastura base alfalfa utilizando distintas láminas de efluente.

Tabla 61: Respuesta productiva en gramos de materia seca litro^{-1} efluente o gramos de grano litro^{-1} efluente, calculado en relación a la respuesta en producción de biomasa aérea y/o grano a diferentes láminas de efluente aplicada obtenida por otros autores.

| Cultivos y/o pasturas | Lámina (l ha^{-1}) | Respuesta materia seca (g) | Índice (g l^{-1}) | Referencia |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| alfalfa | 32000 | 3993000 | 125 | Fontanetto <i>et al</i> , 2010 |
| maíz grano | 60000 | 3869000 | 64 | Sosa <i>et al</i> , 2010 |
| maíz grano | 8000 | 1427000 | 178 | Fontanetto <i>et al</i> , 2010 |
| maíz grano | 16000 | 2817000 | 176 | Fontanetto <i>et al</i> , 2010 |
| sorgo (biomasa) | 180000 | 4884000 | 27 | Imhoff <i>et al</i> , 2011 |
| sorgo (grano) | 180000 | 1465000 | 8 | Imhoff <i>et al</i> , 2011 |
| maíz (biomasa) | 200000 | 6000000 | 30 | Diez <i>et al</i> , 2010 |

Si el objetivo fuese fertilizar una pastura base alfalfa con una dosis “x” de efluente líquido, ¿Cuál sería el impacto del efluente en la producción de litros de leche? Si se asume que por cada kg de MS de alfalfa logramos producir 1.22 litro de leche / día (Comerón & Romero, 2007), se podría cuantificar el impacto que genera ese incremento en producción de materia seca lograda mediante la fertilización con efluente líquido de tambo. Si aplicando 32000 litros ha⁻¹ de efluente líquido sobre una pastura base alfalfa logramos incrementar la producción de materia seca a razón de 3993 kg MS ha⁻¹ (Fontanetto *et al*, 2010) ese incremento generaría 4139 litros de leche extra por día. Asumiendo un valor de 2.80 \$/litro leche, los ingresos extras de la pastura fertilizada con efluente serían de 11589 pesos.

Los múltiples beneficios de utilización de efluente de tambo, citados por bibliografía nacional e internacional, en el corto plazo hacen referencia a efectos y respuesta productiva, de calidad o nutricional de cultivos y/o pasturas (Paul & Beauchamp, 1993; Kaffka & Kanneganti, 1996; Roach *et al.*, 2001; Macoon *et al.*, 2002; Nevens y Reheul, 2004; La Manna *et al.*, 2004; Charlon *et al.*, 2005; Dordas *et al.*, 2008). Los efectos sobre indicadores edáficos, tanto químicos como físicos, se comprueban a “largo plazo”, luego de acumular años de aplicación utilizando altas dosis y recurrentes. Nevens & Reheul (2004) y Kurunc *et al* (2004) comprobaron estos efectos a través del tiempo. En esta experiencia, los efectos alcanzados durante dos años consecutivos estuvieron relacionados a aspectos netamente productivo (calidad en planta entera, rendimiento de grano, producción de biomasa aérea, índice de verdor, eficiencia de uso de agua), en cambio, aquellas variables químicas de suelo evaluadas no fueron sensibles durante los períodos evaluados y al finalizar cada experiencia contribuyeron a pequeños cambios, coincidiendo con la bibliografía encontrada.

CAPITULO 10. CONCLUSIONES

10.1 Consideraciones sobre la Hipótesis 1

Es interesante conocer la calidad del agua utilizada para el lavado de las instalaciones del tambo, ya que la fracción del efluente está conformada en un 90 % por esta agua proveniente de perforaciones. De acuerdo a las láminas de agua utilizadas en este trabajo para los efluentes líquidos (crudo y laguna): 4mm, 5mm, 8mm, 10mm y 20 mm y la calidad del agua subterránea de cada tambo, *el aporte de sales totales anuales no implicaría un riesgo de salinización y /o alcalinización al suelo*. El tambo 2 estaría aportando al suelo 80 kg, 100 kg, 160 kg, 200 kg y 400 kg de sales por ha con un agua de conductividad eléctrica= 3,26 dSm⁻¹, mientras que el tambo 3 aportaría 0,036 kg, 0,046 kg, 0,0736 kg, 0,092 kg y 0,18 kg de sales al suelo con un agua de conductividad eléctrica= 1,44 dS m⁻¹. El aporte de sales que representan las dosis utilizadas en este trabajo es bajo, y los posibles efectos sobre variables edáficas se reducen. Si el objetivo de utilizar los efluentes fuera el de riego complementario, varios autores han comprobado efectos o alteraciones sobre propiedades edáficas al utilizar láminas de agua con alto contenido de sales (Peinemann *et al.*, 1998; Charlón *et al.*, 2004; Saenz *et al.*, 2008).

Normalmente la cosecha mecánica del forraje da lugar a una fuerte extracción de nutrientes, como nitrógeno (N), fósforo (P) y cationes (Ca, Mg, K), entre otros, que producen un desequilibrio en el suelo como la disminución del pH y el porcentaje de saturación de bases (Quiroga *et al.*, 2008) que pone en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (Casas, 2000; Martínez, 2002). A través de suplementos para la alimentación se genera un fuerte ingreso de nutrientes al sistema, como N, P, Ca, Mg y K, llevando a balances positivo de nutrientes. Zubizarreta (2007) llevo a cabo un balance de fósforo en establecimientos lecheros durante dos años consecutivos, contabilizando los ingresos y egresos de fósforo a través de la alimentación. Por ejemplo: en promedio durante dos años, a través de la suplementación (afrechillo y maíz), contabilizaron mayores ingresos de fósforo que egresos (19-12,4= 6,5 balance de fosforo ha⁻¹ año), resultando en balances positivos del sistema. A su vez, este exceso de nutrientes se encuentra concentrado en los corrales, por lo tanto la calidad y cantidad de suplementación tiene relación directa con el riesgo de contaminación (debido a su concentración). Para compensar este déficit de nutrientes que ocurre en los lotes de

producción (por elevada extracción mediante la cosecha de forraje y la no reposición de nutrientes) una alternativa posible es la redistribución de estos nutrientes concentrados en los corrales, reduciendo de esta manera el riesgo de contaminación puntual. En parte queda parcialmente aceptada la hipótesis 1 planteada al inicio de este trabajo. La calidad de agua subterránea de cada establecimiento se relaciona de manera directa con el riesgo potencial de salinización debido a las láminas de agua aplicada en cada caso, y a su vez los ingresos a través de suplementación y las diversas estrategias de alimentación, definen balances de nutrientes (P o N) más positivos o negativos, favoreciendo o evitando en cada caso la concentración de nutrientes alrededor del tambo y la vulnerabilidad de contaminación de aguas subterráneas.

10.2 Consideraciones sobre la Hipótesis 2.

Los contenidos hídricos al momento de la siembra y en el período de floración son la principal fuente de variación del rendimiento de maíz en la Región Semiárida (RSP) y Subhúmeda Pampeana (RSHP). El cultivo de maíz es muy sensible a situaciones de estrés durante la floración, dado que su principal órgano de interés comercial, la espiga, se encuentra relegada por la dominancia apical ejercida por la panoja. Esta característica le confiere al maíz inestabilidad en el rendimiento frente a situaciones de estrés en la floración (Andrade *et al.*, 1997). A su vez, este cultivo se adapta bien a ambientes con precipitaciones durante todo el ciclo superiores a 250 mm. Las precipitaciones totales de todo el ciclo del cultivo durante los dos períodos evaluados en este trabajo fueron de 409 mm y 547 mm, para el período 1 y 2, respectivamente, por encima de los requerimientos de agua que cita Andrade *et al* (1997). Durante el período 1, en la etapa crítica del cultivo de maíz (15 días previos y posteriores a la floración), se registraron: 27 mm y 0 mm, respectivamente, mientras que en el período 2, 77 mm y 54 mm. Esta ocurrencia de precipitaciones en los periodos críticos del cultivo repercutió sobre la producción de biomasa y rendimiento de grano en maíz, diferenciando las producciones entre tratamientos en el período 1 e igualando las mismas en el período 2. El aspecto clave a resaltar en esta hipótesis es el efecto en la eficiencia de uso de agua, tanto de biomasa como grano. Respondiendo al régimen y ocurrencia de las precipitaciones, las mayores EUA_b en maíz se observaron en el período 2, cuando se aplicaron los efluentes a los 10 días previos a la siembra (35 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹ y 45 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹), mientras que

cuando se aplicaron en estado V6 el valor de EUA_b de los tratamientos que recibieron efluentes fue igual que el testigo (sin efluente). En centeno la EUA_b mejoró en un 75% tanto para ES como para EC. Frasier *et al* (2009) cita EUA_b en centeno de $35 \text{ kg MS mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ en un suelo haplustol éntico. Civalero & Kolman (2013) en maíces con y sin fertilización N, bajo labranza convencional y directa, encontraron valores de $14 \text{ kg MS mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ y $20 \text{ kg MS mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para testigo y $23 \text{ kg MS mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ y $27 \text{ kg MS mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para fertilizado sobre un haplustol éntico. Uhaldegaray (2012) obtuvo similares resultados, con EUA_b de 8 a $24 \text{ kg MS mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ en maíces sin fertilizar y fertilizados, respectivamente. La EUA_g respondió de manera similar, siendo menor en el EL y mayor en EC.

Las variables de calidad evaluada en maíces no respondieron al agregado de efluente, tanto sólido como líquido, a pesar de contribuir a una mayor cantidad de proteína bruta a cosecha cuando se asoció esta variable a la producción de biomasa aérea. Por lo general, los efluentes líquidos contienen niveles de N inmediatamente disponible para la planta que el estiércol sólido (Beauchamp, 1986; Sutton *et al.*, 1986). A su vez, estos últimos tienen una relación C: N mayor (18.2), pudiendo inmovilizar parte de este N contenido en el estiércol, o disponer al primer año un 5 o 15 % del N para la planta. A su vez, el tipo de suelo, pH y condiciones climáticas influirán en la tasa de mineralización y respuesta del cultivo (Eghball *et al.*, 2002). Varios autores han comprobado lo expuesto anteriormente (Janssen, 1996; Eriksen *et al.*, 1999; Naeni & Cook, 2000; Nevens, 2003) y confirman que existe una amplia variación en el contenido de nutrientes (Beauchamp, 1983; Jokela, 1992; Longhurst *et al.*, 2000; Sorensen, 2004; Bechini & Marino, 2009) ya sea líquido o sólido, lo cual tienen relación directa con la disponibilidad inmediata de los mismos para la planta. El N ligado orgánicamente se espera que mineralice más lentamente, comúnmente las cantidades de nitrógeno fácilmente disponible en el estiércol se encuentran bajo la forma de $\text{NH}_4\text{-N}$ (amonio) y son más bajas que en los fertilizantes inorgánicos (Beauchamp, 1983; Jokela, 1992). Sin embargo, el efluente líquido contiene altas cantidades de N disponibles inmediatamente, debido a los contenidos de orina, pudiendo ser la mitad del nitrógeno total contenido en el efluente, siendo este porcentaje mucho mayor que en el estiércol sólido. El uso de SPAD en estadios tempranos, como V6 en maíz, no es una herramienta que permita

diagnosticar deficiencias de N, luego de ese estado se detecta con precisión situaciones de deficiencias. Trabajos de Schmitt *et al* (1993), Daliparthy (1994), La Manna *et al* (2004), Marzetti *et al* (2010) no han encontrado efecto sobre el rendimiento de pasturas, cultivos y verdeos, mientras que Hose *et al* (2012), Charlón *et al* (2007), Rassol *et al* (2007), Sosa *et al* (2010), Fontanetto *et al* (2010) han comprobado algún tipo de efecto. En parte queda parcialmente aceptada la hipótesis 1 planteada al inicio de este trabajo. El aporte de nutrientes a partir del uso de efluentes tiene un efecto positivo sobre el rendimiento de grano y producción de biomasa aérea, repercutiendo sobre la eficiencia de uso del agua de biomasa y grano y algunos parámetros de calidad de forraje.

10.3 Consideraciones sobre la Hipótesis 3.

Durante dos años consecutivos de aplicación de efluente, con el objetivo de “intensificar” los efectos sobre propiedades edáficas, se comprobó que tanto el pH como la conductividad eléctrica tuvieron pequeños cambios en los primeros 10 cm de perfil de suelo tolerables para cualquier cultivo. Las láminas de riego de efluente líquido utilizadas en esta experiencia y el tiempo de evaluación no fueron lo suficientemente excesivas como para aumentar el pH y la CE en los primeros 10 y 20 cm de perfil de suelo. El riesgo de incrementar la salinidad a niveles no aceptables y consecuentemente, el riesgo de potenciales daños a la planta son posibles luego de fuertes y reiteradas aplicaciones de efluentes (Culley *et al.*, 1981; Evans *et al.*, 1977; Pratt, 1979; Sutton *et al.*, 1979, 1986; Bernal *et al.*, 1992; Lithourgidis *et al.*, 2007; Imhoff *et al.*, 2012). En cambio, Bhatti *et al* (2011) mostraron que el estiércol puede disminuir el pH, CE y RAS del suelo. Experiencias durante 12 años de aplicación continua de efluentes comparado con fertilizante inorgánico (urea y superfosfato) sobre diversos cultivos, llevaron a incrementos significativos en contenido de sales en el suelo y disminución de pH en las parcelas que recibieron efluente (Mantovi *et al.*, 2003). La Manna *et al* (2004) al cabo de 8 años de agregar diferentes niveles de efluentes proveniente de biodigestores y lagunas, no evidenciaron cambios en el pH, manteniéndolo en un rango de 5.8-5.9. En cambio, Briceno *et al* (2008) informó que debido a altas tasas aplicadas de efluente, el pH del suelo incremento inmediatamente, aunque retornó a valores similares al control y Nikoli y Matsi (2011) encontraron que luego de nueve aplicaciones anuales de efluentes líquidos

a tasas equivalentes a la fertilización inorgánica recomendada para cultivos, el pH del suelo permaneció sin cambios. Estos resultados coinciden con los hallados por Imhoff *et al* (2012) quienes aplicando 60 mil, 120 mil y 180 mil l ha⁻¹ de efluentes sobre un suelo Argiudol típico no encontraron variaciones en pH aunque verificaron incrementos en la CE alcanzando valores de 0.7 dS m⁻¹ para testigo (sin efluente) y 4.3 dS m⁻¹ para tratamientos de máxima dosis aplicada, en los primeros 5 cm de perfil de suelo. Lithourgidis *et al* (2007) luego de 8 años de aplicación de efluente a tasas equivalentes a la recomendada para fertilización inorgánica de cultivos, encontraron incrementos de salinidad en el perfil de suelo, pero a niveles aceptables para la mayoría de los cultivos y similares a los niveles causados por la fertilización inorgánica. Con estos antecedentes bibliográficos que demuestran efecto negativo o neutro sobre estas propiedades químicas de suelo luego de varios años de aplicación de efluente, queda aceptada en su totalidad esta hipótesis. La adopción de bajas láminas de efluente al suelo no influyó sobre propiedades químicas de suelo, como pH y conductividad eléctrica.

10.4 Consideraciones sobre la Hipótesis 4.

Respecto a nuestra hipótesis planteada al inicio de este trabajo: “La incorporación de efluentes en altas dosis tendrá un efecto negativo sobre el pH y conductividad eléctrica del suelo favoreciendo la presencia y/o ausencia de los principales grupos taxonómicos algales” con estas observaciones no podemos inferir que la incorporación de altas dosis modificaron condiciones químicas de suelo favoreciendo o no al desarrollo de grupos taxonómicos algales, principalmente *cyanobacterias*. De acuerdo a los géneros observados en los tratamientos, observamos una tendencia de predominio de género *Phormidium* y *Nostoc* en las parcelas que recibieron efluentes, mientras que en los testigos únicamente se observó el género *Nostoc*.

10.5 Sugerencias para trabajos futuros

Estudios futuros, en el largo plazo, deben contemplar el análisis de la variación estacional y relación existente entre distintas calidades de efluentes y tipo de alimentación, ya sea a

base de grano, pastura, y/o concentrado, en distintas proporciones. Esto permitirá mejorar la nutrición de aquellos cultivos en los que se ha planificado el uso de efluentes para cubrir los requerimientos nutricionales de los mismos. A su vez, otro tema relevante es evaluar las pérdidas en relación con las distintas estrategias de aplicación de los efluentes considerando que bajo algunas formas de aplicación y en algunos momentos del año pueden registrarse altas pérdidas por volatilización.

BIBLIOGRAFIA

- Abebe G., B. Hattar, M. Abdel-Rahman & A. Al-Tawaha. 2005 Nutrient Availability as Affected by Manure Application to Cowpea (*Vigna unguiculata L.Walp.*) on Calcareous Soils. *Journal of Agriculture & Social Sciences*.
- Anagnostidis, K. & J. Komárek. 1985. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 1-Introduction. *Algological Studies*. (Archives of Hydrobiology, Supplement 71 [1-2]: 291-302.
- Anagnostidis, K. & J. Komárek. 1990. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 5- Stigonematales. *Algological Studies*. (Archives of Hydrobiology, Supplement 59: 1-73.
- Andrade, F.H., A.G. Cirilo, S.A. Uhart & M.E. Otegui. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. La Barrosa (Ed.). Dekalbpres. INTA, FCA-UNMP. Balcarce, Argentina.
- Beauchamp, E.G. 1986. Availability of nitrogen from three manure to corn in the field. *Canadian Journal of Soil Science*. Vol 66, N°4, pp. 713-720.
- Beauchamp, E.G.1983. Response of corn to nitrogen in preplant and sidedress applications of liquid dairy cattle manure. *Canadian Journal of Soil Science*. Vol 63, N° 2, pp. 377-386.
- Bechini, L. & P. Marino. 2009. Short-term nitrogen fertilizing value of liquid dairy manures is mainly due to ammonium. *Soil Science Society of America Journal*. Vol 73, N° 6. pp. 2159-2169.
- Bernal, M.P., A. Roig., R. Madrid & A.F Navarro. 1992. Salinity risks on calcareous soil following pig slurry applications. *Soil use Management*. 8: 125-130.
- Bhatti, A.U., Q. Khan., A.H. Gurmani & M.J. Khan. 2011. Effect of organic manure and chemical amendments on soil properties and crop yield on a salt affected Entisol. *Pedosphere*. 15: 46-51.

- Birchall, S., C. Dillon., R. Wrigley. 2008. En: Effluent and manure management database for the Australian Dairy Industry. Southbank Victoria, Dairy Australia. 213 p.
- Bray, R & L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Science. 59: 360-361.
- Briceno, G., R. Demanet., M. de la Luz Mora & G. Palma. 2008. Effect of liquid cow manure on Andisol properties and atrazine adsorption. Journal of Environmental Quality. Vol: 37, Nº.4, pp. 1519-1526.
- Butler, J Twain., K. Han., J.Muir., D.Weindor & L. Lastly. 2008. Dairy Manure compost effects on Corn silage production and soil properties. Agronomy journal. 100: 1541-1545.
- Casas R. A. 2000. La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas. Disertación acto entrega premio Antonio Pregón. En: www.insuelos.org.ar.
- Castillo, RA & G.A Ligarreto. 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero Colombiano. Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 11 (2), 122-128.
- Charlon, V. 2007. Residuos en las instalaciones de ordeño. Revista IDIA XXI. En: http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/doc/9_lecheria.pdf. [Acceso 12/08/2014].
- Charlon V., L. Romero., A. Cuatrin & M. Taverna. 2005. Efecto del momento de aplicación y de fuentes de nitrógeno en un cultivo de maíz. En: http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/anuario2005/a2005_p022.htm. [Acceso 12/08/2014].
- Charlón, V., A. Cuatrín, H. Vivas, M. Taverna. 2006. Utilización de residuos orgánicos en la producción acumulada y la calidad de una pastura de alfalfa pura. En: Revista Argentina de Producción Animal. Vol 26 Supl. 1. 172-173.

- Charlón, V., L. Romero, A. Cuatrín & M. Taverna, 2007a. Utilización de residuos orgánicos en el rendimiento y la calidad de un cultivo de avena. En: Revista Argentina de Producción Animal. 27 (Suplemento 1): 216-217.
- Charlón, V., L. Romero, A. Cuatrín & M. Taverna, 2007b. Utilización de residuos del tambo en un cultivo de sorgo forrajero para silaje. Revista Argentina de Producción animal. 27 (Suplemento 1): 16-217.
- Charlon, V., M. Taverna., E. Walter & F. Manzi. 2004. Riego por aspersión: un posible destino de los efluentes del tambo. EEA Rafaela. En: http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/art_divulgacion/ad_0008.htm [Acceso 12/08/2014].
- Chastain, J.P & F. Montes 2004. Ammonia volatilization losses during sprinkler irrigation of animal manure 042211, ASAE Annual International Meeting, Ottawa, Ontario, Canada, 1-4 August 2004, ASAE.
- Civalero, A & G. Kolman. 2013. Disponibilidad de nitrógeno determinada por SPAD y respuesta a la fertilización nitrogenada de un cultivo de maíz en la región semiárida pampeana. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de agronomía, UNLPam, Santa Rosa.
- Comerón, E. A & L. A. Romero. 2007. Utilización de la alfalfa por vacas lecheras en pastoreo. En: Bacigalup, D.H. (Ed.) El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Buenos Aires, Ediciones INTA. p. 303-328.
- Coronel, G.T.D., F.A Avila., S.Z Montes & G.H Montúfar. 2009. Evaluación productiva y calidad de grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays L.*) en dos localidades de la Provincia de Los Ríos. En: Ciencia y Tecnología. 3: 15-23.
- Culley, B.L.J., A. Philips., F.R. Hore & N.K. Patni. 1981. Soil chemical properties and removal of nutrients by corn resulting from different rates and timing of liquid dairy manure applications. Canadian journal soil science. 61: 35-46.

- Daliparthi, J., S.J Herbert & P.L.M Veneman. 1994. Dairy manure applications on alfalfa: Crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. *Agronomy Journal*. Vol: 86, N° 6, pp. 927-933.
- Desikachary, T. V. 1959. Cyanophyta. Botany Department. University of Madras. En: *India Council of Agricultural Research, New Delhi*. Evans y Johansen.
- Di rienzo J.A., F. Cassanoves., M.G. Balzarini., L. Gonzalez., M. Tablada & C.W. Robledo. 2008. Infostat versión, 2008. Grupo Infostat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Díaz Zorita, M., F. Garcia & R. Melgar. 2003. Fertilización en soja y trigo-soja: respuesta a la fertilización en la Región Pampeana. Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar – INTA. Campaña 2000/2001 y 2001/2002. En: www.fertilizar.org.ar.
- Diez, M., I Frasier., C. Sardiña & A. Quiroga. 2010. Efluentes de tambos en maíces establecidos sobre Entisoles y Molisoles de la Planicie medanosa. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario. Trabajo completo publicado en C.D. Actas p.146.
- Dordas, C.A., A.S. Lithourgidis., T.Matsi & N. Barbayiannis. 2008. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. *Nutrition Cycle Agroecosystem*. 80: 283-296.
- Eghball, B., B.J. Wienhod., J.E. Gilley & R.A Eigenberg. 2002. Mineralization of manure nutrients. *Journal. Soil Water Conservation*. 57: 470-473.
- Eriksen, G.N., F.J Coale & G.A. Bollero. 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agronomy Journal*. 91 (6): 1009-1016.
- Evans, S.D., P.R. Goodrich., R.C Munter & R.E Smith. 1977. Effects of solid and liquid beef manure and liquid hog manure on soil characteristic and on growth, yield, and composition of corn. *Journal of environmental Quality*. Vol 6, N° 4. pp 361-368.

- Feng, G.L., J. Letey., A.C. Chang & M. Campbell Mathews. 2005. Simulating dairy liquid waste management options as a nitrogen source for crops. *Agriculture, Ecosystems and environment*. 110: 219-229.
- Fernández J., A. Quiroga & G. Casagrande. 2003. Caracterización Agro edáfica y agroclimática del área trigueña de la Provincia de La Pampa. Trigo. En: Actualización 2003. INTA Anguil. Publicación de divulgación técnica N° 76.
- Fontanetto, H., S. Gambaudo., V. Charlón., M. Taverna., S. Imhoff & O. Zen. 2010. Manejo y utilización de los efluentes de sistemas ganaderos. En: <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/manejo/articulos/manejo-utilizacion-efluentes-sistemas-t2817/124-p0.htm>. [Acceso 20/08/2014].
- Frasier I., R. Fernández & A. Quiroga. 2009. Valoración de especies invernales como cultivo de cobertura. *Sistemas Productivos sustentables, fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura*. Bahía Blanca. 10 y 11 de agosto.
- Funaro D., R. Fernández & A. Quiroga. 2004. Aspectos edáficos relacionados con el manejo del agua y la nutrición del maíz. En: *Producción de Maíz en Sistemas Mixtos*, INTA Anguil. Vol 81:18-30.
- Gallardo, M. 2009. *Producción de leche en Argentina- Innovación productiva desde la nutrición animal*. INTA.
- García, J.P & J. Espinosa. 2008. Relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz. En: *Informaciones agronómicas*, N° 71, 9-14 p.
- Génova L. 2005. *Influencia del riego con aguas bicarbonatadas en los suelos de la región pampeana*. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata.

- Ghilberto, P.J., S. Imhoff., H. Micheloud & M. Calamari. 2012 Uso de efluentes de tambo como abono II; Producción de sorgo y balance hídrico. En: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Abril 2012, Mar del Plata.
- Goering H K & P.J. Van Soest.1970. Forage fiber analyses (Apparatus, Reagents, Procedures and some Applications) Agriculture Handbook N° 379. Agricultural Research Service (USDA) Washington DC. 20 pp.
- Gutierrez, S & N. Cabrera. 2006. Proyecto INIA_FPTA N° 38. Estimación de los parámetros Nacionales y básicos para el procesamiento y utilización de los residuos sólidos y líquidos de tambos: Informe final. Montevideo, Universidad de la República. Facultad de Ingeniería. 196 p.
- Halperin, D. 1968 Las algas y su importancia ecológica. Centro de Investigación de biología marina. Buenos Aires, Argentina.
- Haynes, R.J. & P.H. Williams. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*. 49: 119-197.
- Herrero, M & L. Basso. 2008." Producción animal y medio ambiente" en *Agrosistemas: Impacto Ambiental y Sustentabilidad*, pp. 337-363. L. Giuffré (Ed.). Buenos Aires: editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.
- Herrero, M. 2003. La importancia del agua en la producción de leche. En: http://www.fvet.uba.ar/areas/arch_bases_agric/aqualech.pdf. *InfoVet* N° 59.
- Hose, T.D., M. Cougnon., A. Vlieghe., Van Bockstaele & D. Reheul. 2012. Farm compost application: Effects on Crop Performance. *Compost Science & Utilization*. 20: 49-56.
- Imhoff S., R. Marte., V. Lotto & M.C Miretti. 2010. Influencia de efluentes líquidos de tambo sobre la fertilidad física del suelo. En: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario 2010.

- Imhoff, S., P. Ghiberto., M.E.Carrizo., V.Charlon., O. Zen & S. Gambaudo. 2011. Uso alternativo de efluentes de tambo para disminuir el impacto ambiental. En: compendio de trabajos e investigaciones, EEA Rafaela. Publicaciones miscelánea, N°1. p 27.
- Imhoff,S., P. Ghiberto., M.E. Carrizo & M. Calamari. 2012. Uso de efluentes de tambo como abono I: Efecto sobre propiedades químicas del suelo y reciclado de nutrientes. En: Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Año 2012.
- Janssen, B. H. 1996. Nitrogen mineralization in relation to C: N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and soil*. 181 (suplemento 1): 39-45.
- Johnson, C.M. & A. Ulrich. 1959. *Certif. Agric. Exp. St. Bulletin*, 26-27, pp. 766.
- Jokela, W.E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. *Soil Science Society of America Journal*. Vol: 56, N° 1: 148-154,
- Kaffka, S .R & V.R. Kanneganti. 1996. Orchardgrass response to different types, rates and application patterns of dairy manure. *Field Crops research*. Vol: 47, N° 1:43-52.
- Khan Anwar, U.H., M. Iqbal & K.R. Islam. 2007. Dairy manure and tillage effects on soil fertility and corn yields. *Bioresource technology*. 98: 1972-1979.
- King, L.D., J.C. Burns & P.W. Westerman. 1990. Long-term swine lagoon effluent applications on "coastal" bermudagrass: II Effect on nutrient accumulation. *Soil Journal Environment Quality*. 19: 756-760.
- Komárek, J. & T. Hauer. 2012. *CyanoDB.cz - On-line database of cyanobacterial general*. - Word-wide electronic publication, University of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR, En: <http://www.cyanodb.cz>. [Acceso 20/05/2013].

- Kondinin Group's. 2001. Healthy levels of soil algae lift plant growth. En: farming Ahead. N° 120.
- Kurunc, A., R.P. Flynn & A.L. Ulery. 2004. Dairy lagoon effluent effects on soils chemical properties, corn yield and nutrient uptake. Journal of agronomy. Vol 3: 219-222.
- La Manna, A., J. Mieres., Y. Acosta & I. Torres. 2004. Utilización de efluentes en tambos. Resumen de investigación. En: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria- Resultados Experimentales en Lechería. 151 p.
- Lithourgidis, A.S, T. Matsi., N. Barbayiannis & C.A. Dordas.2007. Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition and soil properties. Agronomy journal. Vol 99, N° 4, pp.592-596.
- Liu, M., Z.W. Liang., H.Y. Ma., L.H. Huang., J. Bi., X.J. Gu & M.M. Wang. 2010. Application of sheep manure in saline- sodic soils of Northeast China.1- effect on rice (*Oryza sativa* L.) yield and yield components. Journal of food, agriculture y environments. Vol. 8: 524-529.
- Longhurst, R.D., A.H.C. Roberts & M.B. O'Connor. 2000. Farm dairy effluent: a review of published data on chemical and physical characteristic in New Zealand. New Zealand Journal of agricultural research. 43: 7-14.
- Lopez, M & J. Arrue. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in semi-arid region of Spain. Soil and Tillage Research. 44 : 35- 54.
- Macon, B., K.R. Woodard., L.E. Sollenberg., E.C. French III., K.M. Portier ., D.A. Graetz ., G.M. Prine & H.H. Van Horn. 2002. Dairy effluent effects on herbage yield and nutritive value of forage cropping systems. Agronomy journal. 94: 1043-1049.

- Maldonado, M., M. Herrero & M. Pol. 2000 "Millones de moscas no pueden equivocarse", publicado en revista Apartando. En: http://www.fvet.uba.ar/areas/arch_bases_agric/millones.pdf. [Acceso 25/9/2013]
- Marino, M.A. & M Agnusdei. 2005. Abastecimiento de fósforo y de nitrógeno en pasturas para una ganadería sustentable. En: Planteos ganaderos, Revista de la Asociación Argentina de siembra directa, Marzo de 2005.
- Martin, E.C., D.C. Slack., A. Tankley & B. Basso. 2006. Effects of fresh and composted dairy manure applications on alfalfa yield and the environment in Arizona. *Agronomy Journal*. 98: 80-84.
- Martínez, F. 2002. La soja en la Región Pampeana. IDIA Año II N° 3.
- Marzetti, M., M.S. Racca madoery., M.C. Miretti., M.E. Carrizo & S. Imhoff. 2010. Uso de efluentes de tambo para mejorar la productividad de los cultivos. En: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario 2010.
- Matsi, T., A.S, Lithourgidis & A.A Gagianas. 2003. Effects of injected liquid cattle manure on growth and yield of Winter wheat and soil characteristics. *Agronomy Journal*. 95:592-596.
- Mantovi., L. Cortellini., G. Baldoni., G. Toderi., A. Nassisi., L. Dal rel. 2002. Changes of chemical traits of soils subjected for 12 years in succession to fertilization with sewage sludge or mineral fertilizers. En: bolletino della societa`italiana della Scienza del Suolo. Vol: 52. pp. 385-394.
- Mónaco, S., D.J Hatch., D. Sacco., C. Bertora & C. Grignani. 2008. Changes in chemical and biochemical soil properties induced by 11-yr repeated additions of different organic material in maize-based forage systems. *Soil biology and biochemistry*. 40 (3): 608-615.

- Naeini, S.A & H.F. Cook. 2000. Influence of municipal compost on temperature, water, nutrient status and the yield of maize in a temperate soil. *Soil use and management*, 16 (3): 215-221.
- Nevens, F & D. Reheul. 2004. Agronomical and environmental evaluation of a long-term experiment with cattle slurry and supplemental inorganic N applications in silage maize. *European Agronomy Journal*. 22: 349-361.
- Nevens, F. 2003. Nitrogen use efficiency in grassland, silage maize and ley/arable rotations. PhD thesis, Ghent University, Gent, p 231.
- Nikoli, Th. & Th. Matsi. 2011. Influence of liquid cattle manure on micronutrients content and uptake by corn and their availability in a calcareous soil. *Agronomy Journal*. Vol: 103, N°1. pp. 113-118.
- Nosetti, L., M.A. Herrero., M. Pol., V. Maldonado May., S. Korol., S. Rossi & V. Gemini., M. Flores. 2002. Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros II. Calidad de efluentes y eficiencia de los procesos de tratamientos. *En: Vet.* 4: 45-54.
- Paul, J.W & E.G. Beauchamp. 1993. Nitrogen availability for corn in soils amended with urea, cattle slurry, and solid and composted manures. *Canadian journal Soil Science*. 73: 253-266.
- Peinemann, N., M. Díaz Zorita ., M.B. Villamil ., H. Lusarreta & D. Grunewald. 1998. Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura pampeana. *Revista Ciencia del Suelo*. 16:39-42.
- Pratt, P.F. 1979. Management Restrictions in soil application of manure. *Journal of animal science*. 48: 134-143.

- Puiatti, J.M.P & A. Rivetti. 2008 Efectos de diferentes programaciones de riego complementario sobre la producción de un cultivo de maíz en Río Cuarto- Córdoba. En: IV Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Actas: Pág. 20. Publicación en CD. 2008. Mendoza.
- Quiroga A, D. Funaro, O. Ormeño, A. Bono & C. Scianca. 2003. Manejo del agua para los cultivos de girasol y maíz en suelos de las regiones semiáridas y subhúmedas pampeana. En: Cultivos de cosecha gruesa. Actualización 2003. Publicación Técnica N° 77. 55-59.
- Quiroga, A., R. Fernández., M. Farrel. & O. Ormeño. 2008. Caracterización de los suelos de tambo de la cuenca de Trenque Lauquen. Revista CREA, Año XXXVI, N° 324.
- Rasool, R., S.S. Kukul & G.S. Hira. 2007. Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice-wheat system. Soil & Tillage Research. 96: 64-72.
- Rivetti, A. R 2007. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. [En línea]: En: Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.Vol:38, N°2. p.25-36. Dirección URL del artículo: <http://bdigital.uncu.edu.ar/1309>. [Acceso 25/11/2014].
- Roach, C.G., R.D. Longhurst. & S.F. Ledgard. 2001. Land application of farm dairy effluent for sustainable dairy farming. Proceedings of the New Zealand Grassland Association. 63: 53-57
- Rohweder DA & R.F. Barnes., N. Jorgensen.1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. Journal Animal Science. 47: 747-843.
- Romero, L.A. 2012. Ensilaje de sorgo. En: Cámara Argentina de Contratistas forrajeros. Manual de Forrajes conservados. Manual de actualización técnica. 3ra ed. pp 70-74.

- Sáenz, C.A., J.A. Morábito., V.F. Gómez Hermida., K.L. Frigerio., O.A. Terenti & M.P. Cortés. 2008. Respuesta del cultivo de maíz y las características físico- química del suelo al riego complementario con agua subterránea salina en la Región Semiárida Pampeana. IV Jornada de Actualización de riego y fertirriego. Mendoza.
- Sainz Rozas, H & H.E. Echeverría. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Revista Facultad Agronomía., La Plata 103 (1):37-44.
- Salcedo Díaz, G. 2010. Manual de mejora ambiental de las explotaciones lecheras de Cantabria. Santander, Centro de Investigación de Medio Ambiente. Manual N° 7. 90 p.
- Schmitt, M.A., C.C. Sheaffer & G.W. Randall. 1993. Preplant manure and commercial P and K fertilizer effects on alfalfa production. Journal. Production Agriculture. 6: 385-390.
- Schmitt, M.A., C.C. Sheaffer & G.W. Randall. 1994. Manure and fertilizer effects on alfalfa plant nitrogen and soil nitrogen. Journal Production Agriculture. 7:104-199.
- Schroder, J.J., A.F.M, Aarts., J.C. Van Middelkoop., R.L.M Schils., G.L. Velthof., B. Frater & W.J. Willems. 2007. Permissible manure and fertilizer use in dairy farming systems on sandy soils in The Netherlands to comply with the nitrates directive target. European journal Agronomy. 27: 102-114.
- Sorensen P. 2004. Inmovilisation, remineralisation and residual effects in subsequent crops of dairy cattle slurry nitrogen compared to mineral fertilizer nitrogen. Plant and soil. 267: 285-296.

- Sosa, N., S. Gambaudo., H. Fontanetto & O. Keller. 2010. Aplicación de enmienda orgánica en un cultivo de maíz. En: Información técnica cultivos de verano, campaña 2010. Publicación Miscelánea N° 118.
- Sosa, O. 2010. Efectos del estiércol de tambo sobre propiedades químicas y físico-químicas edáficas y sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa L*) e implantación. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario. Trabajo completo publicado en C.D. Actas p.42.
- Sutton, A.L., D.W. Nelson., D.T. Kelly & D.L. Hill. 1986. Comparison of solid vs. liquid dairy manure applications on corn yield and soil composition. Journal of Environmental Quality. Vol: 15. N° 4: 370-375.
- Sutton, A.L., D.W. Nelson., N.J. Moeller & D.L. Hill. 1979. Applying liquid dairy waste to silt loam soils cropped to corn and alfalfa-orchard grass. Journal of Environmental Quality. Vol: 8. N°4 : 515-520.
- Taverna M., V. Charlon, C. Panigatti, A. Castillo & P. Serrano. 2004. Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. INTA (ed.). Rafaela, Argentina. 75 pp.
- Taverna, M & V. Charlón. 2005. Respuesta productiva de la aplicación de efluentes de tambos en un cultivo de maíz para silo. En: http://www.inta.gov.ar/Rafaela/info/documentos/productores97_98/prod_p22.htm.
- Uhaldegaray, M. 2012. Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la región semiárida pampeana. Tesis de grado para obtener el título de Ing agrónomo. UNLPam.
- Upton, M. 1997. Intensification or extensification: which has the lowest environmental burden? WAR/RMZ. N° 88. FAO. Roma, Italia.

- Van horn, H H., A.C. Wilkie., W.J Powers & R.A Nordstedt. 1994. Components of Dairy Manure Management Systems. *Journal Dairy Science*. 77: 2008-2030.
- Viglizzo, EF ., L.V. Carreño., H. Pereyra., F. Ricard., J. Clatt & D. Pincén. 2010. Dinámica de la Frontera Agropecuaria y cambio tecnológico. En: Viglizzo, E., Jobbagy,E (Ed). *Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto ecológico-ambiental*. Buenos Aires, Edición INTA. Cap 1: 9 -16.
- Walkley, A., & A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29–37.
- West, P & T. Ramachandran T. 1966. Spectrophotometric of nitrate using chromotropic acid. *Anal. Chim. Acta* 35: 317- 324.
- WWAP. 2009. *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world*, WorldWater Assessment Programme, UNESCO Publishing, Paris / Earthscan, London.
- Zancan, S., R. Trevisan & M. Paoletti. 2006. Soil algae composition under different agro-ecosystems in North-Eastern Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 112: 1-12.
- Zubizarreta, J. 2007. Balance de nutrientes en tambos. Informe CREA Zona Oeste arenoso, grupo Trenque Lauquen III.

ANEXO

- Precipitaciones registradas en la EEA Experimental de Anguil.

| AÑO | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | TOTAL ANUAL |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| 1973 | 109,5 | 120,6 | 175,7 | 62,4 | 3,5 | 92,5 | 6,0 | 1,8 | 8,9 | 197,7 | 45,3 | 153,2 | 977,1 |
| 1974 | 88,8 | 144,2 | 86,2 | 9,4 | 83,3 | 14,5 | 4,1 | 0,0 | 10,0 | 52,2 | 57,0 | 63,5 | 613,2 |
| 1975 | 80,6 | 77,8 | 167,4 | 61,7 | 36,4 | 66,4 | 0,7 | 8,3 | 71,5 | 29,0 | 41,0 | 51,1 | 691,9 |
| 1976 | 94,6 | 139,8 | 50,0 | 82,1 | 5,0 | 5,4 | 5,7 | 75,5 | 9,9 | 94,7 | 158,0 | 74,5 | 795,2 |
| 1977 | 56,5 | 157,3 | 70,3 | 24,4 | 7,5 | 26,6 | 2,0 | 15,6 | 0,8 | 76,7 | 65,0 | 247,5 | 750,2 |
| 1978 | 42,5 | 40,3 | 52,0 | 15,1 | 5,6 | 3,7 | 40,7 | 11,2 | 58,0 | 38,2 | 103,5 | 194,8 | 605,6 |
| 1979 | 65,1 | 49,9 | 160,2 | 11,5 | 32,3 | 43,2 | 2,5 | 9,7 | 47,3 | 106,3 | 78,2 | 145,8 | 752,0 |
| 1980 | 6,0 | 74,1 | 21,5 | 104,2 | 72,9 | 5,7 | 21,0 | 0,0 | 14,0 | 63,8 | 118,3 | 139,9 | 641,4 |
| 1981 | 42,3 | 22,8 | 36,2 | 86,7 | 70,6 | 18,1 | 3,3 | 1,1 | 26,6 | 43,3 | 120,9 | 66,0 | 537,9 |
| 1982 | 73,0 | 46,0 | 110,0 | 132,2 | 58,6 | 19,2 | 8,3 | 0,0 | 75,1 | 52,4 | 67,0 | 52,5 | 694,3 |
| 1983 | 139,1 | 55,1 | 116,5 | 97,3 | 45,9 | 12,7 | 0,0 | 88,7 | 4,9 | 72,3 | 30,5 | 88,3 | 751,3 |
| 1984 | 55,0 | 77,2 | 77,3 | 33,0 | 30,3 | 11,7 | 11,8 | 33,0 | 121,7 | 39,1 | 117,8 | 57,3 | 665,2 |
| 1985 | 183,7 | 59,0 | 44,3 | 53,8 | 5,9 | 1,9 | 207,4 | 0,0 | 67,5 | 160,1 | 125,9 | 114,8 | 1024,3 |
| 1986 | 189,4 | 72,0 | 88,2 | 130,8 | 8,3 | 16,8 | 0,0 | 26,4 | 53,9 | 51,1 | 62,8 | 85,2 | 784,9 |
| 1987 | 167,0 | 75,1 | 213,0 | 65,7 | 3,1 | 0,0 | 59,7 | 103,7 | 20,1 | 55,2 | 128,5 | 61,7 | 952,8 |
| 1988 | 22,2 | 161,1 | 93,5 | 42,8 | 13,8 | 14,0 | 0,6 | 10,0 | 101,9 | 8,0 | 115,4 | 43,6 | 626,9 |
| 1989 | 42,4 | 109,0 | 175,0 | 1,1 | 48,2 | 5,1 | 54,1 | 57,9 | 15,8 | 42,4 | 48,5 | 107,9 | 707,4 |
| 1990 | 48,2 | 82,0 | 22,6 | 31,6 | 83,3 | 0,0 | 10,0 | 0,0 | 60,3 | 80,3 | 40,0 | 61,7 | 520,0 |
| 1991 | 137,0 | 92,3 | 62,7 | 12,6 | 41,1 | 59,1 | 12,0 | 54,1 | 107,1 | 99,3 | 119,9 | 299,3 | 1096,5 |
| 1992 | 170,3 | 78,5 | 177,1 | 25,0 | 63,2 | 33,9 | 3,8 | 90,0 | 71,0 | 5,0 | 108,8 | 175,0 | 1001,6 |
| 1993 | 121,7 | 67,6 | 168,5 | 70,6 | 55,1 | 21,4 | 2,6 | 0,0 | 16,5 | 63,3 | 133,5 | 48,2 | 769,0 |
| 1994 | 157,8 | 83,0 | 57,4 | 19,7 | 103,9 | 12,0 | 35,5 | 55,5 | 1,5 | 61,4 | 41,0 | 77,4 | 706,1 |
| 1995 | 56,8 | 32,0 | 124,5 | 69,0 | 8,2 | 2,5 | 0,0 | 7,5 | 13,5 | 87,0 | 31,7 | 38,5 | 471,2 |
| 1996 | 101,2 | 153,2 | 104,0 | 80,5 | 22,5 | 11,6 | 9,5 | 29,5 | 26,5 | 54,5 | 106,0 | 366,5 | 1065,5 |
| 1997 | 128,8 | 14,5 | 155,5 | 26,5 | 61,0 | 162,5 | 52,8 | 7,0 | 11,6 | 118,7 | 49,5 | 85,5 | 873,9 |
| 1998 | 142,0 | 164,5 | 13,0 | 123,0 | 34,0 | 15,5 | 19,0 | 13,5 | 65,5 | 52,0 | 74,3 | 58,8 | 775,1 |
| 1999 | 77,5 | 73,7 | 211,3 | 155,2 | 17,4 | 18,5 | 8,0 | 7,0 | 53,6 | 96,2 | 146,2 | 73,5 | 938,1 |
| 2000 | 164,0 | 139,2 | 112,0 | 34,0 | 104,0 | 9,7 | 6,3 | 35,7 | 38,1 | 203,1 | 50,5 | 9,5 | 906,1 |
| 2001 | 88,1 | 181,0 | 216,5 | 172,5 | 4,0 | 5,9 | 4,9 | 17,7 | 129,5 | 200,0 | 94,0 | 35,5 | 1149,6 |
| 2002 | 203,0 | 21,0 | 85,4 | 96,4 | 32,0 | 11,2 | 8,3 | 82,5 | 34,0 | 65,0 | 50,5 | 70,5 | 759,8 |
| 2003 | 34,7 | 20,8 | 78,1 | 51,0 | 15,9 | 1,8 | 2,0 | 13,8 | 11,9 | 51,9 | 74,7 | 93,0 | 449,6 |
| 2004 | 48,0 | 81,0 | 90,3 | 80,2 | 5,3 | 4,0 | 108,7 | 32,5 | 7,0 | 109,4 | 109,6 | 138,6 | 814,6 |
| 2005 | 147,5 | 23,1 | 106,7 | 0,7 | 16,7 | 18,2 | 9,0 | 27,7 | 62,3 | 40,8 | 23,8 | 67,0 | 543,5 |
| 2006 | 99,2 | 87,7 | 104,0 | 25,5 | 0,0 | 3,6 | 5,8 | 30,5 | 12,5 | 106,3 | 19,4 | 68,8 | 563,3 |
| 2007 | 111,7 | 99,3 | 133,8 | 28,5 | 3,0 | 7,3 | 3,7 | 4,9 | 177,2 | 59,8 | 82,0 | 15,6 | 726,8 |
| 2008 | 157,1 | 99,8 | 13,2 | 1,0 | 12,5 | 27,9 | 13,1 | 16,1 | 34,3 | 99,9 | 45,7 | 102,4 | 623,0 |
| 2009 | 8,1 | 81,1 | 65,5 | 9,1 | 23,9 | 0,0 | 7,1 | 0,0 | 71,6 | 17,8 | 112,7 | 66,0 | 462,9 |
| 2010 | 98,9 | 200,9 | 426,0 | 11,0 | 2,5 | 13,8 | 7,9 | 1,0 | 152,0 | 50,3 | 37,2 | 48,0 | 1049,5 |
| 2011 | 217,8 | 15,3 | 101,0 | 140,0 | 18,5 | 8,3 | 28,0 | 11,3 | 2,5 | 67,9 | 132,0 | 39,2 | 781,8 |
| 2012 | 85,2 | 127,0 | 93,3 | 75,8 | 13,9 | 3,0 | 0,0 | | | | | | |
| PROMEDIO | N | D | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | |
| 1973-2011 | 81,2 | 97,1 | 102 | 86,5 | 112 | 58,4 | 32,3 | 20,7 | 20,2 | 25,1 | 47,9 | 76,2 | |
| Periodo 1 | 37,2 | 48,0 | 217,8 | 15,3 | 101,0 | 140,0 | 18,5 | 8,3 | 28,0 | 11,3 | 2,5 | 67,9 | |
| Periodo 2 | 132,0 | 39,2 | 85,2 | 127,0 | 93,3 | 75,8 | 13,9 | 3,0 | | | | | |

- Efluente sólido: características químicas y nutricionales de cada muestra y su valor promedio.

| Muestra | MS (%) | Cenizas (%) | MO (%) | N (%) |
|----------|--------|-------------|--------|-------|
| 1 | 51 | 83 | 17 | 0,54 |
| 2 | 55 | 84 | 16 | 0,56 |
| Promedio | 53 | 83,5 | 16,5 | 0,55 |