



*Editorial de la
Universidad Tecnológica Nacional*

EFFECTO DE LA APLICACIÓN EN SUELOS DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE MALTERÍAS DE CEBADA

Domingo Horacio Campaña

Tesis Doctoral



UniversidadeVigo

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
NACIONAL



Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar



UNIVERSIDAD DE VIGO
ÁREA DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA VEGETAL Y CIENCIA DEL SUELO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BAHÍA BLANCA
GRUPO DE ESTUDIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EFFECTO DE LA APLICACIÓN EN SUELOS DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE MALTERÍAS DE CEBADA

DOMINGO HORACIO CAMPAÑA

Memoria para optar al grado de Doctor por la Universidad de Vigo del Ingeniero Químico
Domingo Horacio Campaña

2011



UNIVERSIDAD DE VIGO

**Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo
Facultad de Ciencias – Edafología y Química Agrícola**

M^a Luisa Andrade Couce, Profesora Titular del Área de Edafología y Química Agrícola del Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo de la Universidad de Vigo,

CERTIFICA:

Que la presente memoria, titulada “Efecto de la aplicación en suelos de lodos residuales procedentes de malterías de cebada” que, para optar al grado de Doctor, presenta Dⁿ Domingo Horacio Campaña fue realizada en el Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo de la Universidad de Vigo y en la Universidad Tecnológica Nacional (Facultad Regional Bahía, Blanca. Argentina) bajo mi dirección.

Considerando que constituye trabajo de Tesis Doctoral, autorizo su tramitación y presentación.

Y para que así conste a los efectos oportunos, se expide la presente en Vigo a 23 de Febrero de 2011.

Fdo. M^a Luisa Andrade Couce

A Cecilia, Julieta, Victoria, Magdalena, Ignacio,

Juan Manuel e Hilario

*“... por la hermana tierra, que es toda bendición,
la hermana madre tierra, que da en toda ocasión
las hierbas y los frutos y flores de color,
y nos sustenta y rige: ¡loado, mi Señor!”*

(San Francisco de Asís)

Agradecimientos

Ante todo agradezco a Dios, haberme guiado en este camino de estudio e investigación, proveyéndome la fuerza de corazón y de espíritu, y la perseverancia para llegar hasta aquí, y por poner en mi camino las personas que me ayudaron a llevar adelante este proyecto, permitiéndome crecer como ser humano. Esta tesis doctoral cubre una etapa importante de mi vida y de la evolución en mi formación técnico-científica que me permite tener una visión más amplia de la realidad.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Dra. M^a Luisa Andrade Couce, por su permanente apoyo, su dedicación y paciencia, su pasión puesta en la enseñanza y la docencia, por confiar en mí y hacer posible que este trabajo sea una realidad. Un recuerdo muy sentido de gratitud y mis oraciones para la Dra. María Luisa Reyzábal (q.e.p.d) sin cuya intervención ésta tesis no habría sido posible.

A la Universidad de Vigo, al Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo Facultad de Ciencias – Edafología y Química Agrícola y a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, al GEIA (Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental), por haber posibilitado estos estudios.

A los amigos y “compañeros de ruta”, Miriam Crespo y Claudio Ferrarello del LANAQUI (UNS), por su invaluable colaboración en las determinaciones analíticas y en la interpretación de los resultados.

A Milena Uribe Etchevarría, Roberto Rodríguez y Ariel Airasca por su invaluable colaboración desde el Laboratorio de Química de la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional.

A Alicia Hernández, por su inestimable guía y ayuda en el análisis estadístico de los resultados de este trabajo.

A los becarios que colaboraron a lo largo de estos años en tareas vinculadas con esta tesis, Jorge Beramendi, Sebastián Serra, Pablo García, Carolina Arrieta, Natalia Perelló, Sandra Potas, Patricio Linquimán, Mariana González y Andrea Crocioni.

A Stella mi compañera de vida, a mis amigos, a mis padres y a toda mi familia porque sin su amor, apoyo, confianza y sacrificio hubiera sido imposible concretar este trabajo, en particular soportando mi ausencia “ocupada”.

A Daniel Jany amigo y asesor espiritual a quien agradezco especialmente su capacidad y claridad para la religación de Dios Creador y el universo. Sus enfoques filosófico-ambientales han signado especialmente mis trabajos de postgrado y la orientación profesional de mi carrera.

A mis compañeros de Facultad, a todo el personal de FUNDATEC (UTN-FRBB) y al personal de las Malterías que colaboraron con el material de estudio.

“...Una tecnología es viable si y sólo si, puede mantener la correspondiente estructura de flujos de materia y servicios y puede consecuentemente soportar la especie humana, sin límites de tiempo bajo unas condiciones ambientales dadas...” (Georgescu-Roegen)

ÍNDICE.

	Página
1. INTRODUCCIÓN.	19
<u>1.1. Suelos.</u>	23
<u>1.2. Situación actual de la agricultura.</u>	26
<u>1.3. Importancia del suelo.</u>	27
<u>1.4. Degradación y resiliencia de suelos.</u>	31
<u>1.5. Calidad del suelo.</u>	36
<u>1.6. Los ciclos biogeoquímicos.</u>	48
1.6.1. El ciclo de los nutrientes.	50
1.6.2. El ciclo del Nitrógeno.	51
1.6.3. Fuentes de exceso de Nitrógeno en el suelo.	53
1.6.4. Formas de Nitrógeno orgánico en el suelo.	54
1.6.5. Formas de Nitrógeno inorgánico en el suelo.	55
1.6.6. Movimiento de Nitrógeno en el suelo. Movimientos y transformaciones del Nitrato.	56
<u>1.7. El ciclo del Carbono.</u>	59
<u>1.8. El ciclo del Fósforo.</u>	65
<u>1.9. El flujo de energía en el ecosistema.</u>	66
<u>1.10. Lodos residuales en tratamientos de efluentes agroindustriales.</u>	68
<u>1.11. Aplicación de lodos en suelos como sistema natural de tratamiento.</u>	70
1.11.1. Lodos activados como enmienda orgánica y/o mejorador de suelos.	71
<u>1.12. Estimación de la tasa de mineralización del Nitrógeno orgánico aplicado a los suelos.</u>	75
<u>1.13. Regulaciones ambientales y legislación vigente (América-Europa).</u>	77
<u>1.14. Agricultura sostenible.</u>	81
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.	87
3. MATERIAL Y MÉTODOS.	97
<u>3.1. Selección de los suelos.</u>	101
3.1.1. Suelo Cabildo.	103
3.1.2. Suelo Tres Arroyos.	106
<u>3.2. Lodos de maltería de cebada.</u>	109
3.2.1. Tratamiento biológico de efluentes de procesos agroindustriales.	110
3.2.2. Lodos de la Maltería A.	110
3.2.3. Lodos de la Maltería B.	112
<u>3.3. Elementos climáticos más importantes de la región.</u>	113
<u>3.4. Vegetales.</u>	117
<u>3.5. Diseño experimental.</u>	119

3.5.1. Suelos y lodos.	120
3.5.2. Experiencias de germinación y crecimiento.	120
3.5.3. Experiencias de incubación.	121
3.5.4. Experiencias en macetas.	122
3.5.5. Parcelas experimentales.	124
<u>3.6. Métodos de muestreo y análisis.</u>	126
3.6.1. Descripción, caracterización y clasificación de perfiles.	126
3.6.2. Determinaciones Físicas.	126
3.6.2.1. <i>Humedad.</i>	126
3.6.2.2. <i>Densidad aparente.</i>	127
3.6.2.3. <i>Capacidad máxima de agua.</i>	127
3.6.2.4. <i>Análisis granulométrico.</i>	127
3.6.2.5. <i>Permeabilidad hidráulica.</i>	127
3.6.3. Determinaciones químicas.	127
3.6.3.1. <i>pH en agua.</i>	127
3.6.3.2. <i>Determinación de sales solubles (o salinidad).</i>	127
3.6.3.3. <i>Cinética de oxidación.</i>	128
3.6.3.4. <i>Materia orgánica total.</i>	128
3.6.3.5. <i>Fraccionamiento de compuestos carbonados de los lodos.</i>	128
3.6.3.6. <i>Fraccionamiento por tamizado de la materia orgánica de los suelos.</i>	128
3.6.3.7. <i>Cationes de cambio y capacidad de intercambio catiónico efectiva.</i>	129
3.6.3.8. <i>Nitrógeno total.</i>	130
3.6.3.9. <i>Nitrógeno inorgánico.</i>	130
3.6.3.10. <i>Fraccionamiento de compuestos nitrogenados en los lodos.</i>	130
3.6.3.11. <i>Fósforo.</i>	131
3.6.3.12. <i>Potasio, Calcio y Magnesio.</i>	131
3.6.3.13. <i>Contenido total otros elementos.</i>	131
3.6.3.14. <i>Contenido bioasimilable de Zinc, Cobre y Molibdeno.</i>	132
3.6.3.15. <i>Proteína bruta en vegetales.</i>	132
3.6.4 Bioensayos.	132
3.6.4.1. <i>Test de germinación: Biotoxicidad de lodos.</i>	132
3.6.4.2. <i>Test de crecimiento.</i>	132
3.6.5. Estimación de las tasas de mineralización del Nitrógeno.	133
3.6.6. Análisis Estadístico.	133
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	135
<u>4.1. Caracterización de los suelos.</u>	137

4.1.1. Propiedades generales.	139
4.1.2. Propiedades químicas y fisicoquímicas.	139
4.1.3. Materia orgánica.	141
4.1.4. Nutrientes, y metales traza.	142
4.1.4.1. <i>Molibdeno.</i>	142
4.1.4.2. <i>Cobre.</i>	142
4.1.4.3. <i>Zinc.</i>	143
4.1.5. Conclusiones.	144
<u>4.2. Caracterización de los lodos residuales de las malterías de cebada.</u>	144
4.2.1. Características físicas.	145
4.2.2. Características químicas.	148
4.2.2.1. <i>Materia orgánica.</i>	149
4.2.2.2. <i>Compuestos nitrogenados.</i>	149
4.2.2.3. <i>Contenidos totales de nutrientes, micronutrientes y otros metales traza.</i>	150
4.2.3. Conclusiones.	153
<u>4.3 Bioensayos.</u>	154
4.3.1. Bioensayos de germinación de semillas.	155
4.3.2. Bioensayos de germinación y crecimiento en suelos.	156
4.3.3. Conclusiones.	157
<u>4.4. Ensayos de incubación.</u>	158
4.4.1. Ensayos en el laboratorio.	158
4.4.1.1. <i>pH, conductividad eléctrica y humedad.</i>	159
4.4.1.2. <i>Materia orgánica.</i>	167
4.4.1.3. <i>Cinética de oxidación de la materia orgánica.</i>	169
4.4.1.4. <i>Nitrógeno.</i>	173
4.4.2. Conclusiones.	180
<u>4.5. Ensayos en Macetas.</u>	182
4.5.1. pH, conductividad eléctrica, y capacidad de intercambio catiónico.	182
4.5.2. Contenidos totales y asimilables de Zn, Cu y Mo, y disponible de P.	186
4.5.3. Contenidos de N total e inorgánico y de materia orgánica.	192
4.5.4. Producción vegetal.	194
4.5.5. Proteínas, nutrientes y micronutrientes.	195
4.5.6. Conclusiones.	197
<u>4.6. Ensayos en parcelas.</u>	199
4.6.1. pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables.	200
4.6.2. Fósforo disponible.	205
4.6.3. Zinc, Cobre y Molibdeno (totales y asimilables)	206
4.6.4. N total e inorgánico y materia orgánica.	209

4.6.5. Evolución de la calidad del suelo.	212
4.6.6. Producción vegetal.	214
4.6.7. Conclusiones.	216
5. SINTESIS Y CONCLUSIONES	219
<u>5.1. Síntesis</u>	223
<u>5.2. Conclusiones</u>	227
6. BIBLIOGRAFÍA	231
ANEXO I: TABLAS DE DATOS .	CD
ANEXO II: ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	CD

Siguiente



Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son *de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir el conocimiento generado por autores universitarios*, pero que los mismos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.