



**UNL. FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS**

Tesis

Para optar al Grado Académico de
Doctor en Ciencias Agrarias

**CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE ABONOS DERIVADOS DE LA
ACTIVIDAD OLIVARERA Y SU EFECTO SOBRE EL SUELO Y LA
PRODUCTIVIDAD DE LOS OLIVARES**

Ing. Agr. Ana Lilia Alurralde

Director: Dra. Ing. Agr. Silvia Imhoff

Co-Director: Dr. Ing. Agr. Norberto Gariglio

Comisión Asesora de Tesis:

Dr. Ing. Agr. Silvia Imhoff

Dr. Ing. Agr. Norberto Gariglio

Dr. Ing. Agr. Juan Galantini

MIEMBROS DEL JURADO

Tribunal 1: Dr. Ing. Agr. Osvaldo Barbosa

Tribunal 2: Dra. Ing. Agr. Paula Alayón Luaces

Tribunal 3: Dr. Ing. Agr. Juan Galantini

DEDICATORIA

*Dedico esta obra a mis padres, y
a mis hijos, Agustina y Pedro.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el acompañamiento y compromiso de la empresa Frutos del Norte S.A., y en particular a la persona del Sr. Adrián Barbier Albers.

A mis compañeros y amigos del laboratorio y de estudio.

Al valioso aporte del Ing. Agr. (Dr.) Agustín Alesso.

CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE ABONOS DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD OLIVARERA Y SUS EFECTO SOBRE EL SUELO Y LA PRODUCTIVIDAD DE LOS OLIVARES

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue generar información científica sobre las características del abono sólido (AS) y líquido (AL) producido a partir del compostaje de alperujo y restos de poda de la industria olivarera y el efecto de su aplicación sobre la fertilidad del suelo y el rendimiento de los olivos. Se evaluaron las características físicas, químicas y biológicas del abono sólido (AS) y líquido (AL). Se realizaron dos ensayos experimentales a campo. En uno se evaluaron los efectos de la aplicación de AS al suelo con relación al monte nativo. En el otro se realizaron seis tratamientos combinando AS y AL. El AS tuvo alta actividad microbiana, elevada materia orgánica y potasio. El AL resultó un producto moderadamente alcalino y salino, sin agentes fitotóxicos. La aplicación de AS aumentó el carbono orgánico, N, P, K, la CIC y la actividad biológica del suelo, incrementándose con el tiempo de aplicación, mientras que el AL mejoró sus propiedades químicas. El uso combinado de AS+AL mejoró las propiedades químicas y físicas del suelo y el rendimiento del olivar. Esta tesis demuestra el gran potencial de ambos tipos de abonos para la producción de olivares en un contexto de sistemas más sostenibles.

AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF FERTILIZERS DERIVED FROM THE OLIVE ACTIVITY AND THEIR EFFECT ON THE SOIL AND THE OLIVES PRODUCTIVITY

SUMMARY

The objective of this thesis was to generate scientific information about the feature of the solid fertilizer (AS) and liquid fertilizer (AL), produced from the composting of two-phase olive mill waste on olive grove and remains of pruning of the olive industry and the effect of its application on soil fertility and the yield of the olive trees. It's been evaluated the physical, chemical and biological features of the solid fertilizer (AS) and liquid (AL). It's been effectuated two experimental trials at the field. In one of them, it's been evaluated the effects of the appliance of SA to the soil in relation with the native forest. On the other, it's been made six treatments combining AS and AL. The AS had a high microbial activity, high organic matter and potassium. The AL result to be a moderate alkaline and saline, without phytotoxic agents. The application of AS increased the organic carbon, N, P, K, the CIC and the biological activity of the soil, increasing with the application time, while the AL improved its chemical features. The combined use of AS+AL improved the chemical and physical features of the soil and the olive grove performance. This thesis demonstrates the great potential of both types of fertilizers for the olive production in a context of more sustainable systems.

ÍNDICE GENERAL

Páginas

RESUMEN

SUMMARY

INDICE DE TABLAS.

INDICE DE FIGURAS

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

CAPÍTULO I

I.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
I.2. ANTECEDENTES.....	3
I.2.1. Cultivo del olivo	3
I.2.2. Importancia de la Olivicultura.....	4
I.2.3. Perfil productivo de la provincia de Catamarca.....	7
I.2.4. Residuos.....	8
I.2.5. Enmiendas orgánicas.....	11
El compostaje y biocompostaje	
Uso de los compost en la agricultura	
I.3. HIPÓTESIS.....	15
I.4. OBJETIVOS.....	15
I.4.1. Objetivos Generales	
I.4.2. Objetivos Específicos	
I.5. BIBLIOGRAFIA.....	16

CAPÍTULO II - CARACTERIZACIÓN DE ABONOS DERIVADOS DEL COMPOSTAJE DE ALPERUJO Y RESTOS DE PODA DE OLIVARES

RESUMEN.....	25
II.1. INTRODUCCIÓN.....	25
II.2. MATERIALES Y METODOS.....	28
II.2.1. Toma de muestras - Abono sólido y líquido.....	30
II.2.2. Pruebas de calidad de los abonos- Test de germinación.....	31
II.2.3. Análisis estadístico.....	31
II.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
II.3.1. Caracterización de los alperujos.....	31

	Páginas
II.3.2. Caracterización del abono sólido (AS).....	32
II.3.3. Caracterización del abono líquido (AL).....	37
II.3.4. Evaluación de fitotoxicidad.....	39
II.4. CONCLUSIÓN.....	41
II.5. BIBLIOGRAFIA.....	41

CAPÍTULO III - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE SUELOS CON INCORPORACIÓN DE ABONOS OBTENIDOS DEL COMPOSTAJE DE ALPERUJO Y RESTOS DE PODA DE OLIVARES

RESUMEN.....	46
III.1. INTRODUCCIÓN.....	47
III.1.1. Descripción general de la zona en estudio.....	48
III.2. ENSAYO A	
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y BIOLÓGICAS DE SUELOS CON INCORPORACIÓN DE ABONO SÓLIDO Y LÍQUIDO EN OLIVARES – FRUTOS DEL NORTE S.A.	
III.2.1. MATERIALES Y METODOS.....	50
III.2.1.1. Información preliminar.....	50
Descripción fisiográfica y perfil del suelo	
Propiedades químicas del perfil del Suelo	
Análisis químico del agua de riego	
III.2.1.2. Diseño del ensayo.....	53
III.2.1.3. Variables evaluadas.....	56
III.2.1.4. Análisis estadístico.....	56
Modelo	
III.2.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
III.2.2.1. Resultados indicadores químicos.....	57
III.2.2.2. Resultados indicadores físicos y biológicos.....	64
III.2.3. CONCLUSIÓN.....	68

III.3. ENSAYO B

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE SUELOS CON INCORPORACIÓN DE ABONOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS EN OLIVARES DE POMAN SA.

III.3.1. MATERIALES Y METODOS.....	70
III.3.1.1. Diseño del ensayo.....	70
III.3.1.2. Variables evaluadas.....	72
III.3.1.3. Análisis estadístico.....	72
III.3.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	73
III.3.2.1. Resultados indicadores químicos.....	73
III.3.2.2. Resultados indicadores físicos.....	77
III.3.2.3. Resultados indicadores biológicos.....	81
III.3.2.4. Análisis conjunto de la información	82
III.3.3. CONCLUSIÓN	86
III.3.4. BIBLIOGRAFIA	86

CAPÍTULO IV- RESPUESTA DE OLIVARES A LA APLICACIÓN DE ABONO SÓLIDO Y LÍQUIDO PROVENIENTE DEL COMPOSTAJE DE ALPERUJO Y RESTOS DE PODA DE OLIVARES

RESUMEN.....	94
IV.1. INTRODUCCION.....	95
IV.2. MATERIALES Y METODOS.....	97
IV.2.1. Diseño del ensayo.....	97
IV.2.2. Variables evaluadas.....	99
IV.2.3. Diseño experimental.....	101
IV.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	101
IV.3.1. Resultados del crecimiento vegetativo y reproductivo.....	101
IV.3.2. Resultados en frutos: cantidad, peso, volumen y relación pulpa/carozo	103
IV.3.3. Resultados del estado nutricional: NPK foliar.....	104
IV.3.4. Rendimiento.....	108
IV.4. CONCLUSIÓN.....	113
IV.5. BIBLIOGRAFIA.....	114

	Páginas
CAPÍTULO V	
V.1. DISCUSIÓN GENERAL.....	120
V.2. CONCLUSIÓN GENERAL.....	122
V.3. INVESTIGACIONES FUTURAS.....	124
V.4. BIBLIOGRAFIA.....	124

INDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1.1. Evolución del mercado del aceite de oliva en Argentina (miles de toneladas) para las campañas 2015 a 2022. Fuente: IOC (2022).....	5
Tabla 1.2. Evolución del mercado de aceituna de mesa en Argentina (en miles de toneladas) para las campañas 2015 a 2022. Fuente: IOC (2022).....	6
Tabla 2.1. Parámetros químicos del alperujo obtenidos en la finca Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca, y valores típicos (Roig <i>et al.</i> , 2006). Datos promedios del 2015 al 2018 \pm el error standard.	32
Tabla 2.2. Resultados del análisis químico del compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS) obtenidos en la Finca Frutos del Norte S.A., Datos promedios del año 2015 al 2018 \pm el error standard y comparación con experiencias previas correspondientes al Valle Central de Catamarca, España y rangos típicos.....	33
Tabla 2.3. Propiedades físico-químicas del compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS) en los cuatro años de estudio (2015 a 2018). Frutos del Norte S.A. Pomán, Catamarca.....	34
Tabla 2.4. Análisis químico del abono líquido o té de compost (AL) obtenido a partir del compost de alperujo y resto de poda de olivares, durante los años 2015 al 2018. Finca Frutos del Norte S.A. Pomán, Catamarca.	38
Tabla 2.5. Efecto del abono líquido (AL) obtenido por agitación en medio acuoso del compost de alperujo y resto de poda de olivares, sobre la energía y poder germinativo de diferentes especies (ISTA, 2014).	40
Tabla 3.1. Porcentajes y clasificación del material grueso encontrado en el perfil del suelo del ensayo correspondiente a una plantación de olivos, cv. ‘Arbequina’, de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A. Departamento Pomán, Catamarca. Año 2014.	52

	Páginas
Tabla 3.2. Análisis químico del agua de riego. Frutos del Norte S.A. Departamento Pomán, Catamarca. Año 2014.....	53
Tabla 3.3. Tratamientos aplicados a un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años, según tipo de compost y forma de aplicación. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Campañas 2014 a 2018.....	54
Tabla 3.4. Indicadores químicos (pH, potencial hidrógeno; CE, conductividad eléctrica; RAS, relación de absorción de sodio) de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	57
Tabla 3.5. Contenido de carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico particulado (COP) de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	59
Tabla 3.6. Variación del carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico particulado (COP) entre los Lotes con (FR) y sin (R) aplicación de abono líquido en el fertirriego en un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	59
Tabla 3.7. Contenido de potasio soluble (K^+s), potasio intercambiable (K^+i) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	64
Tabla 3.8. Densidad real, densidad aparente y porosidad total de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018...	65

Tabla 3.9. Actividad biológica (UA) de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	67
Tabla 3.10. Resultados del análisis del compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS) 2014, Olivares de Pomán S.A., Catamarca.....	71
Tabla 3.11. Indicadores químicos en suelos bajo monte nativo (T1), suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de abono sólido (AS) de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.....	73
Tabla 3.12. Contenido de carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP) y relación COP/COT en suelos bajo monte nativo (T1), suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de abono sólido (AS) de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.....	74
Tabla 3.13. Contenido de nitrógeno (N), fósforo extraíble (Pe) y relación C/N en suelos bajo monte nativo (T1), suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de abono sólido (AS) de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.....	76
Tabla 3.14. Textura y porcentajes de arena, limo y arcilla, en suelos bajo monte nativo (T1) y suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares, a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.....	78
Tabla 3.15. Valores promedios y desvío estándar de la densidad real, densidad aparente y porosidad total en el suelo bajo monte nativo (T1) y olivares sometidos a 5 (T2) y 13 (T3) años de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS), y a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.....	79

Tabla 3.16. Funciones canónicas. Datos estandarizados según variables de clasificación en la profundidad 0-20 cm de suelos. Olivares de Pomán S.A., Catamarca, 2014.....	83
Tabla 3.17. Funciones canónicas. Datos estandarizados según variables de clasificación en la profundidad 20-40 cm. Olivares de Pomán S.A., Catamarca, 2014.....	84
Tabla 4.1. Tratamientos según tipo de compost y forma de aplicación. Frutos del Norte S.A, Catamarca.....	97
Tabla 4.2. Efecto de diferentes compost de alperujo y resto de poda de olivares, y de su forma de aplicación, sobre el crecimiento de los ramos del año y del área de la sección transversal del tronco (ASTT) en olivares, cv. ‘Arbequina’. Frutos del Norte S.A. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018	102
Tabla 4.3. Efecto de diferentes compost de orujo de olivo, y de su forma de aplicación, sobre el peso de 100 frutos, volumen de fruto, relación Pulpa/Carozo y numero de frutos por rama. Frutos del Norte S.A. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	104
Tabla 4.4. Comparación de medias del efecto de diferentes compost de alperujo y resto de poda de olivares, y de su forma de aplicación, sobre el contenido foliar de NPK en olivos cv. ‘Arbequina’. Frutos del Norte S.A. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	105
Tabla 4.5. Extracción anual de nitrógeno, fósforo y potasio del cultivo del olivo por cada 1000 kg de aceituna, y requerimientos por planta para una producción de 50 kg planta ⁻¹	112
Tabla 4.6. Aporte de N-P-K por parte de los abonos de compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS y AL) utilizados en el ensayo y expresados en gramos por planta y por año. Frutos del Norte S.A, Catamarca.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1.1. Planta de Olivo cv. Arbequina (a), flor (b) y fruto (c). Frutos del Norte S.A. Pomán, Catamarca, 2014.....	4
Figura 1.2. Evolución del mercado del aceite de oliva mundial (miles de toneladas) para las campañas 2015 a 2022. IOC (2022).....	5
Figura 1.3. Evolución del mercado de la aceituna de mesa mundial (miles de toneladas) para las campañas 2015 a 2022. IOC (2022).....	5
Figura 1.4. Regiones olivaderas de la provincia de Catamarca. ETISIG (2008).....	8
Figura 2.1. Alperujo (izquierda) y pila de compost (derecha) en la finca ‘Frutos del Norte S.A.’, localidad de Pomán, provincia de Catamarca, 2014.....	29
Figura 2.2. Biorreactor de compost para la obtención de abono líquido a partir del compost de alperujo. Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca 2014. Vista completa (izquierda); tolva, cilindros con AS sumergidos en agua en agitación (derecha).....	29
Figura 3.1. Olivos, cv. ‘Arbequina’, utilizados en el ensayo A. Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca. 2014.....	50
Figura 3.2. Perfil del suelo del ensayo correspondiente a una plantación de olivos, cv. ‘Arbequina’, de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A. Pomán, Catamarca. Año 2014.....	51
Figura 3.3. Granulometrías del perfil de suelo del ensayo correspondiente a una plantación de olivos, cv. ‘Arbequina’, de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A. Año 2014.....	52
Figura 3.4. Diseño del ensayo de aplicación de AS y AL a un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca.....	54

Figura 3.5. Ensayo A, Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca. Campaña 2014-2018.....	55
Figura 3.6. Contenido de nitrógeno (N) en suelos con (FR) y sin (R) aplicación de abono líquido en fertirriego, y para diferentes tratamientos de aplicación de compost de alperujo y resto de poda de olivares, en un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	61
Figura 3.7 Cambios en el contenido de fósforo (ppm) en el suelo según tratamientos con aplicación (FR) y sin aplicación (R) de abono líquido por fertirriego y para diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares, en un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	63
Figura 3.8. Comparación de valores promedios de densidad aparente según tipo de fertilización. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	65
Figura 3.9. Efecto de la fertilización sobre la actividad biológica. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	67
Figura 3.10. Olivares de Pomán S.A., Pomán, Catamarca 2014. T1: monte nativo (a); T2: Olivos cv. ‘Arbequina’ de 5 años (b); T3: Olivos cv. ‘Arbequina’ de 13 años de plantación (c).....	71
Figura 3.11. Comparación de medias de Potasio soluble (K^+s) y potasio intercambiable (K^+i) en suelo bajo monte nativo (T1) y bajo olivares con 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Año 2014.....	76

Figura 3.12. Comparación de medias de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos bajo monte nativo (T1) y suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de abono sólido (AS) de compost de alperujo y resto de poda de olivares, a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Olivares de Pomán S.A. Año 2014.....	77
Figura 3.13. Resistencia a la penetración (MPa) en suelo bajo monte nativo (T1), y en lotes de olivo con 5 (T2) y 13 (T3) años de aplicación de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.....	80
Figura 3.14. Actividad biológica total en suelo bajo monte nativo (control) y bajo olivares con 5 y 13 años de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares, a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.....	82
Figura 3.15. Análisis canónica de los indicadores en suelo bajo monte nativo (T1) y bajo olivares con 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares, en la profundidad de 0-20 cm. Olivares de Pomán S.A., Catamarca, 2014.....	84
Figura 3.16. Análisis canónica de los indicadores en suelo bajo monte nativo (T1) y bajo olivares con 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares, para la profundidad 20-40 cm de suelo. Olivares de Pomán S.A., Catamarca, 2014.....	85
Figura 4.1. Croquis del diseño del ensayo de la empresa Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca.....	98
Figura 4.2. Mediciones de crecimiento: medición de longitud de rama fructífera (a), diámetro del fruto (b) y perímetro de tronco (c). Frutos del Norte S.A. Pomán. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	99

Figura 4.3. Mediciones de rendimiento: (a) número de frutos por rama identificada, (b) cosecha manual, (c y d) pesaje de la producción de cada planta, (e y f) pesaje de frutos por planta, (g) pesaje de carozos por planta. Frutos del Norte S.A. Pomán. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	100
Figura 4.4. Efecto del tipo de fertilización sobre el crecimiento anual del área de la sección transversal del tronco (ASTT, cm ²) (Promedios Marginales). Comparación entre control, Abono Sólido por suelo y Pulverización foliar con abono líquido (AL), en olivares, cv. ‘Arbequina’. Fruto del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	103
Figura 4.5. Efecto del tipo de fertilización sobre el contenido de N foliar (%) (Promedios Marginales) en olivares cv. ‘Arbequina’ Fruto del Norte S.A., Catamarca. Campañas 2015-2018.....	106
Figura 4.6. Efecto diferentes compost de alperujo y resto de poda de olivares y de su forma de aplicación, sobre el rendimiento (kg planta ⁻¹) en olivares, cv. ‘Arbequina’. Fruto del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.....	109

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

AL: Abono Líquido.

ANOVA: Análisis de varianza

AS: Abono Sólido

ASTT: Área de la sección transversal del tronco

C/N: Relación Carbono:Nitrógeno

Ca⁺²: Calcio

CE: Conductividad Eléctrica

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

Cl: Cloruro

cm: Centímetro

cmol_c 100g⁻¹: Centimol por cien gramos

CNA: Censo Nacional Agropecuario

CO₃⁻²: Carbonato

COP/COT: Relación Carbono Orgánico Particulado Carbono Orgánico Total

COP: Carbono Orgánico Particulado

COT: Carbono Orgánico Total

CSR: Carbonato de Sodio Residual

cv: Cultivar

Da: Densidad aparente del suelo

Dpto.: Departamento

Dr: Densidad real del suelo

e.g.: por ejemplo

EDTA: Etilendiamino tetra acético

Ept: Espacio poroso total

ETISIG: Equipo de trabajo interinstitucional de sistema de información geográfica

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

g cm⁻³: gramos por centímetro cubico

H: Humedad.

HCO₃⁻: Bicarbonato

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

IOC: International Olive Council

ISTA: International Seed Testing Association

K⁺: Potasio

K⁺_i: Potasio intercambiable

K⁺_s: Potasio soluble

K₂O: Monóxido de potasio

Kg ha⁻¹: Kilogramos por hectárea

Kg: Kilogramo

km: Kilometro

L: Litro

LSD: Mínima diferencia significativa

MAGyP: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación

meq l⁻¹: Miliequivalente por litro

Mg⁺²: Magnesio

Mg: Megagramo

Mg ha⁻¹: Megagramo por hectárea

MPa: Megapascal

msnm: Metros sobre el nivel del mar

N: Nitrógeno

Na⁺: Sodio

NT: Nitrógeno total

Parcela FR: Parcela con Fertirriego

Parcela R: Parcela con Riego

PT: Porosidad total

P₂O₅: Pentóxido de fósforo

Pe: Fósforo Extractable

PEOA: Plan Estratégico Olivícola Argentino

PFT: Polifenoles Totales

pH: Potencial Hidrogeno

ppm: Partes por Millón

RAS: Relación de Absorción de Sodio

RP: Resistencia a la Penetración

S: Azufre

SENASA: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

SO₄⁻²: Sulfato

t: Toneladas

t ha⁻¹: Toneladas por hectárea

TSD: Total de Solidos Disueltos

UA: Unidad de Absorbancia

UFC: Unidades Formadoras de Colonias

v/v: Relación volumen volumen

dS m⁻¹: Decisiemens por metro

μS cm⁻¹: Microsiemens por centímetro

%: Porcentaje

<: menor

>: mayor

°C: Grado Celsius

I.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En los últimos años la actividad olivícola creció notablemente en Argentina, por lo que el país se convirtió en el principal productor de América del Sur. Esta situación se vio favorecida por la aplicación de la ley N° 22.021 de diferimientos impositivos en las provincias de La Rioja, Catamarca y San Juan (Banco *et al.*, 2020).

La tecnificación progresiva de la agricultura, con el objetivo de incrementar la productividad, intensificó la utilización de los recursos naturales hasta al límite de sus posibilidades. Como consecuencia de este fenómeno se produjeron efectos indeseados sobre el ambiente, y particularmente en el suelo (IICA, 2009). Actualmente, la sociedad comenzó a tomar conciencia de la necesidad de mejorar su calidad de vida, reclamando alimentos sanos y producidos a partir del cuidado de los recursos naturales. Así nace la demanda de alimentos “más naturales” (Alós, 2021). En la situación más extrema, aparece la llamada “agricultura orgánica”, la cual garantiza la inocuidad de los alimentos, el cuidado del medio ambiente y un marcado compromiso social (Bonvini, 2021). Este fenómeno requirió de la fijación de normas por parte del Estado. En este sentido, en 1999 el Congreso Nacional sancionó la Ley 25.127 para la Producción Ecológica, Biológica u Orgánica, que establece el marco regulatorio de referencia para la producción y comercialización de este tipo de productos en la Argentina. Además, esta ley delimita las competencias de cada organismo nacional nombrando al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP), a través del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria – SENASA, como autoridad de aplicación de dicha ley (IICA, 2009).

En los sistemas áridos y semiáridos existe un elevado riesgo de pérdida gradual de la materia orgánica de los suelos, y consecuentemente de las propiedades y funciones relacionadas con ella (Kowaljow, 2009; Haider Khan *et al.*, 2013). Por ello, cuando estos tipos de suelos son destinados a la producción agrícola, es esencial el agregado de materia orgánica para incrementar la fertilidad y obtener óptimos rendimientos de manera sustentable (Celik *et al.*, 2010; Mehdaoui *et al.*, 2021). Este agregado de materia orgánica mejora la estructura del suelo, la retención de agua, aumenta la porosidad, la capacidad de intercambio catiónico, y es fuente de macro y micronutrientes (Granval & Lucero, 2011; Mehdaoui *et al.*, 2021).

Una de las fuentes más comunes de materia orgánica utilizadas en la agricultura son los desechos que la misma actividad produce. La aplicación de estos compuestos orgánicos compostados o biocompostados es una práctica recomendada desde el punto de vista agrícola y ambiental para reducir la contaminación que producen, recuperar suelos degradados y suministrar nutrientes para las plantas (Miglierina & Laurent, 2008; Rautenstrauch *et al.*, 2010; Doula *et al.*, 2012; Llimós *et al.*, 2021).

El aceite de oliva, también llamado ‘oro líquido’ tiene excelentes propiedades nutricionales y su consumo está aumentando en todo el mundo (Dermechea *et al.*, 2013; Banco *et al.*, 2020). Así mismo, tanto la producción como la industrialización olivícola generan grandes cantidades de residuos y subproductos que requieren una gestión adecuada para minimizar su impacto ambiental (Cegarra Rosique *et al.*, 2004; Fabro & Ocampo, 2019).

De la extracción del aceite se generan 850 kg de alperujo por cada tonelada de aceituna procesada cuando se utiliza el sistema de extracción denominado ‘de dos fases’. El ‘alperujo’ es un residuo sólido (Gómez *et al.*, 2013; Monetta, 2014), cuyo compostaje e incorporación al suelo constituye una gran alternativa para atenuar su acumulación, mejorar la fertilidad física, química y biológica de los suelos, obteniendo la máxima calidad de un producto más sano y natural (Bastida *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2013).

Por su parte, el denominado “té de compost” es un extracto líquido producido a partir de compost, y que contiene microorganismos beneficiosos y nutrientes. Estos elementos aportan a los cultivos vitalidad y vigor para poder hacer frente a enfermedades y plagas al fortalecer el sistema inmunológico de las plantas. Con su aplicación se trata de evitar el uso de fungicidas, herbicidas, plaguicidas y fertilizantes químicos mediante el restablecimiento de la microflora del suelo (Diver, 2002; Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2012; St Martin & Brathwaite, 2012).

En la provincia de Catamarca la producción olivícola se está incrementando notablemente sobre suelos muy frágiles que han sido desmontados y de los cuales se desconoce la evolución que experimentarán bajo nuevos sistemas productivos. Esta tesis visa dilucidar esta incógnita aportando información que pueda ser utilizada para conservar/mejorar los suelos en sistemas productivos olivícolas.

I.2. ANTECEDENTES

I.2.1. Cultivo del olivo

El Olivo (*Olea europae* L.) es un árbol perennifolio que pertenece a la familia *Oleaceae*, que puede alcanzar hasta 15 m de altura, con copa ancha y tronco grueso (Figura 1.1). La corteza es finamente fisurada, de color gris o plateado, con hojas opuestas de 2 a 8 cm de largo, lanceoladas con el ápice ligeramente puntiagudo, enteras, coriáceas, glabras, y con un pecíolo muy corto; de color verde grisáceo, oscuras por el haz y más pálidas y densamente escamosas por el envés. Florece en inflorescencias (racimos), compuestas de 10 a 40 flores, según la variedad. Son flores polígamas, blanco-verduscas inconspicuas, bracteadas y con cáliz en cúpula de 4 dientecitos y corola de 4 pétalos abiertos. Tienen 2 estambres y un pistilo bilobado. El fruto es conocido con el nombre de aceituna u oliva, el cual es una drupa succulenta y muy oleosa, de 1 a 3,5 cm de largo, ovoide o algo globosa, verde al principio y que luego adquiere un color negro-morado en su plena madurez. En el fruto se distingue el pedúnculo o rabillo, epicarpio o piel, mesocarpio o carne, endocarpio o hueso, y el embrión o semilla. La composición química media de una aceituna es 50% agua, 22% aceite, 19,1% azúcares, 5,8% celulosa, 1,6% proteínas y 1,5% de cenizas (Lavee, 1996).

El olivo es una especie típica de zonas de clima mediterráneo, y presenta una serie de requerimientos que limitan su área de distribución. Es sensible a las heladas, pero existen variedades que pueden soportar temperaturas de hasta -10°C. Las altas temperaturas son perjudiciales, sobre todo durante el periodo de floración, considerando un rango apropiado entre 25 y 35°C (Tapia *et al.*, 2003; Borgo *et al.*, 2011; Banco *et al.*, 2020).

La floración ocurre entre octubre y enero mientras que la fructificación se lleva a cabo entre marzo y junio en el hemisferio sur. Las principales utilidades comerciales son la aceituna de mesa, y un aceite muy apreciado conocido como aceite de oliva (Matías *et al.*, 2010).



Figura 1.1. Planta de Olivo cv. Arbequina (a), flor (b) y fruto (c). Frutos del Norte S.A. Pomán, Catamarca, 2014.

I.2.2. Importancia de la olivicultura

La producción mundial de aceitunas se destina principalmente a la obtención de aceites (90%) y el resto para la elaboración de aceituna de mesa (10%) (Matías *et al.*, 2012). El consumo de estos productos se encuentra en expansión a nivel mundial, con una marcada propensión a la ingesta de aceite de oliva en los países de la zona del mediterráneo europeo que muestra mayor nivel de adopción por ser beneficioso para la salud. Por otro lado, la producción presenta un comportamiento errático en cuanto a sus volúmenes, especialmente debido a la vecería (alternancia en los volúmenes de producción) (Banco *et al.*, 2020).

Se puede describir el negocio olivícola mundial relevando las producciones y exportaciones obtenidas y estimaciones para el ciclo 2021/22 (International Olive Council, 2022) (Figuras 1.2 y 1.3).

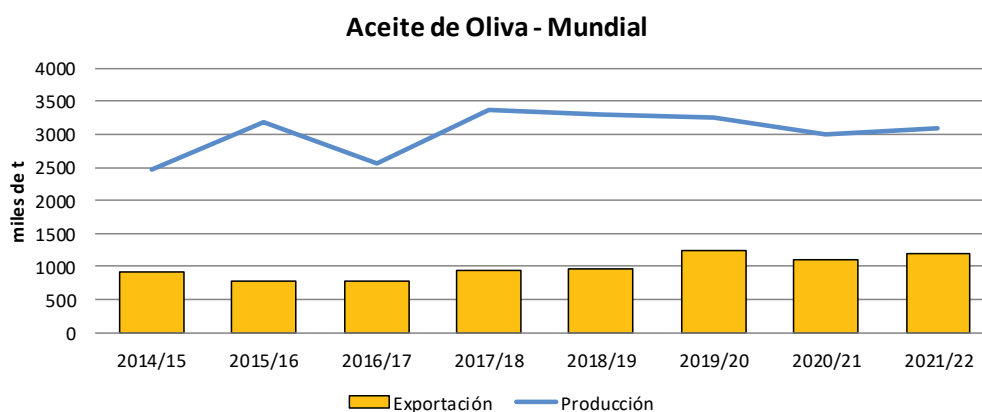


Figura 1.2. Evolución del mercado del aceite de oliva mundial (miles de toneladas) para las campañas 2015 a 2022. IOC (2022).

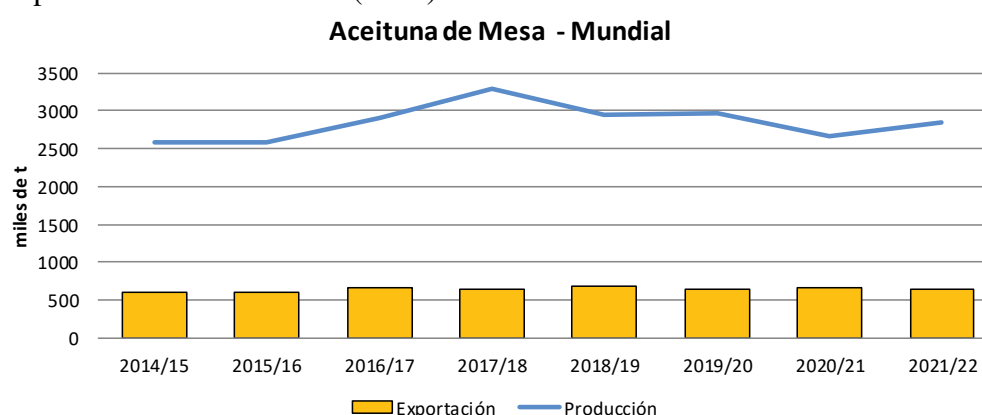


Figura 1.3. Evolución del mercado de la aceituna de mesa mundial (miles de toneladas) para las campañas 2015 a 2022. IOC (2022).

A principios de la década de los 90´ Argentina ingresó en una etapa de profundas transformaciones, apareciendo como un “nuevo actor” de la olivicultura mundial, constituyéndose en pocos años en el principal centro de producción de aceite de oliva y aceitunas de mesa fuera de la cuenca del Mediterráneo (Matías *et al.*, 2012). La producción de aceite de oliva se ha triplicado en los últimos 60 años (Cámara Olivícola de San Juan, 2021; IOC, 2022) (Tabla 1.1 y 1.2).

Tabla 1.1. Evolución del mercado del aceite de oliva en Argentina (miles de toneladas) para las campañas 2015 a 2022. Fuente: IOC (2022).

Campaña	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22
Producción	30,0	24,0	24,0	45,0	28,0	30,0	30,0	30,0
Consumo	6,5	7,5	7,5	8,0	7,5	7,5	7,5	7,5
Importación	-	-	-	-	1,5	0,5	1,0	0,5
Exportación	12,0	31,0	16,5	37,5	21,5	23,0	23,0	23,0

Referencia: La información del ciclo 2021/22, proviene de estimaciones del IOC (2022).

Tabla 1.2. Evolución del mercado de la aceituna de mesa en Argentina (en miles de toneladas) para las campañas 2015 a 2022. Fuente: IOC (2022).

Campaña	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22
Producción	120,0	73,0	96,0	106,0	80,0	80,0	78,0	78,0
Consumo	25,0	35,0	40,0	40,0	35,0	25,0	25,0	25,0
Importación	-	-	-	-	-	-	-	-
Exportación	46,5	56,0	61,5	60,0	55,5	54,5	53,5	53,0

Referencia: La información del ciclo 2021/22, proviene de estimaciones del IOC (2022).

La República Argentina es el principal productor y exportador olivícola del continente americano (Iglesias Paz, 2018). Actualmente es el décimo productor mundial de aceitunas en conserva, y el onceavo de aceites de oliva. La producción nacional representa alrededor del 4% del total mundial (Gallego & Jury, 2011).

La superficie implantada con olivos en el país se estima en 85.200 ha, siendo las principales provincias productoras: Catamarca, La Rioja, Mendoza, San Juan, Córdoba, Buenos Aires y Río Negro. Del total nacional, el 65% posee variedades aceiteras y el 35% restante, variedades para conserva o doble propósito. Del total de hectáreas de olivo implantados en el país, aproximadamente 51.000 ha corresponden a plantaciones nuevas, mayormente destinadas a la elaboración de aceite de oliva (Gallego & Jury, 2011).

Los principales destinos de los aceites argentinos son EE.UU., Brasil, Unión Europea y Japón. De la producción nacional de aceitunas en conservas, un 60% se destina a exportación, y el principal destino es Brasil; le siguen Japón, Uruguay, la Unión Europea y EE.UU.

Argentina anualmente elabora alrededor de 40.000 t. de aceite de oliva, en su mayoría de calidad virgen extra, con algunas oscilaciones según el año que se considere. El 75% al 80% se exporta fundamentalmente a granel siendo los principales destinos Brasil para el aceite a granel y EEUU para el aceite envasado. Actualmente la industria olivícola se encuentra en plena expansión, con una importante superficie que aún no ha entrado en producción plena, y continúa creciendo a una tasa anual del 5%. A esto se le suma el hecho que nuestro país es miembro activo del Consejo Olivícola Internacional (COI), lo que le da a nuestros aceites un estándar internacional superior (Gallego & Jury, 2011; Banco *et al.*, 2020).

El notable incremento del cultivo del olivo en Argentina se debió fundamentalmente a incentivos gubernamentales para fomentar la inversión en el sector

agropecuario de capitales foráneos a economías regionales. La Ley Nacional de diferimientos impositivos N° 22.021, y su modificatoria N° 22.702, tuvo gran impacto en el asentamiento de nuevas explotaciones olivíferas en zonas del noroeste del país. El crecimiento de la superficie productiva fue acompañado por un desarrollo integral de la industria extractora de aceite en las provincias de Catamarca, La Rioja y San Juan (Matías *et al.*, 2012, Banco *et al.*, 2020).

El desarrollo de la nueva producción olivícola presentó notables diferencias respecto a la tradicional zona mediterránea. Las prácticas culturales aplicadas fueron innovadoras, tales como la preparación del suelo, el aumento de la densidad de plantación, la propagación en vivero propio, la poda, la cosecha mecánica y la fertirrigación.

Otro aspecto que propició este desarrollo olivícola fue la incorporación de nuevos cultivares. En Argentina, durante este proceso se utilizaron variedades como ‘Arauco’, ‘Arbequina’, ‘Manzanilla’, ‘Picual’, ‘Coratina’, ‘Frantoio’ y ‘Barnea’; sin embargo, la más utilizada fue la variedad Arbequina por sus características de bajo vigor, precocidad y alta productividad (Banco *et al.*, 2020).

I.2.3. Perfil productivo de la provincia de Catamarca

La Provincia de Catamarca se encuentra ubicada en la Región Noroeste del país, con una superficie de 104.602 km², presentando 78% de relieve montañoso y 22% de valles y llanuras, lo que origina una gran variedad de condiciones agro-climáticas (Nieva & Pauletto, 2011).

Prácticamente la totalidad de su territorio se integra a la Región Semiárida, disponiendo de escasos recursos hídricos superficiales, con una precipitación media anual inferior a los 90 mm, las cuales a su vez son marcadamente estacionales. Además, la infraestructura de captación, almacenamiento y distribución de agua en superficie es insuficiente y obsoleta (Nieva y Pauletto, 2011).

En cuanto a la taxonomía de suelos existe un predominio de Entisoles (66% de la superficie) y Aridisoles (24%), siendo reducido el porcentaje de Molisoles, Alfisoles e Inceptisoles (10%) (INTA, 1990; Panigatti, 2010).

Se distinguen tres regiones productoras de olivares en la Provincia de Catamarca (Figura 1.4). La región del Valle Central constituida por los departamentos Capayán y Valle Viejo, con una superficie de 10.473 ha; la Región del Valle Pomán localizada en el Bolsón de Pipanaco, con una superficie de 7.620 ha; y la Región de Tinogasta y Andalgalá, caracterizada por ser una zona de altura, de 2.651 ha.

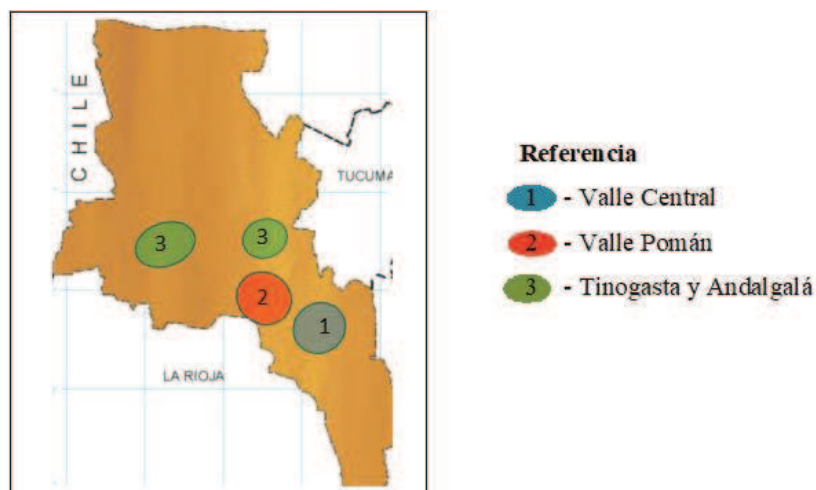


Figura 1.4. Regiones olivíferas de la provincia de Catamarca. ETISIG (2008).

La producción olivícola en Catamarca presenta una larga trayectoria con la llegada de los jesuitas en la época colonial. A partir de la década de los 90 se vio favorecida por la aplicación de la ley N° 22.021 de diferimiento impositivo (Catamarca informe productivo provincial, 2019), alcanzando 20.744 ha de olivos y una producción total de 58.950 t de aceitunas. El 82% de la producción es destinada a la fabricación de aceite, y el 18% restante para aceitunas de mesa. El principal departamento productor de olivo en la Provincia es el de Pomán, representando el 50% del volumen y valor bruto de la producción provincial (Cáceres *et al.*, 2009).

A partir del año 2015, la suba de costos dolarizados, las altas tarifas de electricidad (servicio necesario para el bombeo de agua de riego), la escasez de mano de obra para los trabajos culturales, entre otras razones, hizo que la producción de aceite de oliva enfrentara una severa crisis, por lo que algunos emprendimientos debieron abandonar la actividad (Infobae, 2020).

En la actualidad se estima en más de 15.484,4 ha la superficie olivícola, de las cuales el 75% son destinadas a la producción de aceite de oliva extra virgen (CNA, 2020). El principal destino de la producción industrial es el mercado externo, especialmente Estados Unidos y España (Catamarca informe productivo provincial, 2019).

I.2.4. Residuos

Uno de los principales problemas del siglo XXI es la gestión y manejo de los residuos. Por lo tanto, es fundamental tomar medidas apropiadas al respecto (Sulaiman *et al.*, 2014). La definición de residuo ha sido un aspecto clave en la protección del medio ambiente. Por ello es primordial distinguir entre materiales residuales y materiales que no

son el objeto principal del proceso de producción, pero que se consideran subproductos y no residuos (García de la Fuente, 2011; Carluccio *et al.*, 2016). Por otro lado, se debe considerar la jerarquización y valorización de los residuos en función de su peligrosidad y su posibilidad de reciclaje (Boechat *et al.*, 2017).

Es importante revalorizar el reciclado o utilización de subproductos agroindustriales y su correcta gestión integral, transformando un problema en una solución en pos a la preservación del medio ambiente y la salud (Riedel, 2016).

La agroindustria del aceite de oliva genera beneficios socioeconómicos importantes en las zonas productoras, pero al mismo tiempo libera cada año diferentes subproductos contaminantes al medio ambiente, grandes cantidades de restos de poda y residuos de la actividad extractiva del aceite de oliva, cuyos volúmenes y características dependen del método utilizado para dicha extracción (Monetta *et al.*, 2012; Toscano *et al.*, 2013; Filippín *et al.*, 2017).

Los principales residuos y/o subproductos de la industria extractiva del aceite de oliva son el alpechín y el alperujo; el primero generado por los sistemas de prensa de tres fases, y el segundo por el de dos fases (Hernández, 2009; de Bustos & Montalván, 2018).

El proceso tradicional de ‘tres fases’ está siendo sustituido por el de ‘dos fases’, el cual representa un ahorro en el consumo de agua y energía y evita la producción de alpechines, que son residuos líquidos con un alto poder contaminante (Hanifi & Hadrami, 2009; de Bustos & Montalván, 2018). El proceso de ‘dos fases’ da lugar al aceite de oliva y a un residuo semisólido (60-70% de humedad) denominado alperujo (alpechín + orujo) cuya composición varía de acuerdo al suelo cultivado, tiempo de cosecha, grado de maduración del fruto, variedad de aceituna, condiciones climáticas, uso de fertilizante, entre otros (Albuquerque *et al.*, 2004; Pozzi *et al.*, 2010; Bauzá & Araniti, 2011).

Por cada tonelada de aceituna procesada se genera 850 kg de alperujo (Gómez *et al.*, 2013; Monetta, 2014) constituido por restos grasos, agua de vegetación y pericarpio de la aceituna (pulpa, carozo y piel). Este residuo es de difícil degradabilidad, pH ácido, y alto contenido de materia orgánica y polifenoles (Paroldi *et al.*, 2014). El alperujo es considerado un potencial contaminante ambiental por su alto contenido de polifenoles, azúcares, polisacáridos, proteínas, taninos y lípidos, sustancias de difícil biodegradación (Hanifi & Hadrami, 2009). Además, presenta actividad fitotóxica y antimicrobiana, (Aviani *et al.*, 2010).

La necesidad de lograr mayor sostenibilidad dentro de la cadena olivícola, las demandas de los consumidores por alta calidad del producto, y las exigencias sociales y

del Estado por prácticas con mínimo impacto ambiental, despertó el interés de los investigadores y científicos por la gestión y aprovechamiento de los residuos (Galanakis, 2017).

La dificultad en el manejo y disposición final del alperujo están vinculados a varios factores: i) la estacionalidad: se generan grandes volúmenes de residuos en un corto período coincidente con la máxima demanda de personal para la cosecha, molienda y elaboración de aceite; ii) contaminación: debido a la alta carga orgánica y residuos de aceite, su acumulación en superficie pueden ocasionar contaminación de napas, emanación de olores, y puede favorecer la propagación de moscas e insectos; iii) costos de transporte: el manejo y transporte de los residuos cada vez representan costos más alto debido al volumen y peso por el elevado contenido de humedad (INTA, 2017).

Entre las principales alternativas para minimizar los riesgos de contaminación por las aceiteras, están las de aprovechar los subproductos para elaborar carbón activado, polifenoles y aceites; pueden ser usados como alimento para cerdos e incluso se generaron tecnologías para la producción de energía eléctrica y biocombustibles (Hernández, 2009; Luna *et al.*, 2019). Sin embargo todas estas alternativas conllevan gastos e infraestructuras ostentosas.

En el sector agrícola y zonas áridas se utiliza un tratamiento económico y sustentable, convirtiendo el subproducto de la agroindustria olivarera en abonos para incorporarlo a tierras con baja fertilidad, lo que también requiere de tecnología y un procesamiento adecuado (compostaje) para prevenir la contaminación de los suelos (Toscano *et al.*, 2013; Fernández Hernández *et al.*, 2014).

Experiencias locales e internacionales demostraron que la aplicación de alperujo crudo en plantaciones olivícolas en dosis definidas, mejora las condiciones generales del suelo (Monetta *et al.*, 2014). Por otra parte, existen reportes de efectos no deseados como salinidad y fitotoxicidad, cuando la aplicación del alperujo crudo no se realiza de forma controlada (INTA, 2017).

Los residuos generados en el Valle Central de la Provincia de Catamarca, se destinan principalmente como combustible para calderas (74%), mientras que el resto se incorpora compostado en lotes en producción (19%) y para el acondicionamiento de caminos y elaboración de carbón activado (4%) y otros. (Filippín *et al.*, 2017; Gómez *et al.*, 2019).

I.2.5. Enmiendas orgánicas

En el suelo se desarrollan una serie de funciones fundamentales para la vida de las plantas, especialmente lo relacionado al suministro de agua y nutrientes (Kowaljow, 2009). La calidad de los suelos es uno de los factores más importantes en el sostenimiento global de la biosfera y en el desarrollo de prácticas agrícolas sustentables. La materia orgánica es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga *et al.*, 2008).

El gran crecimiento productivo por la intensificación y expansión agrícola en las últimas décadas, impactaron negativamente sobre el ambiente, con la degradación del suelo, pérdida de la biodiversidad y contaminación con agroquímicos (Andrade, 2017). Se ha intentado mejorar las propiedades del suelo mediante distintos tipos de intervenciones, entre las que figuran la siembra intercalada de pasturas, labranzas que faciliten la captación de semillas, descompactación, aplicación de fertilizantes inorgánicos, entre otras (Kowaljow, 2009); sin embargo, el éxito de estas intervenciones han sido parciales. La adición de enmiendas orgánicas es otra práctica recomendada para recuperar suelos degradados de regiones semiáridas con resultados promisorios y sustentables (Hachicha *et al.*, 2008; Kowaljow, 2009; Novo *et al.*, 2013), además reducen el movimiento de los plaguicidas en el suelo jugando un papel importante en la disminución de la contaminación ambiental (Nicolás *et al.*, 2012). La fertilización inorgánica muestra muy buena respuesta a los cultivos pero la fertilización orgánica impacta además en las propiedades potenciales del suelo, tanto físico-químicas como biológicas (Kowaljow *et al.*, 2010).

Las enmiendas orgánicas incorporadas al suelo no sólo aportan el carbono orgánico y sus diferentes fracciones sino que tienen una serie de efectos sobre la actividad microbiana y su proliferación. Los microorganismos son en gran medida responsables de los ciclos de los elementos en el suelo y están involucrados en la descomposición de la materia orgánica a nivel de ecosistema (Bastida *et al.*, 2008). Sin embargo, el uso de enmiendas orgánicas no está exento de riesgos y su eficacia se determina por su estabilidad en el suelo. Varios autores han sugerido que estos productos pueden conllevar algunos riesgos potenciales, principalmente de fitotoxicidad por la presencia de polifenoles, grasas y ácidos orgánicos (Bastida *et al.*, 2008; Hernández, 2009).

Por ello, se debe tomar conciencia de la importancia y significación ecológica de la materia orgánica, y del creciente interés que tiene su incorporación al suelo de la forma

más adecuada, de modo de aprovechar los residuos orgánicos en el reciclado de nutrientes, en la búsqueda de un balance adecuado entre los procesos de humificación, mineralización y la extracción por las cosechas. Con el mantenimiento de un balance positivo de materia orgánica, se mantiene la fertilidad del suelo y se alcanzan las condiciones adecuadas para una producción sostenible de los cultivos (Hernández, 2009).

La aplicación de residuos compostados o biocompostados aumentan el contenido de materia orgánica en el suelo, lo cual es muy positivo en su recuperación, fertilidad, biodiversidad, y para prevenir la erosión, especialmente en los olivares orgánicos donde los programas de fertilización presentan opciones muy limitadas (Tejada *et al.*, 2011; Repullo *et al.*, 2012; Rautenstrauch, 2013).

El compostaje y biocompostaje

Una de las prácticas más recomendadas para el tratamiento de los residuos orgánicos, previo a la aplicación al suelo para su utilización en la agricultura, es el compostaje (Franke Whittle *et al.*, 2014). Este es un proceso bio-oxidativo controlado que involucra diferentes etapas. Debido a la alta actividad microbiana y condiciones de humedad y aireación controladas, el proceso se inicia con el aumento de la temperatura y una lenta degradación de la materia orgánica, alcanzando los 60-70°C, lo que produce la pasteurización y destrucción de patógenos y semillas invasoras. Posteriormente la temperatura empieza a descender y finaliza en la etapa de maduración con la producción de materia orgánica estabilizada y minerales (Comesaña *et al.*, 2017).

El compostaje es, por lo tanto, una estrategia efectiva para estabilizar residuos orgánicos crudos o frescos, evitando la liberación rápida de nutrientes, y consecuentemente, el riesgo de contaminación de napas subterráneas por lixiviación. Por otro lado, el compostaje garantiza una reducción adecuada de los patógenos potencialmente presentes en el residuo crudo, resultando en un producto inocuo para la salud humana y animal (Kowaljow, 2009; Abu Qdais & Al Widyan, 2016), donde se convierten los materiales orgánicos en una sustancia estable que puede ser manejada, almacenada, transportada y aplicada al suelo sin efectos adversos para el ambiente (Miglierina & Laurent, 2008; Haider Khan *et al.*, 2013).

El compost también contiene naturalmente bacterias y hongos beneficiosos. Sin embargo, Ingham (2005) recomienda agregar organismos que promuevan el compostaje, favoreciendo la diversidad y crecimiento de la actividad microbiana. El Biocompost o Biohumus se basa en la incorporación de bacterias específicas aeróbicas y facultativas,

que permiten administrar la biomasa y así acelerar los tiempos naturales del compostaje (Rautenstrauch, 2013).

El alperujo es un buen material para compostar debido a su elevado contenido en materia orgánica (MO); si bien su composición química (compuestos lignocelulósicos y fenoles), puede enlentecer el proceso de degradación. La despolimerización de la lignina produce una gran variedad de compuestos aromáticos, algunos de los cuales son mineralizados y otros participan activamente en la formación de compuestos húmicos y fúlvicos, dando lugar a un compost de alto grado de madurez y estabilidad (Serranía Moreno, 2013).

El compostaje de alperujo se considera una tecnología de bajo costo que puede ser utilizada, según sus características en forma sólida o líquida, como enmienda orgánica y húmica, y como fertilizante orgánico. Por lo tanto, constituye una alternativa de gestión de los residuos de la industria olivícola, tanto desde el punto de vista económico como ecológico (Cegarra Rosique *et al.*, 2004; Fernández-Hernández *et al.*, 2014). Este producto puede propiciar efectos positivos sobre la fertilidad del suelo en el sentido más amplio e igualmente sobre el crecimiento de los cultivos (Hernández, 2009; Doula *et al.*, 2012).

Uso de los compost en la agricultura

La aplicación de carbono orgánico en forma de compost es una práctica agronómica ancestral y muy común en la agricultura (Rojas *et al.*, 2013), reportando bajo costo y gran poder de absorción para la eliminación de pesticidas (Delgado Moreno *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2011). En países como España, en el marco de la legislación del compost se debe garantizar su implicancia en el medio ambiente, valorar y caracterizar su calidad, verificando tanto el origen de los residuos (restos domiciliarios, estiércoles, residuos industriales) como su destino (enmienda física, orgánica, fertilizante, otras) y atentos también al proceso y maduración del compost (Ansorena *et al.*, 2014).

El compostaje demostró ser un método de valorización eficiente para transformar desechos en enmiendas orgánicas para el suelo (Akratos *et al.*, 2017). Sin embargo, la calidad nutricional y estabilidad del compost no siempre resulta adecuada, por lo que antes de aplicar un compost al sistema de cultivo se debe verificar la buena calidad de este, es decir que esté suficientemente maduro y estable y libre de sustancias tóxicas (Mazzarino & Satti, 2012; Abu Qdais & Al Widyan, 2016).

En zonas áridas y semiáridas caracterizadas por tierras con bajos niveles de materia orgánica, baja capacidad de retención de agua y nutrientes, y con deficientes poblaciones microbiana (Hall & Bell, 2015), la utilidad del compost cobra mayor valor. Frente a la necesidad de incrementar los niveles de materia orgánica del suelo y la poca oferta de materiales orgánicos, en las últimas décadas se suma la aparición de industrias agropecuarias que producen y acumulan grandes volúmenes de residuos (Filippín *et al.*, 2012).

El compost de alperujo, además de aportar grandes cantidades de materia orgánica, posee un importante valor agrícola por su contenido mineral y en particular la alta concentración de potasio (López Piñeiro *et al.*, 2007; Fernández Hernández *et al.*, 2014). El aporte de nutrientes esenciales y el efecto sobre el cultivo dependen de las características y tipos de compost y de las dosis utilizadas, así como de las propiedades y tipo del suelo (Mazzarino & Satti, 2012). Se observaron mejoras en la infiltración del suelo y en la absorción de agua, originando aumentos en los rendimientos de los cultivos (Hernández, 2009).

En cultivos con sistemas de riego localizado es frecuente el uso de productos orgánicos líquidos como los ácidos húmicos y la materia orgánica líquida para mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo, así como la nutrición de los cultivos (Hernández, 2009). Este autor también menciona que se puede utilizar el ‘té de compost’ o ‘extracto de compost’, que es un extracto acuoso elaborado con compost o vermicompost en suspensión en agua, usualmente obtenido por agitación, y que puede ser usado como fertilizante líquido por su contenido en nutrientes solubles, y/o para controlar enfermedades ocasionadas por hongos en el sistema radical o en la copa de los cultivos.

Según Ingham (2005) los extractos líquidos del compost obtenidos por lixiviado, por métodos aireados, anaeróbicos o fermentados, dan origen a un producto rico en microorganismos y con las características del compost de origen. Sin embargo, la efectividad de este tipo de productos está en función de la forma de extracción, de la edad del compost y la naturaleza de los residuos o ingredientes de origen (Mazzarino & Satti, 2012; Fernández-Hernández *et al.*, 2014), por lo que es fundamental contar con su caracterización físico-química previo a su utilización.

La acumulación de residuos de la industria olivícola en Catamarca está causando problemas de falta de espacio por los grandes volúmenes que se originan, además de contaminación ambiental. Por otra parte, existe la necesidad de incorporar materia orgánica al suelo para mejorar su fertilidad, dado que en la región productora de olivos

predominan Entisoles y Aridisoles, suelos con muy escasa fertilidad química y excesivo drenaje. Esta problemática podría minimizarse mediante la incorporación de abonos derivados del compostaje de los residuos de la industria olivarera (alperujo) con los restos de poda chipeados de los olivos, ya sea en forma de abono sólido o líquido. A pesar de la relevancia del tema en Argentina, y especialmente en Catamarca, existe muy poca información sobre la composición físico-química de los abonos sólidos y líquidos derivados del proceso de compostaje del alperujo y restos de poda de los olivares. Tampoco se conoce cuáles son los efectos positivos o negativos de su utilización sobre la producción de los olivos y sobre el suelo; menos aún se conoce la distancia desde el punto de aplicación (cerca del tronco) hacia las entrelíneas en que se verifican las modificaciones. Con base en los antecedentes se plantean las siguientes hipótesis:

I.3. HIPÓTESIS

Esta tesis plantea corroborar las siguientes hipótesis:

1. El compostaje de los desechos de la industria olivícola genera productos sólidos y líquidos con bajo contenido de elementos fitotóxicos por lo que tienen un gran potencial de uso como enmiendas y/o fertilizantes ya que promueven la germinación y el desarrollo de diversas especies vegetales.
2. La utilización de estos productos en los olivares, independientemente de su forma física, incrementa la fertilidad de los suelos a pesar de la intensa extracción y exportación de nutrientes que implica la producción olivícola.
3. La aplicación de dichos productos mejora el rendimiento de los olivares, aunque su efectividad sobre la respuesta productiva depende de la forma física (sólido vs líquido) y del sistema de aplicación (al suelo o a las plantas vía aspersión).

I.4. OBJETIVOS

I.4.1. Objetivo General

Generar información científica sobre las características de los abonos producidos a partir del compostaje de residuos de la industria olivarera, en sus diversas formas físicas, y sobre el efecto de su aplicación sobre la fertilidad del suelo y el rendimiento de los olivares, para verificar su potencial para resolver/mitigar los problemas asociados a suelos empobrecidos, prácticas agrícolas no sustentables y la acumulación de desechos agroindustriales.

I.4.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar física, química y microbiológicamente el abono obtenido del compostaje de los residuos olivícolas, tanto en su forma sólida (abono sólido: AS) como líquida (abono líquido: AL).
- b) Evaluar la presencia de compuestos fitotóxicos a través de diferentes test de germinación para verificar su inocuidad para las plantas.
- c) Determinar las características físico-químicas de los suelos en los que se utilizaron abonos sólidos y líquidos, con diferentes sistemas y períodos de aplicación.
- d) Cuantificar la respuesta productiva de los olivares en las diversas situaciones planteadas previamente.

Esta tesis se presenta en forma de capítulos, donde el:

- Capítulo I expone la Introducción General del trabajo;
- Capítulo II corresponde a los objetivos a y b, visando responder la Hipótesis 1;
- Capítulo III corresponde al objetivo c, visando responder la Hipótesis 2;
- Capítulo IV corresponde al objetivo d, visando responder la Hipótesis 3;
- Capítulo V presenta la discusión y conclusiones generales de todos los estudios realizados.

I.5. BIBLIOGRAFIA

Abu Qdais, H.; Al Widyan, M. (2016). Evaluating composting and co-composting kinetics of various agro-industrial wastes. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 5:273-280. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0137-3>.

Akratos, C.S.; Tekerlekopoulou, A.G.; Vasiliadou, I.A.; Vayenas, D.V. (2017). Cocomposting of olive mill waste for the production of soil amendments. En: Galanakis, C. (Ed). *Capítulo 8. Olive Mill Waste*. 161-182. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-805314-0.00008-X>.

Albuquerque, J.A.; González, J.; García, D.; Cegarra, J. (2004). Agrochemical characterization of alperujo; a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology* 91:195-200.

Alós, M.E. (2021). La innovación es clave para aumentar la producción de forma sostenible. *Alimentos Argentinos: Estrategias para el desarrollo del sistema agroalimentario argentino*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca – Buenos Aires 79:1-2. <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/>.

Andrade, F. (2017). Los desafíos de la agricultura argentina Satisfacer las futuras demanda y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA. Buenos Aires. 120 p.

Ansorena, J.; Batalla, E.; Merino, D. (2014). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos. Fraisoro. Valencia, España. 75 p.

Aviani, I.; Medina, S.; Krassnovsky, A.; Raviv, M. (2010). Co-composting of solid and liquid olive mill wastes: Management aspects and the horticultural value of the resulting composts. *Bioresource Technology* 101: 6699-6706.

Banco, A.P.; Trentacoste, E.R.; Calderón, F.J. (2020). Colección de olivos en Mendoza. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Mendoza, Argentina. 132 p.

Bastida, F.; Kandeler, E.; Moreno, J.; Ros, M.; García, C.; Hernández, T. (2008). Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. *Applied Soil Ecology* 40:318-329.

Bauzá, M.M.; Araniti, E.V. (2011). Obtención de aceite de oliva virgen. En: *Olivicultura en Mendoza: Raigambre de una actividad que se renueva*. Bauzá, M.; Lépez, Cl. (Eds.) Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Fundación Marzano. 290-320.

Boechat, C.L.; Miranda de Santana Arauco, A.; Duda, R.M.; Sampaio de Sena, A.F.; Lopes de Souza, M.E.; Campos Brito, A.C. (2017). Solid waste in agricultural soils: An approach based on environmental principles, human health, and food security. En: *Solid waste management in rural areas*. Mihai, F.C. (Ed.). 81-103. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69701>.

Bonvini, N. (2021). Tendencias que dan forma al futuro de la industria alimentaria. *Alimentos Argentinos: Estrategias para el desarrollo del sistema agroalimentario Argentino*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca – Buenos Aires 79:5-8. <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/>.

Borgo, R.; Puertas, C.M.; Trentacoste, E. (2011). Aspectos fisiológicos que afectan la producción. En: *Olivicultura en Mendoza: Raigambre de una actividad que se renueva*. Bauzá, M.(Eds). Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Fundación Marzano. 111-134.

Cáceres, R.; Novello, R.; Robert, M. (2009). Análisis de la cadena del olivo en Argentina. *Estudios socioeconómicos de los sistemas agroalimentarios y agroindustriales*. INTA: 102. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-olivo_2742.pdf.

Cámara Olivícola de San Juan. (2021). Boletín informativo del Consejo Oliva Internacional n° 144. <https://www.camaraolivicola.com.ar/informes-coi/>.

Carluccio, D.; Pacheco, P.; Cuenca, A; Filippin, A.J. (2016). Caracterización de biomasa residual de la cadena productiva del olivo). I Simposio de Uso de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales del NOA y Cuyo: resúmenes y mesa redonda. Ediciones INTA. San Fernando del Valle de Catamarca. 33 p. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_i_simposio_de_uso_de_residuos_agropecuarios_y_agroindustriales_del_noa_y_cuyo_en_la_argentina_resumenes_y_mesas_redondas.pdf.

Catamarca Informe productivo provincial. (2019). Subsecretaria de Programación Microeconómica. Secretaria de Política Económica. Ministerio de hacienda Presidencia de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_informes_productivos_provinciales_catamarca.pdf.

Cegarra Rosique, J.; Albuquerque, Méndez J.; González, J.; García, D. (2004). Tratamiento del orujo de oliva de dos fases mediante compostaje. *Olivae: Revista Oficial del Consejo Oleícola Internacional* 101:12-17.

Celik, I.; Gunal, H.; Budak, M.; Akpınar, C. (2010). Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma* 160:236-243.

CNA (Censo Nacional Agropecuario). (2020). Censo Nacional Agropecuario 2018, resultados preliminares. Agricultura. 1ª ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Instituto Nacional de Estadística y Censos. INDEC. Libro digital PDF Archivo Digital. https://www.indec.gob.ar/ftp/tablas/economia/cna2018_resultados_preliminares_agricultura.pdf.

Comesaña, I.V.; Alves, D.; Mat, S.; Romero, X.M.; Varela, B. (2017). Decentralized Composting of Organic Waste in a European Rural Region: A Case Study in Allariz (Galicia, Spain). In (Ed.), *Solid Waste Management in Rural Areas*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69555>.

de Bustos, M.E.; Montalván, D. (2018). Situación actual del residuo de la extracción de aceite de oliva: Características del alperujo. En: *Experiencias de uso del alperujo como abono en la provincia de Catamarca*. INTA Ediciones. 3-6.

Delgado Moreno, L.; Wu, L.; Gan, J. (2010). Effect of dissolved organic carbon on sorption of pyrethroids to sediments. *Environmental Science & Technology* 44:8473-8478.

- Dermechea, S.; Nadoura, M.; Larrocheb, C.; Moulti-Mata, F.; Michaudb, P. (2013). Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization Strategies. *Process Biochemistry* 48:1532-1552.
- Diver, S. (2002). Notes on compost teas: A Supplement to the ATRA Publication. *Compost teas for plant disease control*. 12 p.
- Doula, K.; Tinivella, F.; Moreno Ortego, L.; Kavvadias, V.; Sarris, A.; Theocharopoulos, S.; Sánchez-Monedero, M.; Elaiopoulos, K. (2012). Good practices for the agronomic use of olive mill wastes. *Science for Life. Prosodol*. 61 p.
- ETISIG. (2008). Atlas Catamarca Gobierno Provincia de Catamarca. www.atlas.catamarca.gov.ar.
- Fabro, M.A.; Ocampo, E.Y. (2019). Cooperación internacional para el agregado de valor del residuo olivícola. II Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales del NOA y Cuyo Trabajos completos y comunicaciones. Ediciones INTA. *Experimental Agropecuaria INTA San Juan*. :276-277. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-libro_de_trabajos_del_ii_sraya_noa_y_cuyo_-san_juan_2018.pdf.
- Fernández Hernández, A.; Roig, A.; Serramiá, N.; García-Ortiz, C.; Sánchez-Monedero, M. (2014). Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil olive fruit and olive oil quality. *Waste Management* 34:139-1147. <https://www.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.027>.
- Filippín, A.; Luna, N.; Pozzi, M.; Pérez, J. (2017). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activación física. *Avances en Ciencias de Ingeniería* 8(3):59-71. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6308813>.
- Filippín, A.; Pozzi, M.; Matías, A.; Luna, N. (2012). El compostaje: una tecnología aplicada a los residuos agroindustriales y agrícolas de la cadena productiva del olivo. https://www.academia.edu/5329843/EEl_compostaje_una_tecnolog%C3%ADa_aplicada_a_a_los_residuos_agroindustriales_y_agr%C3%ADcolas_de_la_cadena_productiva_del_olivo.
- Franke-Whittle, I.; Confalonieri, A.; Insam, H.; Schlegelmilch, M.; Körner, I. (2014). Changes in the microbial communities during co-composting of digestates. *Waste Management* 34:632-641.
- Galanakis, Ch. (2017). Olive Mill Waste. *Recent Advances for Sustainable Management*. 300 p. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128053140/olive-mill-waste>.

Gallego, M.E.; Jury, C. (2011). Aportes Conceptuales y metodológicos. Plan estratégico olivícola argentino - PEOA 2020. Consejo Federal de Inversiones. 64 p. <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2015/12/plan-olivicola.pdf>.

García de la Fuente, R. (2011). Caracterización y uso de compost de alperujo como enmienda orgánica. Evaluación agronómica y medio ambiental. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Valencia. 465 p.

Gómez, P.; Ribotta, P.; Lorenzo, E.; Segovia, F.; González Vera, C.; Werning, L.; Filippín, A.; Severini, H.; Alurralde, A. (2019). Alternativas para el aprovechamiento integral de residuos agroindustriales en planta piloto de aceite de oliva. II Simposio de residuos agropecuarios y agroindustriales del NOA y Cuyo. San Juan, Argentina, 2018. 90-94. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-libro_de_trabajos_del_ii_sraya_noa_y_cuyo_-san_juan_2018.pdf.

Gómez, P.; Segovia, F.; Lorenzo, M.; Bravo, M.; Herrera, R.; Ribotta, P.; Cañas, M. (2013). Características físico-químicas del agua de vegetación proveniente de la molienda de Arbequina para la obtención de aceite. *Revista del Cizas* 14(1-2):49-63.

Granval, N.; Lucero, L. (2011). Elaboración de compost y lombricultura. La Consulta. INTA EEA La consulta. 42 p.

Hachicha, S.; Sallemi, F.; Medhioub, K.; Hachicha, R.; Ammar, E. (2008). Quality assessment of composts prepared with olive mill wastewater and agricultural wastes. *Waste Management* 28(12):2593-2603.

Haider Khan, Z.A.; Azam, F.; Mukhtiar, A. (2013). Rapid agro-waste composting with biogeyser as a by-product. *Revista Internacional de Ciencias Agrícolas* 3:439-444.

Hall, D.J.M.; Bell, R.W. (2015). Biochar and compost increase crop yields but the effect is short term on sandplain soils of western Australia. *Pedosphere* 25(5):720-728.

Hanifi, S.; Hadrami, I. (2009). Olive mill waste waters: Diversity of the fatal product in olive oil industry and its valorization as agronomical amendment of poor soils. A review. *Journal of Agronomy* 8:1-13.

Hernández, J. (2009). Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas. Efecto como enmiendas sólidas y líquidas. Tesis doctoral. Universidad Politècnica de Valencia. España. 212 p.

Iglesias Paz, H. (2018). Informe olivícola Nacional 2017 Olivicultura Argentina. Ministerio Agroindustrias. <https://www.docplayer.es/95861492-Informe-olivicola-nacional-2017-olivicultura-argentina.html>.

IICA. (2009). La producción orgánica en la Argentina: compilación de experiencias institucionales y productivas. IICA, SENASA, Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca – Buenos Aires. 144 p.

Infobae. (2020). Crisis en la producción de aceite de oliva: los costos son negativos en casi todas las provincias del país. <https://www.infobae.com/campo/2019/02/06/crisis-en-la-produccion-de-aceite-de-oliva-los-costos-son-negativos-en-casi-todas-las-provincias-del-pais/>.

Ingham, E.R. (2005). The compost tea brewing manual. Fifth Edition. Soil Foodweb Incorporated. Oregon. 91 p.

INTA. (1990). Atlas de Suelos de la República Argentina. SAGyP-INTA-Proyecto PNUD ARG/85/019. <http://www.geointa.inta.gob.ar/2013/05/26/suelos-de-la-republica-argentina/>.

INTA. (2017). Reutilización de residuos sólidos y semisólidos del proceso de extracción de aceite de oliva como enmienda orgánica de suelos. Agroindustria/olivo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria San Juan. :17p. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_reutilizacion_de_ro_como_enmienda_organica_de_suelos.pdf.

IOC (International Olive Council). (2022). Cifras mundiales del aceite de oliva y aceituna de mesa. <https://www.internationaloliveoil.org/what-we-do/economic-affairs-promotion-unit/#figures>.

Kowaljow, E. (2009). Las enmiendas orgánicas como recuperadores de parches disturbados del ecotono bosque-estepa en la Patagonia Norte. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Córdoba Argentina. 202 p.

Kowaljow, E.; Mazzarino, M.J.; Satti, P.; Jiménez-Rodríguez, C. (2010). Organic and inorganic fertilizer effects on a degraded Patagonian rangeland. *Plant and Soil* 332:135-145.

Lavee, S. (1996). Biología y fisiología del olivo. En: Enciclopedia mundial del olivo. Blázquez Martínez, J.; Coordinación del Consejo Oleícola Internacional (Ed). Serveis Editorials Estudi Balm+s, S.L. Madrid (España). 61-106.

Llimós, M.; Segarra, G.; Sancho-Adamson, M.; Trillas, M. I.; Romanyà, J. (2021). Impact of olive saplings and organic amendments on soil microbial communities and effects of mineral fertilization. *Frontiers in Microbiology*, 12: 653027. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.653027>.

- López-Piñeiro, A.; Murillo, S.; Barreto, C.; Muñoz, A.; Rato, J.; Albarrán, A. (2007). Changes inorganic matter and residual effect of amendment with two-phase olive-mill waste on degraded agricultural soils. *Science of The Total Environment*. 378:84-89.
- Luna, N; Barrionuevo Cabur, L; Filippín, A. (2019). Pirolisis de alperujo de oliva. De dónde sale el bio oil?. IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Florencio Varela Argentina. https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=39295&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=8812722.
- Matías, A.; Molina, S.; Aybar, V.; Ladux, J.; Ortiz, J. (2012). Olivicultura Argentina y regional. INTA Catamarca. 5 p.
- Matías, C.A.; Toro, A.A; Montalván, L.D.; Molina M.S. (2010) Variedades de olivo cultivadas en las provincias de Catamarca y La Rioja, Argentina. Ediciones INTA. 70 p.
- Mazzarino, M.; Satti, P. (2012). Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción; calidad y uso. 1^{ra} ed. Buenos Aires. Edición gráfica Editora. 348 p.
- Mehdaoui, I.; Maijbar, Z.; Atemni, S.; Jennan, S.; Ainame, T.; Gaga, Y.; Taleb, M.; Rais, Z.; Chetouani, A. (2021). What effects does an organic amendment to olive waste have on the soil and crop yield. *Moroccan Journal of Chemistry* 9(4):776-790. <http://revues.imist.ma/?journal=morjchem&page=login>.
- Miglierina, A.; Laurent, G. (2008). Obtención y aplicación de compost: efecto sobre el cultivo y el suelo. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Galantini, J.A. (ed.). Ed. UNS- Bahía Blanca. 293-302.
- Monetta, P.; Bueno, L.; Cornejo, V.; González-Aubone, F.; Babelis, G. (2012). Short-term dynamics of soil chemical parameters after application of alperujo in high-density drip-irrigated olive groves in Argentina. *International Journal of Environmental Studies* 69:578-588.
- Monetta, P. (2014). Situación de los residuos olivícolas en la provincia de San Juan. Experiencia piloto de co-compostaje de alperujo con residuos agroindustriales locales. INTA San Juan. Curso Seminario: Aprovechamiento agrícola de residuos de la industria olivícola. https://www.academia.edu/signupfile:///C:/Users/hp/Downloads/1_Monetta_Situacion_en_San_Juan_Ensayo_p.pdf.
- Monetta, P.; Ibáñez, A.; Fernández-Gnecco, G.; Avila, A.D.V.; Medina, E.; Paroldi, E.; Toro, M.E.; Vazquez, F. (2014). Preliminary results of soil biological and chemical properties after land spreading alperujo in intensively-managed olive orchards in San Juan, Argentina. *Acta Horticulturae* 1057:693-700.

Nicolás, C.; Hernández, T.; García, C. (2012) Organic amendments as strategy to increase organic matter in particle-size fractions of a semi-arid soil. *Applied Soil Ecology*. 57:50-58.

Nieva, T.; Pauletto, S. (2011). Las transformaciones del espacio rural en el departamento Capayán provincia de Catamarca Argentina. *Revista Geográfica de América Central-Costa Rica*. II Semestre. 12 p.

Novo, L.; Covelo, E.; González, L. (2013). The use of waste-derived amendments to promote the growth of Indian mustard in copper mine tailings. *Minerals Engineering* 53:24-30.

Panigatti, J.L. (2010). Argentina 200 años 200 suelos. Ediciones INTA Buenos Aires. :54-62. <https://www.inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-200-suelos.pdf>.

Pant, A.; Radovich, T.; Hue, N.; Paull, R. (2012). Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth. *Scientia Horticulturae* 148:138-146.

Paroldi, H.; Correa, O.; Sydorenko, O.; Vega, Avila, A.; Medina, E.; Toro, M.; Vázquez, F.; Monetta, P. (2014). Suelos enmendados con alperujo: relación entre parámetros fisicoquímicos biológicos y moleculares. Libro de resúmenes del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo- II Reunión Nacional Materia orgánica y sustancias húmicas. Bahía Blanca. Argentina. 7 p.

Pozzi, M.; Filippín, A.; Matías, C.; Hammann, A. (2010). Posibilidades de uso del Alpechín en fertilización de tierras agrícolas. *Información tecnológica* 21:117-123.

Quiroga, A.; Fernández, R.; Funro, D.; Peinemann, N. (2008). Materia orgánica en molisoles de la región semiárida pampeana. Influencia sobre propiedades físicas y productividad. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Galantini, J.A. (ed.). Ed.UNS- Bahia Blanca. 97-116.

Rautenstrauch, J. (2013). Primeras jornadas de biocompostaje. Universidad de Chilecito La Rioja. <http://seguridadbiologica.com/soluciones-segbio/bio-compost/>.

Rautenstrauch, J.; Aguerre, R.; Casas, R.; Michelena, R. (2010). Síntesis del informe final de resultados de ensayos de biocompost elaborado por Solbío SA. INTA Castelar. <http://www.solbio.com/uploadsoluciones/S%C3%ADntesis%20Informe%20Final%202010.pdf>.

Repullo, M.; Carbonell, R.; Hidalgo, J.; Rodríguez-Lizana, A.; Ordóñez, R. (2012). Using olive pruning residues to cover soil and improve fertility. *Soil and Tillage Research* 124:36-46.

Riedel, J.L. (2016). I Simposio de Uso de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales del NOA y Cuyo: resúmenes y mesa redonda. Ediciones INTA. San Fernando del Valle de Catamarca.

https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_i_simposio_de_uso_de_residuos_agropecuarios_y_agroindustriales_del_noa_y_cuyo_en_la_argentina_resumenes_y_mesas_redondas.pdf.

Rojas, R.; Morillo, J.; Usero, J.; Delgado-Moreno, L.; Gan, J. (2013). Enhancing soil sorption capacity of an agricultural soil by addition of three different organic wastes. *Science of the Total Environment* 458:614-623.

Serramiá Moreno, N. (2013). Evaluación de los Gases de Efecto Invernadero en el compostaje de alperujo y de la inmovilización de carbono en su aplicación al suelo. Universidad de Murcia, Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Tesis. 185 p.

St. Martin, C.C.; Brathwaite, R. (2012). Compost and compost tea: Principles and prospects as substrates and soil-borne disease management strategies in soil-less vegetable production. *Biological Agriculture & Horticulture* 28(1):1-33.

Sulaiman, A.; Othman, N.; Samsu Baharuddin, N.; Noriznan Mokhtar, M.; Tabatabaei, M. (2014). Enhancing the Halal food industry by utilizing food wastes to produce value-added bioproducts. *Social and Behavioral Sciences* 121:35-43.

Tapia, C.F.; Astorga, P.M.; Ibacache, G.A.; Martínez, B.L.; Sierra, B.C.; Quiroz, E.C.; Larraín S.P.; Riveros B.F. (2003). Manual del cultivo del olivo. Boletín INIA Chile N° 101. 128 p.

Tejada, M.; Benitez, C.; Gómez, I.; Parrado, J. (2011). Use of biostimulants on soil restoration: Effects on soil biochemical properties and microbial community. *Applied Soil Ecology* 49:11-17.

Toscano, P.; Casacchia, T.; Deacon, M.; Montemurro, F. (2013). Composted olive mill by-products: Compost characterization and application on olive orchards. *Journal of Agricultural Science and Technology* 15:627-638.

Yu, X.Y.; Mu, C.L.; Gu, C.; Liu, C.; Liu, X.J. (2011). Impact of wood chip biochar amendment on the sorption and dissipation of pesticide acetamiprid in agricultural soils. *Chemosphere* 85:1284-1289.

CARACTERIZACIÓN DE ABONOS DERIVADOS DEL COMPOSTAJE DE ALPERUJO Y RESTOS DE PODA DE OLIVARES

RESUMEN

El compostaje es la técnica de manejo de los residuos orgánicos más recomendada mundialmente. Estos residuos pueden tener variados orígenes, inclusive pueden ser resultado del procesamiento industrial de productos agrícolas, como es el caso del alperujo, que resulta de la extracción de aceite de las aceitunas. Este residuo, una vez compostado, tiene potencial de generar abonos de buena calidad que pueden ser aprovechados como enmienda y/o fertilizante orgánico. Sin embargo, existe escasa información respecto de la calidad que poseen los compost elaborados a base de alperujo con restos de poda de los olivares. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar física, química y microbiológicamente el abono obtenido del compostaje de los residuos olivícolas, tanto en forma sólida (AS) como líquida (AL). Además, se analizó la presencia de sustancias fitotóxicas a través del test de germinación con diferentes especies hortícolas. Los ensayos comprendieron cuatro períodos productivos. Los parámetros químicos, físicos y microbiológicos evaluados (carbono orgánico, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, potasio, cationes solubles, polifenoles, actividad biológica, densidad aparente, densidad de partículas, porosidad) se encontraron en el rango considerado adecuado en el AS y en el AL. No se detectó efectos fitotóxicos del AL en las especies evaluadas. Los resultados indican que ambos abonos presentan características altamente recomendables para su utilización como enmienda y/o fertilizante orgánico, y que el AL es capaz de promover la germinación en espinaca, perejil, albahaca y alfalfa.

II.1. INTRODUCCIÓN

El aceite de oliva tiene excelentes propiedades nutricionales y su consumo está aumentando en todo el mundo. Tanto la producción como la industrialización olivícola generan grandes cantidades de residuos y subproductos que requieren una gestión adecuada para minimizar su impacto ambiental (Ince *et al.*, 2016).

El alperujo es el principal residuo de la extracción de aceite de oliva, luego del centrifugado por el método de dos fases, generando alrededor de 850 kg de alperujo por

cada tonelada de aceituna procesada (Gómez *et al.*, 2013; Monetta, 2014). Es un producto semisólido de textura pastosa y fuerte olor (Serramiá Moreno, 2013; Nunes *et al.*, 2019), formado por restos de pulpa, piel, carozo triturado y agua de los tejidos vegetales. Se caracteriza por tener un contenido graso del 3 al 9%, una humedad entre el 55 y 75%, niveles considerables de materia orgánica, potasio y micronutrientes, bajo contenido de nitrógeno, elevada relación C/N y elevado contenido de lignina, ácidos grasos y sustancias fenólicas (Toscano & Montemurro, 2012).

Para minimizar los riesgos de contaminación por la acumulación de los residuos orgánicos derivados de la industria olivícola, diversas tecnologías se han desarrollado para su aprovechamiento; por ejemplo, a través de la generación de biocombustibles y energía eléctrica, para la obtención de carbón activado, polifenoles naturales, enzimas y aceite que pueden ser utilizados en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria (Nunes *et al.*, 2019). Por otro lado, en el sector agrícola y, en especial, en zonas áridas y semiáridas con suelos caracterizados por su alta fragilidad en términos de estructura y bajos niveles de materia orgánica, estos residuos una vez compostados podrían ser utilizados como enmienda de suelos y fertilizante orgánico para los cultivos (Cruz Hernández, 2009; Rojas *et al.*, 2013), con gran poder de absorción de pesticidas (Yu *et al.*, 2011) y bajo costo.

En Argentina, Catamarca es la tercera provincia olivícola del país, después de Mendoza y La Rioja, con más de 19000 ha plantadas con olivos. Entre el 80 y 90% de la producción de aceitunas se destina a la elaboración de aceite, lo que genera un enorme volumen de residuos orgánicos que podrían ser destinados a la elaboración de compost.

El compostaje es un proceso que consiste en transformar material orgánico crudo en un producto con valor agrícola. Es un proceso bio-oxidativo controlado que involucra un sustrato orgánico heterogéneo y comprende una etapa mesófila, una termófila y una etapa de maduración. La etapa termófila reduce la población de patógenos y de semillas de malezas, mientras que la de maduración favorece la degradación de sustancias fitotóxicas, lo que hace del compost un producto estable, inocuo e inodoro, aunque sus características dependen, entre otros factores, de los materiales que se utilizan en su elaboración (Mazzarino *et al.*, 2012). Para que el compostaje del alperujo sea más eficiente se puede incorporar restos de poda (hojas y ramas trituradas) a modo de agente estructurante y como fuente de nitrógeno, favoreciendo así la oxigenación de la pila y el logro de una relación C/N adecuada. El compost sólido que se genera es un producto inocuo, inodoro y poroso, con niveles reducidos de grasas, sustancias fenólicas y metales

pesados, que constituye una fuente importante de carbono, nutrientes y microorganismos. Por otra parte, a partir de compost maduro de alperujo se puede producir un subproducto líquido, también llamado “té de compost”. Éste es un extracto líquido que contiene microorganismos beneficiosos y nutrientes. El té de compost ha sido utilizado para sustituir el uso de fertilizantes químicos, funguicidas, herbicidas y plaguicidas, ya que permite el restablecimiento de la microflora favorable del suelo (Dearborn, 2011).

En general, la principal limitación en la producción y uso de los compost se deriva de la gran diversidad existente, dado que sus características dependen tanto del material de origen como del proceso que se haya realizado hasta su maduración, lo que en última instancia condiciona su calidad. Comúnmente se acepta que la calidad del compost depende, primeramente, del cumplimiento de criterios ambientales precautorios, entre los que se encuentran límites de tipo y número de patógenos, semillas viables de malezas, estabilidad de la materia orgánica y ausencia de sustancias fitotóxicas, que es un indicador de su madurez (Mazzarino *et al.*, 2012). Para descartar posibles efectos fitotóxicos por el uso de abonos orgánicos se realizan bioensayos de germinación de semillas, debido a su elevada sensibilidad, sencillez, rapidez y reproducibilidad (García de la Fuente, 2011). Una vez cumplidos los criterios ambientales precautorios, la calidad del compost es determinada por su valor agronómico como enmienda o fertilizante (Mazzarino *et al.*, 2012). Según estos autores, aunque los parámetros que pueden emplearse como indicadores de estabilidad y madurez son numerosos, con sólo 3 o 4 sería suficiente para caracterizarlo (*e.g.* carbono soluble, amonio, nitratos, índice de germinación), pero es necesario establecer experimentalmente los valores límites. Por otro lado, los parámetros de calidad agronómica deberían establecerse en función del uso específico, por lo que pueden variar en función de la regulación ambiental de cada nación.

En Argentina, en enero del 2019, la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria publicaron en el Boletín Nacional las llamadas “Normas para la producción, registro y aplicación de compost” en la Resolución Conjunta 1/2019, RESFC-2019-1-APN-SECCYMA#SGP (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, 2019). A pesar de la existencia de la reglamentación, existe escasa información sobre la calidad de los abonos derivados de la industria olivícola, en especial del té generado a partir del compostaje de alperujo con restos de poda de los olivares. Teniendo en cuenta la escasez de información, que Catamarca es una provincia con fuerte desarrollo de la olivicultura y que la producción de frutos es variable debido al fenómeno de vecería del cultivo, lo que puede afectar la

proporción de residuos de frutos en el compost, y como consecuencia su calidad, se considera necesario determinar la calidad de los abonos derivados de la industria olivícola. El objetivo del presente trabajo fue establecer la calidad de los abonos obtenidos del proceso de compostaje del alperujo con restos de poda de olivares, tanto en su forma sólida (abono sólido, AS) como líquida (abono líquido, AL). Para esto se procedió a caracterizar física, química y microbiológicamente dichos abonos y a evaluar la presencia de compuestos fitotóxicos a través de diferentes test de germinación. Con este trabajo se pretende contribuir con información que permita establecer el potencial de uso de los abonos derivados de la industria olivícola como enmienda y/o fertilizante.

II.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron ensayos en la finca de olivos orgánicos “Frutos del Norte S.A.” situada en el Dpto. Pomán, Provincia de Catamarca, a 160 km de la ciudad Capital (28°16'5,96"S; 66°15'30,82"O; altitud: 889 msnm) de donde se obtuvieron los subproductos denominados abono sólido (AS) y abono líquido (AL) derivados del compostaje del alperujo, residuo de la propia molienda y resto de poda. Los ensayos se desarrollaron durante los años 2014 a 2018.

Previo al compostaje, se examinó el alperujo analizando parámetros químicos y la presencia de elementos pesados como mercurio, arsénico y plomo.

Para la obtención del abono sólido (AS) se distribuyó el residuo (alperujo + hojas y restos de poda de olivares chipeados a 1,5-2 cm), en una proporción 70/30, al nivel del piso formando pilas de aproximadamente 1 m de altura y 2 m de base (Figura 2.1). Luego se incorporó el inoculante comercial Solbio BC a razón de 25 g m⁻³ con el objetivo de acelerar el proceso de compostaje. El inoculante contiene 2,1 10⁹ UFC g⁻¹ de bacterias facultativas, tales como *Bacillus amyloliquefasciens*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformi*, además de vitaminas, aminoácidos, proteínas vegetales y animales, entre otros compuestos. Durante el compostaje, el material fue regado de modo de mantener la humedad entre el 40% y el 60%, removiendo periódicamente a fin de homogeneizar y oxigenar las pilas. Se controló la temperatura, humedad y aireación en las distintas etapas del compostaje, para asegurar las condiciones óptimas en cada etapa de dicho proceso.



Figura 2.1. Alperujo (izquierda) y pila de compost (derecha) en la finca ‘Frutos del Norte S.A.’, localidad de Pomán, provincia de Catamarca, 2014.

La duración del proceso de compostaje varió entre 80 a 90 días según la temperatura ambiente de los diferentes años de estudio. La etapa inicial o ‘mesófila’ duró 30 días con temperaturas hasta los 40°C, continuó la etapa ‘termófila’, con temperaturas entre 60 y 65°C durante 45 días aproximadamente, y finalmente, la ‘segunda etapa mesófila’ o de ‘enfriamiento’, con una duración aproximada de 5 días, caracterizada por la disminución progresiva de la temperatura hasta alcanzar la del ambiente, dando por finalizado el proceso de compostaje.

El abono líquido (AL) se obtuvo sumergiendo el compost maduro (AS) en cilindros con mallas (filtros) dentro de una tolva con agua, lo que comercialmente se denomina biorreactor de compost (Figura 2.2). La proporción fue de 162 cm³ para obtener 1000 litros de AL. El fundamento de este proceso es que por agitación/oxigenación durante 3 a 5 horas continuas a temperatura ambiente, se produce la liberación de sustancias orgánicas y nutrientes minerales solubles en agua (Cruz Hernández, 2009; Román *et al.*, 2013). Este AL se aplica inmediatamente en la plantación, ya sea por vía foliar o al suelo por el sistema de riego.



Figura 2.2. Biorreactor de compost para la obtención de abono líquido a partir del compost de alperujo. Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca. 2014. Vista completa (izquierda); tolva, cilindros con AS sumergido en agua en agitación (derecha).

II.2.1. Toma de muestras - Abono sólido y líquido

Cada año, luego de la extracción del aceite y previo al compostaje, se tomaron muestras de alperujo por triplicado para evaluar potencial hidrógeno (pH) determinado en suspensión en agua 1:5 v/v, conductividad eléctrica del extracto relación 1:5 v/v (CE, dS m^{-1}), carbono oxidable total (COT, %) determinado por calcinación a 550°C , nitrógeno total (NT, %) obtenido por digestión húmeda con ácido sulfúrico y micrométodo de Kjeldahl, fósforo total (P, %) determinado por digestión con ácido nítrico y perclórico y luego por espectrofotometría, potasio (K^+ , %) determinado por digestión con ácido nítrico y perclórico y posteriormente por fometría de emisión. Además, se determinó mercurio, arsénico y plomo.

De las pilas de compostaje terminado se extrajeron, de distintos puntos, muestras de AS, conformando tres muestras compuestas, en las cuales se efectuaron los siguientes análisis: densidad aparente con el método del cilindro extractor (D_a , g cm^{-3}), densidad real con el método del picnómetro (D_r , g cm^{-3}), porosidad total (PT, %) con la fórmula “ $100 [1 - (D_a/D_r)]$ ”, humedad obtenido por secado en estufa a 105°C hasta peso constante (H, %), estas variables fueron determinadas in situ (USDA, 1999; Santos *et al.*, 2012; Ibañez Asensio *et al.*, 2012).

Las variables química valoradas fueron: potencial hidrógeno (pH) determinado en suspensión en agua 1:5 v/v, carbono oxidable total (COT, %) determinado por calcinación a 550°C , materia orgánica (MO, % calculada como $\text{COT} * 1,724$), nitrógeno total (NT, %) obtenido por digestión húmeda y micrométodo de Kjeldahl, fósforo total (P, %) determinado por digestión con ácido nítrico y perclórico y luego por espectrofotometría, potasio (K^+ , %) determinado por digestión con ácido nítrico y perclórico y posteriormente por fometría de emisión, cationes solubles (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , meq l^{-1}) determinados del filtrado de la solución 1:5 v/v, conductividad eléctrica del extracto relación 1:5 v/v (CE, dS m^{-1}), relación de absorción de sodio (RAS) (RILSAV, 2014) y polifenoles totales (PFT, $\mu\text{g ácido cafeico g}^{-1}$) determinados por espectrometría (Vázquez *et al.*, 1975).

De las tolvas con AL se extrajeron tres muestras compuestas en las que se efectuaron los siguientes análisis: potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1}$), potasio por fometría de emisión (K^+ , meq l^{-1}), sodio soluble (Na^+ , meq l^{-1}) por fometría de emisión, calcio soluble por volumetría valorado con EDTA (Ca^{+2} , meq l^{-1}), magnesio soluble por volumetría valorado con EDTA (Mg^{+2} , meq l^{-1}), cloruro por el método de Mohr (Cl^- , meq l^{-1}), sulfato por el método cromato de bario (SO_4^{-2} , meq l^{-1}), carbonato y bicarbonato por titulación con ácido sulfúrico (CO_3^{-2} , HCO_3^- , meq l^{-1}). A

partir de los datos se calculó la relación de absorción de sodio (RAS), carbonato de sodio residual (CSR), total de sólidos disueltos (TSD) y dureza (RILSAV, 2014). Se determinó también polifenoles totales (PFT, μg ácido cafeico ml^{-1}) por espectrometría (Vázquez *et al.*, 1975). Submuestras de AS y AL fueron enviadas al laboratorio de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCa, donde se realizó el análisis de actividad biológica total por hidrólisis del diacetato de fluoresceína (Schnürer & Roswall, 1982).

II.2.2. Pruebas de calidad de los abonos - Test de germinación

El test de germinación contempló la determinación de la energía y el poder germinativo de semillas de diferentes especies hortícolas con la intención de verificar la susceptibilidad al efecto del abono líquido (AL).

Se trabajó con semillas de las siguientes especies: alfalfa (*Medicago sativa* L.), perejil (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss), albahaca (*Ocimum basilicum* L.), espinaca (*Spinacea oleracea* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Las pruebas se realizaron según las normas ISTA (2014). Se plantearon dos tratamientos: T0: tratamiento control con agua destilada esterilizada y T1: con AL. Las semillas se distribuyeron de a 100 unidades por cada caja de Petri, sobre papel tissue estéril que se humedeció con agua destilada estéril o con AL puro de acuerdo al tratamiento y siguiendo el protocolo específico para cada especie (ISTA, 2014).

II.2.3. Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con seis repeticiones para cada año de ensayo. Los resultados se sometieron a análisis de varianza, evaluando las diferencias entre medias mediante el test de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($\alpha \leq 0,05$). Para ello se utilizó el programa InfoStat, versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

II.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

II.3.1. Caracterización de los alperujos

La caracterización química de los alperujos, materia prima de AS y AL (Tabla 2.1), revela un producto de pH cercano a la neutralidad, con moderada salinidad, rico en carbono orgánico, nitrógeno y potasio, y una relación C/N elevada.

Tabla 2.1. Parámetros químicos del alperujo obtenidos en la finca Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca, y valores típicos (Roig *et al.*, 2006). Datos del 2015 al 2018 \pm el error standard.

Alperujo	pH	CE (dS m ⁻¹)	CO (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	C/N
2015	7,3 \pm 0,4	2,2 \pm 1,1	42,8 \pm 0,9	1,25 \pm 0,06	0,10 \pm 0,33	1,16 \pm 0,39	34,2 \pm 1,9
2016	6,9 \pm 0,4	1,98 \pm 1,1	45,0 \pm 0,9	1,18 \pm 0,06	0,13 \pm 0,33	1,10 \pm 0,39	38,1 \pm 1,9
2017	6,6 \pm 0,4	1,89 \pm 1,1	43,0 \pm 0,9	1,2 \pm 0,06	0,07 \pm 0,33	1,8 \pm 0,39	35,8 \pm 1,9
2018	6,5 \pm 0,4	1,53 \pm 1,1	43,7 \pm 0,9	1,1 \pm 0,06	0,08 \pm 0,33	0,99 \pm 0,39	39,7 \pm 1,9
Rangos Típicos	4,9 - 6,8	1,2 - 5,2	34,0 - 57,0	0,90 - 1,85	0,03 - 0,15	0,66 - 2,90	29,3 - 59,7

CE, conductividad eléctrica; *CO*, carbono orgánico; *C/N*, relación carbono/nitrógeno.

Comparando las características del alperujo de Frutos del Norte S.A. (Catamarca) con los valores típicos (Tabla 2.1) se puede notar que los parámetros evaluados están dentro de los rangos considerados normales en España (Roig *et al.*, 2006).

El alperujo al estar constituido por materia vegetal no fermentado no debería contener metales pesados (Toscano & Montemurro, 2012). El análisis del alperujo indicó ausencia de mercurio y las concentraciones halladas de plomo (0,19 ppm) y arsénico (0,35 ppm) fueron despreciables en relación a los valores de referencia (840 y 75 ppm, respectivamente) contemplados en la reglamentación de metales pesados en biosólidos (Mazzarino *et al.*, 2012).

II.3.2. Caracterización del abono sólido (AS)

En general, las características físico-químicas de cualquier material ya compostado dependen de varios factores como el material originario, la variedad, el momento de cosecha, las condiciones climáticas, de las características propias del proceso de compostaje y de los componentes agregados denominados comúnmente agentes estructurantes, como hojas frescas, restos de poda, estiércoles, entre otros (Akrato *et al.*, 2017).

En este estudio los valores de pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo y potasio del AS se encuentran muy próximos a los valores medios de otros compost de alperujo analizados en el Valle Central de Catamarca (de Bustos *et al.*, 2018), en España (Cruz Hernández, 2009), Italia y Grecia (Roig *et al.*, 2006; Sultana *et al.*, 2015) (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Resultados del análisis químico del compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS) obtenidos en la finca Frutos del Norte S.A. Datos promedios del año 2015 al 2018 \pm el error standard, y comparación con experiencias previas correspondientes al Valle Central de Catamarca, España y rangos típicos.

Característica	Compost de alperujo (AS)			Rangos típicos
	España	Catamarca	Frutos del Norte	
pH	8,6	9,7	9,2 \pm 0,8	6,8 - 9,5
CE (dS m ⁻¹)	2,6	5,4	2,2 \pm 1,1	0,9 - 4,8
CO (%)	36,4	46,0	45,8 \pm 6,5	44,0 - 60,0
Nitrógeno (%)	2,70	1,83	3,08 \pm 1,18	0,70 - 4,10
Fósforo (%)	1,09	0,42	0,44 \pm 0,16	0,03 - 0,22
Potasio (%)	2,75	3,61	1,70 \pm 0,51	0,18 - 3,00
Sodio (%)	-	-	0,18 \pm 0,18	0,05 - 4,1
C/N	13,5	25,2	16,4 \pm 4,5	10,0 - 17,0

CE, conductividad eléctrica; CO, carbono orgánico; C/N, relación carbono nitrógeno. España (Cruz Hernández, 2009); Valle Central de Catamarca (de Bustos et al., 2018); y rangos típicos (Roig et al., 2006; Sultana et al., 2015).

Las propiedades del AS evaluadas durante las cuatro temporadas (Tabla 2.3) confirman su buena aptitud desde el punto de vista físico, químico y biológico, a pesar de la variabilidad observada. Esta variabilidad ya fue advertida por otros autores (Cruz Hernández, 2009; Mazzarino *et al.*, 2012; Román *et al.*, 2013), incluso partiendo de una misma fuente de materia prima. Contrastando los resultados del AS de los años de estudio (Tabla 2.3), se observa que la CE y los cationes solubles, sodio y potasio, presentaron en general diferencias estadísticamente significativas, lo que se atribuye a la lixiviación de los minerales solubles (Abid & Sayadi, 2006). En virtud de los datos obtenidos en este ensayo se incrementaron los riegos a las pilas de compost en los años sucesivos, lo que explicaría el mayor lavado y progresivo descenso de la salinidad y los cationes solubles. Esto permitió alcanzar valores más deseables de concentración de sales, que originaron valores de conductividad eléctrica menores a 2 dS m⁻¹ (baja salinidad) en los últimos dos años.

Tabla 2.3. Propiedades físico-químicas del compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS) en los cuatro años de estudio (2015 a 2018). Frutos del Norte S.A. Pomán, Catamarca.

Característica	Compost de alperujo más restos de poda (AS)			
	2015	2016	2017	2018
pH	9,6 a	9,7 a	9,7 a	8,0 b
C.E. (dS m ⁻¹)	3,66 a	2,17 b	1,74 b	1,09 b
Humedad (%)	21,4 a	21,4 a	13,0 b	13,3 b
CO (%)	38,96 c	54,57 a	48,47 b	41,23 c
MO (%)	67,17 c	94,08 a	83,56 b	71,08 c
Ceniza (%)	32,83 a	5,93 c	16,44 b	28,92 a
Nitrógeno (%)	1,90 c	3,41 b	4,66 a	2,37 bc
Fósforo total (%)	0,53 a	0,61 a	0,38 a	0,26 a
Potasio (%)	1,88 a	1,73 a	2,19 a	0,99 b
Sodio (%)	0,20 ab	0,19 ab	0,23 a	0,10 b
Ca + Mg sol. (meq l ⁻¹)	7,58 a	7,58 a	7,58 a	5,40 a
Sodio sol. (meq l ⁻¹)	5,01 ab	7,01 a	5,69 ab	3,33 b
Potasio sol. (meq l ⁻¹)	43,21 a	51,43 a	35,46 ab	10,31 b
RAS	2,6 a	3,6 a	2,9 a	2,0 a
C/N	20,5 a	16,0 ab	10,5 b	17,9 a
Da (g cm ⁻³)	0,49 b	0,49 b	0,68 a	0,44 c
Dr (g cm ⁻³)	1,39 a	1,41 a	1,38 a	1,43 a
Porosidad (%)	64,47 a	65,25 a	50,49 b	69,45 a
Act. Biológica (UA)	Muy Alta > 1	Muy Alta >1	Muy Alta >1	Muy Alta > 1
PFT (µg ác.cafeico g ⁻¹ muestra seca)	914,34 a	998,39 a	1163,05 a	1077,72 a

Letras distintas en la fila indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de Tukey ($\alpha=0,05$). CE, conductividad eléctrica; CO, carbono orgánico por calcinación; MO, materia orgánica por calcinación; Cenizas, material mineral; RAS, relación de absorción de sodio; Da, densidad aparente; Dr, densidad real; UA: unidades de absorbancia; PFT, polifenoles totales.

En el mismo sentido, el riego realizado para el lixiviado de sales probablemente provocó la variación en el pH del compost, que osciló entre 9,7 (Muy fuertemente alcalino) y 8 (Moderadamente alcalino). Teniendo en cuenta la calidad del agua utilizada para el mojado de las pilas, la cual es moderadamente alcalina (7,9 - 8,4) y semidura, con contenidos entre 140 a 210 ppm de carbonatos de calcio con predominio de formación de sales neutras (carbonato/bicarbonato de calcio), y el aumento progresivo de los caudales de agua utilizados de año a año, explicaría el motivo por el que el compost fue disminuyendo el valor de pH con el incremento de agua para lixiviado. Sin dejar de destacar como efecto principal la propia variación en la composición y evolución del compost de cada año evaluado.

La humedad del compost también presentó variaciones en los cuatro años estudiados, lo que se explica porque este parámetro es afectado por las condiciones climáticas y las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, esas variaciones no fueron relevantes en el sentido agronómico ya que en todos los casos la humedad fue inferior al 40% (García de la Fuente, 2011), lo que es muy deseable y facilita el movimiento y aplicación del AS en el campo.

El contenido de fósforo se ubicó entre 0,26 y 0,61% y no presentó diferencias estadísticamente significativas en los distintos años de elaboración del compost, mientras que el potasio sufrió una importante disminución en el año 2018 (0,99%) respecto de los años anteriores ($\approx 2,00\%$). Dicha disminución puede estar relacionada con la ocurrencia de lixiviación de K causada por los riegos aplicados al material durante el proceso de compostaje. Precisamente en el año 2018 el abono logrado presentó el menor valor de salinidad. Por otro lado, se sabe que este nutriente es el más absorbido por el olivo y el más abundante en la aceituna, encontrándose en gran cantidad en el alperujo, especialmente en años de elevada producción (Fernández Hernández *et al.*, 2014; Guerrero Polanco, 2017). Coincidentemente en el año 2018 se obtuvo el rendimiento de fruta más bajo de los últimos 10 años (datos brindados por la empresa Frutos del Norte S.A.).

Los valores de carbono orgánico, nitrógeno y la relación C/N presentaron diferencias estadísticamente significativas. El contenido de CO en todos los años fue elevado, con valores entre 39 y 55%, mientras que el contenido más elevado de N (4,66%) se encontró en el año 2017. La relación C/N se mantuvo entre 10 y 20, valores muy próximos a los considerados como ideales (10 a 20). Algunos autores (Bernai *et al.*, 1998; Akratos *et al.*, 2017) consideran una relación C/N = 12 como un indicador de buena estabilidad de los compost mientras que la ley española indica valores menores a 15 como adecuados para compost de origen vegetal (Mazzarino *et al.*, 2012). Por lo tanto, y en función de lo que sugiere este indicador, el compost sólo alcanzó una adecuada estabilidad en el año 2017.

Durante el compostaje de alperujo ocurren procesos de humificación de los compuestos que poseen elevado contenido de lignina y fenoles. Dichos procesos generan un compost con un alto grado de madurez y estabilidad de las fracciones de ácidos húmicos y fúlvicos. Sin embargo, la concentración final de CO y N no sólo depende de esos procesos, sino también de la proporción y calidad de los agentes estructurantes que se incorporan al sistema (Serramiá Moreno, 2013). Por lo tanto, para evitar variaciones

en la composición del compost (especialmente en el contenido de CO), como las observadas en este trabajo, todos los años se debería mantener o compensar una proporción adecuada de alperujo, hojas y restos de poda.

En cuanto a la densidad y la porosidad del compost, no hay registro sobre valores promedios o rangos ideales para abonos similares al estudiado. Si bien el análisis estadístico determinó diferencias significativas entre los distintos años de elaboración, en todos los casos los valores de densidad fueron menores a $0,68 \text{ g cm}^{-3}$ y la porosidad total fue superior al 50%, lo que contribuye a mejorar la captación y almacenamiento de agua y nutrientes, y al mismo tiempo permitir un adecuado drenaje (Zeytin & Baran, 2003). Las diferencias entre años se atribuyen a la variación en la proporción de material estructurante incorporado (restos de poda y hojas frescas) respecto al alperujo. En este sentido lograr estandarizar la proporción entre el material estructurante y el alperujo resulta a escala de empresa es difícil ya que el abono depende del rendimiento de aceituna de cada año y del crecimiento del olivo, además de la logística de la finca. En general, la mayor porosidad coincide con la mayor proporción de hojas y restos de poda consecuencia de los años de menor rendimiento de fruta debido al fenómeno de la vecería propia del cultivo del olivo, como se expuso en párrafos anteriores. La bibliografía señala que los sustratos elaborados a partir de compost de origen vegetal deberían tener una densidad aparente menor a $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ y una porosidad total próxima a 80% para lograr una adecuada relación aire:agua (Barbaro *et al.*, 2014). Estas propiedades dependen de los componentes utilizados que le confieren al compost diversidad en el tamaño de las partículas, captación y retención del agua, entre otras propiedades (Bárbaro *et al.*, 2019). Los resultados de este trabajo indican que el compost de alperujo posee calidad intermedia para ser utilizado como componente único de un sustrato para cultivo en contenedor, pero podría participar como uno de los componentes en sustratos que se elaboran a partir de mezclas de materiales. Por otro lado, su densidad es baja en relación a la de suelos de textura media-gruesa como los que predominan en Catamarca. En estos casos el agregado de compost de alperujo contribuirá a reducir la densidad aparente y aumentar el contenido de materia orgánica, mejorando la retención de nutrientes y agua del suelo.

La actividad biológica del AS resultó muy alta. En general, a lo largo del proceso de compostaje existe una gran y variada actividad metabólica, la que fue probablemente potenciada por la incorporación del inoculante para acelerar la etapa termófila. Se debe tener presente que dicha actividad depende de la materia prima (Allahyari *et al.*, 2015) y

suele ser lenta en el compostaje de alperujo si no se agrega inoculante (García de la Fuente, 2011).

Los análisis indicaron que el AS contiene sustancias que en exceso pueden resultar fitotóxicas, principalmente polifenoles (PFT) (Altieri *et al.*, 2008) que por su naturaleza polar e hidrofílica quedan en la fase acuosa (Serramiá Moreno, 2013). El proceso de compostaje produjo una reducción muy importante (cerca del 50%) del contenido de PFT (Tabla 2.3) respecto al contenido original del alperujo sin compostar ($2.500 \mu\text{g g}^{-1}$ muestra seca) obtenido del sistema de extracción de dos fases, de acuerdo a lo publicado por Arenas Nemogé (2019).

Durante el compostaje se produce una degradación activa de la materia orgánica de los materiales que componen las pilas a compostar debido a la actividad microbiana. Según Baddi *et al.* (2004) el alperujo es una fuente de energía muy importante para los microorganismos ya que obtienen mucha energía al metabolizarlos, lo que explica la gran disminución observada. Estos autores encontraron que el contenido de PFT se redujo un 66% luego de un año de compostaje, valor algo superior a lo encontrado en este estudio.

El análisis de los valores de PFT junto a la actividad biológica y los resultados obtenidos en los test de germinación indican que la concentración de PFT no representa riesgo de fitotoxicidad.

El análisis conjunto de la información indica que el AS generado a partir del compostaje de alperujo con restos de poda presenta una calidad adecuada, a pesar de ser variable entre años, lo que posibilita su uso como enmienda y/o fertilizante. Por lo tanto, el compostaje del alperujo y restos de poda de los olivares puede constituir una forma adecuada de reducir los costos de producción para los productores y a su vez de disminuir los volúmenes de residuos que genera la industria olivícola, atenuando así el impacto ambiental que su acumulación genera.

II.3.3. Caracterización del abono líquido (AL)

El análisis de los parámetros medidos en los diferentes años de elaboración del té de compost (AL) (Tabla 2.4) mostró la existencia de diferencias significativas entre años, lo que se atribuye a la variabilidad del AS, materia prima del AL, y también a los cambios propios del proceso de elaboración, como ser la calidad del agua utilizada, la temperatura ambiente, el tiempo de agitación, entre otros factores (St Martin & Ramsuhag, 2015).

Tabla 2.4. Análisis químico del abono líquido o té de compost (AL) obtenido a partir del compost de alperujo y resto de poda de olivares, durante los años 2015 a 2018. Finca Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca.

Característica	Abono Líquido (AL)			
	2015	2016	2017	2018
pH	7,8 b	8,8 a	8,0 b	7,4 c
C.E. (dS m ⁻¹)	0,595 b	0,483d	1,049 a	0,540 c
RAS	2,20 b	2,10 b	2,50 a	1,80 c
Calcio (meq l ⁻¹)	2,20 c	2,37ab	2,50 a	2,23 bc
Magnesio (meq l ⁻¹)	0,55 b	0,87a	0,11d	0,20 c
Sodio (meq l ⁻¹)	2,47 c	2,65 b	2,85 a	2,03d
Potasio (meq l ⁻¹)	1,71 c	1,55 d	4,41 a	2,93b
Carbonatos (meq l ⁻¹)	0 b	0,40 a	0 b	0 b
Bicarbonatos (meq l ⁻¹)	4,77b	3,63 d	5,22 a	4,48c
Sulfatos (meq l ⁻¹)	1,57 c	3,68 a	3,50 a	2,50 b
Cloruros (meq l ⁻¹)	0,75 b	0,38 c	1,29a	1,33 a
TSD (mg l ⁻¹)	380,80 b	308,91 d	671,36a	346,03 c
Dureza (CO ₃ Ca ppm)	137,86 b	162,80 a	132,33 c	125,33 d
Act. Biológica (UA)	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
	>1 a	> 1a	>1 a	> 1 a
PFT (µg ac.cafeico. ml ⁻¹)	0,67 b	0,74 ab	0,87 a	0,80 ab

Letras distintas en fila indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de Tukey ($\alpha=0,05$). C.E, Conductividad eléctrica; RAS, Relación de absorción de sodio; TSD, total de sólidos disueltos; UA: Unidad de absorbancia; PFT, polifenoles totales.

Debido a la ausencia de parámetros específicos de comparación se tomaron como criterios de evaluación de la calidad del AL los estándares utilizados para la evaluación del agua para riego (García, 2012), dado que su principal uso sería la aplicación mediante fertirriego y/o aspersión foliar.

El análisis del AL muestra que los parámetros evaluados se encuentran dentro de los rangos que clasifican el agua como apta para riego, clase “moderadamente salina, baja peligrosidad sódica (C2S1) y de pH muy levemente a fuertemente alcalino (7,4 – 8,8)”.

En cuanto a los cationes analizados, se destaca un interesante contenido de calcio (2,2 a 2,5 meq l⁻¹) y el potasio en un rango entre 1,7 y 4,41 meq l⁻¹, lo cual es muy valioso desde el punto de vista nutricional, considerando que la fertilización con fuentes potásicas es muy costosa. La variabilidad en cuanto a su concentración ya fue expresada en la descripción del AS, por lo cual dichas características son directamente transferidas al AL.

Las concentraciones medidas de aniones se consideran aceptables, por lo que no existen riesgos de toxicidad, y el contenido de carbonato de sodio residual indica que no

existen riesgos potenciales de sodicidad. La dureza, expresada en ppm de CaCO_3 , clasifica a las muestras como “blandas”.

La actividad biológica resultó muy alta en todos los años evaluados, en coincidencia con lo verificado por otros autores que estudiaron té de compost obtenido de otros materiales. Dichos trabajos señalan que, como resultado del agregado de té de compost, la población y la biodiversidad del suelo se incrementa debido a que el té es fuente de hongos, bacterias y protozoos benéficos, además de proveer materia orgánica y nutrientes (Alburquerque *et al.*, 2011). El contenido de PFT en el AL puro (Tabla 2.4) se considera elevado si tenemos en cuenta los límites establecidos por la Reglamentación de la provincia de Catamarca (Res. 65/05 Ministerio Obras y Servicios Públicos). Esta Reglamentación fija el valor $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ como máximo para el vertido de líquidos residuales a conductos pluviales abiertos o en cursos de aguas superficiales y para el reúso para riego o vuelco en predio interno (Gómez *et al.*, 2013). Sin embargo, es muy importante considerar que el AL se utiliza puro en la pulverización foliar y diluido al suelo por vía riego.

Numerosos estudios presentan información sobre las diferentes formas de preparar un AL (con agitación o anaerobios), proporciones, dosis y frecuencias de aplicaciones, pero enfocan su análisis en los beneficios sanitarios del AL en los cultivos (Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2012; Allhyari *et al.*, 2015). Sin embargo, existe escasa información del efecto de los AL sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Ingham, 2005). Por lo tanto, los datos aquí presentados constituyen un aporte para futuras comparaciones.

II.3.4. Evaluación de fitotoxicidad

Para establecer la calidad de un compost y té de compost, algunos autores consideran de gran relevancia la determinación de la bioestabilidad y fitotoxicidad que presentan (Cesaro *et al.*, 2019; Estrella González *et al.*, 2020). Además del bajo contenido de PFT y la ausencia de elementos pesados mencionado previamente, se realizaron ensayos de energía y poder germinativo para evaluar los efectos fitotóxicos del AL. Los ensayos de energía y poder germinativo mostraron diferencias significativas respecto al control. El AL promovió la germinación de semillas de espinaca, perejil y albahaca, y redujo la germinación de lechuga, probablemente debido a la sensibilidad a la salinidad de esta especie. Por otro lado, no hubo diferencias en el porcentaje de germinación de alfalfa respecto de los valores obtenidos con el testigo (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Efecto del abono líquido (AL) obtenido por agitación en medio acuoso del compost de alperujo y resto de poda de olivares, sobre la energía y el poder germinativo de diferentes especies (ISTA, 2014).

Especies	Energía Germinativa (%)		Poder Germinativo (%)	
	Testigo	AL	Testigo	AL
Espinaca (<i>Spinacea oleracea</i> L.)	75,7 a	90,0 b	80,3 a	95,3 b
Perejil (<i>Petroselinum crisoum</i> Mill. Fuss)	61,7 a	78,0 b	63,7 a	81,7 b
Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	50,0 a	70,3 b	73,3 a	91,0 b
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	87,7 a	90,3 b	97,7 a	91,7 a
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	40,0 a	60,3 b	93,7 a	94,0 b

Letras distintas en la fila indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con el test de Tukey ($\alpha=0,05$).

Los resultados de los ensayos coinciden con los encontrados por otros autores. Mascareño Varas *et al.* (2016) verificó que la germinación de espinaca (*Spinacia oleracea* L.), sobre un sustrato de suelo franco arenoso, aumentó en un 15% con el agregado de té de compost de alperujo en relación con el testigo. Ingham (2005) por su parte, señala que a pesar de las diferentes fuentes del abono y las distintas formas de producir el té, éstos resultan uniformes respecto a la actividad y biomasa microbiana, demostrando los beneficios de la aplicación del té de compost maduro versus el manejo tradicional con fertilizantes sintéticos en el rendimiento de espárrago (*Asparagus officinalis*) y papa (*Solanum tuberosum*), obteniendo en este último caso un mayor tamaño de los tubérculos. El autor también encontró, en diferentes ensayos con rábano (*Raphanus sativus*) en maceta, mayor rendimiento cuando se utilizó el té de compost. Además, observó que disminuyó la compactación del suelo y aumentó la durabilidad de césped luego de dos años de aplicación de té de compost en campos de golf.

En general, el AS y el AL mostraron variabilidad entre años, pero sin presentar parámetros desfavorables para su utilización agronómica. La variabilidad es una característica propia de los compost por ser un producto de origen natural. Mazzarino *et al.* (2012) indicaron que no es posible establecer un rango de calidad universal para los compost debido a la variabilidad que presentan, pero aun así su utilización constituye un beneficio para productores y el ambiente. Otros autores también indican que la aplicación de estos compuestos orgánicos compostados son una práctica recomendada desde el punto de vista agrícola y ambiental al reducir la contaminación que producen si no son procesados, para recuperar suelos degradados y suministrar nutrientes para las plantas (Miglierina & Laurent, 2008; S¹ Martin & Ramsuhag, 2015). Los resultados de este

estudio indican que el compostaje del alperujo con restos de poda de los olivares genera un AS y AL que puede ser utilizado como enmienda y/o fertilizante, contribuyendo con esto a la economía circular de los productores olivareros y a disminuir el impacto ambiental que los residuos de la industria olivícola generan.

II.4. CONCLUSIÓN

Los parámetros analizados de los AS y AL durante cuatro años indican que poseen valores adecuados desde el punto de vista químico, físico y microbiológico. El contenido de carbono orgánico, nutrientes y actividad biológica, los ensayos de energía y poder germinativo de semillas de diferentes especies y la ausencia de elementos tóxicos demuestran características altamente recomendables para mejorar la fertilidad del suelo, y con el ello, generar condiciones más propicias para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Su utilización es una práctica promisoría para evitar la acumulación de los desechos de la industria olivarera y contribuir a resolver/mitigar los problemas asociados con suelos empobrecidos o prácticas agrícolas no sustentables.

II.5. BIBLIOGRAFÍA

- Abid, N.; Sayadi, S. (2006). Detrimental effect of olive mill wastewater on the composting process of agricultural wastes. *Waste Management* 26:1099-1107.
- Akratos, C.S.; Tekerlekopoulou, A.G.; Vasiliadou, I.A.; Vayenas, D.V. (2017). Cocomposting of olive mill waste for the production of soil amendments. En: *Olive Mill Waste*. Galanakis, C. (Ed). Capítulo 8. :161-182. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-805314-0.00008-X>
- Albuquerque, J.A.; de la Fuente, C.; Bernal, M.P. (2011). Improvement of soil quality after “alperujo” compost application to two contaminated soils characterized by differing heavy metal solubility. *Journal of Environmental Management* 92:733-741.
- Allahyari, H; Ahmad, AG; Ravizi, S.B.; Sattari, A. (2015). The process of production compost tea and its usage in agriculture: a review. *IJFAS Journal* 4(2):171-176.
- Altieri, R.; Esposito, A.; Chaves, C.; Ferrr, E.; Albiach, M.R. (2008). Composting olive mill pomace and other residues from rural southeastern Spain. *Waste Management* 28(12):2585-2592.
- Arenas Nemogá, S.A. (2019). Extracción de compuestos fenólicos mediante el uso de disolventes orgánicos a partir del subproducto obtenido en la elaboración de aceite de oliva virgen (alperujo) Tesis Magister. Universidad politécnica de Valencia departamento

de ingeniería química y nuclear máster universitario en seguridad industrial y medio ambiente.<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/134096/Arenas%20-%20Extracci%C3%B3n%20de%20compuestos%20fen%C3%B3licos%20mediante%20el%20uso%20de%20disolventes%20org%C3%A1nicos%20a%20partir%20del....pdf?sequence=1>

Barbaro, L.; Imhoff, S.; Morisigue, D.E. (2014). Evaluación de sustratos formulados con corteza de pino, pinocha y turba subtropical. *Ciencia del Suelo* 32(2):149-158.

Barbaro, L.; Karlanian, M.; Rizzo, P.; Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 35(2):126-136.

Bernai, M.P.; Paredes, C.; Sanchez-Monedero, M.A.; Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 63:91-99. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00084-9).

Cesaro, A.; Conte, A.; Belgiorno, V.; Siciliano, A.; Guida, M. (2019) The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste. *Journal Environmental Management* 232:264-270.

Cruz Hernández, J. (2009). Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España. Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos, departamento de producción vegetal. :238 p.

de Bustos, M.E.; Alurralde, A.L.; Hammann, A. (2018). Experiencias de uso del alperujo como abono en la Provincia de Catamarca. Centro Regional Catamarca-La Rioja, Ediciones INTA. :16 p.

Dearborn, Y. (2011). Compost tea. Literature review on production; application and plant disease management. San Francisco Department of Environment. Toxic Reduction Program. *EnviroSurvey* :18 p. https://sfenvironment.org/sites/default/files/editor-uploads/toxics/pdf/sfe_th_compost_tea_review_6.17.11_final.pdf.

Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. (2018). InfoStat, versión 2018; Grupo InfoStat; FCA; Universidad Nacional de Córdoba; Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

Estrella González, M.; Suárez Estrella, F.; Jurado, M.; López, M.; López González, J.; Siles Castellano, A.; Muñoz Mérida, A.; Moreno, J. (2020). Uncovering new indicators to predict stability, maturity and biodiversity of compost on an industrial scale. *Bioresource Technology* 313:123557.

Fernández Hernández, A.; Roig, A.; Serramiá, N.; García-Ortiz, C.; Sánchez-Monedero, M. (2014). Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil olive fruit and olive oil quality. *Waste Management* 34:139-1147. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.027>.

García de la Fuente, R. (2011). Tesis: Caracterización y uso de compost de alperujo como enmienda orgánica. Evaluación agronómica y medio ambiental. Universitat Politècnica de Valencia. :465 p.

García, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad de agua de riego. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 6:27-36.

Gómez, P.E.; Segovia, F.; Lorenzo, M.E.; Bravo, M.O.; Herrera, R.I.; Ribotta, P.D.; Cañas M.S. (2013). Características físico-químicas del agua de vegetación proveniente de la molienda de arbequina para la obtención de aceite. *Revista del Cizas* 14(1-2):49-63.

Guerrero Polanco, F.; Alejo-Santiago, G.; Luna-Esquivel, G. (2017). Potassium fertilization in fruit tree. *Revista Bio Ciencias* 4(3):143-152. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ20210186443>

Ince, O.; Ozbayram, E.G.; Akyol, C.; Ince, O.; Ince, Y.B. (2016). Composting practice for sustainable waste management: a case study in Istanbul. *Desalination and water treatment*. 57(31):14473-14477. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2015.1067170>.

Ingham, E.R. (2005). *The compost tea brewing*. Fifth Edition. Suelo Foodweb Incorporated. Covallis, Oregon 97333. :79 p. www.sustainablestudies.org.

ISTA (International Seed Testing Association). (2014). *International rules for seed testing 2014*. International Seed Testing Association Zurich; Switzerland. :24 p.

Mascareño Varas, M.L.; Gómez, P.E.; Alurralde, A.L.; Segovia, F. (2016). Efecto de efluentes de la agroindustria olivícola sobre germinación y emergencia de espinaca (*Spinacea oleracea* L). I Simposio de uso de Residuos Agrícolas y Agroindustriales del NOA y Cuyo Argentina. : 75 p. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_i_simposio_de_uso_de_residuos_agropecuarios_y_agroindustriales_del_noa_y_cuyo_en_la_argentina_resumenes_y_mesas_redondas.pdf.

Mazzarino, M.J.; Satti, P.; Roselli, L. (2012). Indicadores de calidad, madurez y calidad de compost. En: *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. 1ed. Mazzarino, M.J.; Satti, P. (Eds.) :13-26.

Miglierina, A; Laurent, G. (2008). Obtención y aplicación de compost: efecto sobre el cultivo y el suelo. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Galantini, J.A. (Ed.). Ed. UNS- Bahía Blanca. :293-302.

Monetta, P. (2014). Situación de los residuos olivícolas en la provincia de San Juan. Experiencia piloto de co-compostaje de alperujo con residuos agroindustriales local. INTA San Juan. <https://www.academia.edu/signup>.

Nunes, A.M.; Pawlowski, S.; Costa, A.S.G.; Alves, R.C.; Oliveira, M.B.P.; Velizarov, S. (2019). Valorization of olive pomace by a green integrated approach applying sustainable extraction and membrane-assisted concentration. *Science of the Total Environment*. 652:40-47.

Pant, A.P.; Radovich, T.J.K.; Hue, N.V.; Paull, R.E. (2012). Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth. *Scientia Horticulturae* 148:138-146.

RILSAV. Red de laboratorios de suelo, agua y vegetal. (2014). PNSUELO-1134034- Desarrollo e implementación de métodos analíticos, instrumentales y de gestión de la calidad en la red de laboratorios de suelo, agua y vegetal. Carreira D.A. coord. INTA.

Roig, A.; Cayuela, M.L.; Sánchez-Monedero, M.A. (2006). An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management* 26(9):960-969.

Rojas, R.; Morillo, J.; Usero, J.; Delgado-Moreno, L.; Gan, J. (2013). Enhancing soil sorption capacity of an agricultural soil by addition of three different organic wastes. *Science of the Total Environment* 458:614-623.

Román, P.; Martínez, M.; Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile. FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.

Schnürer, J.; Roswall, T. (1982). Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology* 43:1256-1261.

Serramiá Moreno, N. (2013). Evaluación de los gases de efecto invernadero en el compostaje de alperujo y de la inmovilización de carbono en su aplicación al suelo. Universidad de Murcia. Tesis Doctoral.:154 p. <http://hdl.handle.net/10201/37811>

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. (2019). Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost. Resolución Conjunta 1/2019. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resolución-1-2019-318692>.

- St. Martin, Ch.; Ramsubhag, A. (2015). Potential of compost for suppressing plant diseases. En: Sustainable Crop Disease Management using Natural Products. Sangeetha, G.; Kurucheve, V.; Jayaraj, J. (Eds). Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de las Indias Occidentales, San Agustín, República de Trinidad y Tobago. CAB, Editores. Capítulo 18. :345-388. https://www.researchgate.net/publication/284159941_Potential_of_Compost_for_Suppressing_Plant_Diseases.
- Sultana, M.; Chowdhury, A.K.M.M.B.; Michailides, M.K.; Akrotos, C.S.; Tekerlekopoulou, A.G.; Vayenas, D.V. (2015). Integrated Cr (VI) removal using constructed wetlands and composting. *Journal of Hazardous Materials* 28:106-113.
- Toscano, P., Montemurro, F. (2012). Olive mill by-products management. In: Olive Germplasm -The olive cultivation, Table olive and olive oil industry in Italy. Muzaalupo, I. (Ed). Intech Open. :386 p. <https://doi.org/10.5772/52039>
- Vázquez, A.; Janer del Valle, C.; Janer del Valle, M. (1975). Polifenoles naturales y estabilidad del aceite de oliva. *Grasas y aceites. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España)* 26:14-18.
- Yu, X.Y.; Mu, C.L.; Gu, C.; Liu, C.; Liu, X.J. (2011). Impact of wood chip biochar amendment on the sorption and dissipation of pesticide acetamiprid in agricultural soils. *Chemosphere* 85(8):1284-1289.
- Zeytin, S.; Baran, A. (2003). Influences of composted hazelnut husk on some physical properties of soils. *Bioresource Technology* 88:241-244.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE SUELOS CON INCORPORACIÓN DE ABONOS OBTENIDOS DEL COMPOSTAJE DE ALPERUJO Y RESTOS DE PODA DE OLIVARES

RESUMEN

La demanda mundial de alimentos y energía se incrementa rápidamente por lo que la preocupación actual de la humanidad es el impacto que esto puede generar en la calidad ambiental. Por este motivo, el verdadero desafío es producir cada vez más alimentos, que estos sean sanos, y conservando los recursos naturales. El deterioro progresivo del suelo se evidencia como resultado de la pérdida de materia orgánica (MO) y de un balance negativo de nutrientes por la extracción de los cultivos. Debido a la expansión de la olivicultura y la industria del aceite de oliva en la provincia de Catamarca, la producción y acumulación de residuos es muy importante, considerando que en poco tiempo se generan grandes volúmenes. A menudo estos residuos se consideran fitotóxicos debido a su composición fenólica, pH, y elevada salinidad. Por otro lado, se considera que el compost del alperujo y el té de compost de alperujo son excelentes restauradores y fertilizantes de suelos, aunque no se dispone de experiencias regionales. Con el fin de evaluar las características químicas, físicas y biológicas de suelos en los que se usó diversos tipos de abonos provenientes de la industria olivícola, formas y períodos de aplicación, se realizaron dos ensayos en plantaciones con olivos localizados en el Departamento Pomán, provincia de Catamarca. El primero en la empresa Frutos del Norte S.A., **Ensayo A**, donde se evaluó dos tipos de abonos, abono sólido (AS) y abono líquido (AL), y dos formas de aplicación vía suelo (fertirriego) y vía foliar (pulverizaciones) durante cuatro años. En el otro **Ensayo B**, desarrollado en Olivares de Pomán S.A., se aplicó al suelo compost sólido (AS) durante 5 y 13 años, y además se evaluaron las mismas variables en el monte nativo circundante. Se comprobó en ambos ensayos que la aplicación de AS aumentó la fertilidad del suelo; específicamente indujo un aumento del carbono orgánico en sus diferentes fracciones, de la disponibilidad de nutrientes, CIC, N, P, K, y la actividad biológica, incrementaron conforme se aumentaron los años de aplicación. En el Ensayo A se comprobó que la utilización del AL por vía foliar no alteró las propiedades del suelo. Sin embargo, el AL incorporado al suelo por fertirriego

combinado con el aporte de AS al suelo, en solo 4 años, mejoró los parámetros de fertilidad, con incrementos en COT (59,3%,); COP (131%); N (80%); Pe (77%) y Ki (43%) respecto al control. En el Ensayo B también se verificó un efecto positivo sobre las propiedades físicas del suelo, dado que la densidad aparente disminuyó y la porosidad y capacidad de retención de agua aumentaron a partir de los 5 años de aplicación de AS.

III. 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural central para el desarrollo y la seguridad alimentaria de los países (Rattan Lal, 2020). Entre sus funciones está la de regular los ciclos biogeoquímicos de macro y micronutrientes, producir biomasa y alimentos, almacenar agua y regular el clima y la emisión de gases. Además, entre otras funciones ecosistémicas, se lo considera un agente reactor, buffer, reciclador de sustancias y residuos (Ratto *et al.*, 2015).

La demanda mundial de alimentos y energía se incrementa rápidamente y se calcula que para el año 2050 la población puede llegar a los 9100 millones de habitantes (Ratto *et al.*, 2015). Los sucesivos avances de la frontera agrícola y los aumentos de la producción agropecuaria están ocurriendo sobre tierras naturales y suelos de menor aptitud agrícola (Quiroga *et al.*, 2015), lo que generalmente está asociado a procesos de degradación.

La región semiárida no ha sido ajena a la expansión de la frontera agrícola con la desventaja comparativa que la implantación de cultivos tiene un costo similar a otras regiones, pero con rentabilidades muy inferiores y un costo ambiental superior, por lo cual es fundamental un adecuado manejo conservacionista de modo de hacer más eficiente el uso del agua y del recurso suelo (Quiroga *et al.*, 2015).

El deterioro progresivo del suelo se evidencia en la disminución de su capacidad de abastecimiento de nutrientes como resultado de la pérdida de MO y de un balance negativo de nutrientes por la intensificación de la producción (Andrade, 2017).

Este fenómeno es más evidente en suelos arenosos como los presentes en las zonas olivaderas de Catamarca, cuya característica general es su baja potencialidad agrícola con pobres contenidos de materia orgánica, gran susceptibilidad a la erosión, falta de estructura, pobre capacidad de retención agua y nutrientes, entre otras. En Pomán (Provincia de Catamarca), la agricultura (olivicultura, nogalicultura y viticultura) se hace bajo riego diferenciándose, por un lado, los pequeños y medianos productores con manejos tradicionales, y por otro, las grandes empresas que realizan una producción

intensiva. Estos últimos utilizan marcos de plantación estrechos, y adoptan tecnologías como el riego presurizado, fertirriego, y la poda y cosecha mecanizada. Además, estas empresas en general cuentan con instalaciones para la industrialización del aceite de oliva con su consecuente e indefectible acumulación de grandes volúmenes de residuos en poco tiempo (Caeiro, 2009; Ntoulas *et al.*, 2011; Guichón *et al.*, 2015).

A menudo estos residuos pueden tener un impacto ambiental perjudicial, ya que se los considera fitotóxicos y con efectos antimicrobianos, debido a su composición fenólica y lipídica, pH ácido y elevada salinidad. Diacono *et al.* (2012), entre otros autores, aseguran que la fitotoxicidad es uno de los parámetros más importantes para valorar los materiales orgánicos para fines agrícolas y que la utilización de compost de alperujo puede contribuir a cerrar el ciclo de una agricultura ecológica. Sin embargo, el tipo y la cantidad de compuestos fenólicos están influenciados por el grado de maduración de las aceitunas, las condiciones climáticas y el tipo de extracción de aceite (Toscano & Montemurro, 2012; Pinho *et al.*, 2017).

Algunas investigaciones afirman que una manera de aumentar la productividad de los olivares de una manera amigable con el ambiente es aprovechar los residuos de la industria olivícola (alperujo y restos de poda) a través del compostaje (Toscano & Montemurro, 2012). Por medio de este proceso se generará un abono sólido (AS) que permitiría, por un lado mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos al incrementar los valores de materia orgánica, y por otro, reducir la contaminación potencial del ambiente con los residuos de la agroindustria (Ozores Hampton *et al.*, 2011; Proietti *et al.*, 2015). Andriulo & Irizar (2017) aseguran que aumentar las reservas de materia orgánica del suelo es una estrategia para mejorar la resiliencia de los agroecosistemas por efecto directo en sus funciones agrícolas y ambientales. Por lo tanto, incorporar a suelos frágiles, como los de Pomán, el compost derivado de los residuos del propio sistema productivo constituye una alternativa promisoría para su mejora, tanto desde el punto de vista productivo como ambiental.

El objetivo del presente capítulo fue evaluar las características químicas, físicas y biológicas de suelos en los que se usó diversos tipos de abonos, formas y períodos de aplicación en dos fincas olivareras localizadas en el Dpto de Pomán, Catamarca.

III. 1.1. Descripción general de la zona en estudio

El Departamento Pomán de la Provincia de Catamarca, se encuentra en la provincia fitogeográfica del Monte, se caracteriza por un clima cálido a templado y árido con una

media anual de 20-23°C, un balance hídrico deficitario con lluvias principalmente estivales y torrenciales, promediando los 200 mm anuales (Morlans & Guichon, 1995).

Geológicamente el área pertenece a la Región de la Sierras Pampeanas Noroccidentales (Morlans, 1995). Los suelos son pobres en materia orgánica y susceptibles a la erosión eólica. El tipo de unidad cartográfica es ENtc-24 (SAGyP, 1990), complejo constituido por los suelos clasificados como Torrifluente típico, Torriortente típico y Cambortides típicos, siendo su limitación principal la pedregosidad (INTA, 1990).

En este Orden (Entisol) están incluidos los suelos que no evidencian o tienen escaso desarrollo de horizontes pedogenéticos. La mayoría de ellos solamente tienen un horizonte superficial claro, de poco espesor y generalmente pobre en materia orgánica. La textura dominante es franco arenosa a arenosa, y presentan régimen de temperatura méxico o térmico y de humedad tórrico; es decir, que la temperatura media anual del suelo a 50 cm de profundidad está entre 15 y 22°C en verano y 5°C en invierno. Además, estos suelos se encuentran secos la mayor parte del año, sin que lleguen a humedecerse por más de 90 días consecutivos (Panigatti, 2010; Atlas de Catamarca, 2014).

La vegetación predominante es de estepa arbustiva abierta, xerófila, caracterizada por la dominancia de jarillas (género *Larrea*), y con presencia de otras formaciones vegetales, que aparecen según distintos relieves, tipos de suelo y proximidad al agua permanente. Así es como encontramos el arbustal espinoso de los pedemontes, arbustales halófilos y bosques de algarrobos. Las principales actividades productivas son la agricultura de olivos, vid y aromáticas, siempre bajo riego. La ganadería caprina se extiende en toda el área, así como el aprovechamiento forestal de algarrobos y retamas (Morlans, 1995).

En la zona, además ocurrieron desmontes masivos realizados por empresas extranjeras que se acogieron a la ley de diferimiento impositivo para la implementación de olivos. Estas explotaciones en muchos casos fueron abandonadas (Morlans & Guichón, 1996; Guichón *et al.*, 2015), por lo que estas áreas son las más degradadas en la actualidad.

III. 2. ENSAYO A

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y BIOLÓGICAS DE SUELOS CON INCORPORACIÓN DE ABONO SÓLIDO Y LÍQUIDO EN OLIVARES – FRUTOS DEL NORTE S.A.

III. 2.1. MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en la empresa olivarera Frutos del Norte S.A., situada en el departamento Pomán, Provincia de Catamarca, sobre Ruta Provincial N° 46 (28°16'5,96''S; 66°15' 30,82''O; altitud: 889 msnm), y a 160 km de San Fernando del Valle de Catamarca.

El lote seleccionado posee una superficie de 8 ha con olivos del cultivar 'Arbequina' de 15 años de edad, en un marco de plantación de 6 x 2, con manejo orgánico y mecanizado (riego por goteo, poda y cosecha mecánica) (Figura 3.1). Se utilizó abono sólido (AS) y abono líquido (AL), ambos descritos en el capítulo II.



Figura 3.1. Olivos, cv. 'Arbequina', utilizados en el ensayo A. Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca. 2014.

Previo al inicio del ensayo se realizó una descripción del perfil del suelo hasta los 110 cm con toma de muestras (Barberis, 1982) y posterior análisis de laboratorio, también se determinó la calidad del agua de riego.

III. 2.1.1. Información preliminar

Descripción fisiográfica y perfil del suelo

El lote en estudio presenta una cobertura vegetal del 70% (Olivos y especies espontáneas). La pendiente es leve (0,5-1%), de relieve normal con lento escurrimiento,

moderada permeabilidad y buen drenaje (Figura 3.2).



Figura 3.2. Perfil del suelo del ensayo correspondiente a una plantación de olivos, cv. 'Arbequina', de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A. Pomán, Catamarca. Año 2014.

Se realizó una calicata en la línea de plantación hasta una profundidad de 1,10 m y se dividió en cuatro horizontes o capas (h1: 0-17 cm; h2: 17-33 cm; h3: 33-86 cm y h4: 66-110 cm).

En toda su profundidad el suelo se encontró seco y con abundantes raíces medias, finas y muy finas hasta los 86 cm, las que disminuyeron en abundancia y tamaño hasta los 110 cm. Los suelos de este perfil son marrones y marrones amarillentos, los colores en seco, se encontraron entre 10 YR 6/3 y 7/3, mientras que, en húmedo, entre 10 YR 3/6 a 4/6. Las texturas (porcentaje de arena, limo y arcilla) determinadas al tacto, mostraron que los suelos poseen texturas sueltas y con la profundidad son más gruesas aún, la secuencia fue franco arenoso, arenoso franco, arenoso y gravilloso con presencia de arenas finas y muy finas, gravillas, gravas y piedras. El tipo de estructura (forma y ordenamiento de los agregados) que se encontró en los dos primeros horizontes fueron bloques sub angulares de clase (tamaño de los agregados) finos y muy finos, de grado (distinción y resistencia de los agregados) débil. El resto de los horizontes se los consideró como suelo sin estructura. Las consistencias (resistencia a la deformación o ruptura) fueron: en seco, blandos; en mojado, ligeramente adhesivos y ligeramente plásticos. Los carbonatos, detectados por reacción ante la aplicación de ácido clorhídrico al 10% estuvieron presentes a partir de los 17 cm aumentando su concentración con la profundidad.

La proporción de material grueso fue en aumento con la profundidad, con una

concentración de material más grueso según su clasificación granulométrica (gravas y cascajos) entre los 33 y 86 cm de profundidad (USDA, 1999) (Tabla 3.1 y Figura 3.3).

Tabla 3.1. Porcentajes y clasificación del material grueso encontrado en el perfil del suelo del ensayo correspondiente a una plantación de olivos, cv. ‘Arbequina’, de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A. Departamento Pomán, Catamarca. Año 2014.

Horizonte	Prof. (cm)	Material Grueso (%)	Gravilla (%)	Grava (%)	Cascajo (%)	Piedra (%)
1	0 - 17	10	100	-	-	-
2	17 - 33	60	80	12	8	-
3	33 - 86	70	70	27	3	-
4	86 - 110	80	95	5	-	-

Gravilla: fracción angulosa de 2 a 10 mm; Grava: fracción angulosa de 10 a 50 mm; Cascajo: fracción angulosa de 50 a 250 mm (USDA, 1999).

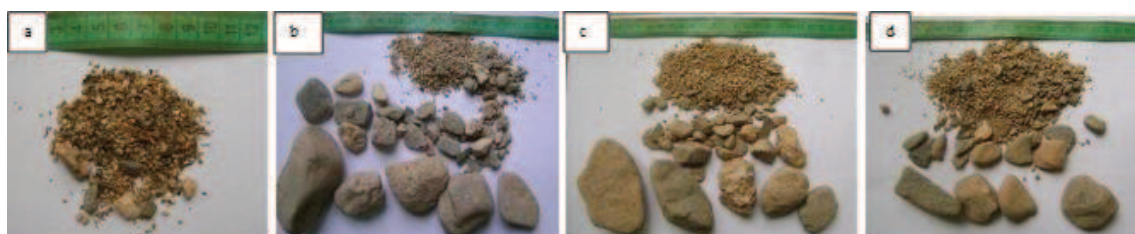


Figura 3.3. Granulometrías del perfil de suelo del ensayo correspondiente a una plantación de olivos, cv. ‘Arbequina’, de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A. Año 2014. (a) horizonte 1: 0-17 cm; (b) horizonte 2: 17-33 cm; (c) horizonte 3: 33-86 cm; (d) horizonte 4: 66-110 cm.

Propiedades químicas del perfil del suelo

La salinidad en la muestra superficial fue ligeramente salina (2-4 dS m⁻¹) y no salinas (<2 dS m⁻¹) las restantes. El índice RAS (Relación de absorción de sodio) fue bajo (<13, no sódico) en todas las muestras. El pH fue muy fuertemente alcalino (> 9). La concentración de carbonatos a partir de los 17 cm fue alta (1-5%).

Las texturas determinadas en laboratorio presentaron porcentajes entre 64 y 86% de arena, un máximo de 4% de arcilla y entre 10 y 32% de limo, obteniendo suelos franco arenoso a arenoso franco, aumentando el tamaño y la proporción de la fracción gruesa con la profundidad. En cuanto a la fertilidad del suelo, fue moderado en los primeros 15 cm, con un contenido de materia orgánica alta (2-3%); y pobre (0,5-1%) en las restantes profundidades evaluadas. El nitrógeno fue bajo (0,075-0,125%) en la primera capa y muy bajo (<0,075%) en las más profundas. El contenido de fósforo extractable en superficie fue medio (5-10 ppm) disminuyendo con la profundidad, al igual que el potasio soluble que evoluciona de muy bueno a muy bajo. La capacidad de intercambio catiónico (CIC)

fue muy baja (0-5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en todas las muestras a excepción de la segunda profundidad en la que fue moderada (10-17 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). En cuanto a los cationes intercambiables, los valores fueron bajos en general con excepción de las muestras superficiales que presentaron buenos valores, destacándose el magnesio intercambiable con concentraciones altas ($>10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Análisis químico del agua de riego

El agua utilizada para riego fue subterránea. Según la clasificación de Riverside y de acuerdo a su conductividad eléctrica y su relación de absorción de sodio (RAS), fue clasificada como tipo C2S1, es decir, “Moderada salinidad y Baja peligrosidad sódica”. El pH fue moderadamente alcalino (7,9-8,4) y semidura (140-210 ppm). En cuanto a la toxicidad por aniones, no existieron problemas, ya que las concentraciones estuvieron dentro de los valores considerados “aceptables para el riego (Tabla 3.2)

Tabla 3.2. Análisis químico del agua de riego. Frutos del Norte S.A. Departamento Pomán, Catamarca. Año 2014.

Características	Agua Subterránea
pH	8,2
C.E. (dS m^{-1})	0,351
RAS	1,24
Calcio (meq l^{-1})	2,5
Magnesio (meq l^{-1})	0,5
Sodio (meq l^{-1})	1,5
Potasio (meq l^{-1})	trazas
Carbonatos (meq l^{-1})	-
Bicarbonatos (meq l^{-1})	3,0
Sulfatos (meq l^{-1})	0,7
Cloruros (meq l^{-1})	0,8
TSD (mg l^{-1})	224,6
Dureza ($\text{CO}_3\text{Ca ppm}$)	150,4
$\text{CO}_3 \text{Na}_2$ residual (meq l^{-1})	-

Referencias: CE, conductividad eléctrica; RAS, relación de absorción de sodio; TSD, total de sólidos disueltos; $\text{CO}_3 \text{Na}_2$, carbonato de sodio.

III. 2.1.2. Diseño del ensayo

Se dividió una parcela en dos sectores iguales de 4 ha, a cada uno se le asignó un sistema de riego. En el primer sector se aplicó riego (agua; Parcela R) y en el otro sector, fertirriego (Parcela FR). El fertirriego consistió en la aplicación de AL al sistema. Además, en cada una de las parcelas se establecieron 3 tratamientos de fertilización:

control (sin abono), compost o abono sólido (AS), y pulverización foliar con compost líquido. De esta manera quedaron conformados 6 tratamientos con 4 repeticiones. Los tratamientos se sortearon y distribuyeron a lo largo de las hileras de plantación, abarcando 12 olivos por hilera (Tabla 3.3 y Figura 3.4).

Tabla 3.3. Tratamientos aplicados a un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años, según tipo de compost y forma de aplicación. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Campañas 2014 a 2018.

Parcela	Tipo de Fertilización	Símbolo
Con Riego (R)	Control R	T1
	Abono Sólido	T2
	Pulverización Foliar con Abono Líquido	T3
Con Fertirriego de Abono Líquido (FR)	Control FR	T4
	Abono Sólido	T5
	Pulverización Foliar con Abono Líquido	T6

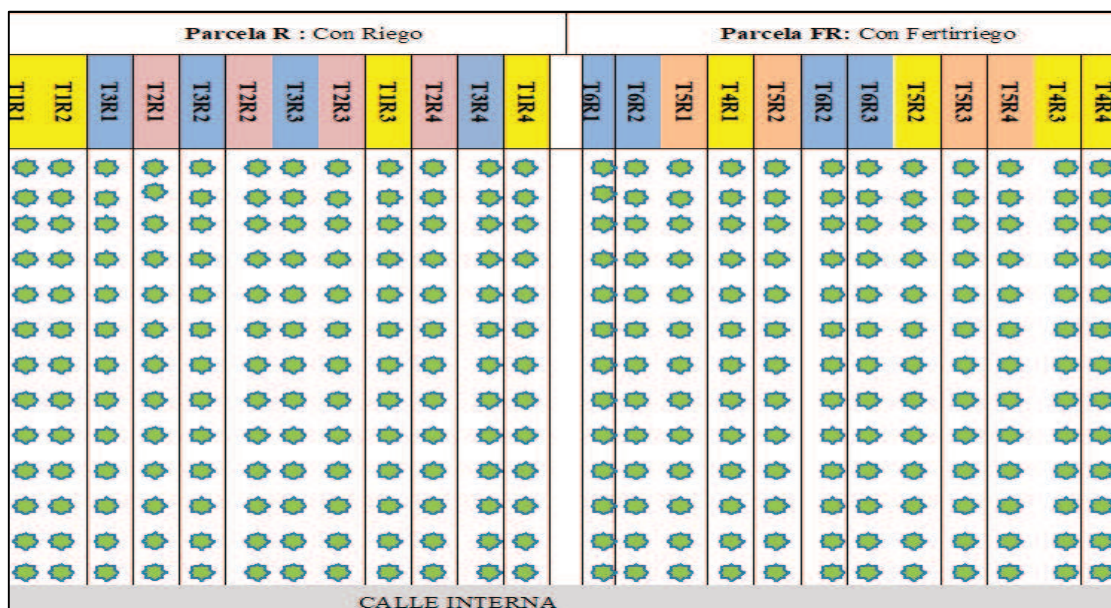


Figura 3.4. Diseño del ensayo de aplicación de AS y AL a un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca. *Con riego (R): T1: control, repetición R1 a R4; T2: AS, repetición R1 a R4; T3: pulverización foliar de AL, repetición R1 a R4; Con fertirriego AL (FR): T4: control, repetición R1 a R4; T5: AS, repetición R1 a R4; T6: pulverización foliar de AL, repetición R1 a R4. A, B y C: plantas seleccionadas para mediciones de crecimiento. AS: abono sólido; AL: abono líquido.*

El ensayo se repitió durante 4 ciclos, desde 2014/15 hasta 2017/18 manteniendo el mismo diseño (Figura 3.4).

Las aplicaciones de AS al suelo fueron de 3 kg por planta (2,5 Mg ha⁻¹), aplicados en invierno en el mes de agosto. Se realizó aproximadamente a 70 cm desde el tronco del olivo en un lateral de la hilera de plantación alternando de lado cada año. Se utilizó una surcadora que profundiza 15 cm, incorpora y tapa el abono. Esta labor es recomendable realizarla cuando la planta se encuentra en receso invernal, de esta manera se minimizan daños en raíces, además de lograr un mayor tiempo de estabilización en suelo previo al inicio de crecimiento. Las pulverizaciones con AL en la planta se realizaron a razón de 2 litros por planta cuatro veces al año (8 litros por año y por planta), mientras que el AL aplicado por fertirriego se distribuyó cada 7 días entre setiembre y febrero, utilizando alrededor de 2 litros por planta y por aplicación, lo que representó 48 litros de AL por año y por planta (Figura 3.5 a, b, c, d, e).



Figura 3.5. Ensayo A, Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca. Campaña 2014-2018. *a: Compost de alperujo a cielo abierto (AS); b: Abonadora con surcadora utilizada para incorporar el AS al suelo; c: imagen del lote luego de la incorporación de AS; d: Biorreactor de compost para elaborar té de compost (AL); e: sistema de riego por donde se distribuye el AL; f: Pulverizadora de turbina para la aplicación de AL foliar.*

III.2.1.3. Variables evaluadas

En cada ciclo productivo se extrajeron muestras compuestas de suelo con barreno a 0 - 15 cm profundidad y a 50 cm desde el tronco hacia la entrefila, entre los goteros del sistema de riego, (en la parte media entre el surco donde se aplicó AS y el tronco del olivo, bajo la manguera de riego entre goteros). El muestreo se realizó en el mes de septiembre/octubre a los 45 días posteriores de la última aplicación de AS.

Las variables físicas valoradas fueron granulometría por el método de la pipeta, densidad aparente con el método del cilindro extractor (D_a , g cm^{-3}), densidad real con el método del picnómetro (D_r , g cm^{-3}), porosidad total (PT, %) con la fórmula “ $100 [1 - (D_a/D_r)]$ ”. Estas tres últimas variables fueron determinadas directamente en las muestras de suelo sin perturbar (USDA, 1999; Santos *et al.*, 2012; Ibañez Asensio *et al.*, 2012).

Las variables químicas del suelo valoradas fueron el contenido de carbono oxidable por el micro método de Walkley Black, carbono total (COT, %) y carbono particulado por dispersión química mediante hexametáfosfato de sodio con agitación durante 15 hs, separación física a través de un tamiz de $53 \mu\text{m}$ y por el micro método de Walkley Black (COP, %) (Galantini *et al.*, 1994; Galantini & Suñer, 2008); nitrógeno total por el micrométodo de Kjeldahl (NT, %); fósforo extractable por la metodología de Olsen (Pe, ppm); capacidad de intercambio catiónico, con acetato de amonio 1 N a $\text{pH}=7$ y cloruro de sodio 10% (CIC; $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$); potasio y sodio intercambiable por extracción con acetato de amonio 1N a $\text{pH}=7$, (K^+ , $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) y ; (Na^+ , $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), potasio y sodio soluble por fotometría de emisión (K^+ , meq l^{-1}) y (Na^+ , meq l^{-1}); calcio + magnesio soluble por volumetría valorado con EDTA ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$, meq l^{-1}) los cationes solubles se obtuvieron a partir del extracto de saturación; potencial hidrógeno relación 1:2,5 suelo:agua (pH); conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE, dS m^{-1}); relación absorción de sodio (RAS) y carbonatos por el método de Collins (CO_3^{-2} , %) (SAMPLA, 2004; Marbán & Ratto, 2005; RILSAV, 2014; Kloster, 2017).

Además, se midió la actividad biológica total por hidrólisis del diacetato de fluoresceína (Schnürer & Roswall, 1982).

III.2.1.4. Análisis estadístico

Modelo

Los datos se analizaron ajustando un modelo mixto jerárquico con *año* como bloques aleatorios y los factores *parcela* y *tipo de fertilizante* como efectos fijos, anidados dentro del efecto de los bloques. Se evaluaron los supuestos de normalidad y

homogeneidad, y se ajustaron modelos con heterogeneidad de varianza. La significancia de los efectos principales e interacción se evaluó mediante el análisis de la varianza con sumas de cuadrados marginales y se compararon las medias de tratamientos mediante la prueba de Tukey. En todos los casos se consideró un nivel de significancia de 10%.

III.2.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.2.2.1. Resultados indicadores químicos

Los resultados de pH y conductividad eléctrica del suelo no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Los valores permiten clasificar el suelo en todos los casos como alcalino (pH: 8,5 a 8,9) y no salino ($CE < 2 \text{ dS m}^{-1}$) (Tabla 3.4). Estos resultados coinciden con lo observado en las zonas áridas y semiáridas, como Catamarca, que se caracterizan por presentar suelos de pH alcalinos y ligeramente salinos (Abraham *et al.*, 2011).

La parcela R mostró diferencias significativas ($p < 0,10$) en la RAS entre T2 y T1, pero no se encontraron diferencias respecto a T3. Estas diferencias no afectan la clasificación del suelo ya que en todos los tratamientos se clasificaría como no sódico con valores $RAS < 13$ (Soil Science Society of América, 2001) (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Indicadores químicos (pH, potencial hidrógeno; CE, conductividad eléctrica; RAS, relación de absorción de sodio) de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas (2014-2018).

Parcela	Tipo de fertilización	Símbolo	pH	CE (dS m^{-1})	RAS
R	Control R	T1	$8,6 \pm 0,2 \text{ a}$	$1,84 \pm 0,56 \text{ a}$	$5,89 \pm 0,94 \text{ b}$
R	AS	T2	$8,7 \pm 0,2 \text{ a}$	$1,56 \pm 0,56 \text{ a}$	$6,75 \pm 0,94 \text{ a}$
R	Pulv. Foliar de AL	T3	$8,9 \pm 0,2 \text{ a}$	$1,25 \pm 0,56 \text{ a}$	$6,21 \pm 0,94 \text{ ab}$
FR	Control FR	T4	$8,5 \pm 0,2 \text{ A}$	$1,46 \pm 0,46 \text{ A}$	$6,72 \pm 0,94 \text{ A}$
FR	AS	T5	$8,6 \pm 0,2 \text{ A}$	$1,07 \pm 0,56 \text{ A}$	$6,49 \pm 0,94 \text{ A}$
FR	Pulv. Foliar de AL	T6	$8,6 \pm 0,2 \text{ A}$	$1,20 \pm 0,56 \text{ A}$	$6,58 \pm 0,94 \text{ A}$
	<i>Efecto parcela</i>		<i>0,5275</i>	<i>0,6687</i>	<i>0,0817*</i>
<i>p-valor</i>	<i>Efecto tipo de fertilización</i>		<i>0,1663</i>	<i>0,2868</i>	<i>0,7598</i>
	<i>Interacción parcela:tipo de fertilización</i>		<i>0,3151</i>	<i>0,4397</i>	<i>0,0601*</i>

Referencias: ANOVA de los efectos fijos al 10%. Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para parcela R y mayúsculas para parcela FR. AS: abono sólido; AL: abono líquido. Con riego (R): T1: control; T2: AS; T3: pulverización foliar de AL; Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL.

Los resultados obtenidos para el parámetro el CO en este ensayo se muestran en la Tabla 3.5. El CO es una de las principales propiedades del suelo ya que es una fuente de nutrientes, le confiere adecuadas propiedades físicas y representa un sistema altamente dinámico (Lefèvre *et al.*, 2017). Es por ello que se busca incrementar la materia orgánica del suelo mediante la aplicación de enmiendas orgánicas (Mora Delgado *et al.*, 2019).

El análisis estadístico mostró que hubo diferencias estadísticas para el COT entre la parcela R y FR, entre los tratamientos con AS respecto a los que no lo recibieron, y que fue positiva la interacción, con el mayor valor de COT en FR con AS (T5: $1,37 \pm 0,16\%$). La parcela R presentó valores de COT bajos a muy bajos ($>1,25\%$), con el máximo valor en T2 ($1,02 \pm 0,16\%$). Paroldi *et al.* (2019) experimentaron resultados similares en cuanto al incremento de MO en suelos enmendados con 40 t ha^{-1} de alperujo crudo en olivares de la provincia de San Juan, sin embargo, el incremento también se registró en la concentración de fenoles, con lo cual se incrementan los riegos de fitotoxicidad y por lo cual se debe ajustar la dosis adecuada.

En la parcela FR los valores de COT se incrementaron levemente respecto a la parcela R, ubicándose en el rango de bajo a medio-bajo ($0,75-1,50\%$) (Cosentino, 2013; Andrades & Martínez, 2014). Existieron diferencias estadísticas entre T4 y T5 respecto a T6 (menor valor), lo que podría explicarse por el aporte de ácidos húmicos y nutrientes por efecto del AL por fertirriego (Allahyari *et al.*, 2015; Mac Donnell, 2018), destacándose T5 por la combinación de ambos tipos de abonos (AL y AS) en el suelo.

Estos resultados corroboran lo mencionado por De Moraes Sá *et al.* (2017), quienes además concluyeron que la gestión del suelo sostenible incrementa las reservas de CO y con ello la producción de alimentos.

El COP, la fracción más lábil del carbono orgánico, es un indicador temprano de los cambios de la calidad del suelo y su productividad. Corresponde al material más joven, el cual participa fundamentalmente en la disponibilidad de nutrientes a corto plazo (Toledo *et al.*, 2013; Galantini, 2014). Los resultados muestran diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. En el caso de la parcela R, el COP fue mayor en T2, tratamiento que mostró un incremento del $35,5\%$ respecto al control R (T1). En cambio, en la parcela FR, T5 se diferenció del resto de los tratamientos, registrando un incremento del $44,4\%$ respecto al control FR (T4), y un incremento del 131% respecto al T1.

Tabla 3.5. Contenido de carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico particulado (COP) de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas (2014-2018).

Parcela	Tipo de fertilización	Símbolo	COT (%)	COP (%)
R	Control R	T1	0,86 ± 0,16 ab	0,45 ± 0,12 b
R	AS	T2	1,02 ± 0,16 a	0,61 ± 0,12 a
R	Pulv. Foliar de AL	T3	0,69 ± 0,16 b	0,38 ± 0,12 b
FR	Control FR	T4	1,23 ± 0,16 A	0,72 ± 0,13 B
FR	AS	T5	1,37 ± 0,16 A	1,04 ± 0,13 A
FR	Pulv. Foliar de AL	T6	0,79 ± 0,16 B	0,47 ± 0,13 C
	<i>Efecto parcela</i>		0,0434*	0,131
<i>p-valor</i>	<i>Efecto tipo de fertilización</i>		< 0,0001*	< 0,0001*
	<i>Interacción parcela:tipo de fertilización</i>		0,0300*	< 0,0001*

Referencias: ANOVA de los efectos fijos al 10%. Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R (riego con agua) y mayúsculas para la parcela FR (fertirriego). AS: abono sólido; AL: abono líquido. Con riego (R): T1: control; T2: AS; T3: pulverización foliar de AL; Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL.

En ambas parcelas se destacó el tratamiento con AS. Sin embargo, comparando los tratamientos entre parcelas (R vs FR) se puede observar el notable aumento en los valores de carbono debido a la aplicación de AL en FR.

Las diferencias entre tratamientos similares de la parcela FR versus R, para el control, aplicación de AS y pulverización foliar con AL, en COT fueron del 43,5; 35,1 y 14,3%, y para el COP fueron del 60,1; 71,2 y 25%, respectivamente (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Variación del carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico particulado (COP) entre las parcelas con (FR) y sin (R) aplicación de abono líquido en el fertirriego en un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas (2014-2018).

Tipo de fertilización	Símbolo	Incremento COT (%)	Incremento COP (%)
Control	T4 vs T1	43,5	60,1
AS	T5 vs T2	35,1	71,2
Pulv. Foliar de AL	T6 vs T3	14,3	25,0

Referencias: AS: abono sólido; AL: abono líquido. Con riego (R): T1: control; T2: AS; T3: pulverización foliar de AL. Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL.

Estos resultados reflejan la superioridad en cuanto a los niveles de CO de la parcela FR respecto al R, en sus tres tratamientos, y con mayores incrementos en el caso del COP. Estudios previos, en coincidencia con los resultados de esta tesis, muestran que la dinámica de la materia orgánica se modifica en función de la cantidad y calidad de los aportes orgánicos, mostrando mayor sensibilidad a los cambios las fracciones más lábiles (COP) (Galantini & Suñer, 2008; Galantini, 2014). El COP es el indicador que revela los efectos a corto plazo del sistema suelo y aporta información sobre el ciclado y disponibilidad de nutrientes (Toledo *et al.*, 2013; Galantini, 2014; Bustos, 2016) y es el parámetro que mejor explica el efecto positivo del AL incorporado al suelo por fertirriego (Allahyari *et al.*, 2015; Mac Donnell, 2018).

Un resultado inesperado fue, tanto en R como en FR, el menor porcentaje encontrado de CO en los tratamientos con fertilización foliar, incluso respecto del testigo. Una posible explicación es que la dinámica del CO haya sido influenciada, además del agregado de AS y/o AL, por el aporte de hojas y frutos del propio olivo que caen continuamente y que pueden haber variado entre tratamientos (parámetros no medidos). En suelos de textura gruesa la dinámica del CO y sus fracciones suelen ser erráticas e influenciadas por las condiciones ambientales. Por esta razón existe mucha controversia en la literatura sobre los resultados encontrados por diversos autores. Estudios empíricos y modelos de simulación (Matus & Maire, 2000) sugieren que las diferencias en cantidad y calidad de los aportes orgánicos al suelo son responsables de las diferencias en las tasas de mineralización de C y N, a lo que se suma el efecto de la textura sobre el reciclaje del C.

En relación con el nitrógeno, también se observaron mayores valores en la parcela FR y particularmente en T5, a pesar de que en todos los casos resultaron bajos (0,0075-0,150%) (Cosentino, 2013). En la parcela R los valores se consideran muy bajos (<0,0075%). Se encontraron diferencias tanto por parcela ($p: 0,0316$), tipo de fertilizante ($p: 0,0022$) y su interacción ($p: 0,0061$). En la parcela R, T1 presentó el menor valor diferenciándose de T2 y T3. Así mismo, en la parcela FR T5 se diferenció estadísticamente con el mayor valor de N, mientras que no hubo diferencias entre T4 y T6.

Los valores bajos de N pueden explicarse por la baja fertilidad nitrogenada del suelo, el pobre contenido de N del alperujo. Además, mediante el compostaje se gana estabilidad de la materia orgánica, pero muchas veces se pierde disponibilidad de nitrógeno (Irizar Garza *et al.*, 2015). La biotransformación del AS es un proceso

imprescindible para la síntesis de sustancias húmicas y la mineralización de nutrientes que se reincorporan al suelo y quedan disponibles para las plantas, ya que existe una marcada interdependencia entre el aporte de materia orgánica, la actividad biológica del suelo y la mineralización de N. Por otro lado, es ampliamente conocido que durante la descomposición de residuos con alta relación C/N, como ocurre en este caso, se presenta una disminución temporal del N inorgánico en el suelo debido al proceso de inmovilización microbiana (Álvarez-Solís et al., 2010). La relación COT/N más elevada se observó en R control (T1: 18), donde el aporte son los restos de hojas y frutos que caen al suelo con bajo contenido de N), mientras que la más baja se verificó en FR-AL (T6: 12), donde hubo mayor aporte de N. La relación COP/N más elevada se observó en FR-AS (T5:13) y la más baja en R-AL (T3: 6,5) muy similar a FR-AL (T6:7). Esto sugiere que los cambios en el N total dependerán de los aportes totales (suelo y planta) y de las salidas (consumo de la planta, fijación temporaria por los microorganismos del suelo y/o pérdidas). Por lo tanto, para definir claramente la dinámica, especialmente en suelos arenosos, todos estos componentes deberán ser evaluados.

En general, el aporte de AS y AL produjo un impacto positivo en los valores de nitrógeno, especialmente en las parcelas con FR. Resultados similares fueron observados por Fernández Hernández *et al.* (2014) en España tras seis años de aplicación de compost, lo que provocó aumentos de nitrógeno hasta del 79% respecto al control

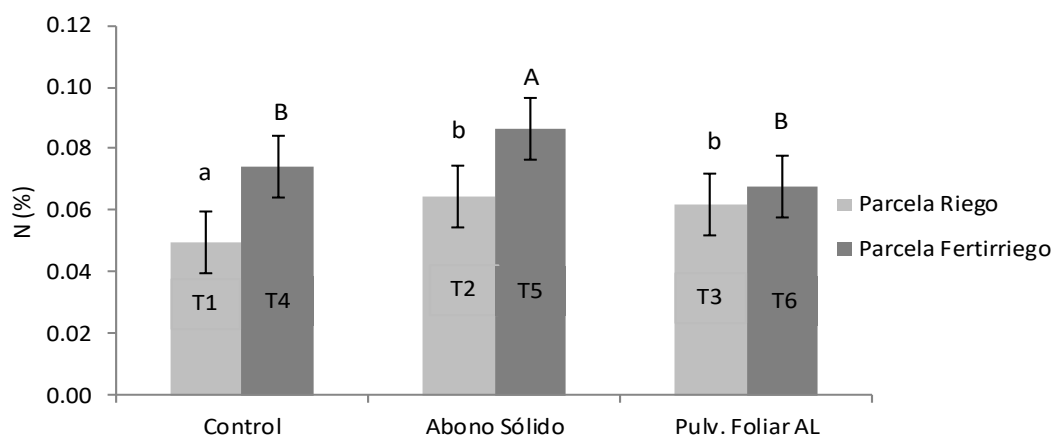


Figura 3.6. Contenido de nitrógeno (N) en suelos con (FR) y sin (R) aplicación de abono líquido en fertirriego, y para diferentes tratamientos de aplicación de compost de alperujo y resto de poda de olivares en un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas (2014-2018). *Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R y mayúsculas para la parcela FR. AS: abono sólido; AL: abono líquido. Con riego (R): T1: control; T2: AS; T3: pulverización foliar de AL. Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL.*

Los niveles de P del ensayo fueron medios (5-10 ppm) a excepción de T1 que presentó un valor bajo (< 5 ppm) (Figura 3.7), de acuerdo con Cosentino (2013). Este parámetro se vio muy influenciado por el efecto de los tratamientos, mostrando diferencias significativas ($p < 0,10$). En la parcela R los tratamientos T2 y T3 se diferenciaron de T1 registrando valores más elevados, al igual que en la parcela FR donde los tratamientos T5 y T6 se distinguieron de T4 con los máximos valores del ensayo (8,6 ppm). También se observa que el contenido de P fue mayor en T1 que en T4. Estos resultados muestran que tanto el AS como el AL afectaron el aporte total como la disponibilidad. Experiencias similares comprobaron incrementos significativos de P en el suelo, donde el contenido cambió de bajo a muy alto en olivares con fertilizaciones orgánica, obteniendo los mejores resultados en tratamientos con compost y restos de poda (Fernández Hernández *et al.*, 2014).

En general la solubilidad de P es baja, especialmente en suelos alcalinos y pobres en materia orgánica, por lo que en zonas áridas, como Catamarca, es muy importante contar con buena disponibilidad (Undurraga Díaz, 2018). Además, es un nutriente con disponibilidad dinámica y variable ya que se encuentra en los suelos en forma orgánica e inorgánica. Por otra parte, el P extractable depende del equilibrio fisicoquímico entre las formas de P presentes en el suelo, de la actividad biológica y de las características del ambiente edáfico, como pH, temperatura, humedad, entre otras. En este estudio no se observó cambios en los valores de pH en el suelo. Por otro lado, por las características propias del suelo (arenoso), el incremento de P y su variación puede atribuirse mayoritariamente al aporte de los abonos y restos de hojas y frutos que caen de las plantas, que por la actividad microbiológica disponibilizaron P. En este sentido, la incorporación el AS y AL además de aportar materia orgánica y una diversa comunidad microbiana, son fundamentales para proveer P disponible a las plantas (Allahyari *et al.*, 2015; Proietti *et al.*, 2015).

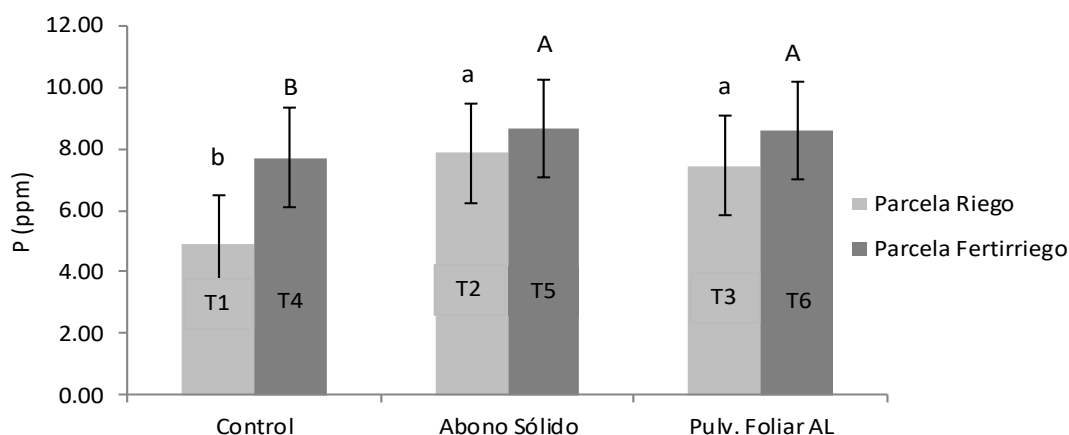


Figura 3.7. Cambios en el contenido de fósforo (ppm) en el suelo según tratamientos con aplicación (FR) y sin aplicación (R) de abono líquido por fertirriego y para diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares, en un cultivo de olivo, cv. ‘Arbequina’ de 15 años de edad. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas (2014-2018). *Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R y mayúsculas para la parcela FR. AS: abono sólido; AL: abono líquido. Con riego (R): T1: control; T2: AS; T3: pulverización foliar de AL. Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL.*

Los niveles de K^s , K^i y CIC de los suelos ensayados fueron muy bajos y no tuvieron diferencias entre tratamientos para el potasio soluble ni para la capacidad de intercambio catiónico (Tabla 3.7). Sin embargo, se encontraron diferencias entre tratamientos en el contenido de K^i . La parcela FR, y en particular T6, presentó el mayor valor. El aporte de compost en olivares durante 6 años incremento un 60% los niveles de K^i en ensayos llevados a cabo en España (Fernández Hernández *et al.*, 2014); y tendencias similares se vieron en otras experiencias llevadas a cabo en Italia (Proietti *et al.*, 2015) incorporando 3 kg de compost de alperujo por planta de olivo durante tres años.

Tabla 3.7. Contenido de potasio soluble (K^+s), potasio intercambiable (K^+i) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas (2014-2018).

Parcela	Tipo de fertilización	Símbolo	K^+s ($meq\ l^{-1}$)	K^+i ($cmol_c\ kg^{-1}$)	CIC ($cmol_c\ kg^{-1}$)
R	Control R	T1	$0,65 \pm 0,30\ a$	$0,37 \pm 0,33\ a$	$3,01 \pm 0,58\ a$
R	AS	T2	$0,74 \pm 0,30\ a$	$0,38 \pm 0,33\ a$	$4,16 \pm 0,58\ a$
R	Pulv. Foliar de AL	T3	$0,56 \pm 0,30\ a$	$0,38 \pm 0,33\ a$	$3,74 \pm 0,58\ a$
FR	Control FR	T4	$0,81 \pm 0,31\ A$	$0,53 \pm 0,33\ B$	$3,56 \pm 0,58\ A$
FR	AS	T5	$0,85 \pm 0,31\ A$	$0,53 \pm 0,33\ B$	$4,21 \pm 0,58\ A$
FR	Pulv. Foliar de AL	T6	$0,75 \pm 0,31\ A$	$0,61 \pm 0,33\ A$	$3,65 \pm 0,58\ A$
	<i>Efecto parcela</i>		<i>0,3440</i>	<i>0,6436</i>	<i>0,4490</i>
<i>p-valor</i>	<i>Efecto tipo de fertilización</i>		<i>0,3070</i>	<i>0,8319</i>	<i>0,2626</i>
	<i>Interacción parcela:tipo de fertilización</i>		<i>0,6612</i>	<i>0,0470*</i>	<i>0,5452</i>

Referencias: Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R y mayúsculas para la parcela FR. AS: abono sólido; AL: abono líquido. Con riego (R): T1: control; T2: AS; T3: pulverización foliar de AL. Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL.

Una posible explicación para la mayor dotación de K^+i en T6, es que el fertirriego sumado a la aplicación de AL foliar cubrieron los requerimientos de K de las plantas, por lo que la reserva de K^+i en suelo no disminuyó como en el resto de los tratamientos.

III.2.2.2. Indicadores físicos y biológicos

Es importante destacar, como ya se mencionó en la descripción del perfil del suelo, que la clase textural predominante en este ensayo fue la arenosa y arenosa franca, con gravillas y arenas de gran variabilidad. Esta variable es muy poco influenciada por los aportes orgánicos y manejos del suelo (Taboada & Álvarez, 2008), por lo tanto, no nos detuvimos en el análisis de su comportamiento.

Existe una clara relación entre la densidad del suelo con la textura, contenido de materia orgánica, porosidad, compactación, entre otras. Desde el punto de vista agrícola, valores bajos de Da se asocian con una condición más apropiada para los cultivos (Conti, 2014). Los valores de densidad y porosidad del suelo (Dr: $2,07$ y $2,13\ g\ cm^{-3}$; Da: $1,13$ a $1,27\ g\ cm^{-3}$ y PT: $41,1$ a $46,7\%$) estuvieron dentro de los valores teóricos propios de suelos finos (Narro Farías, 1994), debido probablemente a la incidencia de las arenas finas y muy finas presentes. No se encontraron diferencias entre tratamientos al nivel del 5% para las variables estudiadas (Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Densidad real, densidad aparente y porosidad total de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas (2014-2018).

Parcela	Tipo de fertiliz.	Símbolo	Dr (g cm ⁻³)	Da (g cm ⁻³)	PT (%)
R	Control R	T1	2,11 ± 0,07 a	1,17 ± 0,06 a	44,58 ± 2,43 a
R	AS	T2	2,13 ± 0,07 a	1,19 ± 0,06 a	43,54 ± 2,43 a
R	Pulv. Foliar de AL	T3	2,13 ± 0,07 a	1,13 ± 0,06 a	46,70 ± 2,43 a
FR	Control FR	T4	2,07 ± 0,07 A	1,23 ± 0,06 A	41,95 ± 2,43 A
FR	AS	T5	2,09 ± 0,07 A	1,27 ± 0,06 A	41,15 ± 2,43 A
FR	Pulv. Foliar de AL	T6	2,13 ± 0,07 A	1,20 ± 0,06 A	44,88 ± 2,43 A
<i>Efecto parcela</i>			0,3166	0,1568	0,3136
<i>p-valor</i>	<i>Efecto tipo de fertilización</i>		0,3399	0,0656	0,2025
	<i>Interacción parcela:tipo de fertilización</i>		0,4451	0,8538	0,9380

Referencias: Da, densidad aparente; Dr, densidad real y PT, porosidad total. Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,05$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R y mayúsculas para la parcela FR. AS: abono sólido; AL: abono líquido. Con riego (R): T1: control; T2: AS; T3: pulverización foliar de AL. Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL.

En el caso de la densidad aparente (Figura 3.8), cuando se analizaron los valores en conjunto, se observó una leve diferencia (a nivel de 10%) por efecto del tipo de fertilización, pero sin diferencias respecto del control. Esta pequeña diferencia puede atribuirse más a la dificultad de determinación de la Da en suelos arenosos y con material grueso que a un efecto del tipo de fertilización.

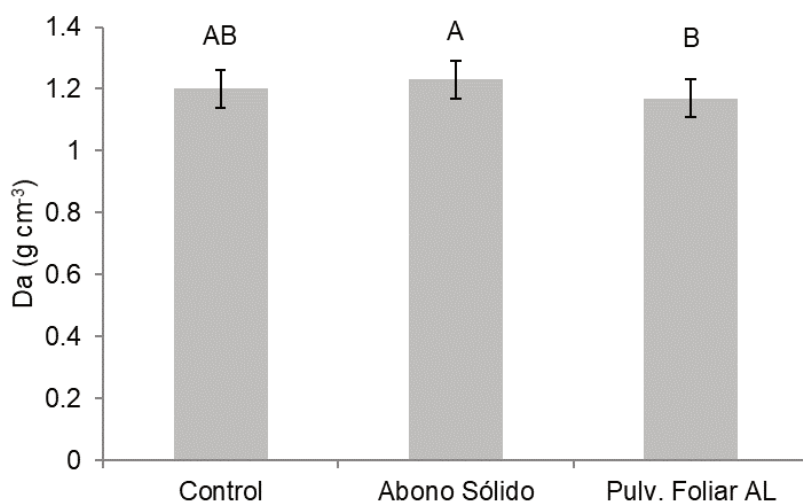


Figura 3.8. Comparación de valores promedios de densidad aparente según tipo de fertilización. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas (2014-2018). ANOVA de los efectos fijos al 10%. Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$.

En general, la magnitud de la porosidad total es mayor en suelos con texturas finas (Rucks *et al.*, 2004), mientras que el volumen de macroporos es mayor en suelos de texturas gruesas. Estas propiedades condicionan la dinámica del agua y del aire y el crecimiento de las plantas; como resultado se modifica el potencial de producción de los suelos (Taboada & Álvarez, 2008). Las propiedades físicas mencionadas pueden ser modificadas por la incorporación de materia orgánica al suelo. Dearborn (2011) menciona los beneficios de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo y que estas virtudes (aportes de microorganismos, sustancias húmicas, nutrientes, entre otras) son transmitidas al té de compost. Estudios realizados con compost de orujo de aceituna incorporado al suelo como enmienda para el establecimiento de césped (*Cynodon dactylon*) mostraron reducción de la densidad aparente, del pH y aumento en la retención de humedad (Ntoulas *et al.*, 2011). Por su parte, Toscano *et al.* (2013) comprobaron un aumento del 21% en la capacidad de retención de agua en suelos con compost de alperujo, atribuyendo ese aumento a la influencia de la materia orgánica agregada en la agregación y porosidad. Mora Delgado & Silva Parra (2019) indicaron que la materia orgánica suministrada al suelo a través de los abonos orgánicos contribuye a la bioestructura y se incorpora a los microagregados mejorando los atributos físicos de los suelos. Nuestros resultados no coinciden con los encontrados por los autores mencionados, probablemente debido a la poca cantidad de AS y/o AL incorporado, correspondiendo a 3 kg de AS planta⁻¹ y 48 l de AL planta⁻¹ por año y a que las evaluaciones se realizaron sólo cuatro años.

En cuanto a la actividad biológica, los resultados indican que la incorporación de AS (efecto tipo de fertilización) tuvo un efecto positivo y significativo independientemente del efecto parcela (R-FR) (Tabla 3.9, Figura 3.9). La mayor actividad biológica tanto en R como en FR se verificó precisamente en el tratamiento que mayor incremento tuvo de COP (AS), lo que corrobora que a mayor disponibilidad de sustrato fácilmente degradable, mayor es la actividad de los microorganismos.

Tabla 3.9. Actividad biológica (UA) de suelos cultivados con olivos, cv. ‘Arbequina’ a los que se les aplicó diferentes tratamientos de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedio de 4 campañas (2014-2018).

Parcela	Tipo de fertilización	Símbolo	Act. Biolog. (UA)
R	Control R	T1	0,52 ± 0,07 a
R	AS	T2	0,59 ± 0,07 a
R	Pulv. Foliar de AL	T3	0,51 ± 0,07 a
FR	Control FR	T4	0,57 ± 0,07 A
FR	AS	T5	0,74 ± 0,07 A
FR	Pulv. Foliar de AL	T6	0,61 ± 0,07 A
<i>Efecto parcela</i>			0,7568
<i>p-valor</i>	<i>Efecto tipo de fertilización</i>		<0,0001*
	<i>Interacción parcela:tipo de fertilización</i>		0,2210

Referencias: Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R y mayúsculas para la parcela FR. AS: abono sólido; AL: abono líquido. Con riego (R): T1: control; T2: AS; T3: pulverización foliar de AL. Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL.

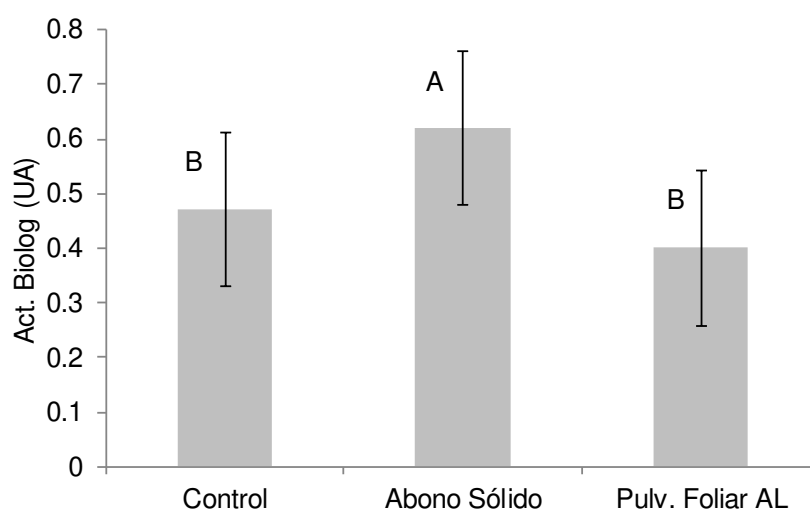


Figura 3.9. Efecto de la fertilización sobre la actividad biológica. Frutos del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas (2014-2018). *Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$.*

En este estudio se pudo determinar una correlación positiva y significativa entre la biomasa microbiana y la materia orgánica, lo que concuerda con lo encontrado por otros autores (Hernández Vigoa *et al.*, 2018; Mora Delgado *et al.*, 2019). Experiencias de Mateu González *et al.* (2013) demostraron que la incorporación de 45 t ha⁻¹ anuales de alperujo en suelo de olivares tuvo un efecto positivo sobre la funcionalidad potencial de las comunidades microbianas. Además, se demostró que las variables biológicas son

mucho más sensibles y se alteran más rápidamente que las otras variables evaluadas cuando ocurren variaciones en el contenido de materia orgánica y/o manejo del suelo. El aumento de la materia orgánica en el suelo debido a la aplicación de AS estimuló el crecimiento y la actividad biológica, contribuyendo a mejorar la calidad del suelo, y probablemente la sostenibilidad del sistema olivícola con el transcurrir del tiempo.

La actividad biológica es una propiedad muy dinámica y altamente sensible a los cambios, tanto ambientales como de manejo en el suelo (Toledo, 2014; Toledo *et al.*, 2018). Por lo tanto, esos efectos no pueden ser desestimados en los resultados de este estudio. Por un lado, la forma de aplicación es diferente según el tipo de abono: el AS se aplica al costado de las plantas, aproximadamente a 70 cm desde el tronco y a una profundidad de a 15 cm, alternando de lado cada año; el AL se aplica vía riego por goteo mojando un área mayor. Aunque se trató de realizar un muestreo bien representativo, tomando muestras compuestas alrededor de las plantas y manteniendo constante la fecha de muestreo (45 días luego de la aplicación de AS y al menos 4 riegos con AL y 2 pulverizaciones foliares con AL) a través de los años, la influencia del clima también puede haber condicionado los resultados. Se debe destacar que el clima del último año de mediciones fue totalmente atípico. Se verificaron las temperaturas más elevadas del período 2008-2018, lo que sin dudas debe haber afectado la actividad microbiana. Por estos motivos, especialmente en regiones áridas que presentan variaciones climáticas importantes, es necesario realizar mediciones durante varios años y, también, correlacionarlas con otras variables como los contenidos de COT y COP para poder comprender el comportamiento de los sistemas productivos en esas condiciones.

En general los resultados indican que la aplicación de AS y AL por fertirriego mejoraron notablemente los parámetros de fertilidad del suelo, con incrementos en COT (59,3%), COP (131%); N (80%), Pe (77%) y Ki^+ (43%) respecto al control. También la actividad biológica resultó favorecida. Estos resultados apoyan lo mencionado por Irizar Garza *et al.* (2015), quienes sugieren que la incorporación de enmiendas orgánicas es una opción para mejorar la nutrición de los cultivos, reducir costos de producción y disminuir la contaminación de suelos y napas freáticas por el uso de fertilizantes sintéticos.

III. 2.3. CONCLUSIÓN

Los resultados muestran que la aplicación de fertirriego con AL produjo una mejora en las variables químicas del suelo, mientras que el agregado de abono sólido (AS) incrementó el COT, COP, N, Pe, Ki y la actividad biológica, tanto en las parcelas con R

como con FR. Por el contrario, los parámetros físicos analizados no fueron modificados. El mayor impacto favorable en los indicadores mencionados se consiguió a través de la aplicación de AS al suelo combinado con el fertirriego de AL, lo que sugiere que este manejo puede convertirse en una estrategia interesante para mejorar los suelos de las empresas olivícolas de Catamarca.

III. 3. ENSAYO B

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE SUELOS CON INCORPORACIÓN DE ABONOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS EN OLIVARES DE POMAN SA.

III.3.1. MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en la empresa Olivares de Pomán S.A., situada en el Departamento Pomán, provincia de Catamarca, sobre Ruta Nacional N°46 (28°19'48,47"S; 66°19'44,53"O; altitud: 812 msnm), a 150 km de San Fernando del Valle de Catamarca.

La finca constituye un emprendimiento olivarero orgánico. En la misma finca se encuentra la fraccionadora de aceite por lo que, cada año, producen grandes volúmenes de alperujo. El cultivo es orgánico plantado en un marco de 6 x 2 m, con un sistema de riego por goteo, con poda y cosecha mecanizada. Los residuos de alperujo más los restos de poda fueron compostados anualmente (abono sólido, AS) agregando además un inoculante comercial, marca 'Solbio BC', que contenía bacterias facultativas, tales como *Bacillus amyloliquefasciens*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformi*, además de vitaminas, aminoácidos, proteínas vegetales y animales, entre otros compuestos, con el objeto de acelerar el proceso de compostaje.

Se aplicó una dosis de 3 kg por planta y por año, en invierno durante el mes de agosto, en un lateral de la hilera de plantación aproximadamente 70 cm del tronco, alternando de lado cada año. Se utilizó una surcadora que profundiza 15 cm, incorpora y tapa el abono. Previo al inicio del experimento se realizó análisis del AS y se determinó la calidad del agua de riego.

III.3.1.1. Diseño del ensayo

Se seleccionaron dos parcelas de 4 ha cada una con olivos (*Olea europeae* L.) cultivar 'Arbequina' y un área no cultivada con vegetación nativa. Se plantearon tres tratamientos, según años de aplicación de abono sólido (AS), considerando que los años de aplicación de AS coinciden con los años de la plantación, donde: T1, control: suelo sin cultivo (Fig. 3.10a) y con vegetación natural típica de la región; T2: Olivares de 5 años de plantación con AS (Fig. 3.10b) y T3: Olivares de 13 años de plantación con AS (Fig. 3.10c), con seis repeticiones en un diseño completamente al azar, obteniendo 18 unidades experimentales.



Figura 3.10. Olivares de Pomán S.A., Pomán, Catamarca 2014. T1: monte nativo (a); T2: Olivos cv. ‘Arbequina’ de 5 años (b); T3: Olivos cv. ‘Arbequina’ de 13 años de plantación (c).

Los parámetros físico-químicos y biológicos del compost de alperujo y restos de poda de olivares utilizado durante el año del estudio se presentan en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Resultados del análisis del compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS) 2014, Olivares de Pomán S.A., Catamarca.

Característica	AS 2014
Humedad (%)	20,50
pH (1:5 v/v)	9,0
CE (dS m ⁻¹)	2,0
CO (%)	45,3
MO (%)	78,1
Ceniza (%)	21,9
Nitrógeno (%)	1,04
Fosforo total (%)	0,56
Potasio (%)	2,40
Sodio (%)	0,20
Calcio + Magnesio sol. (meq l ⁻¹)	7,58
Sodio soluble (meq l ⁻¹)	5,26
Potasio soluble (meq l ⁻¹)	35,85
RAS	2,7
Da (g cm ⁻³)	0,51
Dr (g cm ⁻³)	1,17
Porosidad (%)	70,41
Act. Biológica (UA)	Muy Alta >1
PFT (μg ac.cafeico /gr muestra seca)	613,14

Referencias: CE, conductividad eléctrica; CO, carbono orgánico; RAS, relación de absorción de sodio; Da, densidad aparente; Dr, densidad real; UA: unidades de absorbancia; PFT, polifenoles totales.

El riego se realizó con agua subterránea que es clasificada como C3S1: “Medianamente salina (1309 μS cm⁻¹) y de baja peligrosidad sódica (RAS: 2,8)”, pH

neutro, muy dura (603,23 ppm CaCO_3) y bicarbonatada (3,1 meq l^{-1}). En cuanto a la toxicidad por aniones, no existen riesgos ya que las concentraciones de cloro (3,5 meq l^{-1}) y sulfatos (1,6 meq l^{-1}) se encuentran dentro de los valores considerados “aceptables para el riego” (Ayers & Westcot, 1994; Garcia Fernández, 2012).

III 3.1.2. Variables evaluadas

Se evaluaron propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El muestreo se realizó por única vez, al inicio de la temporada productiva (septiembre), 45 días después de la aplicación anual del AS, bajo la proyección de la copa. Se colectaron con un barreno 6 muestras de suelo, compuestas cada una por 4 submuestras que se extrajeron a 50 cm del tronco de la planta de olivo en los cuatro puntos cardinales, de cada tratamiento y a dos profundidades (0-20 y 20–40 cm). De esta forma se obtuvieron seis repeticiones por tratamiento y por profundidad.

Las variables químicas del suelo valoradas según los métodos mencionados previamente fueron: el contenido de carbono total (COT, %) y carbono particulado (COP, %); nitrógeno total (NT, %); fósforo extractable (Pe, ppm); capacidad de intercambio catiónico (CIC; $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); potasio intercambiable (Ki^+ , $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); potasio soluble y sodio soluble (K^+ , Na^+ , meq l^{-1}); calcio + magnesio soluble ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$, meq l^{-1}); pH; conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE, dS m^{-1}); RAS y carbonatos por el método de Collins (CO_3^{-2} , %) (Marbán & Ratto, 2005; SAMLA, 2004; RILSAV, 2014). En cada muestra también se midió la actividad biológica (Schnürer & Roswall, 1982).

Las variables físicas valoradas fueron: granulometría, densidad aparente (Da , g cm^{-3}); densidad real (Dr , g cm^{-3}); porosidad total (PT, %). Para estas tres últimas variables en el tratamiento 1 se extrajeron seis cilindros por tratamiento y a dos profundidades (0-20 y 20–40 cm) (USDA, 1999; Santos *et al.*, 2012). En la parcelas con olivo se extrajeron 6 cilindros a 50 cm de la planta sobre la línea de plantación.

Además, se evaluó la resistencia a la penetración (RP; MPa) para determinar la compactación del suelo, utilizando un penetrómetro de golpe tipo INTA Villegas. Las mediciones se realizaron según protocolo de uso del equipo, seleccionando seis puntos al azar, explorando hasta 60 cm de profundidad a intervalos de cinco cm y a 50 cm de distancia del tronco de las plantas.

III. 3.1.3. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis exploratorio donde se analizó cada

variable en función de los tratamientos aplicados y en las dos profundidades. Posteriormente, se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) y de comparación de medias con el test LSD (Fischer) para p -valor $<0,05$. Finalmente, se efectuó un análisis discriminante canónico donde se incluyeron variables químicas, físicas y biológicas. El análisis estadístico de los datos se realizó con el software estadístico InfoStat 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018)

III. 3.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III. 3.2.1. Resultados indicadores químicos

El pH resultó alcalino en los primeros 20 cm de profundidad y muy alcalino en el estrato de 20 a 40 cm, aunque sin diferencias entre tratamientos. Comparando ambos estratos, dentro de cada tratamiento hubo diferencias significativas ($p < 0,001$) en T1 y T2, que mostraron valores más elevados de pH en profundidad (Tabla 3.11).

Tabla 3.11. Indicadores químicos en suelos bajo monte nativo (T1), suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de abono sólido (AS) de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.

Prof (cm)	Tratamiento	pH	CO ₃ ⁻² (%)	CE (dS m ⁻¹)	RAS
0-20	Monte (T1)	8,6 ± 0,3 b	0,32 ± 0,07 a	0,34 ± 0,06 b	1,08 ± 0,38 b
	5 Años (T2)	8,7 ± 0,2 ab	0,35 ± 0,04 a	3,13 ± 0,46 a	3,08 ± 0,60 a
	13 Años (T3)	9,0 ± 0,4 a	0,38 ± 0,00 a	3,18 ± 0,44 a	3,83 ± 0,86 a
20-40	Monte (T1)	9,3 ± 0,1 a	0,25 ± 0,08 b	0,31 ± 0,05 b	1,28 ± 0,43 b
	5 Años (T2)	9,4 ± 0,4 a	0,37 ± 0,04 a	2,85 ± 0,98 a	2,95 ± 1,19 a
	13 Años (T3)	9,4 ± 0,4 a	0,36 ± 0,00 a	3,19 ± 0,45 a	2,85 ± 0,84 a

Referencias: pH, potencial hidrógeno; CO₃⁻², carbonatos; CE, conductividad eléctrica; RAS, relación de absorción de sodio. Letras diferentes en una misma profundidad según tratamiento denotan diferencias significativas para la Prueba LSD de Fischer con $p < 0,05$.

El porcentaje de carbonatos fue pobre (0,5%) en todos los casos. En la profundidad 0 a 20 cm no hubo diferencias significativas entre tratamientos, mientras que en la de 20 a 40 cm de profundidad T1 presentó el menor valor, diferenciándose de los otros tratamientos.

Los valores de salinidad (CE) y sodicidad (RAS), en ambas profundidades fueron mayores en los tratamientos con AS respecto al monte natural (Tabla 3.11). Al analizar las profundidades, para cada tratamiento por separado, solo T3 presentó diferencias significativas ($p < 0,001$), siendo más bajo el valor de 20 a 40 cm. Esto sugiere que el

mayor número de años de riego y la aplicación del abono orgánico solo alteró ambos parámetros en la capa superficial del suelo en este tratamiento.

El suelo bajo monte nativo, según la CE y el RAS, se clasifica como suelo no salino y no sódico ($CE < 2 \text{ dS m}^{-1}$; $RAS < 13$) (Soil Science Society of América, 2001), mientras que en los tratamientos con aporte de AS el suelo se produjo un cambio de categoría, pasando a ser moderadamente salino y no sódico ($CE: 2-4 \text{ dS m}^{-1}$; $RAS < 13$). Resulta importante considerar que el suelo con olivos se encuentra bajo riego con agua clasificada como “medianamente salina y de baja peligrosidad sódica”, muy dura y bicarbonatada (Ayers & Westcot, 1994; Olias *et al.*, 2005), lo cual indefectiblemente contribuye a incrementar la salinidad y sodicidad a través del tiempo, lo que constituye un punto clave para el manejo de los olivares bajo riego (Ahumada *et al.*, 2014; de Bustos *et al.*, 2014).

Los niveles de carbono orgánico total (COT) aumentaron con el aporte de AS aunque sin diferencias entre T2 y T3 en ambas profundidades; además, el incremento porcentual disminuyó con la profundidad de muestreo (Tabla 3.12).

Tabla 3.12. Contenido de carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP) y relación COP/COT en suelos bajo monte nativo (T1), suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de abono sólido (AS) de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.

Prof (cm)	Tratamiento	COT (%)	COP (%)	COP/COT
0-20	Monte (T1)	0,15 ± 0,04 b	0,09 ± 0,03 b	0,61 ± 0,09 b
	5 Años (T2)	0,46 ± 0,15 a	0,35 ± 0,11 a	0,74 ± 0,20 a
	13 Años (T3)	0,55 ± 0,20 a	0,41 ± 0,05 a	0,76 ± 1,05 a
20-40	Monte (T1)	0,13 ± 0,04 b	0,08 ± 0,03 b	0,60 ± 0,08 a
	5 Años (T2)	0,24 ± 0,05 a	0,10 ± 0,01 b	0,42 ± 0,16 b
	13 Años (T3)	0,35 ± 0,13 a	0,20 ± 0,10 a	0,59 ± 0,05 a

Referencias: COT, Carbono oxidable total; COP, Carbono oxidable particulado; relación COP/COT. Letras diferentes según indicador y profundidad denotan diferencias significativas para Prueba de LSD (Mínima diferencia significativa) con $p < 0,05$.

En T2, de 0 a 20 cm de profundidad, el COT se incrementó un 206% y en T3 un 266% con respecto de T1, mientras que para el estrato de 20 a 40 cm en T2 y T3 el incremento fue de 85% y 169%, respectivamente (Tabla 3.12). Trabajos realizados por Fernández-Hernández *et al.* (2014), donde evaluaron el abonado con diferentes compost en olivares durante 6 años, mencionan como efectos principales sobre el suelo el aumento en el contenido de materia orgánica y en la disponibilidad de nutrientes.

La materia orgánica (MO) es un componente clave en el suelo por su influencia en las propiedades biológicas, físicas y químicas que definen su productividad y calidad

(Studdert *et al.*, 2008). La MO está compuesta por fracciones de diferente labilidad/estabilidad, siendo el COP la fracción más lábil y joven, la cual constituye una fuente de nutrientes más rápida para las plantas y microorganismos (Studdert *et al.*, 2008; Videla *et al.*, 2008; Beltran *et al.*, 2016; Toledo *et al.*, 2018). Así mismo, otros autores señalan que el COP es determinante en la fertilidad física, química y biológica del suelo (Quiroga *et al.*, 2015) y que resulta un excelente indicador temprano y muy sensible ante los cambios de manejo del suelo. Por este motivo el COP es un indicador clave para interpretar los cambios de calidad de un suelo (Galantini & Suñer, 2008; Duval *et al.*, 2014).

En este sentido el COP reveló incrementos más importantes que el COT de 0 a 20 cm de profundidad, registrando diferencias significativas entre T1 y los tratamientos con AS, con un aumento del 289% en T2 y 356% en T3. De 20 a 40 cm de profundidad no hubo diferencia significativa entre T1 y T2 (incremento de 25%), mientras que en T3 el aumento respecto de T1 fue significativo (56%).

La relación COP/COT en la profundidad de 0 a 20 cm fue menor en T1, es decir es el sistema sin aplicación de abonos. En el estrato de 20 a 40 cm la relación fue menor en T2 debido al valor reducido de COP (Tabla 3.12). El monte es un sistema estabilizado, con especies adaptadas a las condiciones del lugar, por lo que probablemente poseen raíces en profundidad que aportan carbono en sus diversas formas. Al desmontar, el sistema es alterado completamente, favoreciendo la degradación de la materia orgánica acumulada bajo el monte. Los resultados indican que el crecimiento de los olivos durante 5 años, a pesar del agregado de abonos, no fue suficiente para incrementar los niveles de COP en cantidades suficientes como para elevar la relación COP/COT. Dado que la fracción COP es la que más rápidamente se degrada, proveyendo nutrientes para las plantas, según los resultados, fueron necesarios más años hasta igualar los valores existentes bajo el monte.

Al comparar las variables entre profundidades se verificó que solo hubo diferencia significativa ($p < 0,0001$) en T2 y T3 en los valores de COT, COP y la relación COP/COT, siendo menores los valores en la profundidad 20-40 cm. Esto indica que el AS ejerció su mayor influencia positiva principalmente en la capa donde fue aplicado, que es la superficial.

El contenido de nitrógeno fue significativamente más elevado en T2 y T3 en los primeros 20 cm de profundidad, mientras que de 20 a 40 cm solo hubo diferencia significativa entre T1 y T3. Los valores de N se consideran muy bajos (0-0,05%) a pesar

de los aportes del AS (Tabla 3.13). La relación C/N no evidenció diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 3.13).

Tabla 3.13. Contenido de nitrógeno (N), fósforo extraíble (Pe) y relación C/N en suelos bajo monte nativo (T1), suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de abono sólido (AS) de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.

Prof (cm)	Trat.	N (%)	C/N	Pe (ppm)
0-20	Monte (T1)	0,02 ± 0,01 c	8,70 ± 6,34 a	2,98 ± 2,90 c
	5 Años (T2)	0,05 ± 0,01 b	9,08 ± 5,96 a	14,58 ± 2,60 b
	13 Años (T3)	0,07 ± 0,02 a	9,18 ± 5,46 a	24,41 ± 7,30 a
20-40	Monte (T1)	0,02 ± 0,06 b	6,88 ± 2,53 a	2,86 ± 2,04 b
	5 Años (T2)	0,03 ± 0,02 b	9,80 ± 5,33 a	6,11 ± 1,42 b
	13 Años (T3)	0,04 ± 0,01 a	10,17 ± 5,60 a	12,51 ± 4,45 a

Referencias: N, nitrógeno; C/N, relación carbono nitrógeno; Pe, fósforo extractable. Letras diferentes denotan diferencias significativas según Prueba de LSD (Mínima diferencia significativa) para $p < 0,05$.

El aporte de AS originó un aumento significativo en el contenido de Pe, siendo proporcional al tiempo de aporte de AS. Sin embargo, de 20 a 40 cm solo en T3 la diferencia fue significativa. En el estrato más superficial los valores fueron muy bajos (<5 ppm) en T1, intermedios en T2 (5-15 ppm) y altos (>15 ppm) en T3 (Tabla 3.13). El análisis entre profundidades, para cada tratamiento, indicó que solo hubieron diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el contenido de N y Pe, siendo mayores los valores en el estrato de 0 a 20 cm.

El potasio, tanto soluble como intercambiable, fue significativamente más bajo en T1 respecto de T2 y T3 (Figura 3.11).

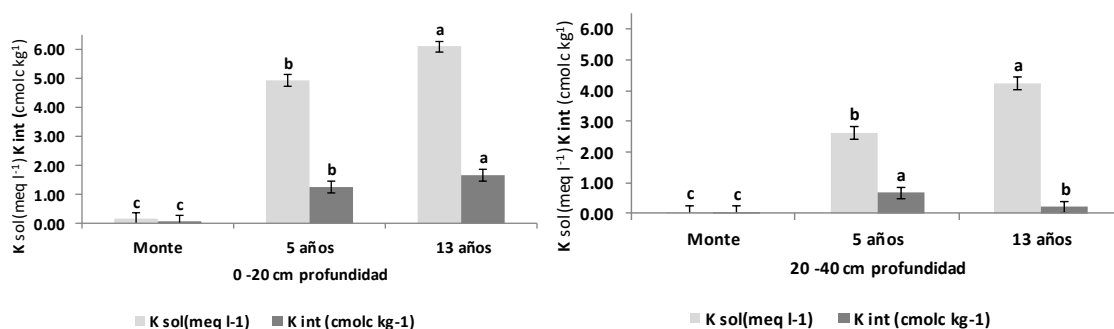


Figura 3.11. Comparación de medias de Potasio soluble (K^+ s) y potasio intercambiable (K^+ i) en suelo bajo monte nativo (T1) y bajo olivares con 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Año 2014. *Letras diferentes según indicador denotan diferencias significativas para Prueba de LSD Fischer con $p < 0,05$.*

En el estrato de 0 a 20 cm de profundidad, K^+ s y K^+ i aumentaron significativamente en función de la aplicación de AS. Sin embargo, el aumento del K^+ s en T3 fue más notable que el aumento del K^+ i. De 20 a 40 cm también se observó un incremento significativo de K^+ s con el aporte de AS, mientras que el K^+ i fue mayor en T2 que en T3. El tratamiento T3 recibió mayor cantidad de AS y por ende un mayor aporte de K. Sin embargo, la extracción de este nutriente por los olivos de 13 años resulta superior debido a su mayor porte y producción en relación a los árboles de 5 años. Además es de esperar un mayor y más eficiente sistema radicular. Ese mayor consumo de K puede explicar la disminución de la reserva de K^+ i del suelo, como fue señalado por Fernández Hernández *et al.* (2014).

Al analizar los tratamientos entre profundidades, se encontró que para K^+ s hubo diferencias significativas ($p < 0,001$) en los tres tratamientos, y solo en T2 y T3 para K^+ i, siendo más bajos los valores de 20 a 40 cm, lo que podría ser asociado a las diferencias de materia orgánica y granulometría. Fernández Hernández *et al.* (2014) también observaron que el abonado con compost durante 6 años provocó incrementos en la disponibilidad de N (79%), de Pe (que varió del nivel bajo a muy alto) y de K (60%).

Si bien la CIC fue baja en todos los tratamientos (5-12 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), aumentó significativamente con el aporte de AS, en ambas profundidades. En el estrato superficial, el incremento de T1 a T2 fue del 27% y de T1 a T3 del 61%, mientras que en el estrato de 20 a 40 cm el incremento fue de 25% y 51%, respectivamente (Figura 3.12).

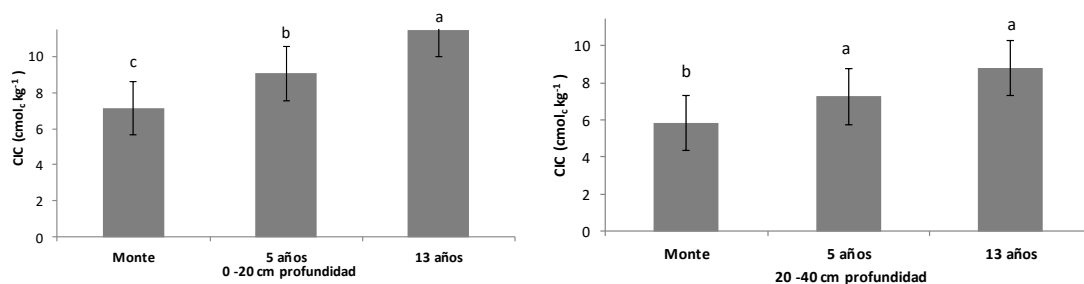


Figura 3.12. Comparación de medias de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos bajo monte nativo (T1) y suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de abono sólido (AS) de compost de alperujo y resto de poda de olivares, a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Olivares de Pomán S.A. Año 2014. Letras diferentes según indicador denotan diferencias significativas para Prueba de LSD Fischer con $p < 0,05$.

III. 3.2.2. Resultados de los indicadores físicos

La textura del suelo de la zona de estudio es arenosa con porcentajes de arena (finas y medias) de alrededor del 85%. No se registraron diferencias estadísticas

significativas de granulometría entre tratamientos (Tabla 3.14). Al comparar los estratos de diferente profundidad se encontró que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de arena y limo en T2 y T3. En ambos casos, en la profundidad de 20 a 40 cm, el contenido de arena fue mayor en detrimento del limo.

Tabla 3.14. Textura y porcentajes de arena, limo y arcilla, en suelos bajo monte nativo (T1) y suelos de olivares sometidos a 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares, a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.

Tratamiento	Prof (cm)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Textura
Monte (T1)	0 – 20	87 ± 1,9 a	2,0 ± 0,5 a	11,0 ± 1,5 a	Ar
	20 – 40	87 ± 2,0 a	3,0 ± 0,9 a	10,0 ± 2,0 a	Ar
5 años (T2)	0 – 20	87 ± 0,4 a	2,0 ± 0,3 a	11,0 ± 0,8 a	Ar
	20 – 40	86 ± 1,0 a	2,0 ± 1,0 a	11,0 ± 1,0 a	Ar
13 años (T3)	0 – 20	86 ± 4,0 a	2,0 ± 1,5 a	12,0 ± 0,5 a	Ar
	20 - 40	90 ± 4,0 a	1,0 ± 0,5 a	9,0 ± 4,0 a	Ar

Referencias: Letras diferentes según indicador y profundidad denotan diferencias significativas para la Prueba LSD de Fischer con $p < 0,05$. Ar: Arenoso.

Los valores de Da en los primeros 20 cm fueron más elevados en T1, con diferencias significativas respecto de los tratamientos con AS (Tabla 3.15). En la profundidad 20-40 cm no se observaron diferencias significativas. Los valores de Dr disminuyeron significativamente en el estrato superficial en función de los años de abonado, mientras que resultaron similares y más elevados en profundidad. Dado que la granulometría fue similar, las diferencias pueden atribuirse al incremento de MO del suelo en los tratamientos que recibieron abono. Considerando las diferencias entre profundidades en cada tratamiento, solo hubo diferencia significativa ($p < 0,05$) en T3, siendo mayor de 20-40 cm, probablemente asociada al mayor contenido de arena y menor contenido de materia orgánica. La PT no varió entre tratamientos ni profundidades. Los suelos de texturas gruesas poseen una porosidad total de alrededor de 45%, con dominancia de macroporos, que les confieren mayor capacidad de aireación, pero menor capacidad de retención de agua. En este estudio, en todos los tratamientos se superó ese valor, especialmente en la capa de 0 a 20 cm, probablemente debido al aumento de MO, que disminuyó la Da y la Dr.

Tabla 3.15. Valores promedios y desvío estándar de la densidad real, densidad aparente y porosidad total en el suelo bajo monte nativo (T1) y olivares sometidos a 5 (T2) y 13 (T3) años de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS), y a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.

Prof (cm)	Tratamiento	Dr (gr cm ⁻³)	Da (gr cm ⁻³)	PT (%)
0-20	Monte (T1)	2,65 ± 0,03 a	1,44 ± 0,02 a	46 ± 3 a
	5 Años (T2)	2,63 ± 0,02 b	1,37 ± 0,04 b	49 ± 5 a
	13 Años (T3)	2,61 ± 0,03 c	1,35 ± 0,05 b	48 ± 5 a
20-40	Monte (T1)	2,64 ± 0,02 a	1,37 ± 0,05 a	48 ± 2 a
	5 Años (T2)	2,64 ± 0,03 a	1,39 ± 0,02 a	47 ± 1 a
	13 Años (T3)	2,65 ± 0,02 a	1,42 ± 0,05 a	46 ± 2 a

Referencias: Da, densidad aparente; Dr, densidad real y PT, porosidad total. Letras diferentes según indicador y profundidad denotan diferencias significativas para la Prueba LSD de Fischer con $p < 0,05$

Diferentes autores (Urbano Terron *et al.*, 1992; Martínez *et al.*, 2008; Studdert *et al.*, 2008) observaron que el aporte de carbono orgánico produce un efecto importante en las propiedades físicas del suelo, disminuyendo la densidad, como se observó en este estudio. Este efecto resulta beneficioso en suelos de textura gruesa, dado que la materia orgánica contribuye a aumentar la agregación de las partículas minerales, la retención de agua y nutrientes y a disminuir la susceptibilidad a los procesos de degradación (e.g. erosión eólica) (Narro Farías, 1994; Taboada Álvarez, 2008).

Los cambios de la Da generalmente se acompañan de variaciones en la resistencia a la penetración (RP). En los primeros 15 cm de profundidad, en todos los tratamientos, el suelo presentó bajos valores de RP, que no superaron el valor de 1,5 MPa. A partir de dicha profundidad se observó un incremento en los tratamientos con olivos, especialmente en T3 donde RP alcanzó un valor cercano a 3 MP. En T1 el valor máximo de RP fue de 1,1 MPa (Figura 3.13).

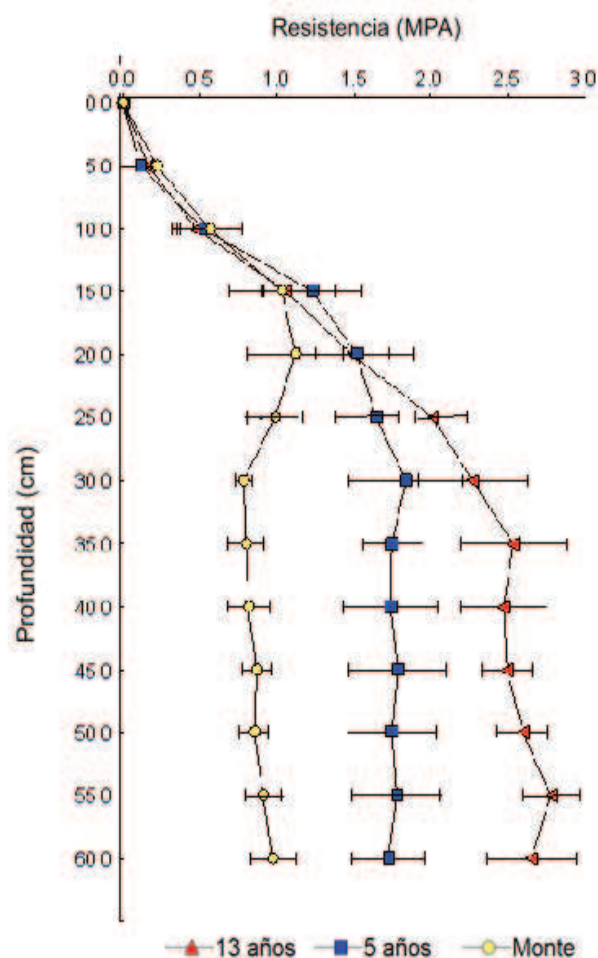


Figura 3.13. Resistencia a la penetración (MPa) en suelo bajo monte nativo (T1), y en lotes de olivo con 5 (T2) y 13 (T3) años de aplicación de compost de alperujo y resto de poda de olivares. Olivares de Pomán S.A. Catamarca. Año 2014.

Para interpretar correctamente la RP es importante conocer la humedad del suelo, ya que valores más elevados de RP pueden estar ocasionados por mayor densificación o menor contenido hídrico. Los valores de humedad de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, en T1 fueron muy bajos (0,13, 0,22 y 0,25%) debido a que el suelo bajo monte no posee riego. En T2 y T3, debido al riego, los valores fueron similares y estuvieron en torno a 2,0, 3,6 y 3,8% de humedad. Dado que los valores en T2 y T3 fueron semejantes se puede inferir que las diferencias observadas entre esos tratamientos se deben a diferencias en el estado de compactación, lo que es corroborado por los valores más elevados de Da en profundidad. En superficie, a pesar de que el suelo tuvo menor humedad, la menor Da determinó un valor más bajo de RP. Esta menor Da puede atribuirse al mayor contenido de materia orgánica ocasionado por la adición del AS (Rucks *et al.*, 2004).

En general, los suelos en sistemas de producción intensivos tienden a compactarse debido al tránsito de la maquinaria, cuyo efecto acumulativo se transmite en profundidad.

El mayor número de años de tránsito de la maquinaria corresponde a T3 (13 años), lo que puede explicar la mayor RP observada (de Bustos *et al.*, 2014). Por otro lado, los menores valores de RP en T1 se explican porque en suelos arenosos, con muy poca MO y secos, las partículas se desplazan fácilmente, produciendo valores de RP más bajos respecto del mismo suelo con mayor contenido de MO, a pesar de que tengan mayor densidad.

La densificación no siempre es considerada una desventaja en suelos de textura arenosa, debido a que disminuye el volumen de macroporos y aumenta el de meso y microporos, especialmente cuando hay aporte de compost que contribuye a la bioestructura del suelo (Mora Delgado & Silva Parra, 2019), a una mayor retención de agua y mejor contacto suelo-raíz (Ruck *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2008; Taboada & Álvarez, 2008, Mora Delgado & Silva Parra, 2019). Sene *et al.* (1985) y da Silva & Kay (1996) sugirieron como crítico de RP un valor entre 6-7 MPa para suelos de textura arenosa, a partir del cual, se reduce notablemente la elongación radical y el crecimiento vegetativo de la planta. En base a este umbral, en ningún tratamiento los valores de RP ocasionaron restricción al crecimiento radicular.

III. 3.2.3. Resultados indicadores biológicos

La actividad biológica fue extremadamente baja en T1 y baja en T2 y T3, mostrando diferencias significativas entre ellos ($p < 0,0001$). Se observó que a mayor tiempo de aporte de AS mayor fue la actividad biológica en ambas profundidades de suelo (Figura 3.14). Esto sugiere que el aporte de MO, efectuado a través del AS y el riego, por ser una fuente de energía para los microorganismos, incrementó su población, sugiriendo que en T2 y T3 hubo un ambiente más favorable para el desarrollo de las raíces (Narro Farías, 1994; Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019). Las diferencias entre profundidades, cuando se analizaron los tratamientos por separado, fueron significativas ($p < 0,0001$) en los tres tratamientos, siendo los valores más elevados en el estrato superficial.

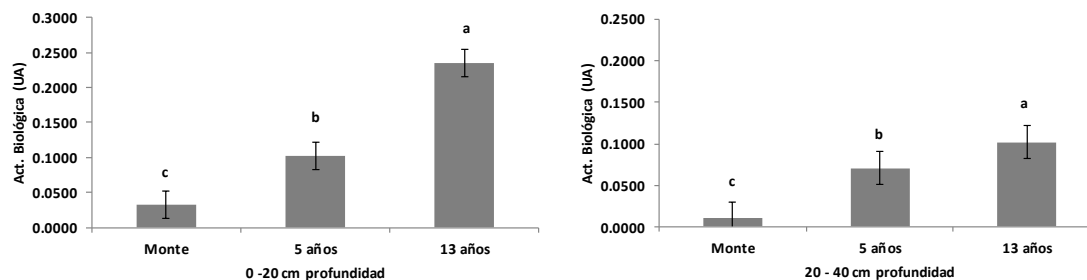


Figura 3.14. Actividad biológica total en suelo bajo monte nativo (control) y bajo olivares con 5 y 13 años de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares, a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Olivares de Pomán SA. Catamarca. Año 2014. *Letras diferentes según profundidad denotan diferencias significativas para Prueba de LSD para $p < 0,05$.*

Según Videla & Picone (2017) los indicadores biológicos proveen una información muy valiosa, ya que las mediciones representan la fracción del suelo responsable del flujo de energía y de los ciclos de nutrientes. Los microorganismos del suelo juegan un papel muy importante en el funcionamiento y sustentabilidad del ecosistema, ya que promueven la descomposición de residuos, la mineralización y absorción de determinados nutrientes para las plantas, mejorando su nutrición, la resistencia a las enfermedades y a otros tipos de estrés. El aumento de su actividad favorece la agregación de partículas del suelo, que al estar mejor estructurado retiene más agua, favorece el desarrollo de las plantas y llevan al ecosistema a una nueva situación de equilibrio, probablemente más próxima a la sustentabilidad (Pernasetti *et al.*, 2002, Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019). Los resultados de este estudio concuerdan con lo mencionado, dado que los indicadores biológicos respondieron a los cambios de manejo, demostrando su sensibilidad como indicadores de calidad de suelo y la importancia de evaluarlos.

III. 3.2.4. Análisis conjunto de la información

Para identificar las variables que más contribuyeron a separar los tratamientos se utilizó un análisis de correlación canónica. Este método produce una combinación lineal de variables cuantitativas que proporcionan la máxima separación entre grupos, en este estudio los tratamientos T1, T2 y T3. En una primera instancia se deriva la combinación lineal de las variables (canónica 1= Can 1) que tiene la mayor correlación múltiple posible con los grupos. La segunda correlación canónica (canónica 2= Can 2) muestra la combinación lineal no correlacionada con la primera variable canónica que tiene la mayor

correlación múltiple posible con los grupos. Este análisis reveló que en ambas profundidades del suelo los tratamientos presentan independencia uno respecto a otro, difiriendo significativamente, lo que corrobora los resultados antes expuestos.

Las variables que mayor peso tuvieron, según los valores F ($p > F: < 0,0001$), en la separación de los grupos, en el estrato superficial de suelo, fueron K^+i , K^+s , CE, CIC, COP, AB, indicando que las variables químicas tuvieron mayor relevancia en la separación de los tratamientos que las biológicas (Tabla 3.16).

Tabla 3.16. Funciones canónicas. Datos estandarizados según variables de clasificación en la profundidad 0-20 cm de suelos. Olivares de Pomán S.A., Catamarca, 2014.

Variable	Can1	Can2
CE	2,99	-2,99
COP	1,02	0,03
K^+s	6,92	1,04
K^+i	-1,81	-2,89
CIC	3,80	2,44
AB	2,12	2,78

Referencias: CE: conductividad eléctrica, COP: carbono orgánico particulado, K^+s : Potasio soluble, K^+i : potasio intercambiable., CIC: capacidad de intercambio catiónico, AB: actividad biológica.

El eje canónico 1 explicó el 96,7% de la variabilidad entre grupos, mientras el eje canónico 2 solo el 0,3% (Figura 3.15). La separación entre los tratamientos se presenta en la figura 3.16 donde se observa claramente la mayor relevancia de la variable CAN 1 en la separación de los grupos.

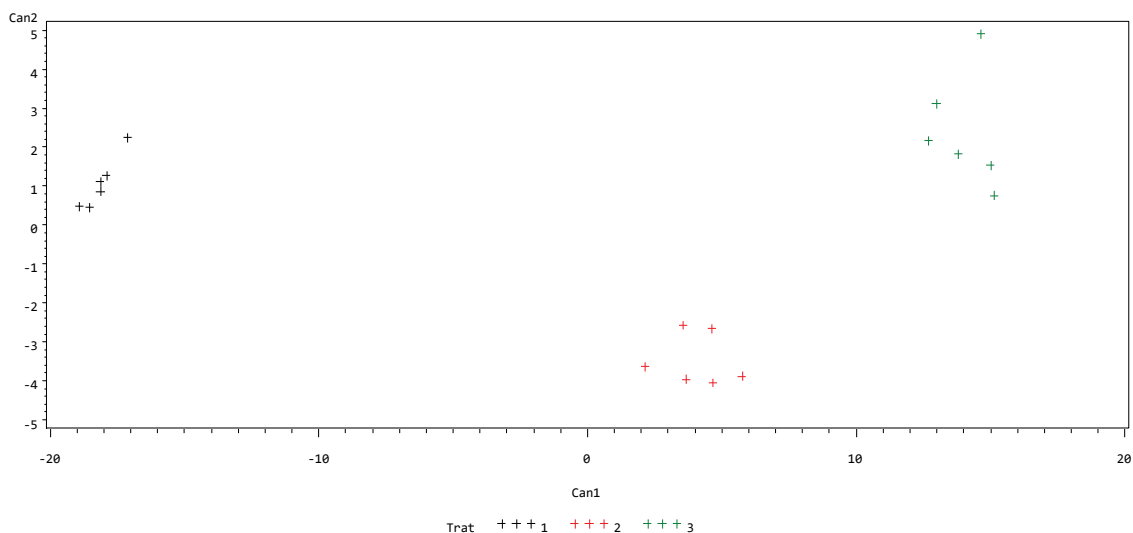


Figura 3.15. Análisis canónico de los indicadores en suelo bajo monte nativo (T1) y bajo olivares con 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares, en la profundidad de 0-20 cm. Olivares de Pomán S.A., Catamarca, 2014.

Los centroides (punto medio de cada grupo = tratamiento en este estudio) en el espacio discriminante indican la separación media entre los grupos. El eje canónico 1 fue el que determinó en mayor medida la separación de los grupos, siendo los valores de los centroides en T1= -18,12 y 1,07, en T2= 4,03 y -3,45, y en T3= 14,04 y 2,34 para CAN 1 y CAN 2, respectivamente.

Las variables que mayor peso tuvieron, según los valores F ($p > F: < 0,0001$), en la separación de los grupos, para la profundidad de 20 a 40 cm, fueron CE, K^+s , Pe, K^+i (Tabla 3.17), indicando que, en este caso, solo las variables químicas tuvieron relevancia en la separación.

Tabla 3.17. Funciones canónicas. Datos estandarizados según variables de clasificación en la profundidad 20-40 cm. Olivares de Pomán S.A., Catamarca, 2014.

Variable	Can1	Can 2
CE	4,19	-3,76
Pe	1,74	1,48
K^+s	0,58	3,30
K^+i	0,82	-1,17

Referencias: CE: conductividad eléctrica, Pe: fósforo, K^+s : Potasio soluble, K^+i : potasio intercambiable.

El eje canónico 1 explicó el 87% de la variabilidad entre grupos, mientras el eje canónico 2 solo el 13% (Figura 3.16).

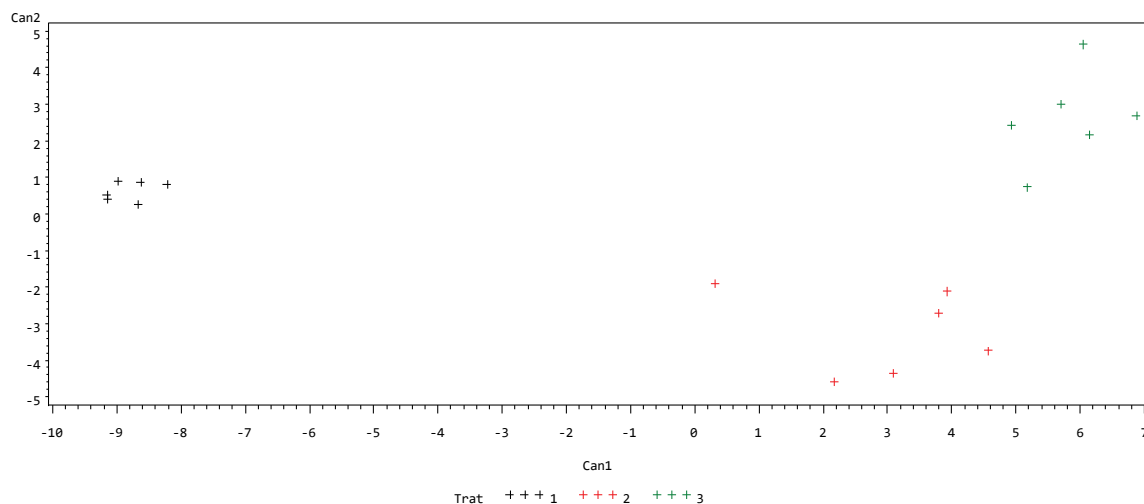


Figura 3.16. Análisis canónico de los indicadores en suelo bajo monte nativo (T1) y bajo olivares con 5 (T2) y 13 años (T3) de aporte de compost de alperujo y resto de poda de olivares, para la profundidad 20-40 cm de suelo. Olivares de Pomán S.A., Catamarca, 2014.

En esta profundidad, los centroides indican que el eje canónico 1 fue el que determinó en mayor medida la separación de los grupos, siendo los valores de los centroides en T1= -8,80 y 0,63, en T2= 2,98 y -3,24, y en T3= 5,82 y 2,60, para CAN 1 y CAN 2, respectivamente

La separación entre los grupos, en ambas profundidades es claramente mayor entre T1 y los tratamientos con aporte de AS. Sin embargo, los tratamientos se acercan en la profundidad de 20 a 40 cm, probablemente debido a que la variable actividad biológica, no fue importante. Si bien los parámetros físicos mostraron diferencias significativas en algunos casos cuando se analizaron por separado, no tuvieron impacto en la separación de los tratamientos cuando se analizó la influencia conjunta de todas las variables.

Los resultados, analizados en conjunto muestran que las variables químicas y biológicas fueron las que más se modificaron por efecto de la adición de AS y que dicha modificación, aunque con variaciones entre los indicadores, se amplió conforme los años de aplicación aumentaron. Sin embargo, el hecho de haber encontrado diferencias con solo 5 años de aplicación de AS sugiere que con pocos años de aplicación de AS al suelo se pueden mejorar las condiciones químicas y biológicas, coincidiendo con los resultados encontrados por otros autores (Dearborn, 2011; Toscano & Montemurro, 2012; Allahyari *et al.*, 2015). Estos resultados destacan la importancia de aplicar abonos orgánicos en

suelos similares al estudiado cuando se realiza desmonte. Estos sistemas naturales, a pesar de ser frágiles, están en equilibrio. Al ser desmontados para convertirlos en sistemas productivos, aun cuando se utilice riego y fertilizantes químicos, experimentan un balance negativo de carbono en el suelo. El aporte de carbono de las raíces y de las hojas y frutos que caen de los árboles no alcanzan para compensar las pérdidas producidas por las labores culturales y la cosecha. Por lo tanto, la aplicación de abonos orgánicos, que aporten carbono y nutrientes, es clave para la sustentabilidad en estos sistemas.

III. 3.3. CONCLUSIÓN

La aplicación de AS produjo efectos positivos en el suelo aumentando su fertilidad química, especialmente el COT y más aún el COP, algunos nutrientes (N, P, K), la CIC y la actividad biológica, que se incrementaron con el tiempo de aplicación. También se observó un efecto positivo sobre las propiedades físicas del suelo, disminuyendo la Da y Dr. La salinidad y sodicidad aumentaron, aspecto que requiere ser controlado, especialmente cuando el agua que se utiliza para riego es salina y/o sódica como en este estudio.

III. 3.4. BIBLIOGRAFIA

- Abraham, M.E.; Corso, M.L.; Maccagno, P. (2011). Tierras secas y desertificación en Argentina. En: Evaluación de la desertificación en Argentina. Proyecto LADA/FAO 1:13-64.
- Ahumada, R J; Cholaky, C.; Zapata, R. (2014). Uso de la tierra y calidad edáfica en el chaco árido catamarqueño. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional de Materia Orgánica y Sustancias húmicas. Bahía Blanca. Argentina. :6 p.
- Allahyari, H.; Ahangar, S.; Ravizi, B.; Sattari, A. (2015). The process of production compost tea and its usage in agriculture: a review. *International Journal of Farming and Allied Sciences* 4(2):171-176.
- Álvarez-Solís, J.; Díaz-Pérez, E.; León-Martínez, N.; Guillén-Velásquez, J. (2010). Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.*28 (3): 239-245. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57316064006>

- Andrade, F. (2017). Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. 1° Edición Ciudad autónoma de Buenos Aires, Argentina, Ediciones INTA. :124 p.
- Andrades, M.; Martinez, M.E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. 3° Edición. Logroño: Universidad de La Rioja. Servicio de publicaciones. :29 p.
- Andriulo, A.E.; Irizar, A.B. (2017). La Materia orgánica como indicador base de la calidad del suelo. En: Wilson, M.G. (Ed.). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. Ediciones INTA. :65-72.
- Atlas de Catamarca. 2014. <http://www.atlas.catamarca.gov.ar>
- Ayers, R.S.; Westcot, W.D. (1994). Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO. Rome. :174 p.
- Barberis, L.A. (1982). Guía de Reconocimiento de suelos en campaña. Departamento Impresiones ayudas didácticas, Boletín N° 8. :39 p.
- Beltran, M.J.; Brutti, L.; Romaniuk, R.; Bacigaluppo, S.; Salvagiotti, S.; Sainz Rozas, H.; Galantini, J.A. (2016). Calidad de la materia orgánica y disponibilidad de macro y micronutrientes por la inclusión de trigo como cultivo de cobertura. Ciencia del Suelo (Argentina) 34(1):67-79.
- Bustos, A.N. (2016). Carbono Orgánico total y particulado: potenciales indicadores de calidad en suelos de la región pampeana bajo siembra directa. FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Tesis. :26 p. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4521/Bustos%2C%20Ana%20N.%20Carb%C3%A1nico%20total%20y%20particulado...%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Caeiro, R.E. (2009). Análisis de las transformaciones del sector agropecuario de la provincia de Catamarca (Argentina) a raíz de la implementación de la Ley N° 22.702 de desarrollo económico: efectos territoriales e institucionales en el sistema olivar. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, España. :323 p.
- Conti, M.E. (2014). Relación de la edafología con las ciencias ambientales. Calidad y salud del suelo, Capítulo 7. En: Conti, M. E.; Giuffré, L.(Ed.). Edafología, bases y aplicaciones ambientales argentinas. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. :541-593.
- Cosentino, D.J. (2013). Prácticas edafológicas con fines didácticos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. :300 p.

da Silva, A.; Kay, B. (1996). The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Plant and Soil* 184:323-329.

de Bustos, M.E.; Alurralde, A.L.; Curchod, C. (2014). Efecto del riego por goteo sobre las propiedades del suelo en olivo. *Biología en Agronomía* 4(2):68-76.

De Moraes Sá, J.C.; Rattan Lal, C.C.; Lorenz, K.; Hungria, M.; Faccio Carvalho, P.C. (2017). Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Medio Ambiente Internacional* 98:102-112.

Dearborn, Y. (2011). Compost tea literature review on production, application and disease management. Prepared for San Francisco Department of Environment Toxic Reduction Program. IPM Task Order 3-18. EnviroSurvey Inc. :18 p.

Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. (2018). InfoStat, versión 2018; Grupo InfoStat; FCA; Universidad Nacional de Córdoba; Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

Diacono, M.; Ferri, D.; Ciaccia, C.; Tittarelli, F.; Ceglie, F.; Verrastro, V.; Ventrella, D.; Vitti, C.; Montemurro, F. (2012). Bioassays and application of olive pomace compost on emmer: effects on yield and soil properties in organic farming, *Acta Agriculturae Scandinavica, Sección B, Soil & Plant Science* 62(6):510-518. <https://doi.org/10.1080/09064710.2012.663785>

Duval, M.; Galantini, J.; Wall, J.; Martinez, J.; Iglesias, J.; Canelo, S. (2014) Fracciones orgánicas como indicadores de calidad de suelos bajo siembra directa. En: Galantini, J.A. (Ed.) *Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense*. AAPRESID. :69-74. <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/7/2014/05/Cinecia-y-experiencia.-FINAL-Baja.pdf>

Escobar Escobar, N; Mora Delgado, J. (2019). Actividad microbiana y calidad de abonos orgánicos de residuos agrícolas. En: *Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos*. Mora Delgado, J; Silva Parra, A; Escobar Escobar, N. (Eds.) 1º Edición Ibagué, Universidad del Tolima. :83-99.

Fernández Hernández, A.; Roig, A.; Serramiá, N.; García-Ortiz Civantos, C.; Sánchez-Monedero, M. (2014). Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil, olive fruit and olive oil quality. *Waste Management* 34(7):1139-1147.

Galantini, J.A. (2014). *Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense*. Investigaciones Científicas. Universidad del

Sur. CERZOS, CONICET. Aapresid. :88 p. <https://www.aapresid.org.ar/regionales/wp-content/uploads/sites/7/2014/05/Cinecia-y-experiencia.-FINAL-Baja.pdf>.

Galantini, J.A.; Rosell, R.A.; Iglesias, J.O. (1994). Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas del suelo. *Ciencia del Suelo* 12:81-83.

Galantini, J.A.; Suñer, L. (2008). Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Revisión. Agriscientia* 25(1):41-55.

García Fernández, J.J. (2012). Efecto de los compost sobre propiedades del suelo: Evaluación comparativa de compost con separación en origen y sin separación en origen. Tesis de M. Sc: Universidad Politécnica de Cartagena. España. :108 p.

Guichon, B.A.; Pernasetti, O.B.; Watkins, P.H.; Quiroga, A. (2015). Erosión y degradación de suelos Provincia de Catamarca. En: *El deterioro del ambiente en la Argentina*. Casas, R.R.; Albarracín, G.F. (Eds.). FECIC :48-63.

Hernández Vigoa, G.; Cabrera Dávila, G.C.; Izquierdo-Brito, I.; Socarrá Rivero, A.A.; Hernández Martínez, L.; Sánchez Rendon, J.A. (2018). Indicadores edáficos en sistemas agroecológicos. *Pastos y Forrajes* 41(1):3-12.

Ibañez Asensio, S.; Moreno Ramón, H.; Gisbert Blanquer, J.M. (2012). Técnicas de medida del espacio poroso del suelo. Universidad Politécnica de Valencia. España. :7p. <http://hdl.handle.net/10251/16872>.

INTA. (1990). Atlas de Suelos de la República Argentina. SAGyP-INTA-Proyecto PNUD ARG/85/019. <http://www.geointa.inta.gob.ar/2013/05/26/suelos-de-la-republica-argentina/>.

Irizar Garza, M.B.G.; Gonzáles Molina, L.; Larqué Saavedra, B.S.; Martínez Trejo, G.; Díaz Valasis, M.; Muniz Reyes, E. (2015). Uso de micorriza y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. Folleto técnico N° 65. :32 p.

Kloster, N. (2017). Métodos de análisis e implementación de calidad en el laboratorio de suelos. Ediciones INTA. INTA Anguil. :82 p.

Lefèvre, C.; Rekik, F.; Alcantara, V.; Wiese, L. (2017). Carbono orgánico: el potencial oculto. Wiese, L.; Alcantara, V.; Baritz, R.; Vargas, R. (Eds). FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia. :75 p.

Mac Donnell, M.T. (2018). Producción, aplicación y beneficios de los extractos acuosos del compostaje (té decompost). Tesis de grado UNL. Santa Fé, Argentina. :36 p.

- Marbán, L.; Ratto, S. (2005). *Tecnologías en análisis de suelos*, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires. :216 p.
- Martínez, E.; Fuentes, J.P.; Acevedo, E. (2008). *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Producción Agrícola. Laboratorio de relación Suelo-Agua-Planta. Santiago de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Silvicultura. http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120129/Martinez_Eduardo.pdf?sequence=1.
- Mateu González, M.; Sydorenko, O.; Monetta, P.; Parodi, E.; Vázquez, F.; Correa, O.S. (2013). *Aplicación de alperujo en suelos bajo producción de olivos en San Juan-Argentina: su efecto sobre las comunidades microbianas edáficas*. Tercera jornada del instituto de investigaciones en biociencias agrícolas y ambientales. Aportes de la microbiología a la producción de cultivos. :7 p. https://www.researchgate.net/publication/306077823_aplicacion_de_alperujo_en_suelos_bajo_produccion_de_olivos_en_san_juan-argentina_su_efecto_sobre_las_comunidades_microbianas_edaficas.
- Matus, F.; Maire, C. (2000). *Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno*. Agricultura Técnica V.60 n.2 Chillán. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000200003>
- Mora Delgado, J.; Silva Parra, A. (2019). *Contribuciones del compost al mejoramiento de la calidad estructural del suelo*. En: *Bioindicadores en suelo y abonos orgánicos*. Mora Delgado, J.; Silva Parra, A.; Escobar Escobar, N. (Eds.). 1° Edición Ibagué: Universidad del Tolima. :39-51.
- Mora Delgado, J.; Silva Parra, A.; Escobar Escobar, N. (2019). *Bioindicadores en suelo y abonos orgánicos*. 1° Edición Ibagué: Universidad del Tolima. :120 p.
- Morlans, M.C. (1995). *Regiones naturales de Catamarca. Provincias geológicas y provincias fitogeográficas*. Área Ecología. Fac. Cs. Agrarias UNCa. :36p. <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/006-fitogeografia-catamarca.pdf>.
- Morlans, M.C.; Guichón, B.A. (1995). *Reconocimiento ecológico de la Provincia de Catamarca, Valle de Catamarca: Vegetación y Fisiografía*. Revista de Ciencia y Técnica 1:15-49.
- Morlans, M.C.; Guichón, B.A. (1996). *Región NOA Sur. Las regiones fitogeográficas de Catamarca y el estado y uso de los recursos vegetales*. En: *Fundación para la Educación*,

- la Ciencia y la Cultura (Eds.) El deterioro del Ambiente en la Argentina, Suelo-Agua-Vegetación-Fauna. 3° ed. FECIC, Orientación gráfica Editora. :216-224.
- Narro Farías, E. (1994). Física de suelos con enfoque agrícola. Trillas. México. 195 p.
- Ntoulas, N.; Nektarios, P.A.; Gogoula, G. (2011). Evaluation of olive mill waste compost as a soil amendment for *Cynodon dactylon* turf establishment. Growth, and anchorage. HortScience 46:937-945.
<https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/46/6/article-p937.xml>.
- Olías, M.; Cerón, J.C.; Fernández, I. (2005). About the use of the U.S. salinity laboratory (USLS) classification of irrigation water. Geogaceta 37:111-113.
- Ozores Hampton, M.; Stansly, P.A.; Salame, T.P. (2011). Soil chemical, physical, and biological properties of a sandy soil subjected to long-term organic amendments. Journal of Sustainable Agriculture 35:243-259.
- Panigatti, J.L. (2010). Argentina 200 años, 200 suelos. Ediciones INTA, Buenos Aires. 345 p.
- Paroldi, H.E.; Pierantozzi, P.; Monetta, P. (2019). Utilización de residuos olivícolas crudos como enmiendas de suelos de olivares. Monetta, P.; Paroldi, H.; Miguel R. (Eds). II Simposio de residuos agropecuarios y agroindustriales del NOA y Cuyo. San Juan, Argentina. 186-189. <https://inta.gob.ar/documentos/ii-simposio-de-residuos-agropecuarios-y-agroindustriales-del-noa-y-cuyo-%E2%80%93trabajos-completos-y-comunicaciones>.
- Pernasetti, D.S.; Di Barbaro, G.; Stegmayer, A.R. (2002). Influencia de árboles nativos en zonas áridas y semiáridas, en la actividad biológica del suelo. Revista del CIZAS 3(1):63-73.
- Pinho, I.A.; Lopes, D.V.; Martins, R.C.; Quina, M.J. (2017). Phytotoxicity assessment of olive mill solid wastes and the influence of phenolic compounds. Chemosphere 185:258-267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.002>.
- Proietti, P.; Fidati, E.; Scargetta, S.; Massaccesi, L.; Nasini, L.; Regni, L.; Ricci, A.; Cenci, G.; Gigliotti, G. (2015). Effects of amendment with oil mill waste and its derived-compost on soil chemical and microbiological characteristics and olive (*Olea europaea* L.) productivity. Agriculture Ecosystems and Environment 207:51-60.
- Quiroga, A.; Gaggiolo, C.; Fernandez, R.; Noellemeyer, E. (2015). Contribución al manejo sustentable de suelos en zonas semiáridas. En: Casas, R.R.; Albarracín, G.F. (Eds.). El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Agricultura y Ambiente, 1° ed. Buenos Aires. FECIC. :167-181.

Rattan, Lal. (2020). Mantener el suelo cubierto, un consejo del ‘nobel de agricultura’. Diario El Tiempo, Colombia. 13 de agosto 2020. <https://www.eltiempo.com/economia/entrevista-a-rattan-lal-ganador-del-premio-nobel-de-agricultura-529112?cid>.

Ratto, S.E.; Giuffré, L.; Marbán, L. (2015). Contaminación de suelos de uso Agropecuario. En Casas, R.R.; Albarracín, G.F. (Eds.). El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Agricultura y Ambiente. 1° ed. Buenos Aires. FECIC. :214-240.

RILSAV. Red de laboratorios de suelo, agua y vegetal. (2014). PNSUELO-1134034- Desarrollo e implementación de métodos analíticos, instrumentales y de gestión de la calidad en la red de laboratorios de suelo, agua y vegetal. Carreira D.A. coord. INTA.

Rucks, L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce De León, J.; Hill, M. (2004). Propiedades Físicas Del Suelo - Facultad De Agronomía Universidad de La República Dpto. Suelos y Aguas Montevideo-Uruguay. :68 p. <http://Bibliofagro,Pbworks,Com/F/Propiedades+Fisicas+Del+Suelo,Pdf>.

SAGyP. Secretaria de agricultura, ganadería y pesca. (1990). Provincia de Catamarca. En: Atlas de suelos de la República Argentina. Tomo I. INTA. :207-247.

SAMLA (Sistema de apoyo metodológico a laboratorios de análisis de suelos, aguas, vegetales y enmiendas orgánicas). (2004). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, AACCS. Versión en CD.

Santos, D.; Wilson, M.G.; Ostinelli, M. (2012). Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo. Protocolos básicos comunes. INTA. :74 p.

Schnürer, J.; Roswall, T. (1982). Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter, *Applied and Environmental Microbiology*. 43:1256-1261.

Sene, M.; Vepraskas, M.J.; Naderman, G.C.; Denton, H.P. (1985). Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. *Soil Science Society of America Journal*. 49(2): 422-427. <https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900020030x>

Soil Science Society of América. (2001). Glossary of soil science terms. Soil Science Society of América. Inc. Madison, Wisconsin. :134 p.

Studdert, G.A.; Domínguez, G.; Eiza, M.; Videla, C.; Echeverría, H. (2008). Materia orgánica particulada y su relación con la fertilidad nitrogenada en el Sudeste Bonaerense. En: Galantini, J.A. (Ed.). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Editorial UNS- Bahia Blanca. 53-69.

- Taboada, M.A.; Álvarez, C.R. (2008). Fertilidad física de los suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 272 p.
- Toledo, D.M.; Galantini, J.A.; Dalurzo, H.C.; Vazquez, S.; Bollero, G. (2013). Methods for assessing the effects of land-use changes on soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal*. 77:1542-1552.
- Toledo, DM. 2014. Calidad de suelo en agroecosistemas de Misiones: Desarrollo y validación de índices de calidad. Su aplicación en la evaluación de los cambios en el uso de las tierras. Tesis Doctoral de la Universidad Nacional del Nordeste en el Área de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE. Argentina. 164 pp.
- Toledo, D.M.; Arzuaga, S.A.; Galantini, J.A.; Vásquez, S. (2018). Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en sistemas forestales. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 36 (2): 1-12.
- Toscano, P.; Casacchia, T.; Diacono, M.; Montemurro, F. (2013). Composted Olive Mill By-products: Compost Characterization and Application on Olive Orchards. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 15:627-638. https://www.researchgate.net/publication/263086437_Composted_Olive_Mill_By-products_Compost_Characterization_and_Application_on_Olive_Orchards.
- Toscano, P.; Montemurro, F. (2012). Olive mill wastes. Muzzalupo, I. (Ed). Olive mill by-products management. Olive germplasm. The olive cultivation, table olive and olive oil industry in Italy. Capítulo 9 :173-200. <http://dx.doi.org/10.5772/52039>.
- Undurraga Díaz, P. (2018). Conceptos de fertilidad fosfatada en suelos volcánicos. Centro Regional de Investigación Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. 11p. https://nanopdf.com/download/cap-4-conceptos-de-fertilidad-fosfatada_pdf.
- Urbano Terron, P.; Moro Serrano, R. (1992) Sistemas agrícolas con rotaciones y alternativas de cultivos. Madrid. Mundi-Prensa.134 p.
- USDA (United States Department of Agriculture). (1999). Soil quality test kit guide. Agricultural Research Service. Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. :82 p.
- Videla, C; Picone, L. (2017). Indicadores biológicos de calidad de suelo. En: Manual de indicadores de la calidad del suelo para ecorregiones de Argentina. Wilson, M.G. (Ed.). 1° edición, INTA Ediciones. Entre Ríos. :83-88.
- Videla, L.S.; Rostagno, C.M.; Toyos, M.A. (2008). La materia orgánica particulada: comparación de métodos para su determinación y su valor como indicador de calidad de suelos del Chubut. *Ciencia del Suelo* 26:219-227.

RESPUESTA DE OLIVARES A LA APLICACIÓN DE ABONO SÓLIDO Y LÍQUIDO PROVENIENTE DEL COMPOSTAJE DE ALPERUJO Y RESTOS DE PODA DE OLIVARES

RESUMEN

Cuando se habla sobre el olivo (*Olea europaea* L.) se lo vincula inmediatamente con las virtudes del aceite de oliva sobre la salud humana, pero también con los grandes volúmenes de residuos que esta industria acumula y su impacto negativo sobre el medio ambiente. Se ha evaluado la existencia de diferentes alternativas de gestión de los residuos, la posibilidad de compostaje y sus variantes, su utilización como enmienda y su efecto sobre el suelo, la posible fitotoxicidad sobre los cultivos, entre otros aspectos. Sin embargo, es escasa la bibliografía sobre los efectos que tiene el compost, o el té de compost de alperujo sobre la nutrición, crecimiento y rendimiento de frutales. El aporte de nutrientes es determinante para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, y sobre el rendimiento. El objetivo del presente capítulo fue evaluar el efecto del tipo de abono (sólido y líquido) así como su forma de aplicación (al suelo o las plantas) sobre el crecimiento y rendimiento de olivares. El ensayo se realizó en una empresa olivarera del Dpto. Pomán, Catamarca, donde se evaluó dos tipos de abonos provenientes del compostaje de alperujo y resto de poda de olivares: compost (AS: abono sólido) y té de compost (AL: abono líquido), con distintas formas de aplicación: AS aplicado al suelo, AL aplicado por fertirriego y AL aplicado por vía foliar con pulverizaciones durante cuatro años. Se establecieron 6 tratamientos, T1: Control R (+ Riego); T2: AS (+ Riego); T3: Pulverización foliar con AL (+ Riego); T4: Control FR (+ Fertirriego AL); T5: AS (+ Fertirriego AL); T6: Pulverización foliar con AL (+ Fertirriego AL). Se evaluó el crecimiento de los ramos del año, área de la sección transversal del tronco, los cambios en el contenido de NPK foliar, y los componentes del rendimiento: número, tamaño y volumen de los frutos. Los datos se analizaron ajustando un modelo mixto jerárquico con años como bloques aleatorios y los factores *Parcela* y *Tipo de fertilización* como efectos fijos. Este último se anidó dentro de la interacción Riego:Año. La significancia de los efectos principales e interacción se evaluó mediante el análisis de la varianza con sumas de cuadrados marginales y se compararon las medias de los tratamientos mediante la

prueba de Tukey con significancia al 10%. La aplicación de AS en olivares, repercutió favorablemente en la concentración de N y P foliar, en el crecimiento de los ramos fructíferos y el rendimiento; este último se potenció más en los lotes de fertirriego con AL con incrementos entre el 68,2 y el 83,8% según el abono adicional utilizado.

IV.1. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla sobre el olivo (*Olea europaea* L.) se lo vincula inmediatamente con las virtudes del aceite de oliva sobre la salud humana (Álvarez, 2017) apreciado por sus efectos contra enfermedades, como la enfermedad coronaria, algunos tipos de cáncer y el deterioro cognitivo relacionado con la edad; Rosique, 2020; Fundación española del corazón, 2022; Zipori *et al.*, 2022), pero también con los grandes volúmenes de residuos que esta industria acumula y su impacto negativo sobre el medio ambiente (Roig *et al.*, 2006; López Piñeiro *et al.*, 2011; de Bustos & Montalván, 2018). Este último aspecto ha sido evaluado e investigado por numerosos autores, y en los capítulos anteriores de esta tesis. La existencia de diferentes alternativas de gestión de los residuos, la posibilidad de compostaje y sus variantes, su utilización como enmienda y su efecto sobre el suelo (Albuquerque *et al.*, 2007; Cabrera *et al.*, 2009), la posible fitotoxicidad sobre el cultivo (Pinho *et al.*, 2017), son algunos aspectos a considerar en su tratamiento y utilización. Sin embargo, es escasa la bibliografía sobre los efectos que tiene el compost o el té de compost de alperujo sobre la nutrición, crecimiento y rendimiento de los frutales (Albuquerque *et al.*, 2007).

Un suelo para ser productivo debe poseer todos los elementos nutritivos que aseguren el buen crecimiento de las plantas y el desarrollo de los cultivos agrícolas, lo cual contempla indefectiblemente aspectos físicos, químicos y biológicos (Díaz Shenker, 2016). El aporte de fertilizantes es determinante para el crecimiento y desarrollo de los cultivos y sobre el rendimiento. Los principios del manejo de la fertilización en las buenas prácticas agrícolas se basan en asegurar el balance entre oferta y demanda de nutrientes, sus fuentes, momentos y formas de aplicación (Andrade, 2017). Según este autor, en Argentina existen principalmente dos situaciones que resaltan: i) la adición consistente de nitrógeno y fósforo con resultados cada vez más bajos que generan efectos indeseables en el medio ambiente y altos costos, y ii) escaso uso de fertilizantes, con balances nutricionales negativos, con la consecuente degradación y pérdida de biodiversidad del suelo.

La remediación de estos problemas es lenta y requiere de un conjunto de medidas técnicas, socio-culturales y económicas. El desafío debe ser incrementar la productividad minimizando la pérdida de nutrientes (Echeverría & García, 2015), para lo cual se deben implementar prácticas de manejo sustentables en armonía con el ambiente. Estas prácticas indefectiblemente deben contemplar la conservación y los aportes de materia orgánica al suelo, indicador indiscutible de la calidad de los mismos (Wilson, 2017). El aporte de abonos orgánicos mantiene o aumenta el contenido de materia orgánica del suelo, contribuye a la reposición de nutrientes, asegura una buena actividad biológica, mejora las propiedades físicas, entre otros muchos beneficios (Álvarez & Rimski, Korsakov, 2016).

Además del beneficio sobre el suelo, algunos autores hacen referencia a experiencias positivas con la utilización de compost de alperujos en cultivos de ciclo corto, como raigrás (*Lolium multiflorum* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y acelga (*Beta vulgaris* L.) (Alburquerque *et al.*, 2007; Killi & Kavdir, 2013; Paredes *et al.*, 2005). En España, aplicaciones de compost de alperujo más residuos de algodón a una dosis de 42 t ha⁻¹ incrementaron los contenidos de potasio y fósforo y se obtuvo una mejor relación K:Na en los tallos de repollo (*Brassica oleracea* L.); además, la aplicación de cantidades importantes de alperujo (66 t ha⁻¹) mejoró los valores de magnesio en hojas de calabacín (*Cucurbita pepo* L.), aunque disminuyeron los valores de nitrógeno, hierro y boro (Cruz Hernández, 2009). En olivares cultivados en la cuenca mediterránea se constató que la aplicación de 4 a 6 t ha⁻¹ por año de compost de alperujo durante 16 años continuos mejoraron la condición de fertilidad del suelo (García Ruiz *et al.*, 2012).

En contraposición, en otras experiencias se observó que, si bien los compost de alperujo podían satisfacer los requerimientos nutricionales de algunas especies, no necesariamente aumentaron los rendimientos (Cruz Hernández, 2009). Sin embargo, estudios más recientes demostraron mejoras en el rendimiento de olivares y en la calidad de la fruta y el aceite de oliva a mediano plazo (Proietti *et al.*, 2015; Pinho *et al.*, 2017).

En cuanto a los productos orgánicos líquidos, ya sea lixiviados, extractos, o té de compost, no es tan común su utilización en la agricultura convencional (Ingham, 2005). Existen algunas referencias sobre utilización de estos abonos líquidos en aspersiones foliares, aunque más orientados a medidas sanitarias que nutritivas (Allahyari *et al.*, 2015; St. Martin & Ramsubhag, 2015).

El objetivo del presente capítulo fue evaluar el efecto del tipo de abono (sólido y líquido) así como su forma de aplicación (al suelo o las plantas) sobre el crecimiento y rendimiento de olivares.

IV.2. MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en la empresa Frutos del Norte S.A. del Dpto. Pomán (provincia de Catamarca), cuya descripción se detalló en el Capítulo III, Ensayo A.

La forma de obtención y la calidad del abono sólido (AS) y abono líquido (AL) utilizados en este ensayo se describió en esta tesis en el Capítulo II.

IV.2.1. Diseño del ensayo

Se dividió un lote homogéneo en dos sectores iguales de 4 ha cada uno. A uno de ellos se aplicó riego (solo agua), denominándolo "Parcela R", mientras que al otro se le aplicó fertirriego con abono líquido, denominándolo "Parcela FR". En cada uno de los sectores se establecieron 3 tratamientos: sin abono (control), con AS (aplicación al suelo) y con AL (pulverización foliar). De esta manera quedaron conformados 6 tratamientos. T1: Control R (+Riego); T2: AS (+ Riego); T3: Pulverización foliar con AL (+ Riego); T4: Control FR (+ Fertirriego AL); T5: AS (+ Fertirriego AL); T6: Pulverización foliar con AL (+ Fertirriego AL) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Tratamientos según tipo de compost y forma de aplicación. Frutos del Norte S.A., Catamarca.

Parcela	Tipo de Fertilización	Símbolo
Con Riego (R)	Control R	T1
	Abono Sólido	T2
	Pulverización Foliar con Abono Líquido	T3
Con Fertirriego de Abono Líquido (FR)	Control FR	T4
	Abono Sólido	T5
	Pulverización Foliar con Abono Líquido	T6

En cada parcela (R y FR) se sortearon los tratamientos con 4 repeticiones y se distribuyeron a lo largo de las hileras de plantación, tomando doce plantas. En cada hilera/repeticón se seleccionó al azar tres plantas (A, B y C) a las cuales se les realizó las mediciones de crecimiento y rendimiento. Para las mediciones nutricionales (NPK foliar) se tomaron muestras de toda la unidad experimental por tratamiento (12 plantas) (Figura 4.1). El ensayo se repitió durante 4 campañas, 2014/15, hasta 2017/18.

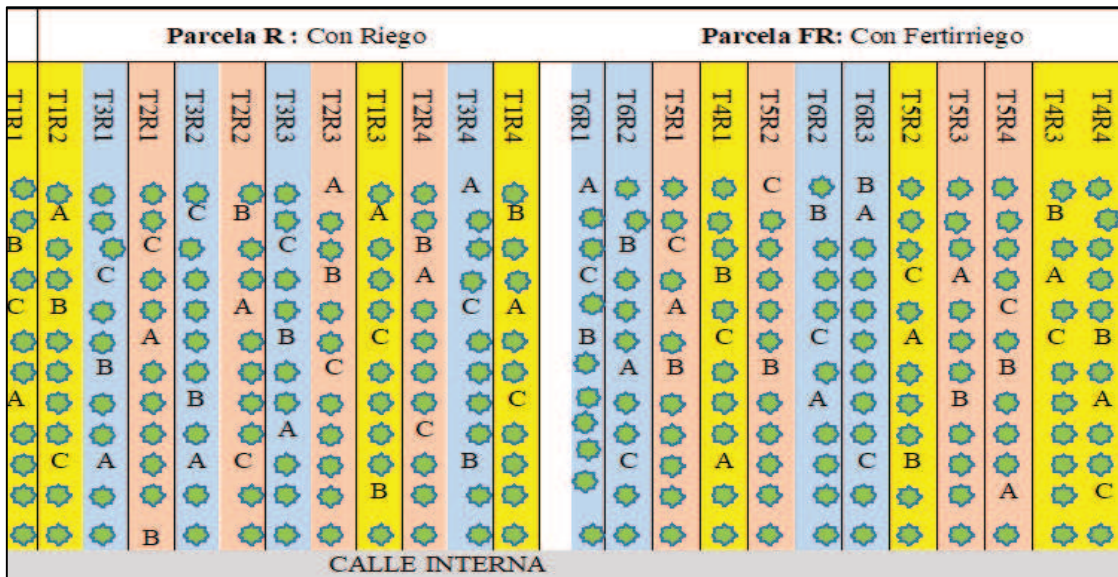


Figura 4.1. Croquis del diseño del ensayo de la empresa Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca. *Referencias: Con riego (R): T1: control, repetición R1 a R4; T2: AS, repetición R1 a R4; T3: pulverización foliar de AL, repetición R1 a R4; Con fertilirriego AL (FR): T4: control, repetición R1 a R4; T5: AS, repetición R1 a R4; T6: pulverización foliar de AL, repetición R1 a R4. A, B y C: plantas seleccionadas para mediciones de crecimiento. AS: abono sólido; AL: abono líquido. A, B y C: Plantas seleccionadas para mediciones de crecimiento.*

Las aplicaciones de AS al suelo fueron de 3 kg por planta, en otoño-invierno. Se realizó en un lateral de la hilera de plantación alternando el lado cada año. Se utilizó una surcadora que profundiza 15 cm, incorpora y tapa el abono.

Las pulverizaciones foliares de AL en la planta se realizaron sin dilución a razón de 2 litros por planta cuatro veces al año en setiembre/octubre, es decir, 8 litros por planta y por año, mientras que el AL aplicado por fertilirriego se distribuyó cada 7 días entre setiembre y febrero, utilizando alrededor de 2 litros por planta y por aplicación, lo que representó 48 litros de AL por planta y por año.

En función de esto, los aportes de AS en los tratamientos correspondientes de N-P-K, fueron: 77,5 kg N, 4,8 kg P₂O₅ y 34,8 kg K₂O ha⁻¹ año⁻¹. En el caso del AL solo se consideró el aporte de K⁺ ya que los niveles de N y P son muy bajos; en las pulverizaciones foliares se aportó 0,56 kg K₂O ha⁻¹ año⁻¹, y por fertilirriego 4 kg K₂O ha⁻¹ año⁻¹. No se puede dejar de mencionar la importante carga microbiana que aportan estos abonos.

En el último año de ensayo (2018) la finca prácticamente perdió toda la producción. Existieron severos problemas energéticos en la provincia, por lo que casi no pudo regarse el cultivo (agua subterránea con bombas eléctricas). Además, las condiciones climáticas

fueron muy desfavorables, registrándose días con muy altas temperaturas de 45 a 48°C entre octubre y noviembre con alternancia de bajas temperaturas (5 a 11,5°C) presentando una gran amplitud térmica diaria y mensual. También se dio la presencia de fuertes vientos zonda que desencadenaron caída de flores; todo esto sumado al efecto vecería propia del olivo. Situaciones similares son frecuentes en Medio Oriente (Bustan *et al.*, 2013), por lo que en dicho período las variables de crecimiento y rendimiento no pudieron ser evaluadas.

IV.2.2. Variables evaluadas

- Crecimiento vegetativo y reproductivo:

Cada año se seleccionaron cuatro ramas fructíferas (brote del año) por planta (planta A, B y C), identificándolas con una cinta. Sobre cada rama se midió su longitud con cinta métrica, se contó el número de frutos, se midió la longitud ecuatorial y longitudinal de los frutos con la utilización de un calibre digital y se calculó el volumen de fruto con la fórmula $(3/4 * 3.1416 * \text{long. transversal} * (\text{long. ecuatorial})^2)$. También se midió el perímetro del tronco con cinta métrica flexible a 30 cm del suelo y se calculó el área de la sección transversal del tronco (ASTT) con la fórmula $ASTT = 3,1416 * ((\text{Perímetro} / (4 * 3,1416))^2)$, desde octubre a marzo (Figuras 4.2).



Figura 4.2. Mediciones de crecimiento: medición de longitud de rama fructífera (a), diámetro del fruto (b) y perímetro de tronco (c). Frutos del Norte S.A. Pomán. Catamarca. Campañas 2015-2018.

- Estado Nutricional:

En febrero de cada año, se tomaron muestras foliares, después del endurecimiento de carozo para determinar nitrógeno, fósforo y potasio. Las muestras se tomaron respetando el diseño experimental planteado, extrayendo unas 250 hojas tomadas al azar de ramas con fruto y representando los cuatro puntos cardinales. Las hojas seleccionadas provenían del estrato medio del brote del año. Se tomaron las hojas completas con pecíolo y sin la yema axilar, se almacenaron en bolsas de papel etiquetadas y en una conservadora

hasta el envío al laboratorio (Bueno, 2009). Los nutrientes que se analizaron fueron: nitrógeno por digestión húmeda con ácido sulfúrico y destilación (N; %) (Malavolta *et al.*, 1989), fósforo por digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico, y espectrofotometría (P; %) (Malavolta *et al.*, 1989) y potasio por digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico y fotometría de emisión (K^+ ; %) (Malavolta *et al.*, 1989). En este caso no se realizaron determinaciones por planta sino por Unidad Experimental.

- Rendimiento:

Al final de cada estación de crecimiento se cosechó manualmente y se pesó la producción de cada planta. También se determinó en laboratorio el peso de 100 frutos con balanza de precisión, discriminando por separado el peso del carozo extraído con descarozador manual. Por diferencia entre peso del fruto y peso del carozo se determinó el peso de la pulpa y se calculó la relación pulpa/carozo, por triplicado. Figura 4.3.



Figura 4.3. Mediciones de rendimiento: (a) número de frutos por rama identificada, (b) cosecha manual, (c y d) pesaje de la producción de cada planta, (e y f) pesaje de frutos por planta, (g) pesaje de carozos por planta. Frutos del Norte S.A. Pomán. Catamarca. Campañas 2015-2018.

IV.2.3. Diseño experimental

Para el análisis se consideró un modelo jerárquico donde se establecieron dos tratamientos principales sin y con AL en el riego (Parcela R y Parcela FR) conformando el factor *Parcela*. En cada uno de estos tratamientos principales se planificaron los tratamientos con AS, con AL y control (sin agregado de abono) denominándose factor *Tipo de fertilizante*.

Al factor *Parcela* se aplicó un DBCA donde el efecto *Año* actuaría como factor de bloque aleatorio. Luego, dentro de cada interacción *Año:Parcela* se considera el factor *Tipo de fertilizante* como un DCA, donde el fertilizante se aplicó a unidades experimentales más chicas delimitadas dentro de cada parcela principal.

Los datos se analizaron ajustando un modelo mixto jerárquico con años como bloques aleatorios y los factores *Parcela* y *Tipo de fertilización* como efectos fijos. Este último se anidó dentro de la interacción *Parcela:Año*. Se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad, y se ajustaron modelos con heterogeneidad de varianza. La significancia de los efectos principales e interacción se evaluó mediante el análisis de la varianza con sumas de cuadrados marginales y se compararon las medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey. En todos los casos se consideró un nivel de significancia de 10%.

IV.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.3.1. Resultados crecimiento vegetativo y reproductivo

En la parcela R se observó un mayor crecimiento de los ramos, así mismo los datos estadísticos revelaron diferencias significativas entre tratamientos (*interacción Parcela:Tipo de fertilizante, p: 0,0537*). La mayor longitud de ramo del año ocurrió en T2 (2,39 cm) que se diferenció respecto a T1 y T3. En la parcela FR se observaron crecimientos menores y no se reflejaron diferencias estadísticamente significativas por el tipo de fertilización (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Efecto de diferentes compost de alperujo y resto de poda de olivares, y de su forma de aplicación, sobre el crecimiento de los ramos del año y del área de la sección transversal del tronco (ASTT) en olivares, cv. ‘Arbequina’. Frutos del Norte S.A. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.

Parcela	Tipo de fertilización	Símbolo	Crecimiento ramo (cm)	Crecimiento tronco (ASTT, cm ²)
R	Control R	T1	1,53 ± 0,49 b	0,04 ± 0,02 a
R	AS	T2	2,39 ± 0,49 a	0,06 ± 0,02 a
R	Pulv. Foliar de AL	T3	1,22 ± 0,49 b	0,09 ± 0,02 a
FR	Control FR	T4	1,15 ± 0,46 A	0,10 ± 0,02 A
FR	AS	T5	1,21 ± 0,46 A	0,29 ± 0,02 A
FR	Pulv. Foliar de AL	T6	0,98 ± 0,46 A	0,19 ± 0,02 A
	<i>Efecto parcela</i>		0,4623	0,5255
<i>p-valor</i>	<i>Efecto tipo de fertilización</i>		0,6085	0,0172*
	<i>Interacción parcela:tipo de fertilización</i>		0,0537*	0,1860

Referencias: Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R y mayúsculas para la parcela FR. Con riego (R): T1: control; T2: AS, repetición; T3: pulverización foliar de AL; Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL. AS: abono sólido; AL: abono líquido.

En los resultados de crecimiento del área transversal del tronco (ASTT) no se encontró interacción. Sin embargo, al contrastar las medias de crecimiento de tronco entre la parcela R y FR se observaron incrementos del 150% en el control, 383% con AS y 111% con la pulverización foliar de AL en la parcela FR. Por su parte, los promedios marginales arrojaron diferencias significativas para el tipo de fertilización ($p: 0,0172$) (Tabla 4.2). La Figura 4.4 muestra con mayor claridad el efecto del tipo de fertilizante sobre la evolución de la ASTT, destacándose la aplicación de AS con el mayor crecimiento anual (0,15 cm²), diferenciándose respecto al control. La pulverización con AL se ubicó en un valor intermedio y no evidenció diferencias respecto a los tratamientos extremos.

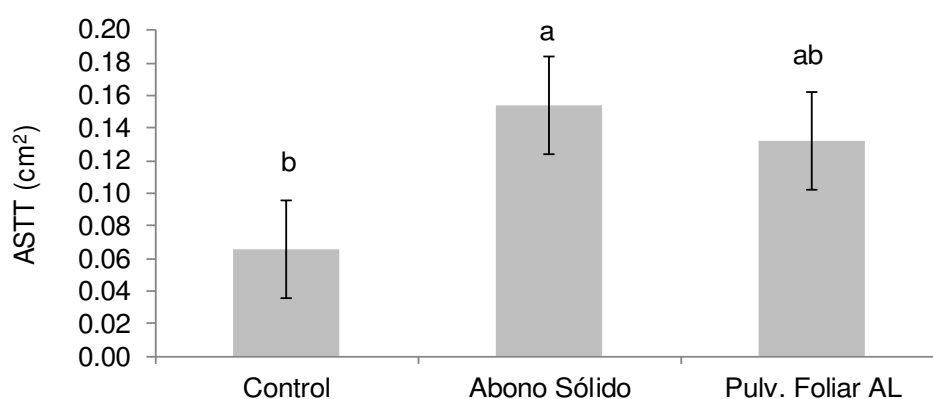


Figura 4.4. Efecto del tipo de fertilización sobre el crecimiento anual del área de la sección transversal del tronco (ASTT, cm²) (Promedios Marginales). Comparación entre control, Abono Sólido al suelo y Pulverización foliar con abono líquido (AL), en olivares, cv. 'Arbequina'. Fruto del Norte S.A., Catamarca. Campañas 2015-2018. *Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$.*

IV.3.2. Resultados en frutos: Cantidad, peso, volumen y relación pulpa/carozo

El fruto del olivo es un gran sumidero de NPK, por lo que la cantidad y calidad de la fruta influye directamente sobre el equilibrio mineral suelo:planta, particularmente en ambientes áridos, al considerar las restricciones hídricas y riesgos de salinidad (Bustan *et al.*, 2013). En promedio se observaron 4 frutos por ramo del año y un volumen medio por fruto de 1,5 g y 5,4 cm³ respectivamente; además, se obtuvo una relación pulpa/carozo de 3,7. Estas variables no mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ni en las interacciones (Tabla 4.3). Estos resultados son similares a los obtenidos por Proietti *et al.* (2015), quienes no observaron diferencias en las variables evaluadas luego de tres años de aplicación de orujo de aceituna y compost de orujo de aceituna en olivos. Se debe tener presente que el tamaño de fruto no es un parámetro importante para la industria del aceite, en cambio, si lo es la cantidad y calidad de pulpa (Champredonde *et al.*, 2018) y en definitiva rendimiento y calidad de aceite (Zipori *et al.*, 2022).

Los resultados de esta investigación se basan en un periodo corto (4 años de aplicación), por lo tanto, más datos experimentales podrían ser necesarios para confirmar los efectos de la aplicación de compost y té de compost sobre las propiedades del suelo y el desarrollo del cultivo a largo plazo. Fernández-Hernández *et al.* (2014) recién al sexto año de aplicación de compost de orujo de aceituna observaron mejoras significativas en las propiedades fisicoquímicas de la fruta e incrementos del 15% en el contenido de aceite

manteniendo su composición y calidad respecto de los valores obtenidos con la fertilización inorgánica y un control.

Tabla 4.3. Efecto de diferentes compost de alperujo y resto de poda de olivares, y de su forma de aplicación, sobre el peso de 100 frutos, volumen de fruto, relación Pulpa/Carozo y número de frutos por rama. Frutos del Norte S.A. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.

Parcel:	Tipo de fertilización	Sím bolo	Peso100 Frutos (g)	Vol. Fruto (cm ³)	Relación Pulpa/Carozo	Nº de Frutos (p/rama)
R	Control R	T1	170,61 ± 36,0 a	4,7 ± 0,6 a	4,0 ± 0,4 a	4,3 ± 0,6 a
R	AS	T2	179,1 ± 36,0 a	6,4 ± 0,6 a	4,0 ± 0,4 a	3,5 ± 0,6 a
R	Pulv. Foliar AL	T3	160,5 ± 36,0 a	5,2 ± 0,6 a	3,8 ± 0,4 a	3,1 ± 0,6 a
FR	Control FR	T4	154,7 ± 36,0 A	5,5 ± 0,6 A	3,7 ± 0,4 A	5,1 ± 0,6 A
FR	AS	T5	149,4 ± 36,0 A	5,9 ± 0,6 A	3,4 ± 0,4 A	4,8 ± 0,6 A
FR	Pulv. Foliar AL	T6	149,9 ± 36,0 A	5,0 ± 0,6 A	3,6 ± 0,4 A	4,1 ± 0,6 A
	<i>Efecto parcela</i>		0,1637	0,4138	0,5707	0,4746
<i>p-valor</i>	<i>Efecto tipo de fertilización</i>		0,7070	0,3473	0,1566	0,3290
	<i>Interacción parcela:tipo de fertilización</i>		0,1957	0,2607	0,4708	0,8639

Referencias: Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R y mayúsculas para la parcela FR. Con riego (R): T1: control; T2: AS, repetición; T3: pulverización foliar de AL; Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL. AS: abono sólido; AL: abono líquido.

IV.3.3. Resultados del estado nutricional: NPK foliar

El análisis químico de hojas de un cultivo nos permite detectar desequilibrios nutritivos con anterioridad a que aparezcan síntomas de deficiencia o toxicidad. Las concentraciones deseables o suficientes de los macronutrientes han sido establecidas para el olivo con valores de N: 1,5-2,0%; P: 0,1-0,3% y K > 0,8% (Fernández Escobar, 2000). Estos valores fueron utilizados como indicadores para evaluar los resultados de las muestras del ensayo y así, determinar el nivel de deficiencia, suficiencia o toxicidad.

De todos los elementos nutritivos, el N es el único que no se encuentra presente en la roca madre del suelo, siendo esencial para el crecimiento y rendimiento de los cultivos, que lo necesitan en grandes cantidades, por lo que se considera la base de la fertilización (Coskun *et al.*, 2017). Los niveles de N foliar se encontraron por encima de umbral que requiere el olivo según Fernández Escobar (2000). No se observaron diferencias significativas entre tratamientos ni en las interacciones entre variables ($p: 0,3447$) (Tabla 4.4).

En experimentos a largo plazo, Bustan *et al.* (2013) informaron que las aplicaciones de N no afectaron el rendimiento cuando el contenido foliar de este elemento se encuentra próximo al umbral de suficiencia. Teniendo en cuenta que los valores obtenidos en Catamarca estuvieron entre un 47 a 108% por encima del umbral de suficiencia, se puede

considerar que este elemento no actuó como limitante en ningún tratamiento, inclusive el control R que sólo tuvo aporte de N a través de la descomposición de las hojas que caen de los árboles.

Tabla 4.4. Comparación de medias del efecto de diferentes compost de alperujo y resto de poda de olivares, y de su forma de aplicación sobre el contenido foliar de NPK en olivos cv. ‘Arbequina’. Frutos del Norte S.A. Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018.

Parcela	Tipo de fertilización	Símbolo	N (%)	P (%)	K (%)
R	Control R	T1	2,94 ± 0,43 a	0,10 ± 0,02 b	0,94 ± 0,05 a
R	AS	T2	3,75 ± 0,43 a	0,13 ± 0,02 a	0,92 ± 0,05 a
R	Pulv. Foliar AL	T3	3,77 ± 0,43 a	0,08 ± 0,02 c	0,96 ± 0,05 a
FR	Control FR	T4	3,42 ± 0,43 A	0,09 ± 0,02 A	0,94 ± 0,05 A
FR	AS	T5	3,71 ± 0,43 A	0,10 ± 0,02 A	0,95 ± 0,05 A
FR	Pulv. Foliar AL	T6	4,17 ± 0,43 A	0,09 ± 0,02 A	0,98 ± 0,05 A
	<i>Efecto parcela</i>		0,5043	0,4645	1,0000
<i>p-valor</i>	<i>Efecto tipo de fertilización</i>		0,0217*	0,0962*	0,5738
	<i>Interacción parcela:tipo fertilización</i>		0,3447	0,0019*	0,8418

Referencia: Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R y mayúsculas para la parcela FR. Con riego (R): T1: control; T2: AS, repetición; T3: pulverización foliar de AL; Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL. AS: abono sólido; AL: abono líquido.

La eficiencia del uso de N de las plantas es notoriamente bajo, alrededor del 50% del N sintético aplicado a los cultivos no es absorbido por las plantas, ya que se pierde como óxido nitroso, amoníaco y/o nitrato (Coskun *et al.*, 2017). En este ensayo, al contrastar las distintas formas de aplicación de los abonos, o sea el “*efecto tipo de fertilización*”, se encontraron diferencias significativas ($p:0,0217$) (Tabla 4.4; Figura 4.5). El contenido de N foliar se incrementó entre el 17,3% cuando se aplicó AS y 24,8% cuando se aplicó AL por pulverización foliar, respecto al control. En cuanto a la explicación del efecto positivo del AL en el contenido de N foliar existen muy pocos antecedentes, ya que en la mayoría de los ensayos que evalúan las pulverizaciones foliares con AL u otros productos orgánicos están enfocados en el aspecto sanitario. Dearborn (2011) recopiló y publicó información sobre ensayos a campo y laboratorio sobre los beneficios de distintos compost y té de compost, cultivos y tipos de suelos, concluyendo que estos compuestos son eficaces en la supresión de enfermedades, quedando reflejado además un efecto positivo en el crecimiento de las plantas.

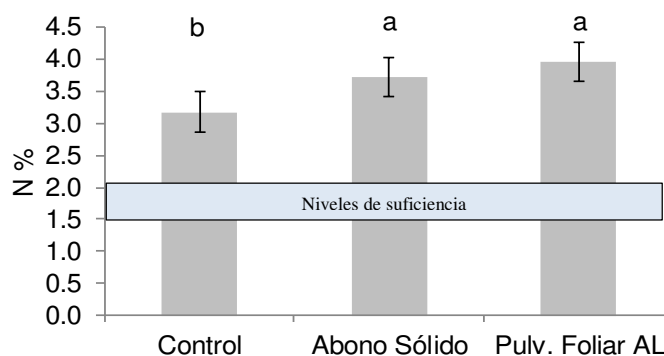


Figura 4.5. Efecto del tipo de fertilización sobre el contenido de N foliar (%) (Promedios Marginales) en olivares cv. ‘Arbequina’. Fruto del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018. *Control* (sin abono), *Abono Sólido* (AS aplicado al suelo) y *Pulverización foliar* (AL a la planta). Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$.

Estos resultados pueden deberse no solo al aporte de N del abono. Los abonos orgánicos en sus distintas formas incrementan la comunidad microbiana (especialmente los fijadores libres de N atmosférico), influyendo directamente sobre la fertilidad y productividad de los suelos agrícolas, la disponibilidad de nutrientes y, en particular, de N (Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019). En este sentido, se comprobó que en suelos con aplicación de abono orgánico existe una correlación positiva entre el N disponible y la actividad biológica. Además, se verificó que los abonos orgánicos se caracterizan por la liberación lenta y progresiva de los nutrientes, y que los microorganismos que aportan dichos abonos cumplen un papel fundamental en la solubilización del fósforo y otros elementos del suelo (Van Beilen, 2016). Por otro lado, el té de compost retiene los atributos del compost de origen, con la ventaja adicional que actúan más rápidamente, sobre todo cuando se aplica por vía foliar, y se necesitan en menor cantidad con respecto al AS (Dearborn, 2011).

El fósforo (P) juega un importante papel en la fotosíntesis, respiración de las plantas y en la formación de órganos de reproducción. Por ser constituyente de nucleoproteínas, su función fundamental es la transferencia de energía en la planta, consumiéndose buena parte en la floración y cosecha (Gros & Domínguez Vivancos, 1992). El P es el elemento nutritivo poco móvil en el suelo y que, generalmente, se encuentra poco disponible, sobre todo en suelos alcalinos. Sin embargo, los resultados del contenido de P foliar del olivo en este ensayo (Tabla 4.2) comprueban el efecto positivo del abono, mostrando diferencias entre tratamientos ($p:0,0019$), con mejores valores en el T2 que se diferenciaron estadísticamente de T1 y T3 en la parcela R, mientras que en la parcela FR, los tratamientos no presentaron diferencias significativas. Estos resultados prueban que la

aplicación de AS al suelo provoca un efecto positivo en la disponibilidad de P obteniéndose niveles suficientes para este cultivo (0,1-0,3%) (Fernández Escobar, 2000).

Estudios previos (Undurruga Díaz, 2018) han demostrado que los microorganismos (hongos y bacterias) pueden solubilizar compuestos de fosfatos en suelos con escaso P disponible, favoreciendo la captación de P para las plantas, particularmente en suelos alcalinos/calcareos. De este modo, es evidente la importancia de los microorganismos como catalizadores de la mineralización del P orgánico y la solubilización del P inorgánico poco lábil e inmovilizado. Otros ensayos (Bustan *et al.*, 2013) demostraron que el aumento de P foliar incrementó el rendimiento en olivos.

El potasio (K) también es requerido en grandes cantidades por la planta, ya que cumple un importante rol en la regulación osmótica, transporte de azúcares y múltiples funciones fisiológicas, además de tener un efecto positivo en términos de calidad, calibre, peso y firmeza de los frutos (Guerrero Polanco, 2017). Los niveles de K foliar en todo el tiempo del ensayo y tratamientos se encontraron dentro del rango de suficiencia (K > 0,8%; Fernández Escobar, 2000) y no se observaron diferencias entre los tratamientos (Tabla 4.4), al igual que en las experiencias de Fernández Hernández *et al.* (2014). Estos autores no encontraron diferencias significativas comparando compost de alperujo con distintos abonos (estiércoles, poda de olivos) y con los tratamientos de fertilización química. A pesar que el olivo es un gran consumidor de K, su respuesta al abonado suele ser incierta y aleatoria en función de la variedad, de las reservas del suelo y el consumo del cultivo (Gros & Domínguez Vivancos, 1992; Restrepo Díaz *et al.*, 2008).

Los frutos en el olivo contienen importantes cantidades de K, llegando a representar el 60% del total de la planta (López Villalta, 1996) y su movilidad es estacional y muy dinámica (Bustan *et al.*, 2013). Al evaluar el rendimiento (abordado más adelante), los tratamientos abonados con AS y AL en forma conjunta obtuvieron las mejores producciones del experimento por lo que es de esperar que, debido a su movilidad, el elemento se haya traslocado hacia los frutos (Zipori *et al.*, 2022) sin que se modifique sustancialmente el contenido foliar (Mengel & Kirkby, 2000; Bustan *et al.*, 2013). Es así que, algunos autores consideran que los análisis foliares de K para olivos intensivos, deben reconsiderarse, ya que el umbral de suficiencia utilizado no acompaña a la realidad, por lo que sugiere integrar información en el contenido de K en fruta y la disponibilidad de K en suelo (Haberman *et al.*, 2019).

Al contrastar T1 con T3 observamos un incremento en los valores medios de K del 2,1% y al comparar T1 con T6 de 14,2%. En las experiencias de Restrepo-Díaz *et al.*

(2008) se reporta que "*las aplicaciones foliares de K parecen ser más efectivas*" a pesar de numerosos factores que influyen en su absorción foliar, los cuales son fácilmente corregibles, como dosis, momentos y frecuencias de aplicación, entre otros (Restrepo Díaz *et al.*, 2008).

IV.3.4. Rendimiento

El uso de fertilizantes minerales en la agricultura ha aumentado significativamente los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, los fertilizantes inorgánicos también producen un impacto ambiental y ecológico negativo por su uso excesivo y/o inadecuado (Walling & Vaneeckhaute, 2020). El uso de fertilizantes sintéticos fácilmente disponibles da como resultado altos rendimientos con beneficios a corto plazo, pero también pueden ocasionar serios problemas de contaminación (Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019), por lo que es apremiante reemplazarlos por una fertilización sustentable (Ozores Hampton *et al.*, 2011). Por otro lado, la utilización de la fertilización orgánica puede mejorar la calidad del suelo de forma sostenida en el tiempo, aumentando el nivel de carbono orgánico, liberando lentamente los nutrientes e incrementando los rendimientos de los cultivos (Peltoniemi *et al.*, 2021; Fernández Delgado *et al.*, 2022), resultados que fueron observados en este estudio.

El rendimiento por planta mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (*interacción Parcela:Tipo de fertilizante, p:0,0038*) y en la forma de aplicación (*efecto Tipo de fertilizante, p:0,0050*). En la Figura 4.6 se pueden observar rendimientos superiores en la parcela FR respecto al lote R, con incrementos del 83,8% en T4 respecto a T1; 66,2% de T5 respecto a T2 y del 21,1% entre T6 y T3.

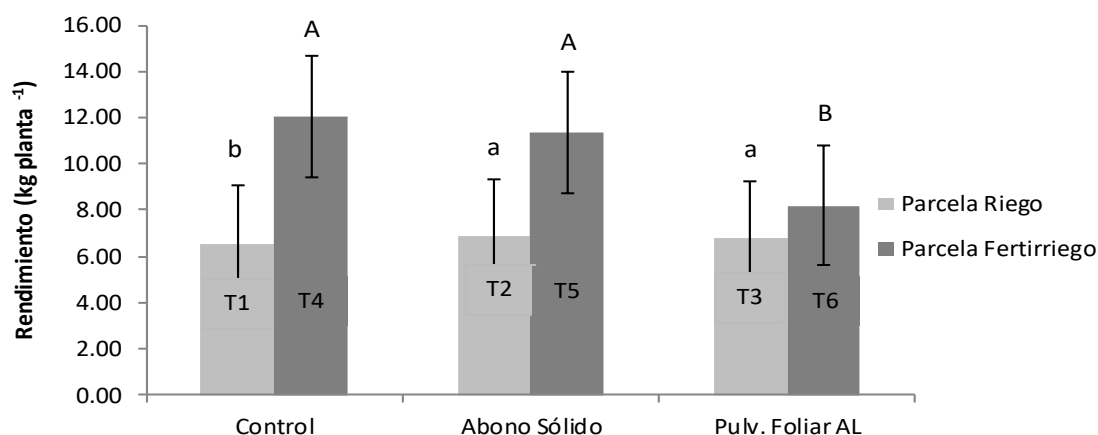


Figura 4.6. Efecto diferentes compost de alperujo y resto de poda de olivares, y de su forma de aplicación, sobre el rendimiento (kg planta⁻¹) en olivares, cv. 'Arbequina'. Fruto del Norte S.A., Catamarca. Datos promedios de 4 campañas 2014-2018. Letras diferentes según tratamiento denotan diferencias significativas para Test de Tukey $p < 0,10$. Con la distinción de letras minúsculas para la parcela R y mayúsculas para la parcela FR. Con riego (R): T1: control; T2: AS, repetición; T3: pulverización foliar de AL; Con fertirriego AL (FR): T4: control; T5: AS; T6: pulverización foliar de AL. AS: abono sólido; AL: abono líquido.

El impacto favorable sobre el rendimiento del AL aplicado por fertirriego queda claro cuando se compara T4 con T1 (Controles), ya que T1 no presenta agregado de abonos; igualmente, cuando se compara T3 con T6, ya que el aporte de elementos minerales de AL por vía foliar es muy escaso en la parcela de riego (T3). Sin embargo, T4 presentó el mismo rendimiento que T5 a pesar de que los mayores aportes nutricionales corresponden a este último tratamiento, debido a la aplicación conjunta de AS y AL. Por otro lado, no hubo respuesta a la aplicación de AS al suelo ni a la aplicación foliar de AL en la parcela bajo riego, siendo que AS posee una más completa composición mineral N-P-K en comparación con AL (Alurralde *et al.*, 2021). Por otro lado, el requerimiento de un olivo adulto con una producción de 50 kg pl⁻¹ ronda los 0,75 kg pl⁻¹ de N, 0,2 kg pl⁻¹ de P₂O₅, y 0,75 kg pl⁻¹ de K₂O (Domínguez Vivancos, 1993; Ferreira *et al.*, 1986; Tombesi, 2018), valores que no son cubiertos por los aportes de abonos orgánicos aplicados en este ensayo teniendo en cuenta las dosis utilizadas y su composición (Alurralde *et al.*, 2021). Estas evidencias hacen suponer que el aumento en el rendimiento del olivo producido por la AL y la mejora de los contenidos foliares de N y P provocados por AS y AL, no son consecuencia directa de un mayor aporte de nutrientes, sino que también intervienen otros factores, como el fraccionamiento de los aportes, la mejora de las condiciones físico-químicas del suelo y el aporte microbiano, entre otros, o a una compleja combinación de los mismos.

Numerosos trabajos muestran incrementos en los rendimientos al fraccionar la fertilización, ya sea inorgánica u orgánica debido a que aumenta la eficiencia de la fertilización (Pibars *et al.*, 2015), y el suministro de agua adaptándolo a las condiciones del lugar (Zipori *et al.*, 2022). Los requerimientos nutricionales de los árboles se modifican a través del tiempo en función de su fenología y productividad y en base a ello se debe adecuar el programa de fertilización, tal como Hidalgo *et al.* (2011) estableció para olivos en plena producción. De este modo, el fraccionamiento de los aportes de fertilizantes, como también el fertirriego, permiten contemplar estos cambios en la demanda del cultivo debidos a la fenología y optimizar el aprovechamiento de los fertilizantes y enmiendas, de tal forma que los nutrientes estén disponibles en sincronía con las necesidades de la planta (Ahmad *et al.*, 2016). Un efecto similar se produciría por la característica de los abonos orgánicos de generar una liberación lenta y progresiva de los nutrientes, o por su capacidad para solubilizar el fósforo y otros elementos del suelo (Van Beilen, 2016), particularmente en situaciones de suelos alcalinos/calcareos (Undurraga Díaz, 2018).

Por otro lado, los abonos orgánicos producen mejoras en las propiedades del suelo, logrando incrementos de rendimiento en hortalizas de entre 2 y 570% (Álvarez & Rimski Korsakov, 2016). La influencia positiva de la materia orgánica sobre la estructura del suelo y con ello sobre la aireación, retención y aprovechamiento del agua de riego, regulación del pH y disponibilidad de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, quelación de micronutrientes y mejor desarrollo radicular, son aspectos importantes que favorecen el comportamiento de los cultivos (Fernández & Moreno, 2000; Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019). Es así que, el aporte continuo de enmiendas orgánicas logra mejorar la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos de manera sostenida en el tiempo (Fernández-Delgado *et al.*, 2022).

Además de lo mencionado, los suelos que han sido enriquecidos con abonos orgánicos tienden a presentar una mayor diversidad de bacterias, hongos micorrízicos y nematodos (Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019), siendo los térs de compost y de lombricompost los más promocionados en este aspecto (Bonillo *et al.*, 2015). La comunidad microbiana del suelo juega un papel relevante en el flujo de energía, la transformación y reciclaje de nutrientes, e influye directamente en la fertilidad y productividad de los suelos, ampliando la disponibilidad de nutrientes y atenuando el efecto de las enfermedades sobre las plantas (Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019). Entre las comunidades microbianas que promueven los abonos orgánicos, se deben

destacar especialmente los fijadores libres de N atmosférico (Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019).

De este modo, debido a la dinámica y los aportes directos e indirectos de la MO en el suelo sobre la nutrición mineral, muchas veces el comportamiento de las plantas y del olivo en particular, se hace difícil de interpretar (Sierra Bernal, 2003; Fernández Hernández *et al.*, 2014), como en parte sucede en este trabajo con el efecto del AL aplicado a través del fertirriego. En este sentido, la mayoría de las revisiones científicas se basan en experimentos en contenedores donde el árbol crece en sustratos o cultivos en seco (Zipori *et al.*, 2022) y no discuten adecuadamente la relación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con relación al crecimiento y rendimiento de las plantas. No obstante Moreno *et al.* (2014) comprobaron que entre dichas propiedades, si bien todas son relativamente estables, las biológicas muestran una mayor sensibilidad frente a los cambios, en particular con el aumento de materia orgánica, por lo que se consideran un buen indicador de la calidad del suelo. Asimismo, los autores aseguran que la importancia de las poblaciones microbianas está dada más por su actividad que por la biodiversidad, por lo que la actividad enzimática del suelo se incrementa con la aplicación de enmiendas orgánicas, aumentando la capacidad hidrolítica en el suelo con importante relevancia en los ciclos del N, P y S.

Los frutales presentan un balance o equilibrio entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo (Bustan *et al.*, 2013), de modo que una alta carga de frutos inducirá un crecimiento vegetativo retardado, tal cual se puede observar en este ensayo, donde el lote FR presentó los mayores rendimientos (Figura 4.6), pero los crecimientos de ramos más bajos (Tabla 4.2). Los ciclos de crecimiento vegetativo y reproductivo se dan de manera simultánea, por lo que se presentan una serie de interacciones competitivas entre sumideros (brotes, frutos, raíces y yemas) (Mengel & Kirkby, 2000). El orden de prioridad en la partición de los fotoasimilados son las semillas y los frutos, los ápices en crecimiento, las hojas, las raíces, y finalmente los órganos de almacenamiento. Estos ciclos no solo se ven afectados por factores endógenos sino por factores exógenos, tales como la disponibilidad de nutrientes y agua, las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico (Beyá-Marshall & Fichet, 2017). Por otro lado, la carga de frutos es uno de los factores más influyentes en el fenómeno de la alternancia del olivo (Mengel & Kirkby, 2000; Lavee, 2007).

Todo esto nos revela el potencial del AL aplicado por riego, considerándolo como un medio que maximiza las propiedades del compost (St. Martin & Brathwaite, 2012),

más allá de la eficiencia de la fertilización por riego mencionada en párrafos anteriores. La revisión de la literatura indica la necesidad de realizar más ensayos de campo para comprender mejor las técnicas de elaboración del AL, el proceso de compostado y los beneficios resultantes de su aplicación. Además, para hacer sostenible el cultivo del olivo, económica y medioambientalmente, es necesario conocer mejor los requerimientos nutricionales de los árboles en función de su fenología y productividad y con ello adecuar el programa de fertilización (Tabla 4.5), tal como lo indica Hidalgo *et al.* (2011) en la recomendación general de fertilización (N-P-K) para olivos en plena producción.

Tabla 4.5. Extracción anual de nitrógeno, fósforo y potasio del cultivo del olivo por cada 1000 kg de aceituna, y requerimientos por planta para una producción de 50 kg planta⁻¹.

Nutrientes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Extracción (kg t ⁻¹ de aceituna)	15	4	15
Requerimiento (g planta ⁻¹)	750	200	750

Referencias: (Domínguez Vivancos, 1993; Ferreira et al., 1986; Tombesi, 2002). N: Nitrógeno; P₂O₅: Pentóxido de fósforo; K₂O: Monóxido de potasio

Considerando estos requerimientos, los aportes de N-P-K provenientes del AS y AL son insuficientes (Tabla 4.6). En este sentido, si nos enfocamos en una fertilización utilizando solo AS, debemos incorporar aproximadamente 24 kg planta⁻¹ año⁻¹ para cubrir las necesidades de N, 100 kg para P y 54 kg para satisfacer los requerimientos de K. Sin embargo, se debería incluir en la valoración de su uso el gran potencial biológico que presentan estos abonos. La fertilización orgánica aporta mucho más que cubrir las unidades de nutrientes requeridas por el cultivo, como se mencionó en párrafos anteriores y como se pudo comprobar su efecto sobre el suelo, desarrollado en el capítulo III de esta tesis.

Tabla 4.6. Aporte de N-P-K por parte de los abonos de compost de alperujo y resto de poda de olivares (AS y AL) utilizados en el ensayo y expresados en gramos por planta y por año. Frutos del Norte S.A., Catamarca.

Nutrientes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
AS (g planta ⁻¹)	93	6	42
AL fertirriego (g planta ⁻¹)	Sin dato	Sin dato	0,67
AL Pulverización (g planta ⁻¹)	Sin dato	Sin dato	4

AS: Abono sólido; AL: Abono líquido; N: Nitrógeno; P₂O₅: Pentóxido de fósforo; K₂O: Monóxido de potasio.

La comunidad microbiana del suelo es un componente funcional importante que

juega un papel relevante en el flujo de energía, la transformación y reciclaje de nutrientes entre el suelo y la atmósfera, influyendo directamente en la fertilidad y productividad de los suelos, ampliando la disponibilidad de nutrientes y atenuando el efecto de las enfermedades sobre las plantas (Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019).

El estado nutricional de los olivos, su rendimiento y la calidad de la fruta están influenciado por numerosos factores, como las condiciones meteorológicas, la fertilización, el manejo del riego y las prácticas culturales (Sierra Bernal, 2003; Fernández Hernández *et al.*, 2014). Sin embargo, cuando se realiza un programa de fertilización no siempre se considera adecuadamente la mineralización del suelo ni la importancia de sus propiedades físicas. Esto se debe a que la dinámica y el efecto directo e indirecto de la MO en el suelo sobre la nutrición y el comportamiento de la planta son difíciles de interpretar. La influencia positiva de la materia orgánica sobre la estructura del suelo y con ello sobre la aireación, retención y aprovechamiento del agua de riego, la regulación del pH y la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, la quelación de micronutrientes y el mejor desarrollo radicular, son aspectos muy importantes que favorecen la interacción suelo: raíces (Fernández & Moreno, 2000; Ibacache González *et al.*, 2000; Escobar Escobar & Mora Delgado, 2019). Es así que las enmiendas orgánicas al mejorar la calidad del suelo sostenida en el tiempo, mejoran el rendimiento de los cultivos (Fernández-Delgado *et al.*, 2022).

Sin embargo, se debe destacar que, si se pretende una producción sustentable en el tiempo, los aportes de los abonos orgánicos deberán ajustarse de modo que su contenido nutricional sea más cercano a los requerimientos del cultivo. En el caso de esta tesis, el aporte de los AS y AL deberían incrementarse considerablemente, por lo que se debería analizar la factibilidad, disponibilidad y/o forma de complementarlos con otras enmiendas.

.IV.4. CONCLUSION

La aplicación de AS en olivares, por el lapso de cuatro años repercutió favorablemente en la concentración de N y P foliar, en el crecimiento de los ramos fructíferos y en el rendimiento del olivo, cv, 'Arbequina'. La mejora del rendimiento fue muy notoria en los lotes de fertirriego con AL, que al contrastarlos con los lotes con riego presentaron incrementos entre el 66,2 y el 83,8% según el abono adicional utilizado. La aplicación foliar de AL no modificó el comportamiento general de la planta y el riego y de fertirriego no afectaron la calidad de los frutos.

IV.5. BIBLIOGRAFIA

Ahmad, A.A.; Radovich, T.J.; Hue, N.; Uyeda, J.; Arakaki, E.; abdy, J.; Paull, R.; Sygano, J.; Teves, G.(2016). Use of Organic Fertilizers to Enhance Soil Fertility, Plant Growth, and Yield in a Tropical Environment. En; Organic Fertilizers. From basic concepts to applied outcomes. (Ed.: Larramendy, M; Soloneski, S.) Publisher: InTech. (4):85-108.

Albuquerque, J.A.; González, J.; García, D.; Cegarra, J. (2007). Effects of a compost made from the solid by-product (“alperujo”) of the two-phase centrifugation system for olive oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrient content of ryegrass (*Lolium perenne* L.). Bioresource Technology 98:940–945.

Alurralde, A.L.; Imhoff, S.; Gariglio, N.; Barbier Albers, A. (2021). Caracterización de abonos sólidos y líquidos derivados del compostaje de alperujo y restos de poda de olivares. Ciencia del Suelo (Argentina) 39(1): 94-111.

Allahyari, H.; Ahangar, A.G.; Ravizi, S.B.; Sattari, A. (2015). The process of production compost tea and its usage in agriculture: a review. International Journal of Farming & Allied Sciences 4(2):171-176.

Álvarez, C.R.; Rimski-Korsakov, H. (2016). Producción orgánica en Argentina. Legislación y principios del manejo de la fertilidad de suelos en producciones orgánicas. En: Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos. (Ed.: Álvarez, C.R.; Rimski-Korsakov, H.) Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. (1):5-14.

Álvarez, M.J. (2017). Los estudios científicos que demuestran los beneficios del aceite de oliva para la salud impulsan sus ventas. Canales sectoriales. Interempresas media. <https://www.interempresas.net/Produccion-Aceite/Articulos/195453-estudios-cientificos-que-demuestran-beneficios-aceite-oliva-salud-impulsan-ventas.html>

Andrade, F. (2017). Los desafíos de la agricultura argentina Satisfacer las futuras demanda y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA. Buenos Aires. :120p. <https://inta.gob.ar/documentos/los-desafios-de-la-agricultura-argentina-satisfacer-las-futuras-demandas-y-reducir-el-impacto-ambiental>.

Beyá-Marshall, V.; Fichet, T. (2017). Effect of crop load on the phenological, vegetative and reproductive behavior of the ‘Frantoio’ olive tree (*Olea europaea* L.). Ciencia e Investigación Agraria 44(1):43-53.

Bonillo, M; Filippini, M; Lipinski, V. (2015). Efectos de abonos orgánicos foliares: té de compost, té de lombricompost y supermagro en la productividad en cultivo de lechuga

(*Lactuca sativa* L.). Memorias del v congreso latinoamericano de agroecología Archivo Digital: ISBN 978-950-34-1265-7.

Bueno, L. (2009). Uso del análisis foliar en olivos, una herramienta importante. EEA San Juan INTA. :3 p. http://inta.gob.ar/documentos/analisis-foliar-en-olivos/at_multi_download/file/Muestreo%20foliar%20-%20LB.pdf.

Bustan, A; Avni, A.; Yirmeyahu, U.; Ben-Gal, A.; Riov, J.; Erel, R.; Zipori, I.; Dag, A. (2013). Interactions between fruit load and macroelement concentrations in fertigated olive (*Olea europaea* L.) trees under arid saline conditions. *Scientia Horticulturae* 152: 44-55.

Cabrera, A.; Cox, L., Fernández-Hernández, A.; García-Ortiz Civantos, C.; Cornejo, J. (2009). Field appraisalment of olive mills solid waste application in olive crops: effect on herbicide retention. *Agriculture, Ecosystems and Environmen.* 132:260-266.

Champredonde, M.; Cendón, M.; Tedesco, L.; Lupín, B.; Pérez, S.; Cincunegui, C.; Roldán, C. (2018). Aceite de oliva del Sudoeste Bonaerense: ¿hacia la construcción de una Marca Colectiva Territorial?. *Visión Rural* 25(125):40-41.

Coskun, D.; Britto, D.; Shi, W. (2017). Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition. *Nature Plants* 3:170-174.

Cruz Hernández, J. (2009). Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia España. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Departamento de Producción Vegetal. :238 p.

de Bustos, M.; Montalván, D. (2018). Situación actual del residuo de la extracción de aceite de oliva: Características del alperujo. Experiencias de uso del alperujo como abono en la provincia de Catamarca. INTA Ediciones. :3-6 p.

Dearborn, Y. (2011). Compost tea literature review on production, application and disease management. Prepared for San Francisco Department of Environment Toxic Reduction Program. IPM Task Order 3-18. EnviroSurvey Inc. :18 p.

Díaz Shenker, F. (2016). ABC rural. <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/los-suelos-productivos---ing-agr-fernando-diaz-shenker-1536064.html>

Domínguez Vivancos, A. (1993). Fertirrigación. Mundi-Prensa Libros S.A. :217p.

Echeverría, H.; García, F. (2015). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA. :904 p.

- Escobar Escobar, N.; Mora Delgado, J. (2019). Actividad microbiana y calidad de abonos orgánicos de residuos agrícolas. En: Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos (Mora Delgado, J.; Silva Parra, A; Escobar Escobar, N., Eds.) 1º Edición Ibagué, Universidad del Tolima. :83-99.
- Fernández Escobar, R. (2000). Fertilización En: El cultivo del olivo. (Barranco, D.; Fernández Escobar, R.; Rallo, L., Eds.). Editorial Mundi-Prensa. España. :245-265.
- Fernández Hernández, A.; Roig, A.; Serramiá, N.; García-Ortiz Civantos, C.; Sánchez-Monedero, M. (2014). Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil, olive fruit and olive oil quality. *Waste Management* 34(7):1139-1147. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.027>
- Fernández, J.E.; Moreno, F. (2000). Water Use by the Olive Tree. *Journal of Crop Production*. 2:101-162.
- Fernández-Delgado, M.; Amo Mateos, E. del; Lucas, S; García Cubrero, M.T.; Coca, M. (2022). Liquid fertilizer production from organic waste by conventional and microwave-assisted extraction technologies: Techno-economic and environmental assessment. *Science of The Total Environment* 806(4):1-10.
- Ferreira J, García-Ortiz A, Frías L, Fernández A. (1986). Los nutrientes N, P, K en la fertilización del olivar. *Olea*. 17:141-152.
- Fundación Española del Corazón. (2022). Beneficios del aceite de oliva: nuevos datos Madrid, España. <https://fundaciondelcorazon.com/corazon-facil/blog-impulso-vital/2141-beneficios-del-aceite-de-oliva-nuevos-datos.html>
- García Ruiz, R.; Ochoa, M.V.; Hinojosa, M.B.; Gómez Muñoz, B. (2012). Improved soil quality after 16 years of olive mill pomace application in olive oil groves. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA 32 (3): 803-810.
- Gros, A.; Domínguez Vivancos, A. (1992). Abonos. Guía práctica de la fertilización. Ediciones Mundi Prensa 8º Ed. España, Madrid. :449 p.
- Guerrero Polanco, F.; Alejo-Santiago, G.; Luna-Esquivel, G. (2017). Potassium fertilization in fruit tree. *Revista Bio Ciencias* 4(3):143-152. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ20210186443>
- Haberman, A.; Dag, A.; Shtern, N.; Zipori, I.; Erel, R.; Ben-Gal, A. (2019). Significance of proper nitrogen fertilization for olive productivity in intensive cultivation. *Scientia Horticulturae* 246:710–717.

- Hidalgo, J.; Hidalgo, J.C.; Pastor, M. (2011). La fertilización en el olivar de riego. En: Ad Oleum Habendum, ed. Cooperativa Agrícola de Moura e Barrancos y GEA Westfalia Separator Ibérica S.A. 6: 125-135.
- Ibacache González, A.; Sierra Bernal, C.; Tapia Contreras, F. Fertilización del olivo en el valle de Huasco. (2000). Gobierno Regional de Atacama e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena). Centro experimental Huasco (Vallenar). Boletín INIA N° 45. :12 p.
- Ingham, E.R. (2005). The compost tea brewing. Fifth Edition. Suelo Foodweb Incorporated. Covallis; Oregon 97333. :79 p. www.sustainablestudies.org.
- Killi, D.; Kavdir, Y. (2013). Effects of olive solid waste and olive solid waste compost application on soil properties and growth of *Solanum lycopersicum*. International Biodeterioration and Biodegradation 82:157-165.
- Lavee, S. (2007). Biennial bearing in olive (*Olea europaea* L.). Annales: Series Historia Naturalis :9 p.
- López-Piñeiro, A.; Albarrán, A.; Rato Nunes, J.M.; Peña, D.; Cabrera, D. (2011). Long term impacts of de-oiled two-phase olive mill waste on soil chemical properties, enzyme activities and productivity in an olive grove. Soil & Tillage Research. 114: 175-182.
- López-Villalta, L.C. (1996). En: Enciclopedia mundial del olivo. Ed: Lavee, S. Coordinación del Consejo Oleícola Internacional, Madrid (España). Serveis Editorials Estudi Balm+s srl. 4:147-189.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; De Oliveira, S.A. (1989). Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato. Piracicaba, Brasil. :197 p.
- Mengel, K.; Kirkby, E.A. (2000). Principios de nutrición vegetal. Instituto Internacional de la Potasa. Basilea, Suiza. 600p.
- Moreno, M.; Carmona, E.; de Santiago, A.; Delgado, A. (2014). Efecto de la aplicación de compost de alperujo sobre algunas actividades enzimáticas del suelo. En: De Residuos a Recursos: Estrategias de Gestión, Tratamientos y Valorización. Compostaje Red Española. (Editores: Bernal, M.P; Pascual, M; Ros, M; Clemente R). :298-302.
- Ozores-Hampton, M.; Stansly, P.A.; Salame, T.P. (2011) Soil chemical, physical, and biological properties of a sandy soil subjected to long-term organic amendments. Journal of Sustainable Agriculture 35(3):243-259.

- Paredes, C.; Cegarra, J.; Bernal, M.P.; Roig, A. (2005). Influence of olive mill wastewater in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties. *Environment International* 31:305-312.
- Peltoniemi, K.; Sannakajsa, V.; Fritze, H.; Lemola, R.; Pennanen, T. (2021). Long-term impacts of organic and conventional farming on the soil microbiome in boreal arable soil. *European Journal of Soil Biology* 104:103314. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103314>
- Pibars, S.K.; Eldardiry, E.I.; Khalill, S.E; Abd El-Hady, M. (2015). Effect of compost tea on growth character of sunflower (*Helianthus Annus* L.) under surface and subsurface drip irrigation. *International Journal of Chem Tech Research* 8:490-495.
- Pinho, I.A.; Lopes, D.V.; Martins, R.C.; Quina, M.J. (2017). Phytotoxicity assessment of olive mill solid wastes and the influence of phenolic compounds. *Chemosphere* 185:258-267. <file:///E:/Documents/Doctorado/Bibliografia/Bibliografia%202020/pinho2017.pdf>
- Proietti, P.; Federici, E.; Fidati, L.; Scargetta, S.; Massaccesi, L.; Nasini, L.; Regni, L.; Ricci, A.; Cenci, G.; Gigliotti, G. (2015). Effects of amendment with oil mill waste and its derived-compost on soil chemical and microbiological characteristics and olive (*Olea europaea* L.) productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 207:51-60.
- Restrepo-Díaz, H.; Benlloch, M.; Fernández-Escobara, R. (2008). Fertilización potásica de olivares de secado. *Scientia Horticulturae* 116:399–403.
- Roig, A.; Cayuela, M.L.; Sánchez-Monedero, M.A. (2006). An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Manage.* 26:960-969.
- Rosique, N. (2020). Las evidencias científicas de los beneficios del aceite de oliva cada vez son más palpables. *Revista Española Alimento +*. <https://embruxo.es/beneficios-del-aceite-de-oliva-virgen-extra>.
- Sierra Bernal, C. (2003). Fertilización de cultivos y frutales en la zona norte. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena). Boletín INIA N° 97. :72 p.
- St. Martin, C.C.G.; Brathwaite, R.A.I. (2012). Compost and compost tea: Principles and prospects as substrates and soil-borne disease management strategies in soil-less vegetable production. *Biológico Agricultura & Horticultura* 28(1):1-33.
- St. Martin, Ch.; Ramsuhag, A. (2015). Potential of compost for suppressing plant diseases. :345-388. <http://ww.cabi.org/cabreviews>. Online ISSN 1749-8848.
- Tombesi, A. (2018). *Biologia Fiorale e di Fruttificazione*. En: *Olea Trattato di olivicoltura*. (Ed.: Fiorino, P). Edagricole. Bologna, :35-52.

Undurraga Díaz, P. (2018). Conceptos de fertilidad fosfatada en suelos volcánicos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – Centro Regional de Investigación Remehue. INIA Serie Actas N° 2 Cap 4. https://nanopdf.com/download/cap-4-conceptos-de-fertilidad-fosfatada_pdf#

Van Beilen, N. (2016). Effects of conventional and organic agricultural techniques on soil ecology. Center for Development and Strategy, 1:1-2. <http://www.inquiriesjournal.com/a?id=1529>.

Walling, E.; Vaneckhaute, C. (2020). Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability. *Journal of Environmental Management* 276:111211.

Wilson, M. (2017). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. En: Aplicación de indicadores de calidad de suelo para el monitoreo agroambiental. (Wilson, M.G.; Sasal, M.C., Eds.) Ediciones INTA, Entre Ríos. :23-29.

Zipori, I.; Yermiyahu, U.; Dag, A.; Erel, R; Ben-Gala, A.; Quan. L.; Kerem, Z. (2022). Effect of macronutrient fertilization on olive oil composition and quality under irrigated, intensive cultivation management. *Journal of The Science of Food and Agriculture* published by John Wiley & Sons Ltd on behalf of Society of Chemical Industry.:9p. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12110>.

V.1. DISCUSIÓN GENERAL

El olivo en la provincia de Catamarca es un cultivo importante y en expansión. Su rendimiento y la calidad del aceite están influenciados por las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico (Beyá Marshall *et al.*, 2017). El olivo ha sido considerado tradicionalmente como un árbol de gran rusticidad, capaz de desarrollarse en suelos marginales; esto produjo una disminución gradual del rendimiento, envejecimiento prematuro de las plantaciones y degradación de los suelos (Ibacache *et al.*, 2000). Al mismo tiempo la industria del aceite de oliva genera grandes volúmenes de residuos, tales como el alperujo y los restos de poda, que se concentran en un corto periodo del año y que requieren de una adecuada gestión (Ince *et al.* 2016). Estudios internacionales demostraron que la aplicación de alperujo crudo en plantaciones olivícolas en dosis definidas, mejora las condiciones generales del suelo (Monetta *et al.*, 2014). Por otra parte, existen reportes de efectos no deseados como salinidad y fitotoxicidad, cuando la aplicación del alperujo crudo no es en forma controlada (INTA, 2017). Pocos estudios se han realizado sobre la utilización de estos materiales cuando son compostados con el agregado de otros materiales naturales, como los restos de poda del propio olivar. Por otro lado, existen estudios sobre la producción de diversos tipos de té de compost, su proceso de elaboración y sus beneficios sanitarios en las plantas (St Martin & Brathwaite, 2012; St Martin & Ramsabhag 2015; Allahyari *et al.*, 2015). Sin embargo, existe escasa información sobre los efectos de los materiales antes mencionados bajo la forma de compost y del té de compost generado a partir del mismo sobre la nutrición, crecimiento y rendimiento de frutales y sobre las propiedades del suelo donde se aplican.

Con el objetivo de reutilizar estos residuos, atenuando la contaminación y al mismo tiempo contribuir con la conservación y salud del suelo e incrementar el rendimiento del olivo, se trabajó en la caracterización física, química y biológica de los abonos proveniente del compostaje del alperujo con restos de poda del olivar, tanto en su forma sólida (AS) como líquida (AL) y sus efectos sobre la nutrición, crecimiento y rendimiento de frutales y sobre las propiedades del suelo donde se aplican. En este sentido, esta tesis aporta información novedosa e indispensable para una gestión sustentable de los sistemas olivícolas.

A pesar de la variabilidad propia de los productos orgánicos, tanto por la materia prima como por su proceso de elaboración (Mazzarino *et al.*, 2012), se pudo confirmar que poseen una gran calidad y potencial como enmienda o fertilizante orgánico, ya que se obtuvo un producto moderadamente alcalino, moderadamente salino, con muy alta actividad microbiana (>1 UA) y particularmente rico en materia orgánica (> 67%) y potasio (> 1%). Además, no solo se pudo verificar, la ausencia de agentes fitotóxicos y bajos niveles de polifenoles, sino que se observó estimulación en la germinación de espinaca (*Spinacea oleracea* L.), perejil (*Petroselinum crisoum* Mill. Fuss) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

Los resultados sugieren no sólo que el compostaje puede ser una alternativa viable para el uso agrícola sino que es una opción sostenible y particularmente prometedora en la agricultura ecológica, ya que durante el proceso de compostaje se favorece la actividad microbiana, se producen ácidos húmicos y fúlvicos, generando un producto muy estable, rico en nutrientes, de baja densidad y buena porosidad, lo que contribuye a una mayor captación y almacenamiento de agua y nutrientes en el suelo (Barbaro *et al.*, 2014; Fernández Hernández *et al.*, 2014).

Una vez valorizados estos productos y citando a Ibacache *et al.* (2000), entre otros autores, inferimos que para obtener producciones rentables y de calidad, la olivicultura moderna necesita la implementación de un manejo adecuado del cultivo y sus residuos, reduciendo el deterioro del suelo y contaminación del ambiente. Al incorporar estos subproductos al sistema productivo olivarero se pudo demostrar que la aplicación al suelo durante tres a cuatro años del abono sólido (AS) permitió lograr mejorar diversos aspectos que hacen al sistema productivo en su conjunto como el incremento el COT, COP, N, Pe, K, CIC y la actividad biológica, lo que implica una notable mejora de la fertilidad química y la biodiversidad del suelo. El incremento de la materia orgánica es uno de los factores claves en la fertilidad y productividad de los suelos, sobre todo en climas áridos y semiáridos donde el contenido de materia orgánica es bajo, y favorece el desarrollo de microorganismos que colaboran en los ciclos de mineralización, tornando disponibles muchos nutrientes esenciales, además de mejorar la aireación y retención de agua de los suelos (Ibacache *et al.*, 2000).

En esta tesis se demostró que los parámetros físicos analizados (Da y Dr) mejoraron a partir de los 5 años de aplicación de AS, aumentando proporcionalmente con los años de aporte, resultados que coinciden con los publicados por Cruz Hernández (2009) y Escobar Escobar & Mora Delgado (2019). Sin embargo, también hay estudios

que indican efectos negativos debido a los elevados contenidos de polifenoles, lípidos, sales y sodio, produciendo toxicidad y dificultades en la permeabilidad e infiltración del suelo (Doula et al., 2017). Estos resultados remarcan la necesidad de analizar la composición de los abonos previo a su utilización y la aplicación en tasas agronómicas para lograr potenciar los efectos positivos.

En cuanto al AL, los resultados han sido sumamente interesantes. Como resultado de incorporar AL al suelo por fertirriego se obtuvieron mejoras en las variables químicas del suelo (COT, COP, K_i , N y Pe), y la combinación de AS y AL mejoró aún más estos parámetros e indujo efectos positivos sobre la porosidad del suelo y la actividad biológica, incrementando claramente la fertilidad del suelo. Por otro lado, la aplicación de AL foliar produjo un aumento de Pe y K_i , nutrientes que alcanzaron los mayores valores respecto al resto de los tratamientos, pero no se verificó una tendencia específica de los demás parámetros analizados

Con respecto a los parámetros productivos de los olivares, la aplicación de AS repercutió favorablemente en la concentración de N y P foliar, en el crecimiento de los ramos fructíferos y en el rendimiento del olivo, que fue potenciado notablemente en los lotes con fertirriego con AL. Estos resultados demuestran el potencial que tiene la combinación de ambos subproductos sobre la productividad de los olivares.

V.2. CONCLUSIÓN GENERAL

La actividad olivícola creció notablemente en Argentina en los últimos años, acompañada de una mayor tecnificación productiva, transformando al país en el principal productor de América del Sur. La tecnificación progresiva, con el objetivo de incrementar la productividad, es acompañada de un uso más intensivo de los recursos naturales, entre ellos el suelo. Este recurso, en los sistemas áridos y semiáridos, es especialmente frágil, por lo que la intensificación productiva conlleva un elevado riesgo de degradación, y con ello, una pérdida gradual de sus propiedades y funciones esenciales para el desarrollo y producción de los cultivos, entre ellos los olivares. Por este motivo es esencial encontrar alternativas productivas que permitan aumentar la productividad de los olivares conservando y mejorando los recursos naturales necesarios para lograr una producción sostenible en el tiempo. En este sentido, esta tesis se enfocó en evaluar la producción y aplicación de diversos tipos de abonos derivados de la propia industria olivarera con la finalidad de contribuir a mantener la posición productiva alcanzada por Argentina en un contexto de mayor sostenibilidad de los recursos naturales.

En esta tesis se han corroborado las Hipótesis planteadas dado que se demostró que:

- Tanto el abono sólido como el abono líquido, obtenidos a partir del compostaje de alperujo más los restos de poda de la propia industria olivarera, poseen características químicas, físicas y microbiológicas adecuadas para su empleo en los olivares y no poseen sustancias tóxicas, como lo muestran los ensayos de energía y poder germinativo de semillas de diferentes especies (Hipótesis 1- Capítulo II de la Tesis).
- La aplicación de abono sólido y abono líquido al suelo mejora su fertilidad física, química y microbiológica del suelo, generando condiciones más propicias para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, sin que se verifique un efecto positivo del asperjado adicional de abono líquido al cultivo (Hipótesis 2, Capítulo III de la Tesis).
- La utilización conjunta de ambos tipos de abono aplicados al suelo mejora las características nutricionales de las plantas y la productividad de los olivares mientras que la aplicación de AL al suelo y a las plantas no produjo resultados positivos (Hipótesis 3, Capítulo IV).

Adicionalmente se puede inferir, a partir de los resultados de esta Tesis, que el compostaje del alperujo con restos de poda de los olivares permite obtener abonos cuyo empleo puede contribuir a disminuir los volúmenes de residuos, atenuando el impacto ambiental de su acumulación, y a reducir costos de producción dado que su uso permite reemplazar parte de los fertilizantes inorgánicos. Por lo tanto, la utilización de ambos tipos de abonos constituye una alternativa promisorio para la producción de los olivares de Catamarca en un contexto de sistemas más sostenibles.

El empleo de abonos derivados de la industria olivarera puede contribuir a reducir costos de producción y, simultáneamente, a disminuir los volúmenes de residuos, atenuando el impacto ambiental de su acumulación.

- Los resultados de esta tesis demuestran que la utilización de ambos tipos de abonos constituye una alternativa promisorio para la producción de los olivares de Catamarca en un contexto de sistemas más sostenibles.

V.3. INVESTIGACIONES FUTURAS

A partir de esta tesis queda en evidencia la escasa información disponible sobre el impacto del empleo de ambos abonos, ya sea utilizados de forma individual o combinados, sobre diferentes aspectos productivos.

Los resultados positivos del uso combinado de abono sólido más líquido tornan indispensable el desarrollo de nuevas investigaciones que incluyan diferentes combinaciones.

Teniendo en cuenta que el té de compost no tuvo efectos fitotóxicos y que su aplicación es muy sencilla a través del sistema de riego por goteo o mediante pulverización, es necesario ampliar las investigaciones sobre su uso no solo como fertilizante sino también como estimulante del crecimiento, inclusive de otras especies. También es necesario el desarrollo de investigaciones sobre el efecto sobre la sanidad de los cultivos y longevidad.

V.4. BIBLIOGRAFÍA

Allahyari, H.; Ahmad, A.G.; Ravizi, S.B.; Sattari, A. (2015). The process of production compost tea and its usage in agriculture: a review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 4(2):171-176.

Barbaro, L.; Imhoff, S.; Morisigue, D.E. (2014). Evaluación de sustratos formulados con corteza de pino, pinocha y turba subtropical. *Ciencia del Suelo* 32(2):149-158.

Beyá Marshall, V.; Fichet, T. (2017). Effect of crop load on the phenological, vegetative and reproductive behavior of the 'Frantoio' olive tree (*Olea europaea* L.). *Ciencia e Investigación Agraria* 44(1):43-53.

Cruz Hernández, J. (2009). Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia España. Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos, departamento de producción vegetal :238 p.

Doula, M. K.; Moreno Ortego, J.L.; Tinivella, F.; Inglezakis, V.J.; Sarris, A.; Komnitsas, K. (2017). Olive mill waste: recent advances for the sustainable development of olive oil industry. Galanakis, Ch (Ed). *Olive Mill Waste*, Academic Press. Recent Advances for Sustainable Management. 2:29-56.

Escobar Escobar, N; Mora Delgado, J. (2019). Actividad microbiana y calidad de abonos orgánicos de residuos agrícolas. En: *Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos* (Mora Delgado, J; Silva Parra, A; Escobar Escobar, N. 1º Edición Ibagué, Universidad del

Tolima. :83-99.

Fernández Hernández, A.; Roig, A.; Serramiá, N.; García Ortiz, C.; Sánchez Monedero, M. (2014). Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil olive fruit and olive oil quality. *Waste Management* 34:139-1147. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.027>

Ibacache, G.A.; Sierra, B.C.; Tapia, C.F. (2000). Fertilización del olivo en el Valle de Huasco. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi. Centro Experimental Huasco. *Boletín INIA* 45. :12p.

Ince, O.; Ozbayram, E.G.; Akyol, C.; Ince, O.; Ince, Y.B. (2016). Composting practice for sustainable waste management: a case study in Istanbul. *Desalination and water treatment*. 57(31):14473-14477.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2015.1067170>.

INTA. (2017). Reutilización de residuos sólidos y semisólidos del proceso de extracción de aceite de oliva como enmienda orgánica de suelos. Agroindustria/olivo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria San Juan. 17p. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_reutilizacion_de_ro_como_enmienda_organica_de_suelos.pdf.

Mazzarino, M.J.; Satti, P.; Roselli, L. (2012). Indicadores de calidad, madurez y calidad de compost. En: Mazzarino, M.J.; Satti, P. (ed.). *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. 1ed. Buenos Aires. :349 pp.

Monetta, P.; Ibáñez, A.; Fernández Gnecco, G.; Avila, A.D.V.; Medina, E.; Paroldi, E.; Toro, M.E.; Vazquez, F. (2014). Preliminary results of soil biological and chemical properties after land spreading alperujo in intensively-managed olive orchards in San Juan, Argentina. *Acta Horticulturae* 1057:693-700.

St. Martin, C.C.; Brathwaite, R. (2012). Compost and compost tea: Principles and prospects as substrates and soil-borne disease management strategies in soil-less vegetable production. *Biological Agriculture & Horticulture* 28:(1)1-33.

St. Martin, Ch.; Ramsubhag, A. (2015). Potential of Compost for Suppressing Plant Diseases. Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de las Indias Occidentales, San Agustín, República de Trinidad y Tobago. *CAB, Editores* 18:345-388. https://www.researchgate.net/publication/284159941_Potential_of_Compost_for_Suppressing_Plant_Diseases.