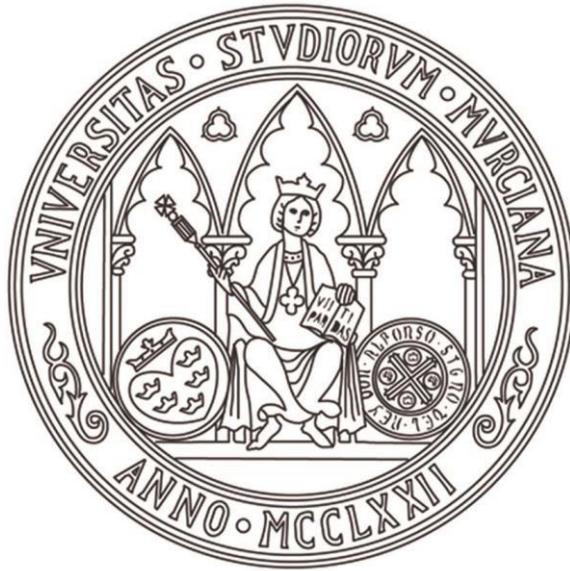




UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
TESIS DOCTORAL

Diagnóstico de desertificación en suelos de cultivo de cítricos en el
área mediterránea del sureste español.

D. Juan Francisco García Robles
2024



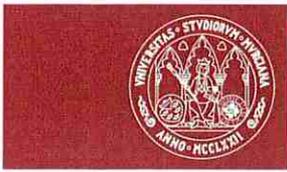
UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
TESIS DOCTORAL

Diagnóstico de desertificación en suelos de cultivo de cítricos en el
área mediterránea del sureste español.

Autor: D. Juan Francisco García Robles

Director/es: D.^a María José Martínez Sánchez

D.^a Carmen Pérez Sirvent



**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD
DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022

D./Dña. Juan Francisco Gracia Robles

doctorando del Programa de Doctorado en

Química Básica y Aplicada

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

DIAGNOSTICODE DESERTIFICACION EN SUELOS DE CULTIVO DE CITRICOS EN EL AREA MEDITERRANEA DEL SUERSTE ESPAÑOL

y dirigida por,

D./Dña. María José Martínez Sánchez

D./Dña. Carmen Pérez Sirvent

D./Dña.

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Si la tesis hubiera sido autorizada como tesis por compendio de publicaciones o incluyese 1 o 2 publicaciones (como prevé el artículo 29.8 del reglamento), declarar que cuenta con:

- La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 21 de marzo de 2024

Fdo.: Juan F. García Robles

Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados	
Responsable:	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación:	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad:	Gestionar su declaración de autoría y originalidad
Destinatarios:	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos:	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. Carmen Perez Sirvent, Catedrática de Universidad del Área de Cristalografía y Mineralogía en el Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "DIAGNOSTICO DE DESERTIFICACION EN SUELOS DE CULTIVO DE CITRICOS EN EL AREA MEDITERRANEA DEL SURESTE ESPAÑOL", realizada por D. JUAN FRANCISCO GARCIA ROBLES, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 11 de Marzo de 2024

CARMEN|
PEREZ|
SIRVENT|

Firmado
digitalmente por
CARMEN|PEREZ|
SIRVENT
Fecha: 2024.03.11
18:00:40 +01'00'

Mod:T-20



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. Maria Jose Martínez Sanchez, Catedrática de Universidad del Área de Edafología y Química Agrícola en el Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "DIAGNOSTICO DE DESERTIFICACION EN SUELOS DE CULTIVO DE CITRICOS EN EL AREA MEDITERRANEA DEL SURESTE ESPAÑOL", realizada por D. JUAN FRANCISCO GARCIA ROBLES, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 11 de Marzo de 2024

MARTINEZ
SANCHEZ
MARIA JOSE -
22423334J

Firmado digitalmente
por MARTINEZ
SANCHEZ MARIA JOSE -
22423334J
Fecha: 2024.03.12
18:36:37 +01'00'

Mod:T-20

Agradecimientos.

Deseo agradecer a mis directoras de Tesis Doctoral, Dra. María José Martínez Sánchez y la Dra. Carmen Pérez Sirvent, por su ayuda, confianza y horas de trabajo conjuntas, a Lucía Martínez por su gran ayuda y dedicación, al Grupo de Contaminación de Suelos y al Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología, por facilitarme la parte experimental.

Agradecer a mi mujer, Maribel, su dedicación, ánimo y la ayuda que me ha prestado durante este tiempo, y a mi hija Paula, por su ánimo.

También agradecer a mis padres la educación recibida, ya que sin ellos no podría haber llegado hasta aquí, en especial a mi madre, que lo estará viendo desde el cielo.

Agradecer a mis amigos el ánimo recibido de ellos, y sí, se acabó ya el estudiar que ya vamos teniendo una edad.

Índice

1.- INTRODUCCIÓN	14
1.3.1.- Degradación física	21
1.3.2.- Degradación química	24
1.3.3.- Degradación biológica.....	29
2.- Material y métodos.....	48
2.1 Diseño de la experiencia	48
2.2. Zona de estudio.....	49
2.3. Cultivo y programas de fertirrigación	65
2.4. Metodología de campo: Toma de muestras	76
2.5. Metodología de laboratorio.....	78
2.6. Metodología de diagnóstico y monitorización de la desertificación	81
3. Resultados	94
3.1. Resultados de características generales y mineralógicas de los suelos en la zona de estudio..	94
3.1.1. Tipos de Suelos.....	94
3.1.2. Características generales.....	95
3.1.3. Composición mineralógica de los suelos.....	97
3.1.4. Resultados de carbono en el suelo	99
3.2. Resultados Salinización	119
3.2.1. Salinización	119
3.2.2. Resultados	121
3.3. Fertilidad	124
3.3.1. Introducción	124
3.3.2. Nutrientes: macronutrientes y micronutrientes.....	127
3.4. Resultados	139
4. Discusión de resultados.....	153
4.1. Características generales.....	153
4.2. Relaciones Carbono orgánico del suelo (COS)- Tipo de suelo -Prácticas agrícolas- Situación topográfica	162
4.3. Diagnóstico del proceso de desertificación en función de indicadores.....	166
4.3.1. Diagnóstico de desertificación en función del indicador carbono orgánico del suelo	166
4.3.2. Impactos transformativos del carbono orgánico del suelo como sumidero de CO ₂ en el cambio climático	169
4.3.3. Diagnóstico del proceso de desertificación en función del indicador salinización	172

4.3.4. Diagnóstico del proceso de desertificación en función del indicador fertilidad.....	176
4.3.5. Estimación del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible y neutralidad de la degradación de la tierra a 2030 y 2050: Tendencias en los valores de monitorización.....	189
4.4. Planes de Acción.....	199
5. CONCLUSIONES	204
6. BIBLIOGRAFÍA	209
ANEXOS I, II y III	227
ANEXO I.	228
Fichas de suelos.....	228
ANEXO II	262
Líneas de tendencia.....	262
ANEXO III	287
Ecuaciones de tendencia de macronutrientes y micronutrientes para estimación de objetivos de ODS y LDN	287

RESUMEN

DIAGNOSTICO DE DESERTIFICACION EN SUELOS DE CULTIVO DE CITRICOS EN EL AREA MEDITERRANEA DEL SURESTE ESPAÑOL

El proceso de desertificación es uno de los mayores problemas con los que nos enfrentamos las zonas áridas y semiáridas en el horizonte de cambio climático. La Unión Europea está comprometida con su Agenda 2030 y con los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en concreto con el (15.3) de "luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo LDN (Land degradation Neutrality)". La UE está trabajando en desarrollo de metodología. En este sentido, los resultados de esta Tesis Doctoral aportarán experiencias que serán de ayuda en la consecución de esos objetivos. Se seleccionaron once fincas "living labs", con cultivo de limonero de regadío, 220 ha, en la Región de Murcia, una de las zonas de Europa más sensibles (crítica y muy crítica) a la desertificación, y se han monitorizado durante 8 años.

El objetivo principal es el diagnóstico de la desertificación de suelos de cultivo de *Citrus limon L.* del área mediterránea, como un ejemplo de aplicación del nuevo modelo conceptual de la neutralidad de la degradación de la tierra y los ODS 15.3. Los objetivos parciales son: 1) Realizar una prueba piloto de diagnóstico de la desertificación a nivel de cultivo de cítricos, en regadío, en áreas mediterráneas con clima árido o semiárido; 2) Establecer un

nuevo paradigma de diagnóstico de la desertificación /degradación aplicando nuevos indicadores con la filosofía de la LDN y ODS 15.3.1;3) Estimar la evolución de la desertificación de las zonas piloto en el horizonte 2030 y 2050,4). Propuesta de planes de acción aplicables in situ .

La metodología de diagnóstico ha sido la siguiente obtención de datos, línea base y de monitorización, determinación del valor de indicadores, cálculo los impactos trasformativos de cada indicador. Han sido (20 indicadores), carbono como indicador de mitigación (sumidero de carbono), indicadores de degradación química IADQS (salinización y fertilidad) y los propuestos por LDN: %carbono orgánico del suelo, % cubierta vegetal y producción.

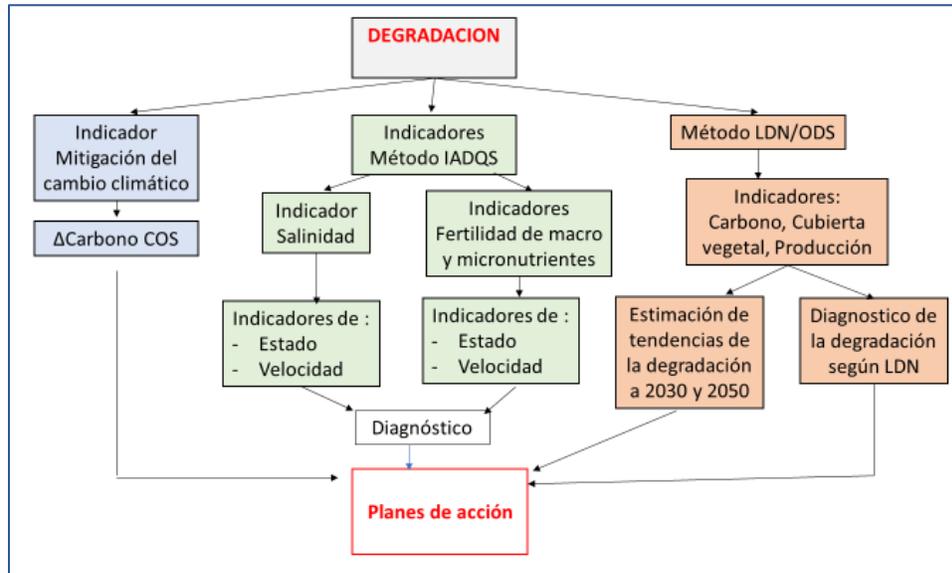
Los resultados obtenidos permiten obtener las siguientes conclusiones:

El diagnóstico del estado de desertificación ha permitido clasificar los “11 living labs” en 3 clases de degradación de la tierra, basado en evidencias.

La metodología desarrollada es adecuada para una planificación global, pero la aplicación debe ser local, es un sistema abierto, aplicable a suelos de secano o regadío, ampliando el número de indicadores IADQS, tanto de estado como de velocidad, y se pueden seguir aplicando los criterios de integración de LDN de “uno fuera, todos fuera”, con ello se detectaría no solo los puntos calientes, sino la causa o causas de la degradación.

La gestión de la materia orgánica, por adición de restos orgánicos e incorporación dentro del suelo por volteo superficial, ha resultado ser uno de los pilares fundamentales para la lucha contra la desertificación, la mitigación del cambio climático, la producción como factor socioeconómico y por tanto, para el desarrollo sostenible.

Se propone un nuevo paradigma de diagnóstico de la desertificación/ degradación de la tierra, lo que supone añadir a los objetivos de desertificación de LDN de “aumentar la productividad”, el objetivo de “mejorar la sostenibilidad” ya que de esa forma aumentarían los servicios ecosistémicos que presta el suelo., figura 1



Figura,1. Esquema propuesto para el diagnóstico de la desertificación/degradación de suelos cultivo de *Citrus limon L.* para los objetivos de LDN y ODS 15.3.1.

Los planes de acción deben crearse, probarse, adaptarse y mostrarse sobre el terreno mediante monitorizaciones. No hay soluciones únicas aplicables a la desertificación de los suelos.

ABSTRACT

ABSTRACT

DIAGNOSIS OF THE DESERTIFICATION OF THE SOILS USED FOR CITRUS CULTIVATION IN THE MEDITERRANEAN AREA OF SOUTH-EASTERN SPAIN.

Desertification is a major issue in arid and semi-arid regions due to climate change. The European Union is dedicated to achieving its 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals (SDGs), specifically goal 15.3, which aims to “combat desertification, restore degraded land and soil, including land affected by desertification, and work towards a world where land degradation neutrality (LDN) is achieved”. The European Union is currently developing methodologies. This Doctoral Thesis provides valuable experiences that can aid in achieving these objectives. The study monitored eleven “living labs” in the Region of Murcia, covering 220 hectares of irrigated lemon tree cultivation. This region is one of the most sensitive areas in Europe, classified as critical or very critical in terms of desertification, over a period of eight years.

The aim of this study is to diagnose soil desertification in the Mediterranean area resulting from the cultivation of *Citrus limon* L. This serves as an example of the application of the new conceptual model of land degradation neutrality and ODS 15.3.

The objectives of this study are:

1) To conduct a pilot test for diagnosing desertification in citrus cultivation areas with arid or semi-arid climates and under irrigation; 2) Establish a new diagnostic paradigm for desertification and degradation by applying new indicators based on the philosophy of LDN and ODS 15.3.1. 3) Estimate the evolution of desertification in the pilot areas at the 2030 and 2050 horizons.

The diagnostic methodology consisted of data collection, baseline and monitoring, determination of indicator values, and calculation of the transformative impacts of each indicator. The content of the improved text is as close as possible to the source text, and no new aspects have been added. The methodology employed 20 indicators, including carbon as a mitigation indicator (carbon sink), chemical degradation indicators IADQS (salinisation and fertility), and those proposed by LDN: % soil organic carbon, % vegetation cover, and production.

The following conclusions can be drawn from the obtained results:

The diagnosis of the state of desertification has enabled the classification of the 11 living labs into three categories of land degradation, based on evidence.

The developed methodology is appropriate for global planning, but its application must be local. It is an open system that can be applied to rainfed or irrigated soils. The number of IADQS indicators, both state and speed, can be extended, and the LDN integration criteria of “one out, all out” can be applied. This helps to identify not only the hot spots but also the cause or causes of degradation.

The management of organic matter, by adding organic waste and incorporating it into the soil by surface turning, has proved to be one of the fundamental pillars in the fight against desertification, the mitigation of climate change, production as a socio-economic factor and, therefore, for sustainable development.

A new diagnostic paradigm for desertification/land degradation is proposed. This paradigm suggests adding the objective of 'improving sustainability' to the LDN desertification objectives of 'increasing productivity'. This addition will increase the ecosystem services provided by the soil (see Figure 1).

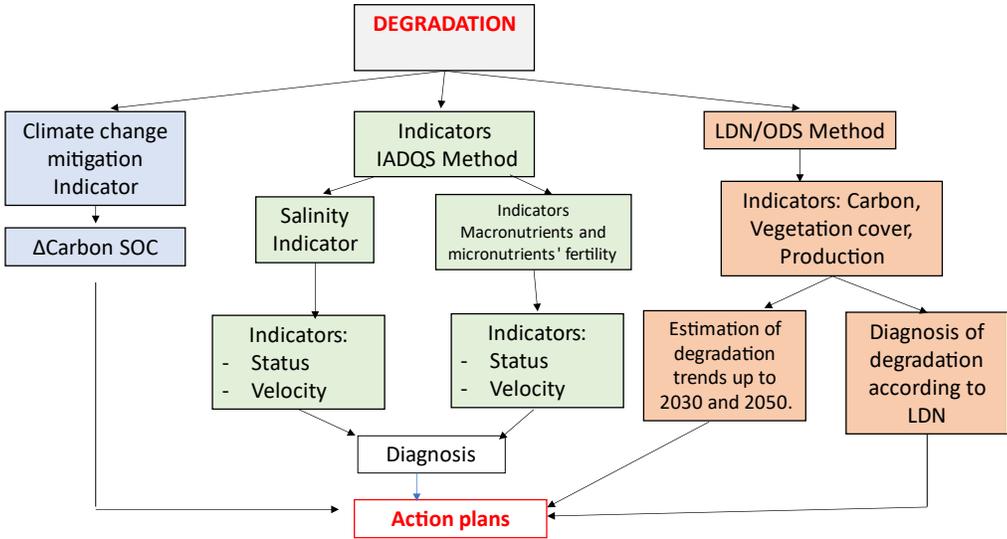


Figure 1. Proposed scheme for diagnosing desertification and soil degradation in *Citrus limon L.* crops for LDN targets and ODS 15.3.1.

Action plans should be created, tested, adapted, and demonstrated on the ground through monitoring. It is important to note that there are no one-size-fits-all solutions to soil desertification.



1. INTRODUCCIÓN

1.- INTRODUCCIÓN

1.1. El suelo/capital natural y sus servicios ecosistémicos.

La palabra suelo tiene varias definiciones, entre ellos se puede definir como “el medio natural para el crecimiento de las plantas”, que es el más ampliamente utilizado por la mayoría de las personas, o como lo define la FAO (<https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>) “el cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas”, o bien definirlo como Kubiena “el suelo es la capa viva de transformación de la corteza terrestre sólida, formada bajo el influjo de la vida y de las especiales condiciones ambientales de un hábitat biológico, sometida a un cambio estacional permanente y a un desarrollo característico”.

Según la legislación española en el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero de 2014, el suelo se define como “la capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso. No tendrán tal consideración aquellos permanentemente cubiertos por una lámina de agua superficial”

Lo que sí es común para todas las definiciones es que el suelo presenta unas funciones básicas para toda la población mundial, tales como ser productor de alimentos, con el 95% del total (Borrelli et al. 2020), suministrador de materias primas, generación de un entorno y hábitat para el hombre.

El suelo no es un sistema inerte, sino que está en continua evolución con el tiempo, formando en vertical el llamado perfil del suelo, que depende entre otros de las condiciones climáticas y material litológico, donde va ganando profundidad con el tiempo y se van diferenciando

capas o estratos horizontales en donde varía el color, textura, etc. y se denomina horizonte, y a los que se les designa por letras O, A, B, C, E o R.

Tras la actuación de las causas que forman el suelo, aparecen en él tres fases: sólida, líquida, y gaseosa:

1.- Sólida, compuesta por diferentes compuestos sólidos, orgánicos e inorgánicos mezclados entre sí, y con diferente tamaño entre ellos, lo que nos da una propiedad del suelo muy importante para la agricultura como es la textura del suelo, que nos indica la cantidad de arena, limo y arcilla que contiene, y que según la USDA tiene los siguientes límites, arena (2 – 0.05 mm), limo (0.05 – 0.002 mm) y arcilla (<0.02 mm), esta escala está en función del tamaño de partícula, y la materia orgánica está presente en una parte pequeña de la fase sólida, pero es una de las principales características del suelo, ya que es un parámetro de mejora de cultivos y propiedades del suelo.

2.- Líquida, está formada por el agua que rellena los poros del suelo, está retenida a ellos en función del tamaño de poro, también está compuesta por disoluciones de sales procedentes de la descomposición de los minerales del suelo.

3.- Gaseosa, representa los gases en la atmósfera del suelo, entre ellos se encuentra el oxígeno, que es vital para la respiración del sistema radicular de las plantas, este gas varía en función de la profundidad siendo mayor en los horizontes superficiales y tiende a disminuir con la profundidad y los microorganismos pasan de ser aerobios en los horizontes superficiales, y realizar funciones beneficiosas para las plantas, a crear gases reductores, que suelen ser perjudiciales para las plantas, y los microorganismos pasan a ser anaerobios.

El suelo, como capital natural, se forma en función de una serie de factores físicos y químicos, como resultado tiene un stock natural de constituyentes orgánicos e inorgánicos, que están expuestos a la acción de la intemperie, y sometidos a los agentes meteorizantes, tanto al agua, viento y temperatura. Sobre esos constituyentes se desarrollan procesos bioquímicos, procesos de meteorización física y química. Por todo ello, el suelo desarrolla unas funciones que le permiten prestar a la sociedad y al medio ambiente unos servicios denominados servicios ecosistémicos, figura 1.1.1, el stock de constituyentes emite un flujo a los servicios

que se prestan, siendo un proceso dinámico que está gobernado por la gestión que se realice en el suelo y las fuerzas motrices humanas que puedan actuar sobre el suelo

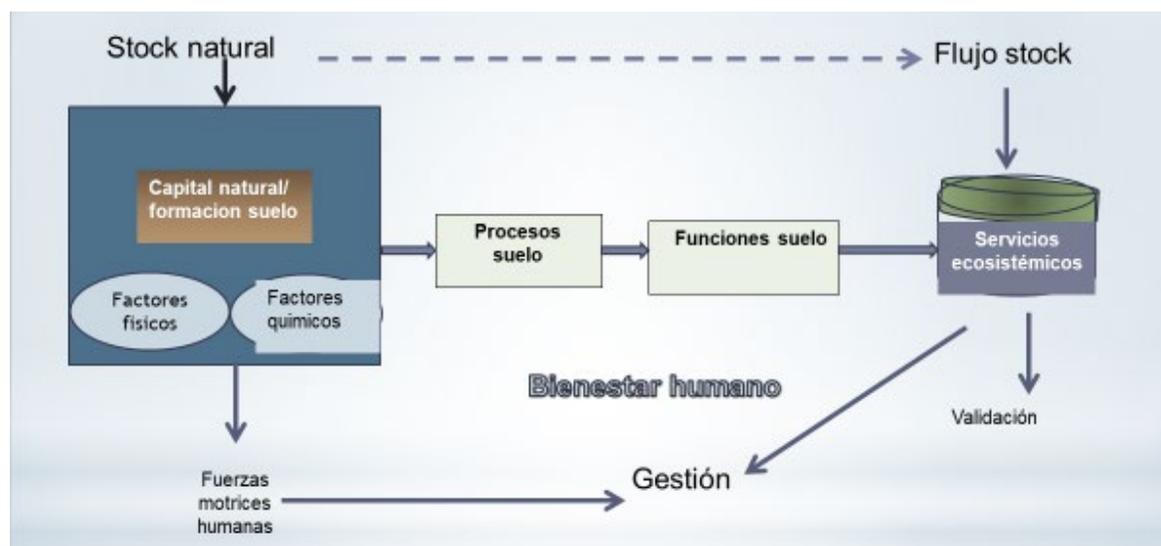


Figura 1.1.1 Capital natural/ suelo y servicios ecosistémicos

Se entiende por «servicios ecosistémicos»: “las contribuciones indirectas de los ecosistemas a los beneficios económicos, sociales, culturales y de otro tipo que las personas obtienen de dichos ecosistemas” (COM 2023. 416 final).

En la figura 1.1.2, se pueden observar los diferentes servicios ecosistémicos que presta el suelo, en función de las propiedades y funciones que presta el suelo.

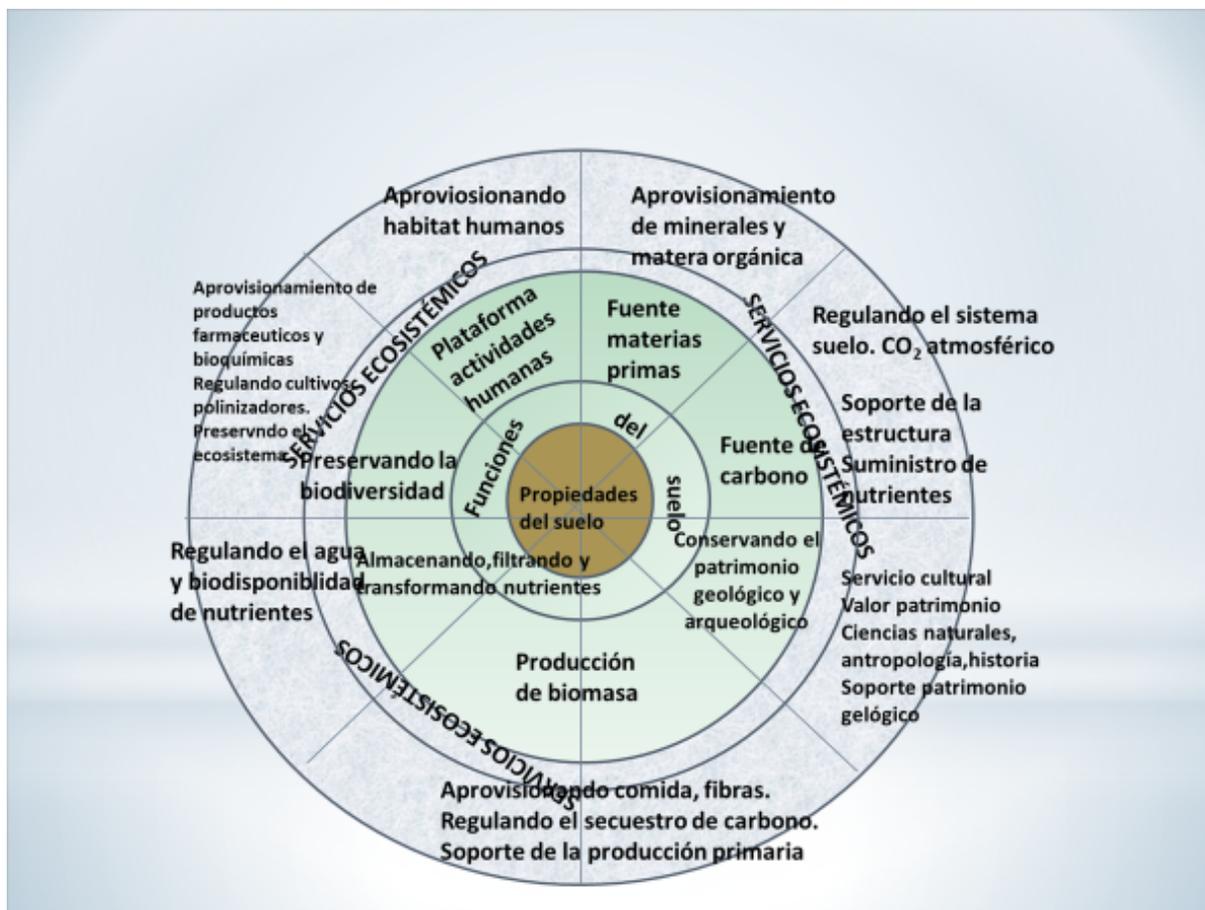


Figura 1.1.2. Servicios ecosistémicos que presta el suelo

En la figura 1.1.3 se esquematiza los factores externos/presiones que pueden actuar sobre el suelo, en función de los procesos de degradación que se desarrollan, y que repercuten en los servicios ecosistémicos del suelo

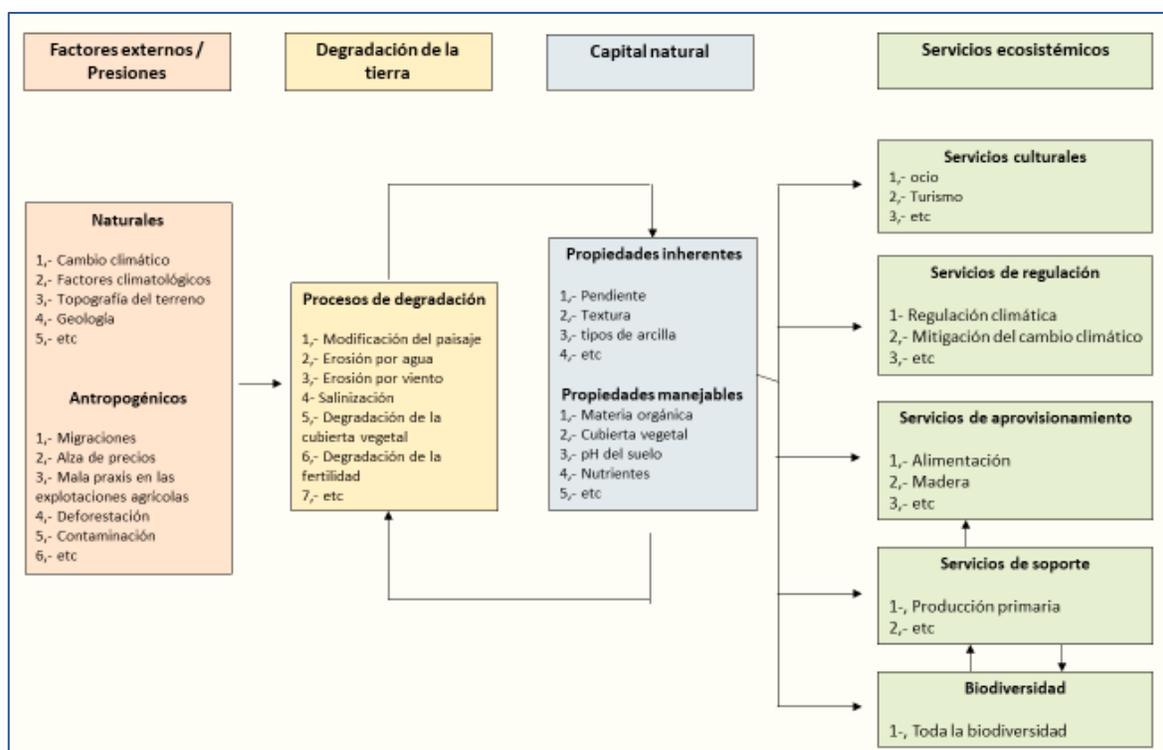


Figura 1.1.3. Nexus Factores-degradación-capital natural-servicios ecosistémicos.

Adaptada de Chasek, et al 2018

1.2.- Nexus degradación de suelos-desertificación-sequia-cambio climático.

El suelo está sometido a unas tensiones que son cada vez más importantes, debido sobre todo a factores humanos, y a los continuos cambios del uso del suelo, como por ejemplo el paso de cultivos o bosques a suelos urbanizados, el suelo debe presentar un buen estado para que pueda ejercer sus funciones, de lo contrario se degrada o se desertifica.

La definición de desertificación y la evolución de este concepto ha sido revisado por muchos autores (Bai et al., 2013). A mediados del siglo XX, (Aubreville., 1949) utiliza el término desertificación para definir la formación de condiciones desérticas en el este del continente africano. La Convención de la Naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación (UNCCD, 1994) define la desertificación como "la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultantes de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas"

Se definen "Zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas: zonas, distintas de las regiones polares y subpolares, en las que la relación entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial está comprendida entre 0,05 y 0,65" (UNCCD, 1994).

Según la UNCCD por "degradación de las tierras" de la CLD se entiende: "la reducción o pérdida, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, de la productividad biológica o económica de las tierras de cultivo de secano, las tierras de cultivo de regadío, o los pastizales, los bosques y las tierras forestales, como resultado de los usos de la tierra o de un proceso o combinación de procesos, incluidos los procesos derivados de las actividades humanas y las pautas de habitación" (Lal, 2012). La degradación del suelo se define como "la pérdida de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, ya sea por procesos naturales o humanos, que resultan en la disminución o eliminación de importantes funciones del mismo" (Carvalho Nunes et al 2020). Si la degradación de suelos se da en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas se denomina desertificación.

En la 3ª edición de the World Atlas of Desertification (WAD3) se pone de manifiesto el debate sobre la dificultad de definir el término "desertificación" para referirse a la degradación de las tierras áridas y semiáridas. Esto se debe a las muchas imprecisiones que existen debido a que la degradación es un fenómeno global, y es un proceso que ocurre a múltiples escalas. Por ello, hay desacuerdos sobre sus causas y consecuencias, sobre si es reversible o no, sobre los métodos de medida, así como sobre las acciones que ejerce el clima frente a las actividades humanas. El paradigma moderno de la "desertificación" y la degradación del suelo se basa en evidencias de las interacciones y retroalimentaciones entre los sistemas sociales y ecológicos. La degradación de la tierra nos lleva a una disminución de la oferta y demanda de bienes y de servicios de los ecosistemas (Cherlet et al., 2018).

La degradación del suelo afecta globalmente, tiene lugar de forma local, pero las causas, los impactos, los riesgos para el medio ambiente, la economía y la sociedad, trascienden las fronteras nacionales y reducen la prestación de servicios ecosistémicos en diversos países. Por ello es preciso valorarla.

Existen estimaciones que indican que a nivel global entorno al 25% del suelo del planeta está degradado, (Endale et al., 2023) con una velocidad de hasta 10 Mha de suelo degradado al año (Perovic et al., 2023)

A nivel mundial, la desertificación ocupa más del 25% de tierras degradadas y muy degradadas, el 36% están moderada o ligeramente degradadas, pero en condiciones estables, y van mejorando el 10% (FAO, 2011). Es uno de los mayores problemas humanitarios afectando al 70% de las tierras secas y al 25% de la superficie terrestre total del mundo, además anualmente se pierden más de 200.000 km² de tierra productiva por el avance de la desertificación (Christian et al, 2018)

A nivel global el proceso de degradación/desertificación del suelo afecta a 1.000 millones de personas en el mundo (Hu et al., 2020), lo que pone de relieve que es una grave amenaza para el hombre a nivel político, económico y social.

1.3.- Causas y tipos de degradación

El suelo es degradado por tres causas fundamentales, físicamente (erosión, compactación, etc), químicamente (salinización, fertirrigación, etc) y, biológicamente (pérdida de materia orgánica, biota del suelo) (Figura 1.3.1.).



Figura 1.3.1. Tipos de degradación del suelo

1.3.1.- Degradación física

La degradación física del suelo se puede dar por múltiples factores, entre los más importantes encontramos la climatología y el cambio climático, erosión natural y antrópica, compactación del terreno y contaminación.

1.3.1.1.- Degradación climatológica.

Este tipo de degradación está causada principalmente por factores como la aridez y la sequía. Aunque pueden parecer similares la aridez la podemos definir como un fenómeno climático causado por la escasez de agua, y la sequía se define como la ausencia de agua en un periodo largo de tiempo, existen tres tipos definidos de sequías (Li et al., 2021):

1. Meteorológica (ausencia de precipitaciones)
2. Hidrológica (deficiencias de caudal y almacenamiento de agua)
3. Agrícola (reducción de la humedad del suelo)

Si la sequía es muy dilatada en el tiempo da como resultado la desertificación del suelo y su abandono por parte de los habitantes de la zona, tal y como pasa con la fuerte sequía que azota el este de África, dando como consecuencias la fuerte hambruna y el desplazamiento de personas hacia otras regiones (UN, 2022)

1.3.1.2.- Erosión

La erosión natural la podemos definir como “la pérdida de la cubierta vegetal que protege al suelo”. El 33% de los suelos del mundo están degradados y continúa aumentando, “la erosión del suelo es uno de los mayores peligros para la productividad de los cultivos a nivel mundial, el agotamiento de los nutrientes del suelo, combinado con la erosión por escorrentía, conlleva la baja productividad de los cultivos agrícolas” (Rugendo et al., 2023)

Uno de los principales tipos de erosión del suelo es la erosión hídrica (Ferreira, et al., 2015), este tipo de erosión se da con más frecuencia en zonas donde se acumulan grandes cantidades de agua en muy poco tiempo y, debido a la escorrentía, tanto los nutrientes del suelo como la contaminación del mismo, es trasladada a otro punto, y la cubierta vegetal del suelo queda muy dañada debido a las inundaciones, que dejan a la vegetación con hipoxia y a veces totalmente sumergida por el agua. Esto pone de manifiesto la fuerza que el agua ejerce sobre

el suelo, en la Región de Murcia, esta erosión oscila en torno a unos 17,6 Mg/ha año (Pardo et al., 2016)

La erosión eólica es también otra forma de erosión, que genera nubes de polvo de gran tamaño que se lleva los minerales de la capa superficial junto con los contaminantes a otro lugar (Prospero et al., 2003), dando como consecuencia la disminución de fertilidad en una parte del suelo, y contaminación de partes del suelo donde el viento deposite las partículas tóxicas, como pueden ser restos de plaguicidas o metales pesados entre otros.



Figura 1.3.2. Erosión eólica (izquierda), nube de polvo en la Región de Murcia, y erosión hídrica (derecha), cauces generalmente secos, ahora con agua tras unas fuertes lluvias, arrastrando sedimentos.

La superficie del planeta globalmente afectada por la erosión natural es de 1.094 Mha por la erosión hídrica, y 549 Mha por la erosión eólica. (Lal, 2003).

1.3.1.3.- Compactación del terreno.

La compactación se produce cuando el hombre utiliza maquinaria pesada para compactar el suelo, estos suelos presentan un deterioro en su estructura, una disminución en la porosidad del suelo, en el mundo se estima que 68 Mha de suelo cultivable está degradado debido a la compactación (Liu et al., 2021) lo que produce una limitación en el crecimiento de las plantas para la formación de raíces, toma de agua y aireación (Nosalewicz et al., 2014). La compactación también reduce la permeabilidad del suelo, impidiendo que el agua circule por horizontes inferiores. También modifica la actividad biológica del suelo (Suravi et al., 2021).



Figura 1.3.3. Compactación de suelo por maquinaria pesada

1.3.1.4.- Erosión artificial o antrópica. Sellado del suelo

Es un tipo de erosión del suelo provocado por el hombre, eliminando la cubierta vegetal del suelo, ya sea forestal o de uso agrario.

El sellado del suelo para construir industrias, edificios o carreteras. Según el documento de la Comisión Europea “Los costes ocultos del sellado del suelo”, (CE, 2013): “La destrucción de la capa superior del suelo durante las actividades de construcción hace que libere parte de su contenido en carbono orgánico en forma de gases de efecto invernadero a causa de la mineralización”.

El exceso de pastoreo o sobrepastoreo la encuadramos en este apartado, en donde se involucra la alimentación animal, debido a ello los animales consumen la capa vegetal del suelo, provocando una sobrecarga en la zona de pastoreo y a una disminución en la disponibilidad de los recursos y la pérdida de suelo para poder regenerar lo consumido por los animales.

La deforestación que la podemos definir como la eliminación de un suelo forestal de su vegetación, cuando lo hace el hombre lo denominamos tala.



Figura 1.3.4. Erosión artificial o antrópica, donde se observa la eliminación de la cubierta vegetal del suelo para la construcción de industrias, edificios o carreteras

1.3.2.- Degradación química

La degradación química de suelos la podemos tener de varias formas, las más habituales son la salinización y la contaminación de suelos.

1.3.2.1.- Salinización del suelo.

La salinización de suelos es una de las más devastadoras amenazas en climas áridos y semiáridos, que si no se corrige a tiempo puede llegar a dar lugar a la desertificación del suelo. La salinización se define “como la acumulación de sales más solubles que el yeso, suficiente para interferir en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas”. Este problema es conocido desde el siglo XIX por Hilgard, y en el año 1954 el U.S. Salinity Laboratory ubicado en Riverside, y dependiente de la USDA, escribieron las bases teóricas y prácticas para el asesoramiento de este tipo de suelos, los cuales limitan el crecimiento de cultivos y la producción de cosechas se ven mermadas. Este laboratorio publicó una escala de conductividades eléctricas para evaluar la salinidad de los suelos:

Tabla 1.3.1. *Escala de conductividades eléctricas para evaluar la salinidad de los suelos.*

CE (dS/m)	Salinidad
0-2	No salino
2-4	Algunas especies muy sensibles pueden tener problemas
4-8	Muchos cultivos comienzan a tener limitaciones
8-16	Especies tolerantes crecen adecuadamente
+16	Solo se dan especies tolerantes

Esta escala se mantiene aún en día vigente para medir la salinidad del suelo.

Existen tres clases de suelos salinos que son, suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino sódicos, a continuación, definiremos cada tipo de suelo:

i) Los suelos salinos, tienen un alto contenido de sales solubles, poseen una $CE > 4$ $dS\ m^{-1}$. Este tipo de suelos presenta costras blancas de sal sobre la superficie del mismo.

ii) Los suelos sódicos, son los que poseen un alto contenido de sodio intercambiable. Estos suelos se caracterizan por tener una baja salinidad, una $CE < 4$ $dS\ m^{-1}$ y un pH superior a 8.5, estos suelos afectan a la producción de cultivos y a las propiedades del suelo, ya que el sodio dispersa los minerales de la arcilla produciendo una degradación en su estructura.

iii) Los suelos salino sódicos tienen una salinidad alta, una $CE > 4$ $dS\ m^{-1}$, y un pH inferior a 8.5. Estos suelos tienen mejores condiciones físicas que los suelos sódicos, porque su alto contenido de sales solubles mantiene floclados a los minerales de la arcilla, es decir sin dispersión, y establece la estructura del suelo.

Existen dos formas de salinización, primaria o natural y secundaria o antrópica.

1.- Salinización natural o primaria, se da por ascensión de sales de horizontes inferiores a los superiores por capilaridad que, debido de escasez de precipitaciones, altas temperaturas y elevada evapotranspiración, se dan generalmente en las zonas áridas y semiáridas, dando como resultado la formación de sales en la superficie del suelo y un aumento en la

conductividad eléctrica, en el planeta cerca de 1.000 Mha están salinizadas por este tipo de salinización (Cherlet et al., 2018)



Figura 1.3.5. Suelo con sales en superficie por ascensión capilar. Salinización natural

2.- Salinización antrópica o secundaria, se da por varias causas, entre ellas cabe destacar exceso de fertilizante y calidad del agua empleada.

i) Exceso de fertilización en los sistemas de regadío, un fertilizante lo que hace es reponer de forma artificial los nutrientes del suelo, permitiendo un equilibrio entre lo aportado por el hombre y lo consumido por las plantas, también son destinados al rápido crecimiento y engorde tanto de plantas como de frutos, esto lo hace muy efectivo para poder hacer frente al incremento constante de la población mundial que, según las Naciones Unidas, la población en el año 2019 era de aproximadamente 7.700 millones de personas, y se espera que la población mundial alcance los 8.500 millones en 2030 (United Nations, 2019), pero el abuso de fertilizantes conlleva un aumento en la conductividad eléctrica del suelo lo que se traduce en una salinización del mismo, actualmente alrededor del 80% de la tierra cultivada presentan un riesgo de erosión elevado (Han et al., 2020), un mal uso del agua de riego sobre todo en el riego localizado o de goteo, (Ramos et al 2023) debido a que hay

explotaciones agrícolas que adicionan fertilizantes a los tanques de riego cuando no hace falta y es superfluo.

ii) Calidad de agua empleada en el riego, si el agua es de mala calidad y contiene muchas sales, se formarán costras salinas, debido a la evaporación del agua y quedando las sales encima del sistema radicular de la planta, sobre el suelo. La salinización secundaria afecta a una superficie de 77 Mha a nivel mundial (Cherlet et al., 2018).



Figura 1.3.6. Suelo con sales en superficie debido al exceso de fertilizante. Salinización antrópica

A escala mundial los suelos salinos alcanzan el 20% de los suelos cultivados y un 33% del total de los suelos regados del planeta, (Mukhopadhyya et al., 2021). En Europa un 3% del suelo esta salinizado (Daliakopoulos et al., 2016). Según el Atlas Mundial de Desertificación (Cherlet et al., 2018), las principales zonas del planeta afectadas por la salinización son, India, Pakistán, China, Irán e Iraq y parte occidental de Estados Unidos y Canadá, y países de América del Sur, los que están en riesgo de aumentarla son la cuenca mediterránea, Australia,

Asia central y Medio Oriente, el problema afecta a prácticamente a todas las partes del planeta y a los cinco continentes.

La salinización afecta a los ciclos bioquímicos, sobre todo en los del nitrógeno y el carbono, afectando a los microorganismos que reducen su función debido a la salinidad del terreno (Setia et al., 2013).

1.3.2.2.- Contaminación del suelo.

El Real Decreto 9/2005 de 14 de enero define suelo contaminado como “todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios y estándares que se determinen por el gobierno”. Es una de las más importantes amenazas para el suelo (Ballabio et al., 2018; Orgiazzi et al, 2018). Existen dos formas de contaminación, La contaminación local, que aflora en los lugares que rodean al origen del contaminante, y la contaminación difusa, causada por el transporte de contaminantes a zonas alejadas del origen del foco de la contaminación.

Existen diversas formas y clases de contaminación del suelo, dependiendo de las diversas actividades llevadas a cabo por el hombre, como pueden ser las industrias, minería y agrícola. Todas estas actividades contienen sustancias extrañas que se depositan en el suelo, como metales pesados (cobre, cadmio, arsénico, mercurio, etc.) producidos por la industria y la minería, las fugas de hidrocarburos procedentes de las industrias relacionadas con el petróleo, y los plaguicidas con metales como el cobre, relacionadas con la agricultura, donde se dan altos niveles de este elemento en la zona mediterránea europea, debido a las aplicaciones fitosanitarias realizadas para el control de plagas (Ferreira et al., 2021), todo ello da como resultado la contaminación del suelo, que por medio de la erosión hídrica y eólica pueden ser transportados a otros lugares (Martínez-Sánchez et al., 2008). En suelos cultivados se produce una reducción de las cosechas y una peligrosidad para la salud humana debido a que

los contaminantes, pueden ser ingeridos por plantas o animales y pasar a la cadena alimentaria.

En la zona europea mediterránea la contaminación por metales pesados y los aceites derivados del petróleo son los más habituales, llegando a ser el 60% de la contaminación (Ferreira et al., 2021).

La Agencia Europea del Medio Ambiente, es la que desempeña una mejor función para evitar estos problemas, aportando iniciativas y elaborando políticas ambientales, su función es suministrar información para proporcionar una respuesta eficaz. La Agencia Europea del Medio Ambiente trabaja principalmente en:

- Recopilación de datos
- Suministro de información
- Evaluación a largo plazo
- Compartir la información

Con todo ello la mejor arma que tenemos para combatir la protección del suelo es usar unas buenas prácticas agrícolas.

1.3.3.- Degradación biológica

Los factores de degradación biológica como son la pérdida de organismos vivos, en los suelos existe una gran variedad de vida que va desde los hongos y bacterias hasta organismos más complejos (Geisen et al., 2019) aunque no parece importante debe ser tenida presente ya que son las bacterias las que controlan el paso de materia orgánica fresca a humus, con el consiguiente aporte de carbono al suelo, también son importantes en el ciclo del nitrógeno y del carbono, por ejemplo, ya que sin ellas no se podrían dar muchas de las rutas metabólicas. También son importantes las lombrices del suelo como medio de aireación del mismo.

Para describir la degradación del suelo, es necesario establecer descriptores del suelo que se puedan medir o calcular. Aunque exista una variabilidad importante entre los tipos de suelo, las condiciones climáticas y los usos de la tierra, los conocimientos científicos actuales

permiten establecer criterios a escala de la Unión para algunos de estos descriptores del suelo (COM 2023. 416 final).

1.4.- Nexus cambio climático, degradación, desertificación, sequía-agricultura.

El cambio climático lo podemos definir según las Naciones Unidas como “un cambio de clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos de tiempo comparables”. Debido al calentamiento global, el cambio climático es uno de los mayores peligros para el medio ambiente (Fu et al., 2021), se producen un aumento de los eventos climáticos extremos que se dan con más frecuencia, como el aumento de la temperatura (Wang et al., 2021) y la disminución de las precipitaciones, que dan como resultado una mayor sequedad del suelo y el desabastecimiento de agua, lo que lleva consigo un abandono de suelos cultivados y migraciones desde esas tierras a otras donde las precipitaciones y el abastecimiento de agua sea el adecuado, y da como resultado el posterior abandono de suelos y la desertificación del mismo, y prácticamente la recuperación de esos suelos se hace extremadamente difícil y costosa. Se estima que el aumento de 2°C reducirá el rendimiento de cultivos básicos mundiales entre un 5 y un 20% (Simpson et al., 2021). El cambio climático, se da por múltiples causas, debido a la respiración tanto humana, animal y vegetal, debido al incesante incremento de vida que existe en el planeta y, la más importante, por combustión de energías fósiles, como las industrias y los medios de transporte, que han aumentado las emisiones de gases de efecto invernadero que causan un calentamiento del planeta (Adedoyin et al., 2020; Palenzuela Cruz et al, 2021), esto se debe a la emisión de dióxido de carbono, entre otros gases, a la atmósfera, cuya concentración ha aumentado en los últimos años, marcando un valor de 419 ppm en la primavera del año 2021 (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021), las industrias modernas se van adaptando para ser respetuosas con el medio ambiente, colocando en sus factorías fuentes de energía alternativas, libres de carbono, como por ejemplo la solar en las industrias y medios de transporte eléctricos, tal y como los países miembros de la Unión Europea han adoptado para el año 2050. “El dióxido de carbono es uno de los principales gases de efecto invernadero, es el más abundante de todos pero no

el único, también están entre otros, los óxidos de nitrógeno, el metano y el vapor de agua, el efecto invernadero es un proceso natural en el que la energía térmica emitida por la Tierra es absorbida por los gases de efecto invernadero atmosféricos y es irradiada en todas las direcciones, parte de esta energía es devuelta hacia la superficie terrestre, con el resultado de un aumento en la temperatura media del planeta, lo que conlleva que entra más calor del que se disipa, se estima que alrededor del 50% de las emisiones de carbono son absorbidas de forma natural por la litosfera e hidrosfera” (Nath et al, 2017).

El cambio climático y en concreto el aumento de la temperatura, es un problema que afecta a todo el planeta, está relacionado con la emisión de gases de efecto invernadero, que han aumentado la temperatura media de la Tierra, en 0,85 °C durante el periodo 1880 a 2012, (Gu et al., 2020). Este aumento de temperatura planetaria está vinculado con nuestro modo de vida actual, muy dependiente de energías fósiles, y al cambio y uso del suelo, disminuyendo las zonas de vegetación, pasando de zonas forestales o de cultivos a zonas urbanizadas, talas de zonas forestales, incendios, salinización y posterior desertización y abandono del suelo (Bell et al., 2020; Nadal-Romero et al, 2021), todos estos factores dan como resultado que la emisión de gases de efecto invernadero aumenten, ya que aumentan las fuentes pero no los sumideros. Estos gases de efecto invernadero son, entre otros, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y monóxido de dinitrógeno (N₂O). El gas de efecto invernadero más abundante por volumen el dióxido de carbono, pero no el más perjudicial ya que posee un potencial de calentamiento global (PCG) de 1, el metano, con un PCG de 28, es más potente que el dióxido de carbono y el N₂O tiene un PCG de 265, bastante mayor que el dióxido de carbono (IPCC 2014; FAO, 2017).

Uno de los mayores responsables del efecto invernadero es el dióxido de carbono, que está aumentando su concentración, desde 1984 donde su valor era de 345 ppm, hasta el mes de mayo de 2021, donde se alcanzó un nuevo máximo en España con 419,7 ppm (AEMET 2021), la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera en España han ido disminuyendo en los últimos años, desde 2008 con una emisión de 409.123 kt CO₂ eq, al 2021 con un total de 288.860 kt CO₂ eq, (MITECO 2023)

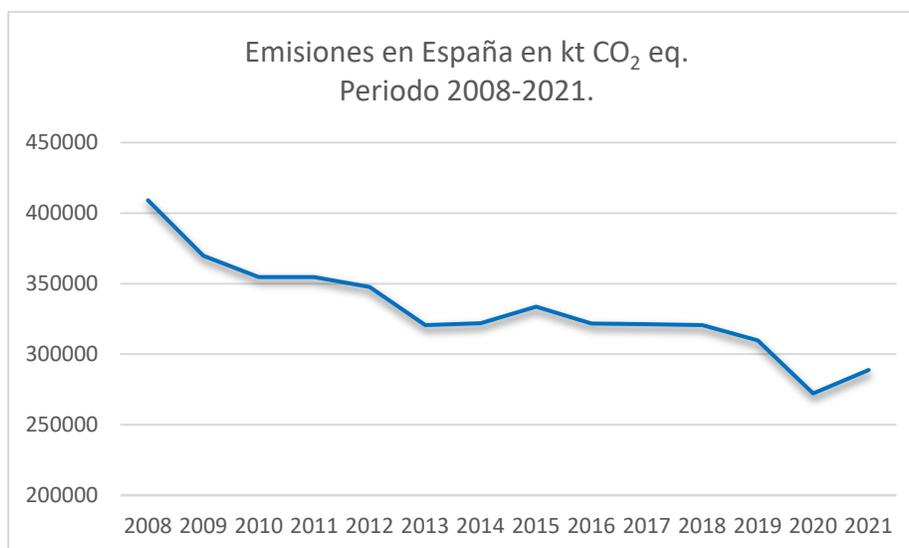


Figura 1.4.1. Emisiones en España, periodo 2008-2021. El repunte del año 2021 fue debido a la postpandemia de COVID 19 del año 2020. Fuente: MITECO 2023

Las zonas áridas y semiáridas son los ecosistemas más vulnerables al proceso de desertificación, debido a la degradación física, química y biológica, las cuales dan como resultado una disminución en la producción del suelo, las regiones áridas y semiáridas cubren cerca del 41% de la zona terrestre mundial. La producción de cultivos en estas regiones se ve amenazada por la escasa disponibilidad de agua (Vesh et al., 2023) y la desertificación, por lo que la lucha contra ésta, es uno de los objetivos para que estos suelos puedan recuperar su producción.

Según los escenarios de cambio climático que se han estudiado (Tribunal de Cuentas Europeo, 2018) el riesgo de desertificación es especialmente grave en la parte sur de Europa, como son: el sur de Portugal, partes de España y el sur de Italia, el sureste de Grecia, Malta, Chipre y las zonas ribereñas del mar Negro en Bulgaria y Rumanía.

“La agricultura forma parte del ser humano al ser el servicio de alimentación, la superficie de la tierra cubierta por la agricultura es del 38% (Borrelli et al., 2020), además depende del clima y del tipo de suelo”. La agricultura surgió cuando la población pasó de ser nómada a sedentaria, con la domesticación de las semillas, que se plantaban para la producción de cosechas para poder alimentar a la población, fue pasando por diversos estados y

descubriendo nuevos métodos como el arado, el caballo de tiro, entre otros, hasta llegar a nuestros días con maquinaria moderna como los tractores y las modernas técnicas de regadío, aplicación de fertilizantes y plaguicidas.

La agricultura es de secano o regadío dependiendo de la cantidad de agua, y es intensiva o extensiva, dependiendo de la producción. Las explotaciones agrícolas han cambiado en los últimos años pasando de ser extensivas a ser intensivas, según la AEMA (EEA, 2019), “más del 40% de la superficie del continente europeo se dedica a actividades agrarias, en el año 2016 existían más de diez millones de explotaciones en la Unión Europea, y de ellas el 3% ocupaban más de la mitad del terreno”. El paso de una agricultura de pequeños agricultores a cultivos intensivos y de grandes superficies, han llevado a la especialización del cultivo, llevado por profesionales que aplican en cada momento y en su justa medida tanto los fertilizantes como el riego y las aplicaciones fitosanitarias, dando como resultado el aumento de la producción de las cosechas. En la figura 1.3.2 se aprecia una fotografía de una moderna explotación agrícola.



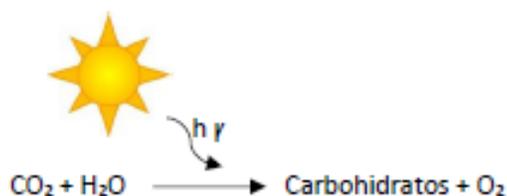
Figura 1.4.2. Moderna explotación agrícola donde se aprecian los embalses para el agua.

En España, el sector primario aportó el 2,7% del Producto Interior Bruto de 2017 de forma directa. Si añadimos la industria agroalimentaria y las actividades indirectas como el

transporte y la distribución, el sistema agroalimentario y pesquero aporta más del 10% del PIB. (Gobierno de España. Presidencia del Gobierno 2019)

La agricultura actúa como fuente de carbono, debido a que la respiración vegetal emite dióxido de carbono a la atmósfera, que entra a formar parte del ciclo del carbono, también emiten óxidos de nitrógeno, debido a los fertilizantes sintéticos nitrogenados adicionados al suelo para el crecimiento de las plantas y árboles, y a su posterior descomposición, que son incorporados más tarde al ciclo del nitrógeno, siendo responsable del 12% de la emisión de gases de efecto invernadero (Albiac et al., 2017) que, si la comparamos con las zonas urbanas de nuestro planeta que ocupan el 2% de la superficie y emiten un 70% de gases de efecto invernadero, seis veces más que la agricultura. (Park et al., 2018).

La agricultura también se comporta como sumidero de carbono, debido a que las plantas realizan la fotosíntesis cuya reacción es dióxido de carbono y agua para dar como productos, carbohidratos y oxígeno, reacción química catalizada por la luz solar,



estos carbohidratos son fuente de carbono que se acumulan en las plantas y mediante caída de hojas, ramas y frutos se incorpora al suelo en forma de materia orgánica fresca, que más tarde pasan, por la actividad de los microorganismos del suelo, y tras su descomposición, una parte de esta pasa a formar parte del ciclo del carbono, y otra queda como carbono orgánico en el suelo. En suelos agrícolas, el carbono orgánico almacenado está alrededor del 10% (Liu et al., 2023)

1.5.- Evolución de la protección de suelo- capital natural-degradación/ desertificación

La protección de los suelos es necesaria para todos los países del mundo, debido a que sobre ellos recae el compromiso económico, político y social de la subsistencia de ese país.

Dado que la protección de los suelos ha quedado patente en las diferentes Cumbres de la Tierra celebradas a lo largo del siglo XX y XXI, comenzando por la Cumbre de la Tierra

de Estocolmo (Suecia) en el año 1972, cumbre que fue la primera conferencia sobre cuestiones ambientales, y marcó un antes y un después en las políticas internacionales sobre el medio ambiente, más tarde en el año 1992 se celebró la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (Brasil). Los convenios más importantes fueron el Convenio de la Diversidad Biológica y el Convenio sobre el Cambio Climático. Los documentos de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro fueron entre otros:

- Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, donde se promueve el desarrollo sostenible
- Proyecto 21, donde en su sección II habla de la conservación y gestión de recursos para el desarrollo, como son la protección atmosférica, lucha contra la deforestación, la desertificación y sequía, y el fomento de la agricultura y desarrollo sostenible.

A partir de esta Cumbre de la Tierra, en el año 1994 la Convención de la Naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación, relacionó desertificación con pobreza, y en el año 2002 la Comisión Europea abordó el tema de la protección del suelo, según la Agencia Europea del Medio Ambiente “el suelo sustenta el 90% de alimentos, piensos, fibras textiles y combustibles, y proporciona materias primas para la actividad de los sectores hortícolas y de la construcción “, esta definición nos muestra que las presiones que se ejercen sobre el suelo son cada vez mayores, y la degradación y erosión del suelo se ve afectada, muy seriamente.

En la conferencia de Río de Janeiro del año 2012 (CNUDS (+20)) se fijaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), donde en su punto 15.3 se habla de la Degradación Neutra de la Tierra, más conocida por sus siglas en inglés LDN, que se define como “un estado en el que la cantidad y calidad de los recursos terrestres necesarios para sustentar las funciones y servicios de los ecosistemas y mejorar la seguridad alimentaria permanecen estables o aumentan dentro del ecosistema y escalas temporales y espaciales específicos” (Chasek et al., 2018). En definitiva, lo que se pretende es que los suelos estén en buen estado y se evite la degradación manteniendo su productividad.

A este objetivo se adhirieron voluntariamente la gran mayoría de países del mundo para hacer frente y prevenir el deterioro del suelo.

La Unión Europea está comprometida, en 2015, con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 (ODS 15) "Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de biodiversidad" incluye la meta rápida (15.3) de "luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo", además de sus vínculos obvios con la Convención de Lucha contra la Desertificación, también ayudará a mantener la biodiversidad y a reducir la tasa de cambio climático mediante el secuestro de carbono. No se ha realizado aún una evaluación completa de la degradación del suelo en la UE, se está estudiando el desarrollo de una metodología ad hoc (COM/2023/416 final).

Por otra parte, el Pacto Verde Europeo establece una hoja de ruta para "transformar la UE en una sociedad equitativa y próspera, eficiente en el uso de los recursos y competitiva, y proteger, mantener y mejorar el capital natural de la UE". En el marco del Pacto Verde Europeo, la Comisión adoptó la Estrategia de la UE sobre la biodiversidad de aquí a 2030, la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la UE y se ha añadido la Estrategia de la UE para la Protección del Suelo para 2030. (COM/2021/699final)

A pesar del serio reconocimiento de la degradación de las tierras, en aquellas tierras de cultivo que se utilizan para explotar su productividad, no se puede detener por completo la degradación y, por tanto, la cantidad de tierra ya degradada es significativa y aumenta continuamente. En estos casos es en los que se debe actuar y realizar una restauración.

1.6- Monitorización de la degradación/desertificación de los suelos

Para describir la degradación/desertificación del suelo, es necesario establecer descriptores del suelo que se puedan medir o calcular. Aunque exista una variabilidad importante entre los tipos de suelo, las condiciones climáticas y los usos de la tierra, los conocimientos

científicos actuales permiten establecer criterios a escala de la Unión para algunos de estos descriptores del suelo (COM, 2023)

En la actualidad no se dispone de datos completos y armonizados sobre la salud del suelo procedentes de la vigilancia del estado del suelo. Algunos Estados miembros cuentan con sistemas de vigilancia del estado del suelo, pero estos están fragmentados, no son representativos y no están armonizados. Estos datos se basarán en una definición común de lo que constituye un suelo sano y respaldarán la gestión sostenible de los suelos, para mantener o mejorar la salud de los suelos y conseguir de este modo suelos sanos y resilientes en todos los rincones de la UE para 2050.

La salud del suelo es pieza fundamental del Pacto Verde Europeo y un instrumento para conseguir los objetivos estratégicos de la UE.

Para poder observar las variaciones de degradación/desertificación de suelos es conveniente partir de la denominada línea base, que vale para establecer el nivel de estado que tiene ese suelo en un instante determinado y poder compararlo a lo largo del tiempo al final del proceso. La línea base es también precursora de los indicadores de degradación, que nos dan la variación en función de la degradación (Martínez Sánchez. et al., 2011; Gilbey et al., 2019)

Los indicadores de degradación de la tierra son valores fácilmente medibles, que sean mundialmente aceptados y que sean fáciles de interpretar. (Martínez Sánchez et al., 2011; Orr et al., 2017) Estos indicadores pueden ser físicos, químicos o biológicos:

- 1.- Indicadores de degradación física, erosión, compactación, etc
- 2- Indicadores de degradación químicos, como la salinidad, y contaminación del suelo, se pueden medir mediante la conductividad eléctrica y la determinación de un elemento contaminante de suelo, respectivamente.
- 3.- Indicadores de degradación biológica, como puede ser la pérdida de carbono orgánico del suelo, o la pérdida de fertilidad.

Los indicadores para cuantificar **la neutralidad de la degradación de la tierra, NDT** los seguiremos para evaluar la evolución del suelo y ver como se han comportado a lo largo del tiempo, siendo los **indicadores positivo, negativo o estable**. Para ello existen diferentes propuestas de indicadores, existen varios indicadores tales como son la **cubierta vegetal, la**

producción y el carbono orgánico del suelo, indicadores ODS 15.3.1 (Gilbey et al., 2019, Orr et al, 2017), ya que son fácilmente medibles, y debemos definir una línea base que sea cuantificable. La superficie de cubierta vegetal, que nos indica la erosión o degradación del terreno y es fácilmente medible por fotografía aérea o mediante satélites. La degradación neutra del suelo es un fenómeno circular, donde el suelo se autoabastece para compensar las pérdidas y las ganancias.

La materia orgánica del suelo, que se aporta al mismo en forma de ramas, hojas, restos de troncos y restos de frutos, con muy variados componentes químicos tales como hidratos de carbono, lípidos, compuestos con nitrógeno y lignina entre otros, forman la hojarasca que, mediante el proceso bioquímico denominado humificación da lugar al humus que es un conjunto de compuestos orgánicos de naturaleza coloidal y formadores de enlaces con los elementos minerales del suelo, que mejoran las propiedades del suelo, dando materia orgánica al suelo, que tras su descomposición aporta carbono que mejora la estructura y la retención de agua del suelo, además es uno de los mejores indicadores de fertilidad y calidad del suelo (Wen et al., 2019). Este parámetro se calcula a lo largo de un periodo de tiempo para evaluar su viabilidad.

Otro parámetro fácil de evaluar es la producción, en donde ve in situ la recuperación de suelos degradados, tal y como se puede observar en esta serie de figuras 1.5.1 y 1.5.2:

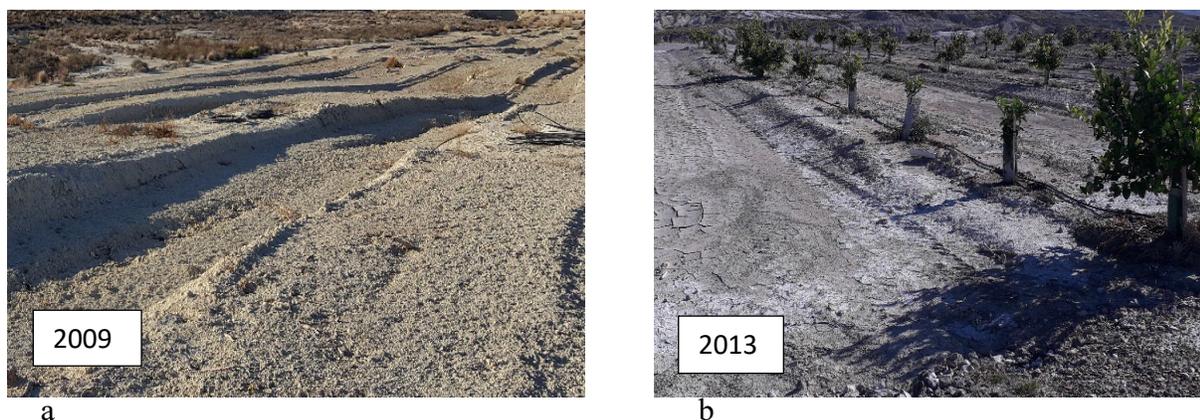


Figura 1.6.1. a) Suelo degradado en recuperación que está siendo acondicionado. Año 2009
b) Suelo en producción, se puede observar que ha habido árboles que han tenido que replantar de nuevo, debido a la mala calidad del suelo, donde se ven las sales en su superficie por salinización primaria. Año 2013



Figura 1.6.2. Actualmente cuenta con una plantación de árboles sobre un regosol muy salino. Se ve la adición de ramas, hojas y frutos al suelo para aportar carbono al mismo.
Año 2021

1.7.- Acciones propuestas: Hacia la degradación neutra de la tierra (LDN, Land Degradation Neutrality)

La relación entre desertificación, degradación de la tierra y sequía, reconocida United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), ha impulsado la necesidad urgente de revertir la degradación, y estableció la meta de neutralidad de la degradación de la tierra (LDN), la cual más tarde se convirtió en uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 15.3.1. La degradación de la tierra y del suelo están entrelazadas porque «tierra» se refiere a la superficie, mientras que «suelo» es el recurso natural que se encuentra debajo de ésta (Keesstra et al, 2018; Le Page et al, 2022).

Aunque la acción para lograr LDN debe llevarse a cabo a nivel local, su funcionamiento también requiere una acción a nivel internacional, y su aplicación aborda riesgos globales para la seguridad alimentaria, el sistema climático y la biodiversidad

El concepto de degradación neta de la tierra cero (ZNLN), o neutralidad degradación tierra LDN (Lal, 2015; Stavi et al, 2015), abarca dos mecanismos complementarios:

1) gestión adecuada de tierras actualmente no degradadas de manera que no causen degradación, deteniendo así más pérdidas y,

2) al mismo tiempo, restaurando tierras ya degradadas (Gnacadja et al., 2012b).

Se define la neutralidad de la degradación de la tierra (LDN) como “Estado en el que la cantidad y calidad de los recursos de la tierra necesarios para sustentar las funciones y servicios de los ecosistemas y mejorar la seguridad alimentaria permanecen estables o aumentan dentro de escalas temporales y espaciales y ecosistemas específicos” (Chasek et al., 2018)

Con los **objetivos de la neutralidad de la degradación de la tierra** (Orr, B.J. et al., 2017) se pretende conseguir:

- prestar servicios ecosistémicos
- mantener o mejorar la productividad, a fin de aumentar la seguridad alimentaria
- aumentar la resiliencia de la tierra y de las poblaciones que dependen de ella;
- buscar sinergias con otros objetivos sociales, económicos y medioambientales; y
- reforzar la gobernanza responsable e integradora de la tierra.

Figura 1.7.1. Esquema de objetivos

Estos objetivos propuestos por La Convención de las Naciones Unidas para combatir la desertificación (UNCCD) para 2030, aunque muy ambicioso, podría lograrse si las tierras degradadas se restauran en gran medida y, al mismo tiempo.

El objetivo de la degradación neutra del suelo es la recuperación de suelos degradados para hacerlos fértiles, sobre todo en climas áridos y semiáridos (Fatondji et al., 2006) de forma que el proceso de degradación se pueda compensar con la restauración de suelos, restaurando también su productividad (Safriel 2017).

Alcanzar el objetivo de la neutralidad de la degradación de la tierra disminuiría la huella ambiental de agricultura, al tiempo que apoya la seguridad alimentaria y mantiene el bienestar humano

Con el tiempo, las prácticas de manejo que degradan la tierra son reemplazadas por otras que conservan los suelos. Para permitir la implementación efectiva de estos pasos, es necesario formular un Protocolo LDN destinado a gestionar acciones de evaluación y mantenimiento de políticas y regulaciones de apoyo. Los proyectos de restauración podrían ser financiados a través de pagos para mejorar los servicios del ecosistema, así como otros mecanismos económicos.

“Las actuaciones a llevar a cabo para aplicar la LDN son las siguientes:

- 1^a.- **Evitar** una nueva degradación de la tierra, **mantener** las tierras sanas existentes
- 2^a.- **Reducir** la degradación existente adoptando prácticas sostenibles de gestión de la tierra que puedan frenar la degradación al tiempo que aumentan la biodiversidad, la salud del suelo y la producción de alimentos; y
- 3^a.- **Revertir** intensificar los esfuerzos para restaurar y devolver las tierras degradadas a un estado natural o más productivo.

El orden de prioridad de actuación, según el principio de precaución: “Prevenir es mejor que curar”, será **Evitar/mantener > Reducir > Revertir**

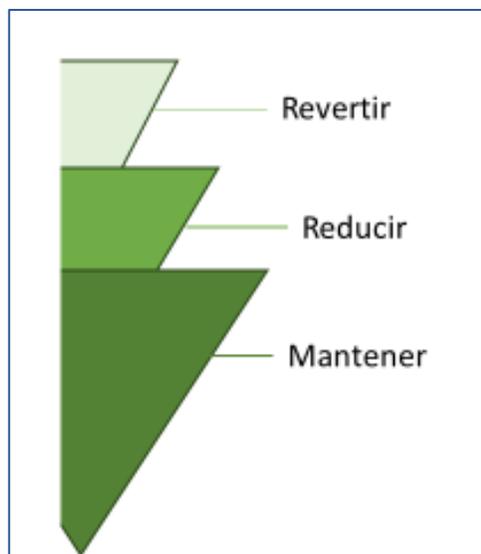


Figura 1.7.2. Intervención para alcanzar la Degradación Neutra de la Tierra (LDN), (Orr et al, 2017)

La LDN es una representación dinámica del equilibrio entre las superficies de tierra degradadas y restauradas, según la cual la tierra restaurada puede compensar la misma cantidad de tierra degradada en el mismo uso de la tierra. La degradación de la tierra inhibe la consecución de la restauración de la tierra tiene el efecto contrario (Fig.1.7.3). Además, existen puntos umbral para la degradación y la restauración de la tierra sostenible de la tierra, con buenas prácticas agronómicas, puede evitar la degradación antes de que se alcance el umbral de degradación (Sims et al, 2019; Feng et al., 2022)

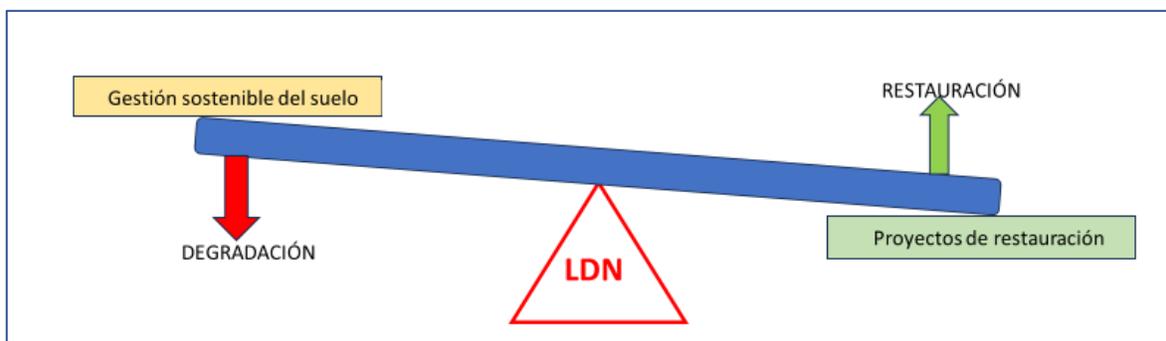


Figura 1.7.3. Representación dinámica del equilibrio entre las superficies de tierra degradadas y restauradas. (Modificada de Feng et al., 2022)

El seguimiento del estado de la LDN Implica cuantificar el equilibrio entre el área de ganancias (cambios positivos significativos en los indicadores de la NDT) y el área de pérdidas (cambios negativos significativos en los indicadores de la NDT), dentro de cada tipo de terreno en todo el paisaje. (Orr et al., 2017)

Los indicadores de la LDN (y las métricas asociadas) son la cubierta terrestre (clase física de cubierta terrestre), productividad de la tierra (productividad primaria neta, PPN) y reservas de carbono (reservas de carbono orgánico del suelo (COS)

El marco conceptual de la NDT se centra en los procesos de apoyo necesarios para lograr la NDT, incluidos los aspectos biofísicos y socioeconómicos y sus interacciones.

“La neutralidad implica que no se produzca una pérdida neta del capital natural basado en la tierra en relación con un estado de referencia”.

La planificación de la neutralidad “implica proyectar los probables impactos acumulativos de las decisiones sobre el uso y la gestión del suelo y, a continuación, contrarrestar las pérdidas previstas con medidas para lograr ganancias equivalentes. El contrapeso debe producirse únicamente dentro de los distintos tipos de tierras, diferenciados por su potencial, para garantizar intercambios "similares"”. (Chasek et al., 2017)

like for like “Se refiere al principio de compensar las pérdidas en un tipo de terreno con ganancias equivalentes (o mayores) en el mismo tipo de terreno en otro lugar para mantener (o superar) la LDN”.

one-out, all-out.” Enfoque conservador para combinar diferentes indicadores/ métricas para evaluar el estado, que sigue el principio de precaución El enfoque "uno fuera, todos fuera" se aplica a la LDN, de modo que, si alguno de los indicadores muestra un cambio negativo significativo, se considera una pérdida y, a la inversa, si al menos un indicador muestra una tendencia positiva y ninguno muestra una tendencia negativa, se considera una ganancia”.

La aplicación de la NDT se gestiona a nivel de paisaje mediante la planificación integrada del uso de la tierra, mientras que los logros se evalúan a nivel nacional.

Hay diferentes propuestas para revertir la degradación de la tierra (Orr, B.J. et al., 2017), que se esquematizan en la figura 1.6.3, y cuyas definiciones son las siguientes

- **Recuperación:** Acciones recuperación emprendidas con el objetivo de devolver a un estado útil las tierras degradadas. Aunque no todos los proyectos de recuperación mejoran el capital natural, los que tienen una base más ecológica pueden considerarse **rehabilitación o incluso restauración**.
- **Rehabilitación:** Acciones emprendidas con el objetivo de **restablecer la funcionalidad de los ecosistemas**, en las que la atención se centra en la provisión de bienes y servicios más que en la restauración véase la Figura 1.6.3.
- **Restauración** Proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado La restauración pretende restablecer la estructura y **función ecológicas preexistentes**, incluida la integridad biótica.

1.8. Objetivos

El Objetivo principal de esta tesis es el diagnóstico de la desertificación de suelos de cultivo de cítricos del área mediterránea, como un ejemplo de aplicación del nuevo modelo conceptual de la neutralidad de la degradación de la tierra y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 15.3.1, buscando la gestión sostenible de la tierra y resultados win-win.

Objetivos parciales

- 1) Realizar una prueba piloto de diagnóstico de la desertificación a nivel de cultivo de *Citrus limon L.* en áreas mediterráneas con clima árido o semiárido en regadío
- 2) Establecer un nuevo paradigma de diagnóstico de la desertificación /degradación aplicando nuevos indicadores con la filosofía de la LDN (Land Degradation Neutrality) y ODS 15.3.1.
- 3) Estimar la evolución de la desertificación de las zonas piloto en el horizonte 2030 y 2050
- 4) Propuesta de planes de acción aplicables in situ para lograr la disminución de la desertificación

2. MATERIAL Y METODOS

2.- Material y métodos

2.1 Diseño de la experiencia

Para el diagnóstico de la desertificación, con los criterios de neutralidad de la degradación de la tierra y de los Objetivos de desarrollo sostenible 15.3.1, y para que la experiencia sea operativa, se han diseñado varias acciones de monitorización en una prueba piloto a nivel local, realizada en la Región de Murcia.

Premisas de partida: Establecer líneas de base, seguimiento y verificación, selección de los indicadores que deben de seguimiento, mejores prácticas y técnicas agrícolas y directrices para su aplicación.

Las acciones a realizar son las siguientes:

- 1) Selección de la zona de estudio en base al conocimiento existente.
- 2) Selección de las tierras degradadas o no degradadas en áreas sensibles a la desertificación en la Región de Murcia.
- 3) Seleccionar un cultivo: *Citrus limon* L.
- 4) Aplicar las mejores prácticas de cultivo similares para todas las explotaciones.
- 5) Plan de monitorización: Establecer los mecanismos de seguimiento espacio - temporal, y evaluar periódicamente de resultados.

2.2. Zona de estudio

2.2.1. Criterios para la Selección de la zona de estudio

Un componente clave de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es hacer frente a los desafíos globales de la desertificación, la degradación de la tierra y la sequía (DDTS), y sus impactos en la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible para los sistemas humano-ambientales acoplados. En particular, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 15.3.

Para la selección del área de estudio se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- a) Alto grado de sequía.
- b) Alto grado de riesgo de desertificación.
- c) Áreas sensibles a la desertificación como área crítica media-alta.
- d) Conocimiento de los principales procesos de degradación que tienen lugar en esa zona.

a) **Situación de la zona de estudio en territorio con alto grado de sequía a nivel europeo.** La zona con mayor índice de aridez de España y de Europa en la Región de Murcia, como se aprecia en la figura 2.2.1.

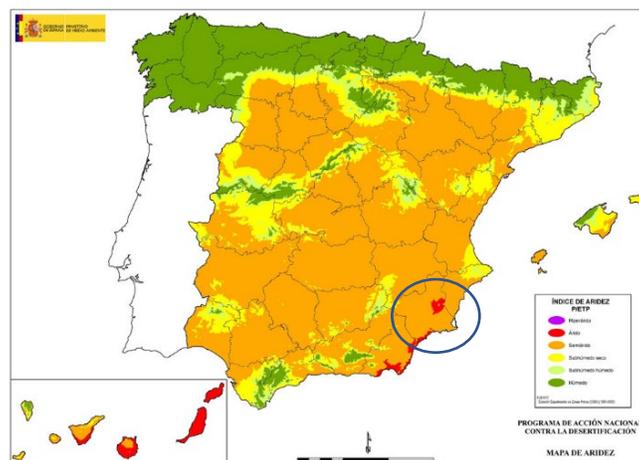


Figura 2.2.1. Mapa de índice de aridez de España, Región de Murcia en el círculo.
Fuente: MITECO 2023

b) Riesgo de desertificación alto o muy alto a nivel europeo.

Aunque España es, con diferencia, el país más gravemente amenazado en Europa por el proceso de desertificación, también lo están otros países como Grecia, Bulgaria, Italia, Rumanía y Portugal, donde se han detectado extensas zonas muy propensas a la degradación. Teniendo en cuenta este contexto, los seis países se identificaron como puntos calientes europeos de la amenaza de la desertificación, en los que es necesario adoptar medidas urgentes para luchar contra los efectos ecológicos y socioeconómicos este proceso. (Figura 2.2.2.)

Según el modelo DISMED, España es una de las zonas de Europa con índice de desertificación más sensible, y en ella la Región de Murcia, figura (Prăvăliea et al., 2017). España tiene más del 49% de su territorio en clase alta/ muy alta de índice de desertificación

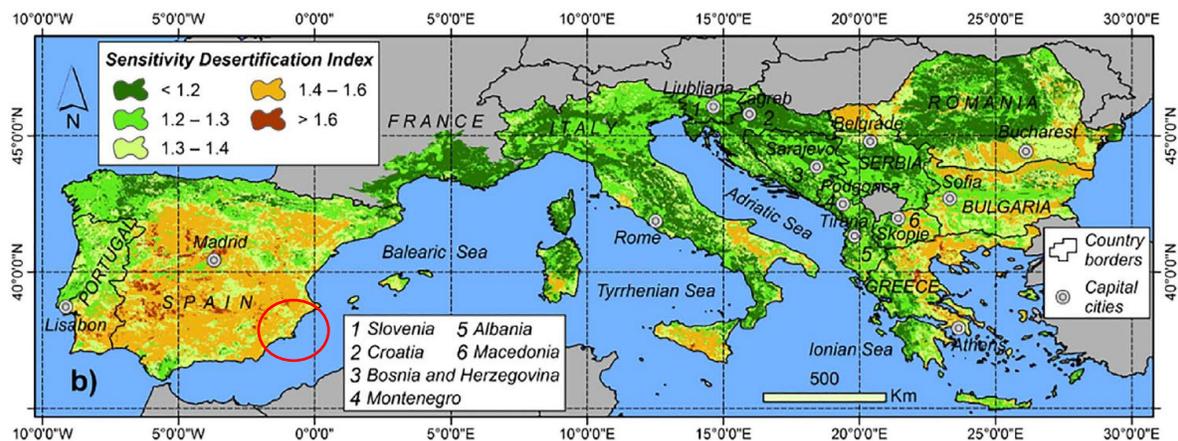


Figura 2.2.2. Índice de desertificación sensible en el sur de Europa. (Prăvăliea R. et al., 2017)

c) Área sensible a la desertificación crítica media-alta en España, en función de los índices ESA: Región de Murcia

La identificación de las zonas sensibles a la desertificación del suelo desde el punto de vista medioambiental y de gestión, se llevó a cabo en la Región de Murcia (España), con uno de los métodos de evaluación y cartografía de la sensibilidad a la desertificación más pertinentes

en las regiones mediterráneas, proyecto MEDALUS, (Mediterranean Desertification and Land Use, 1999), que identifica las zonas sensibles desde el punto de vista medioambiental a partir de un índice (índice ESA), en el que intervienen tanto la calidad medioambiental (clima, vegetación, suelo) como los factores antropogénicos (gestión). Los resultados muestran que, en las zonas donde se desarrolla esta Tesis Doctoral, como son el Campo de Cartagena, clase crítica media y el 92% a la clase crítica alta. en el Valle del Guadalentín, el 14% clase crítica media y el resto a la clase crítica alta, y en la zona del Segura Medio, el 56% clase crítica media y el 44% a crítica alta, (Martínez Sánchez et al., 2015)

d) Tener información anterior acerca de los principales procesos de degradación que tienen lugar en esa zona.

Las zonas de estudio de esta Tesis se han seleccionado porque ya se tienen los antecedentes del proyecto LUCDEME (Lucha contra la desertificación del Mediterráneo) y de los proyectos DESERTNET I y II, que se gestionó en el marco del Programa de Iniciativa Comunitaria (PIC) Interreg III B-Mediterráneo Occidental.

En el proyecto LUCDEME se realizó la cartografía de suelos de la Región de Murcia a escala 1:100.000, con metodología FAO 1973. Todo surge del Plan de Acción contra la Desertificación de las Naciones Unidas (DESCON), y de que en 1981 el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación presentó el "Proyecto de Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo" (LUCDEME) para atender las recomendaciones establecidas en el DESCON de Naciones Unidas, siendo el primer país europeo que incorporaba el término "desertificación" en el ámbito institucional.

El principal objetivo del proyecto DESERTNET era avanzar en el estudio de los procesos de desertificación en las regiones mediterráneas mediante la realización de estudios piloto, el intercambio de experiencias y el intercambio de información.

El Valle del Río Guadalentín y el Campo de Cartagena son las zonas más sensibles a la salinización y mostraron los valores más altos para el indicador de índice de salinización, estando algunos puntos afectados por un riesgo de salinización grave o muy grave. En estos

suelos se desarrolla una actividad agrícola y los procesos de desertificación por salinización se deben principalmente a la mala calidad del agua de riego (Pérez Sirvent et al, 2003; Leogrande et al, 2022)

Los resultados sugieren que la Región de Murcia presenta un elevado riesgo de desertificación según la metodología aplicada. La metodología presentada podría utilizarse para la definición de prioridades en la adopción de estrategias de mitigación de la desertificación no sólo en la Región de Murcia sino también en otras zonas semiáridas del Mediterráneo.

Los resultados de la salinización coinciden con los de la ESAI y sugieren que tanto el Campo de Cartagena y el Valle del Guadalentín son los más sensibles a los procesos de degradación y desertificación, figura 2.2.3. Los suelos de baja calidad fueron Regosoles de textura arcillosa, (Martínez-Sánchez et al., 2011).

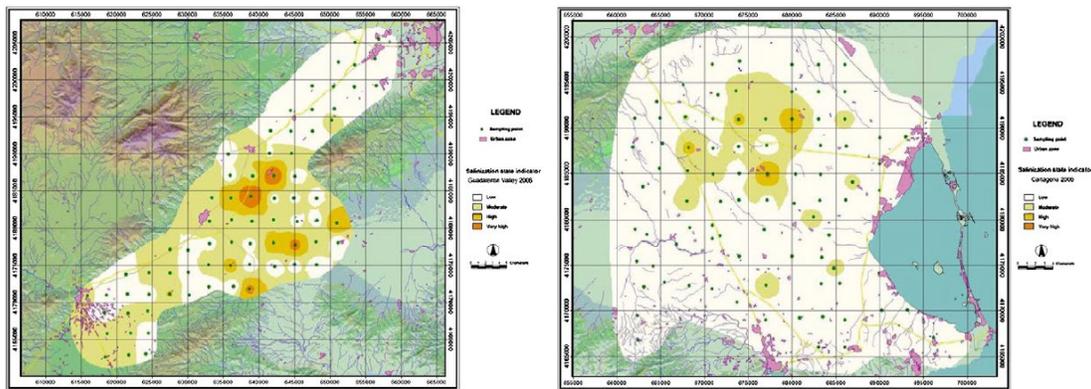


Figura 2.2.3. Salinización en Campo de Cartagena y Valle del Guadalentín (Martínez Sánchez et al., 2011)

2.2.2. El medio físico de la zona de estudio. Situación geográfica y contexto geológico

La zona seleccionada de estudio de esta Tesis Doctoral es la Región de Murcia, encuadrada en el sureste de España, (figura 2.2.4) con una extensión de 11.316 Km², y una población de 1.511.251 habitantes en el año 2020 (CARM, Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería,

Pesca y Medio Ambiente. Estadística Agraria de Murcia 2019/20) queda enmarcada dentro de las siguientes coordenadas geográficas:

Límite norte: 38° 45' N, límite sur: 37° 23' N

Límite este: 0° 41' W, límite oeste: 2° 21' W

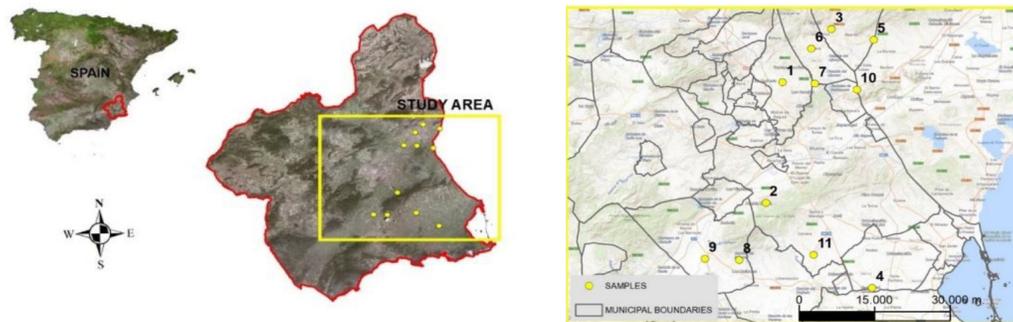


Figura 2.2.4. Situación geográfica de la zona de estudio

Geológicamente, la Región de Murcia forma parte de la zona oriental de la Cordillera Bética, que se extiende por el sur y el este de España. A su vez dentro de esta cordillera se distinguen tres zonas geológicas, llamadas zona externa, interna y la tercera compuesta por rocas jóvenes, que se depositaron sobre los materiales anteriores.

Litología y Edafología

La Región de Murcia pertenece a la España caliza, los suelos están compuestos por un alto contenido en carbonato cálcico, son típicos de esta zona de España que son sedimentos de origen marino, elevados a la superficie por la orogenia alpina. (Figura 2.2.5)



Figura 2.2.5. Mapa litológico de España. Fuente: Instituto Geológico Nacional.

Los tipos de suelo predominantes en la Región de Murcia son los Xerosoles, Fluvisoles, Litosoles y Regosoles. Los Xerosoles se dan en zonas con clima mediterráneo, caracterizado por tener veranos calurosos y faltos de agua, e inviernos fríos y húmedos. Los Fluvisoles son suelos jóvenes formados por las aportaciones fluviales de sedimentos, debido a las crecidas e inundaciones de los ríos o arroyos, tras la retirada del agua, pueden aportar una diferencia de textura en el perfil debido a los materiales depositados. Los Regosoles son según la FAO (WRB 2014) “son suelos poco desarrollados en materiales no consolidados que carecen de un horizonte móllico o úmbrico, no son muy delgados o muy ricos en fragmentos gruesos, tampoco arenosos, ni con materiales flúvicos”. Los Regosoles son muy extensos en tierras erosionadas y zonas de acumulación, en particular en zonas áridas y semiáridas y en terrenos con una textura arcillosa, y con ascensión de sales por capilaridad.

La zona de estudio comprende el Valle del Segura (vega media), donde predominan los Fluvisoles que se dan en el curso del río Segura, también aparecen alejados del curso del río Xerosoles (tanto calcáricos como gípsicos), y Litosoles en las montañas. En el Valle del Guadalentín los suelos predominantes son Fluvisoles a lo largo del cauce del río Guadalentín, más lejos del cauce se dan formaciones de suelos como el Xerosol (cálcicos y petrocálcico), Litosoles en las montañas del valle, y Regosoles. Por último, en el Campo de Cartagena se

dan mayoritariamente los Xerosoles (cálcidos y petrocálcico) y Regosoles. (Martínez-Sánchez M.J. et al., 2011)

Climatología

La Organización Meteorológica Mundial, OMM, o WMO por sus siglas en inglés, define el clima como el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un periodo suficientemente largo en un dominio espacial determinado. El periodo normal es de 30 años. (Organización Meteorológica Mundial. WMO)

La Región de Murcia presenta un clima en general mediterráneo, aunque en la costa y hacia el sur de la Región de Murcia al resguardo del final de la cordillera bética, se da el clima subtropical seco (Montaner et. al.,2002). Es una de las zonas de España más secas junto con Almería y sur de Alicante. Las precipitaciones son muy irregulares, teniendo dos zonas delimitadas, una es la zona montañosa del altiplano y noroeste, que presentan un régimen de humedad más alto que el resto de la Región de Murcia y, por otro lado, tenemos la zona de los valles y el glacis del Campo de Cartagena, con un régimen de precipitación más seco. La serie del clima de 1981 al 2010 se puede observar que las precipitaciones en la zona del sureste de España están en torno a los 300 a 400 mm en las zonas montañosas y del orden de 200 a 300 mm en el resto de la Región.

La temperatura media fue de 19.5°C y una precipitación media de 318 mm en el periodo 2009 a 2017, en la tabla 2.2.2. se pueden apreciar los datos climatológicos de Murcia.

Tabla 2.2.1- *Climatología de Murcia en el periodo 2009-2017*

Datos climatológicos de Murcia									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Temperatura Media (°C)	18,4	18,4	19,6	19,3	19,2	20,2	20,0	20,1	19,9
Temperatura máxima (°C)	45,0	42,5	39,8	43,2	38,7	39,4	43,4	44,5	41,4
Temperatura mínima (°C)	-1,6	-2,7	-2,6	-2,8	-0,6	-2,2	-0,6	1,0	-1,1
Media máximas (°C)	25,5	24,2	25,7	25,6	25,5	26,5	26,3	26,1	26,3
Media mínimas (°C)	13,2	12,3	13,4	13,0	12,9	13,8	13,7	14,0	13,5
Precipitación total (mm)	402,9	458,2	224,3	265,2	231,3	186,5	236,5	369,5	177,9

La precipitación anual acumulada en la serie 1981-2010 se da en la figura 2.2.6, donde se observa que las precipitaciones siguen muy parecidas a la de la media del periodo estudiado, se ve que las regiones del sureste de España son las más secas, junto con el valle del Ebro.

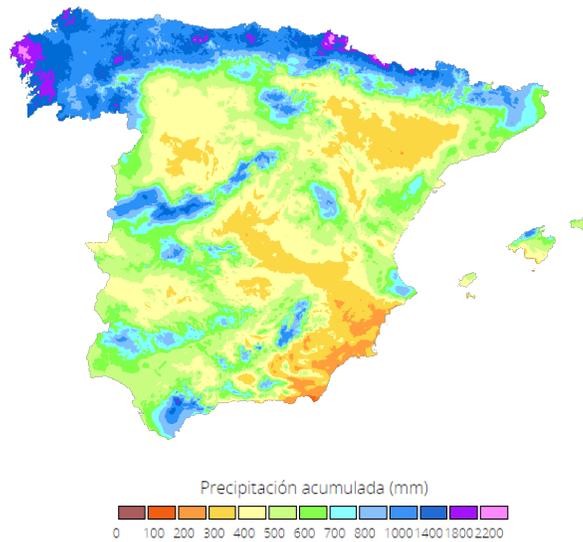


Figura 2.2.6. Precipitación anual acumulada en mm. Serie 1981-2010. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. AEMET.

La siguiente figura 2.2.7, nos presenta la precipitación de Murcia desde 1981 hasta 2020, donde se pueden apreciar que los años 1995 y 1999 fueron los más secos, donde apenas se rebasaron los 130 mm y por el contrario los años 1998 y 2019 los más húmedos, cercanos a los 500 mm.

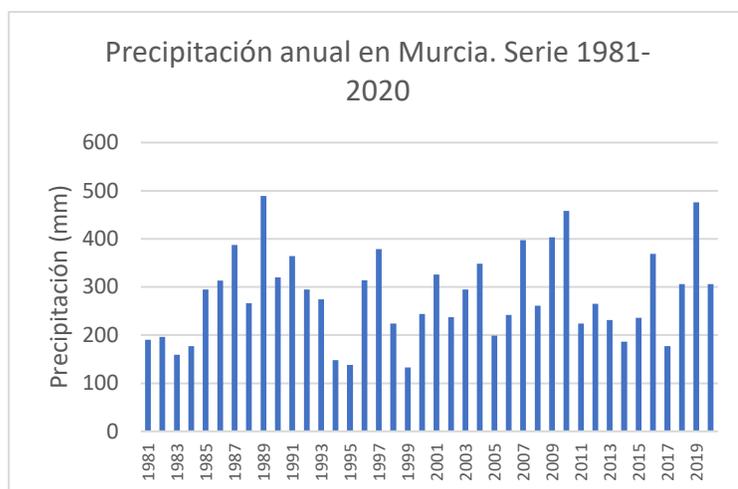


Figura 2.2.7. Precipitación anual en Murcia en el periodo 1981-2020. Fuente: CARM. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente

Las precipitaciones se concentran en otoño y primavera, siendo el resto del año seco, sobre todo los meses estivales donde la precipitación es prácticamente nula. En esta zona de España también existe riesgos de fenómenos extremos como la DANA, que se origina por el choque de una masa de aire frío en altura con el aire caliente de la superficie, originando lluvias muy intensas como la del año 2019 en la Región de Murcia. Estos fenómenos son cada vez más frecuentes y, debido a la variabilidad de las precipitaciones están relacionadas con eventos extremos como pueden ser las lluvias intensas e inundaciones (Insua-Costa et al., 2021)

Desde 1981 han aumentado las precipitaciones extremas en la Cuenca del Segura, en los últimos veinte años del siglo XX ha habido dos episodios de lluvia extrema, y en los veinte años primeros del siglo XXI ya ha habido el doble, cuatro, los últimos de ellos muy seguidos tal y como se observa en la figura 2.2.8.

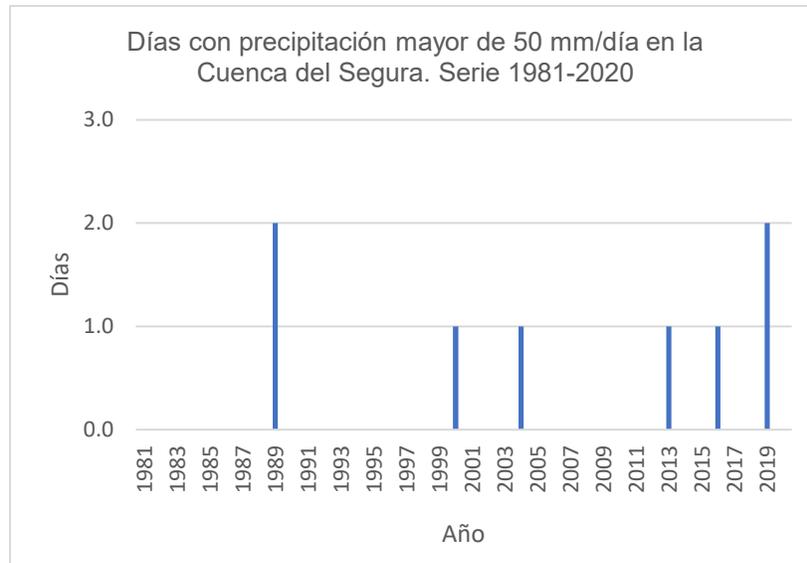


Figura 2.2.8. Días con precipitación superior a 50 mm/día en la cuenca del Segura. Fuente: Palenzuela et al.,2021

“La zona española del mar Mediterráneo es una de las más sensibles al cambio climático con altas temperaturas y una reducción en las lluvias (Vargas-Amelin et al., 2014), las regiones europeas mediterráneas son las que más sufrirán, según los modelos de cambio climático, debido a los cambios en la intensidad y la frecuencia de las fuertes precipitaciones” (Nunes, et al, 2013), tal y como muestra la figura 2.2.9, donde se aprecia la desertización de una zona de la Región de Murcia y, debido a las fuertes lluvias ha dado lugar la formación de un paisaje desértico de valles y crestas.



Figura 2.2.9. Paisaje desertificado en la Región de Murcia y moldeado a lo largo del tiempo por las fuertes precipitaciones que se dan con frecuencia en esta zona de España

La temperatura en la Región de Murcia de forma general su distribución es la siguiente, el gradiente de temperatura disminuye desde la costa hacia las zonas montañosas, donde son generalmente más bajas que en la zona de costa. Los inviernos no son muy fríos y los veranos calurosos, produciéndose el máximo de temperatura en los meses estivales

La temperatura media, medida en grados centígrados, en la serie 1981-2010, se sitúa en torno a los 17.5 – 20.0 °C, figura 2.2.10, acorde con el periodo estudiado de 2009/17. (AEMET)

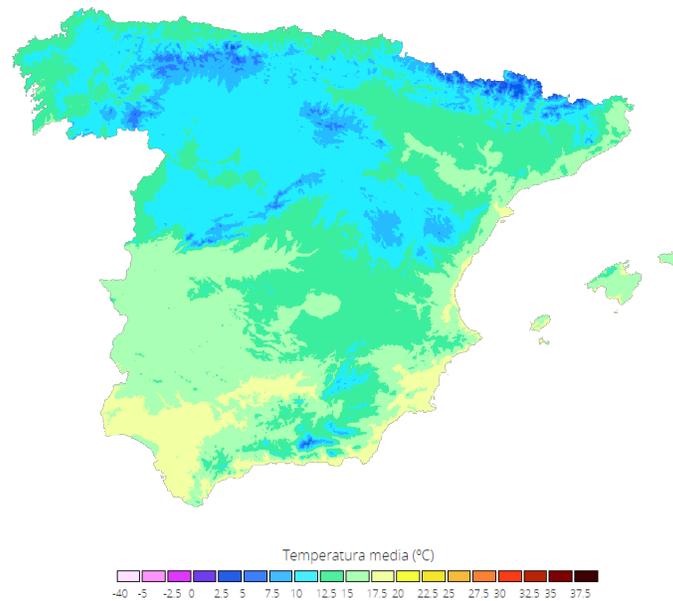


Figura 2.2.10. Temperatura media en °C. Serie 1981-2010. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. AEMET.

La temperatura media de Murcia ha ido aumentando gradualmente su ascenso tal y como podemos apreciar en la figura 2.2.10.

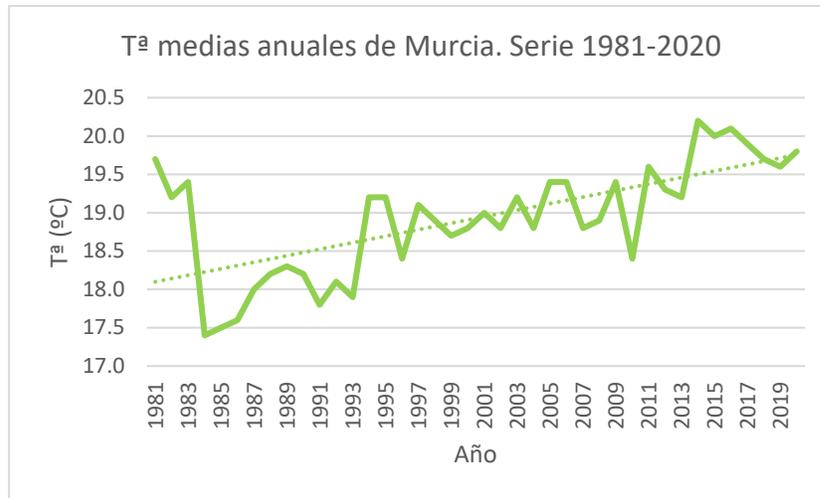


Figura 2.2.11. Temperaturas medias anuales. Fuente: CARM. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente

Tanto la temperatura minina media, como la máxima media, siguen un paulatino aumentando desde la década de 1980 hasta nuestros días, tal y como reflejan las figuras 2.2.12 y 2.2.13

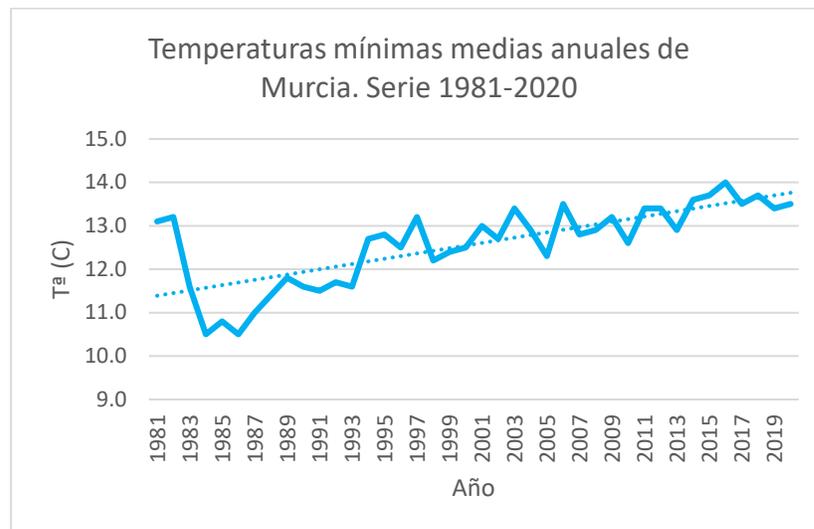


Figura 2.2.12 Temperaturas mínimas medias anuales en Murcia. Fuente: CARM. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente

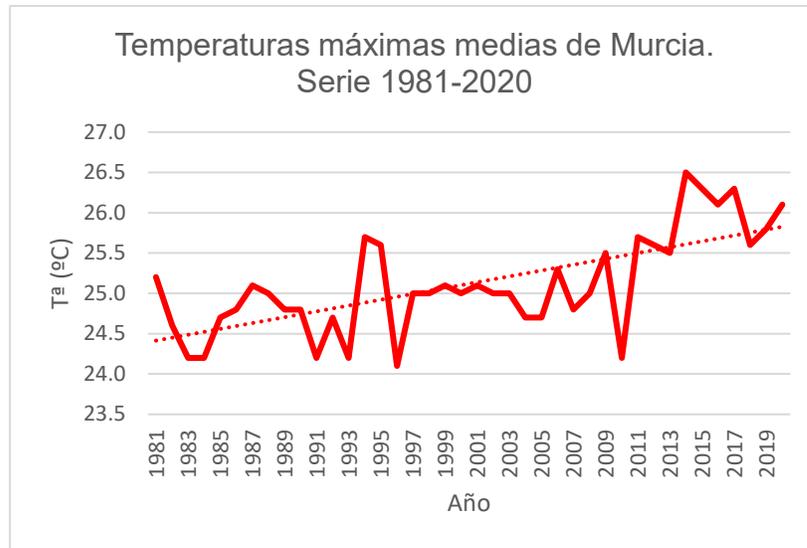


Figura 2.2.13. Temperaturas mínimas medias anuales en Murcia. Figura xx. Fuente: CARM. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente

El aumento de la temperatura trae consigo un aumento en el número de noches tropicales que han pasado de estar en veinte a principio de los años 40 del siglo XX hasta las más de 60 noches en 2019 (figura 2.2.14).

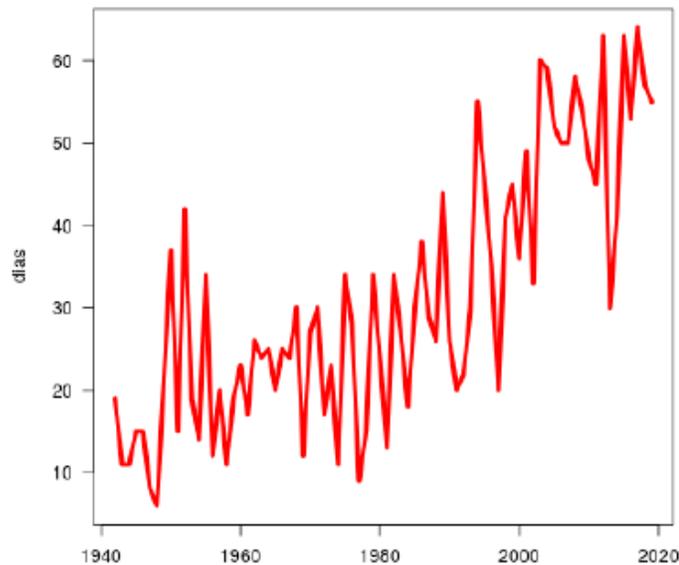


Figura 2.2.14. Número de noches tropicales (<20°C) desde 1942 al 2019. Fuente: AEMET. Observatorio de Alcantarilla (Murcia). https://twitter.com/aemet_murcia/status/1169561192517525504

Atendiendo al aumento de temperaturas, trae como consecuencia que los veranos comienzan antes y acaban más tarde, consecuencia directa de este aumento de temperatura es la disminución en Murcia del número de días con heladas, pasando de estar entre 5-10 días a estar entre 0-5 días, figura 2.2.15

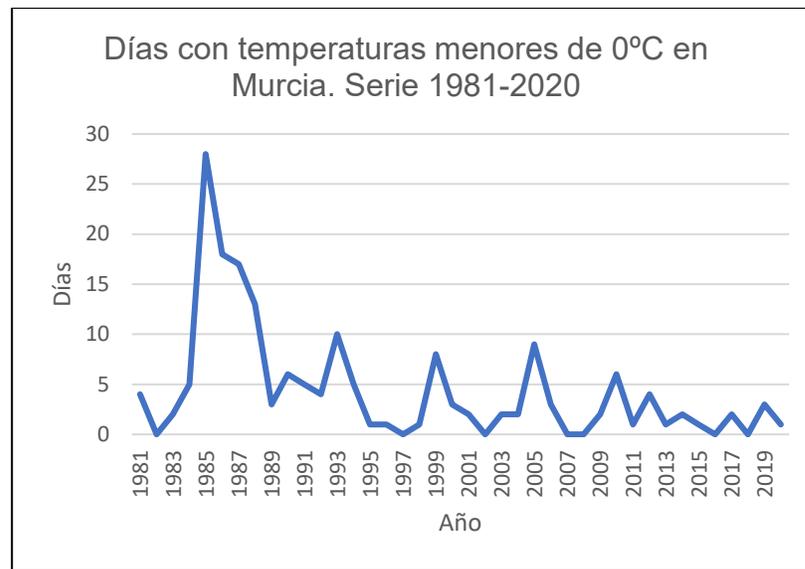


Figura 2.2.15. Número de días con temperaturas inferiores a 0°. Fuente: CARM. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente

Debido a las altas temperaturas de la Región de Murcia, y escasa lluvia, la rápida degradación del suelo da lugar a la desertificación del mismo, tal y como muestra la figura 2.2.16



Figura 2.2.16. Suelo improductivo en la Región de Murcia debido a la desertificación, con escasa vegetación

2.2.3. Factores importantes de la degradación de los suelos estudiados

Los principales factores de la degradación del carbono en el suelo son, entre otras, las condiciones climáticas como la precipitación, temperatura y viento, y la topografía del terreno, como la pendiente del mismo. Las prácticas culturales respecto al carbono son prácticamente las mismas en la Región de Murcia, que consiste en depositar los restos de poda en el suelo para que a lo largo del tiempo se descompongan, una de las explotaciones agrícolas realizaba la tarea de enterrarlas en el suelo por medios mecánicos.

1.- Condiciones climáticas

i.- **Las precipitaciones**, este fenómeno es poco común en la Región de Murcia, pero cada vez que se da, son más frecuentes las fuertes lluvias, que dan como resultado la escorrentía, y desplazan la capa vegetal hacia lugares más bajos, produciendo en estos una acumulación de material y siendo estas una zona de enriquecimiento, dejando las zonas altas con muy escasa vegetación, siendo estos lugares zonas de empobrecimiento. También se dan fenómenos externos como la DANA, periodo extraordinario de fuertes lluvias que anegan los suelos pudiendo producir hipoxia radicular, o cubrir de agua el árbol por un periodo de tiempo prolongado.



Figura 2.2.17. Zonas inundadas tras el paso de una DANA en 2020.

Fuente: eldiario.es Región de Murcia del 25-01-2020

ii.- **La temperatura**, juega un papel muy importante, debido a que con temperaturas próximas a 27° C se dan las condiciones óptimas para el máximo de actividad microbiana, (Zúñiga y Ramos Vasquez, 2008), como la que se da una buena parte del año en la Región de Murcia, la temperatura media en el año 2020 fue cercana a los 20°C, lo que produce una rápida descomposición de la materia orgánica, lo que le hace prácticamente inviable el incorporarse a formar parte del suelo y formar complejos arcillo húmicos

iii.- **El viento**, que sopla en diferentes direcciones y, por tanto, los restos de poda, una vez secos son muy ligeros y son desplazados, eliminando la capa vegetal que lo recubre, y llevándose el carbono hacia otros lugares.

2.- Topografía

i.- **Pendiente del terreno**, la pendiente del terreno juega un papel muy importante debido a que, al depositar las podas trituradas sobre el suelo, si la inclinación del terreno es la suficiente, cualquier precipitación o ventisca puede transportar los restos de poda hacia lugares más bajos.



Figura 2.2.18. Explotación agrícola dos, se aprecia la pendiente y, la escasa materia orgánica prácticamente

2.3. Cultivo y programas de fertirrigación

El cultivo de cítricos en la Región de Murcia se sitúa principalmente en las vegas de los ríos Segura y Guadalentín y en el Campo de Cartagena

Para el estudio se seleccionaron once fincas en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, cultivadas con limoneros (*Citrus limon* L.) y riego localizado en todas ellas, situadas en las zonas donde se concentra las mayores plantaciones de limoneros, en los valles del Segura, Guadalentín y Campo de Cartagena.

El limonero es la especie de cítrico más sensible al frío (CARM 2003), por ello el clima que mejor se adapta a este tipo de cultivo es el Mediterráneo, donde prácticamente está libre de

heladas, necesita suelos permeables con una textura equilibrada para facilitar la aireación y retener la humedad, los suelos deben ser profundos para que árbol tenga un buen sistema radicular. El limonero es sensible a la salinidad, (Maas, 1993; Ruiz D. et al, 1995) afectando al crecimiento del árbol. Las principales variedades de limón que se cultivan en la Región de Murcia son el primofiori o fino, y verna. La variedad primofiori es la más extendida.

2.3.1. Características de la fertirrigación aplicada

Uno de los retos a los que se enfrenta la agricultura es la producción de alimentos para poder sostener a la población mundial, que va en aumento. Las tierras de riego deberían aumentar en un 11% (Martínez Álvarez et al., 2017) para poder sostener a la población mundial. Para poder hacer frente al crecimiento de tierras cultivables, es necesario optar a una fuente de agua de buena calidad para el riego.

En tierras áridas y semiáridas la escasez de agua se hace presente, dando lugar a diversas fuentes de agua para hacer frente a la escasez hídrica de este tipo de zonas.

En España se encuentra la Región de Murcia, donde la agricultura de regadío forma parte del paisaje y sobre todo de la economía de la Región. En esta zona de la Península Ibérica, las fuentes de agua son fundamentalmente tres:

- 1.- Recursos hídricos propios de la vega del Segura
- 2.- Agua procedente del trasvase Tajo Segura
- 3.- Agua desalada de la costa de España

Al tratarse de una Región deficitaria hídricamente no vale abastecerse solo con los recursos propios porque es deficitaria, las aguas subterráneas de la vega del Segura suelen estar salinizadas debido a la sobreexplotación de acuíferos, además los periodos prolongados de sequía obligarían a que muchos cultivos se secasen y fuesen abandonados, por eso se construyó el trasvase Tajo Segura, para poder paliar el déficit hídrico que presenta esta zona de la Península Ibérica, es un agua procedente de la cabecera del río Tajo que, mediante canalizaciones llega a todos los puntos de las áridas tierras del sureste de España.

Debido a los recortes que se vienen produciendo en el trasvase por el gobierno central, para poder abastecer a la población y a las explotaciones agrícolas se optó por hacer plantas desaladoras de osmosis inversa, para la producción de agua dulce, este tipo de agua es muy cara debido a los altos costes energéticos que presenta realizar el proceso físico químico y posterior tratamiento al agua mediante la adición de paquetes de sales para poder ser utilizada.

Esto hace que resulte más factible el uso de agua del trasvase para utilizarla como fuente de riego para las explotaciones agrícolas, dejando más margen de beneficios a los agricultores y también disminuir las emisiones de dióxido de carbono que se producirían en la desalación del agua de mar.

La fertirrigación del cultivo de limonero demanda mucho abono y sobre todo agua, lo que implica la mayor parte de los costes de la producción, durante el experimento y con el fin que todos los agricultores siguieran las mismas directrices en las parcelas acotadas, sugerimos seguir el plan de fertirrigación de la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia del año 2008, que era el más novedoso publicado hasta la fecha, se usaron parcelas de 5 hectáreas acotadas en cada una de las fincas para la realización del experimento, en donde se tomaron muestras durante los años 2009, 2013 y 2017 para analizar los parámetros a investigar.

El programa de fertirrigación común, tomando como base el del año 2008 que fue el último publicado por la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia, justo antes de este experimento, en su publicación “La fertirrigación del limonero” (CARM 2008) Las prácticas culturales de las parcelas se han llevado a cabo de la misma forma que el resto de la finca, y las aplicaciones de plaguicidas se han realizado en el momento en el que los ingenieros de las fincas lo han solicitado dada su experiencia en plagas y zona de cultivo, realizándose normalmente entre los meses de junio a agosto, debido que en este periodo de tiempo se concentran las mayores plagas en los limoneros.

Para el estudio se seleccionaron muestras de once fincas en la Región de Murcia, cultivadas con cítricos y riego localizado, realizando la toma de muestras en el mes de febrero de cada uno de los tres años. Se les asignó un programa de fertirrigación común, tomando como base el de la CARM 2008, (tablas 2.2.3 y 2.2.4), y regar con agua de la mejor calidad posible, esto

se traduce en aplicaciones de nitrato amónico y potásico en los meses de marzo a octubre, ácido fosfórico en enero, febrero, julio y noviembre, y nitrato magnésico y cálcico los meses de mayo y septiembre y, un consumo de agua que va desde los 6.500 a 7.500 m³/ha año. Las prácticas culturales de las fincas como la poda, se ha llevado a cabo de forma continua para que no afectase a la producción de las fincas.

Tabla 2.3.1 *Riegos en función de las necesidades orientativas de agua. Fuente: CARM 2008*

Meses	Litros por árbol	Nº riego/mes
Enero	290-310	8
Febrero	380-500	12
Marzo	1.050-1.590	20
Abril	1.690-2.480	30
Mayo	2.380-3.450	31
Junio	2.980-4.000	30
Julio	4.550-6.200	31
Agosto	4.050-5.580	31
Septiembre	3.200-4.100	30
Octubre	2.050-2.570	20
Noviembre	690-890	14
Diciembre	220-270	8
Total año		
l/árbol	23.530-31.940	

Tabla 2.3.2. Fertilización en función de las necesidades orientativas de fertilizante (CARM 2008)

Meses	Fertilizante	Kg/ha o l/ha
Enero	Ac. Fosfórico 72%	12
Febrero	Ac. Fosfórico 72%	24
Marzo	Nitrato amónico	43
	Nitrato potásico	30
Abril	Nitrato amónico	95
	Nitrato potásico	44
Mayo	Nitrato amónico	71
	Nitrato cálcico, N:15,5 CaO:27	32
	Nitrato magnésico, N:11 MgO:16	30
	Nitrato potásico	44
Junio	Nitrato amónico	79
	Nitrato potásico	30
Julio	Ac. Fosfórico 72%	18
	Nitrato amónico	20
	Nitrato potásico	30
Agosto	Nitrato amónico	19
	Nitrato potásico	44
Septiembre	Nitrato amónico	71
	Nitrato cálcico, N:15,5 CaO:27	32
	Nitrato magnésico, N:11 MgO:16	30
	Nitrato potásico	44
Octubre	Nitrato amónico	2
	Nitrato potásico	30
Noviembre	Ac. Fosfórico 72%	18

2.3.2. Agua de riego

Los suelos seleccionados están cultivados en zonas áridas y semiáridas de la Región de Murcia, regados por riego localizado, el cual mantiene una pequeña parte del suelo húmedo, pero de forma continua en contra del riego a manta o tradicional, que inunda todo el suelo

Esta región de España está encuadrada en la “Confederación Hidrográfica del Segura, que es una cuenca deficitaria en recursos hídricos de 400 Hm³/año, (CHS, 2015) se estima que el 85% de los recursos disponibles de agua están dedicados a la agricultura en la Región de Murcia” (Redondo Orts et al., 2023), “los agricultores deben usar agua de mala calidad o bien disminuir su contenido en sales mediante la mezcla de agua, además en verano hay zonas donde no se da la disponibilidad de toda el agua requerida, y el plan de riego necesita ser preciso y optimo” (Alcón et al, 2014).

El agua de riego utilizada por los agricultores fue del trasvase Tajo-Segura, pozos y también se ha utilizado agua procedente de desaladora. Se comienza a regar a principios de año, donde el riego es poco abundante, comienza a incrementarse hasta llegar a su máximo que coincide con los meses de final de primavera y verano, abril, mayo, junio, julio y agosto, donde el calor y la sequedad del terreno hacen que los riegos sean diarios y abundantes, luego comenzamos una bajada hasta diciembre, donde encontramos el mínimo de requerimiento de agua en la época invernal, tal y como muestra la tabla 2.3.1 de la CARM 2008. Se estimó un consumo mínimo de agua de 23.530 l/árbol año. Al mismo tiempo que se riega se aportan los fertilizantes al árbol para que su producción sea máxima, esto también se hizo con la tabla 2.3.2 de la CARM 2008, que da como resumen la aplicación de fertilizantes de nitrato amónico y potásico en los meses de marzo a octubre, ácido fosfórico en enero, febrero, julio y noviembre, y nitrato magnésico y cálcico los meses de mayo y septiembre.

Los cultivos, por norma general, deben tener un aporte continuo de agua, se ha cuantificado que aproximadamente el 70% del agua dulce es destinada a los riegos agrícolas (Wang et al., 2023), El limonero es un cultivo de regadío que demanda mucha cantidad de agua, esto se consigue haciendo políticas hídricas responsables y llevar agua de las zonas húmedas a las secas, para que garanticen el abastecimiento continuo, sobre todo en los meses de verano

donde las precipitaciones son muy escasas, y la demanda de agua en esta zona de España es continua, para poder sacar adelante las cosechas. La Región de Murcia es una zona de España deficitaria en recursos hídricos, se estiman de acuerdo con las simulaciones realizadas del sistema de explotación y considerando la serie de recursos 1980/81-2011/12, el déficit anual de la demarcación del Segura está en torno a 400 hm³/año, siendo el déficit agrario el más abundante (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente. Confederación Hidrográfica del Segura. Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015-21)

Las fuentes de suministro de agua en la Región de Murcia son principalmente cuatro, agua superficial y pozos pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS), trasvase Tajo-Segura, desaladoras y reutilización.

1.- El agua superficial y subterránea de la vega del Segura, se encarga de su vigilancia la CHS mediante la red de control de las masas de agua superficiales, las divide en buen estado o no alcanza el buen estado, según el Real Decreto 817/2015, donde podemos encontrar que en el cauce del río Segura como norma general, la vega alta está en buen estado, junto con la mayoría de los embalses de la cuenca, y la Vega media y baja no alcanzan el buen estado (CHS,2020). El uso de esta agua lo efectúan sobre todo los agricultores de la Huerta de Murcia, y ribereñas al cauce del río, en su mayoría pequeños propietarios.

Los pozos, han sido desde hace mucho tiempo la forma que tenían muchos agricultores de regar sus cultivos, aunque a día de hoy, los pozos no presentan la calidad de agua de antaño, ya que están sobreexplotados y en muchos casos debido a esa sobreexplotación se están salinizando, la cantidad de sales es muy variable y quedan encuadradas en una horquilla que oscila de 1 a 5 g/l, según la zona y, como norma general, no pueden utilizar directamente. En la figura 2.3.1 se observa el estado químico de las aguas subterráneas según sean buenas (verde) o malas (rojo), en la Red Integrada de Control de Calidad de Aguas Subterráneas del Segura.

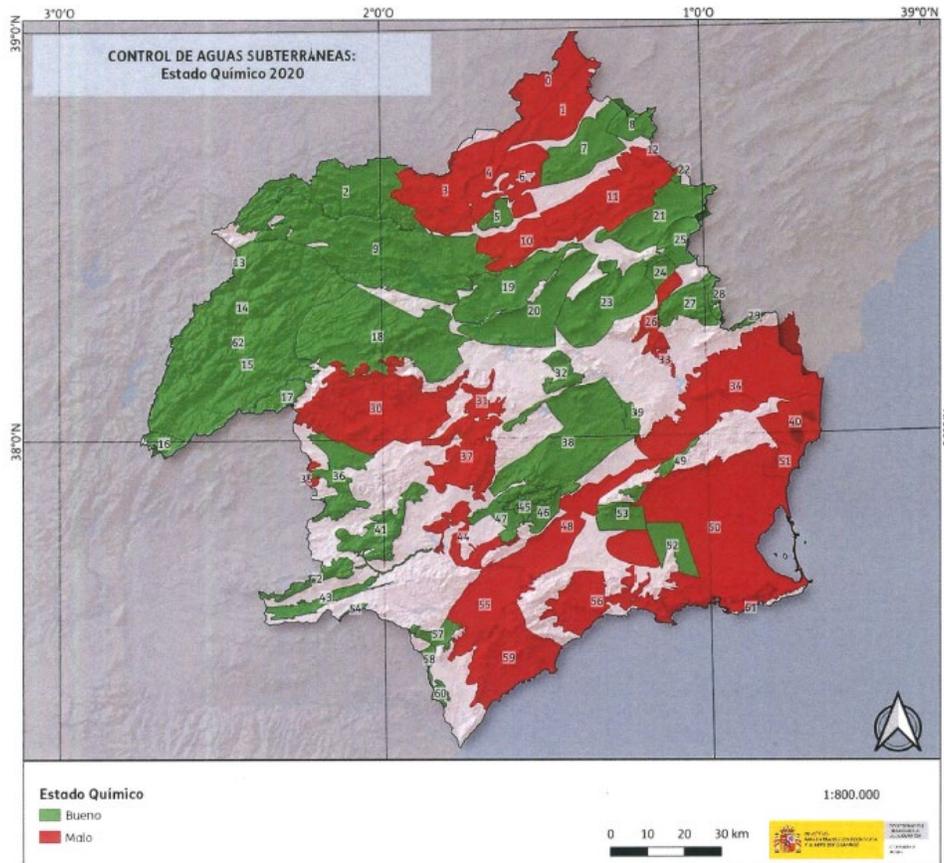


Figura 2.3.1. Control de aguas subterráneas. Fuente: CHS 2020

Según los datos obtenidos en nuestro experimento, el agua subterránea tiene una elevada conductividad eléctrica, presenta un amplio abanico, tal y como se ve en los resultados de la tabla 2.2.5, la conductividad eléctrica varía mucho, desde 1.3 hasta 6.6 dS/m, y los iones que salinizan el suelo son elevados, sobre todo el catión Na^+ y el anión Cl^- , salvo la muestra S5, que es la que menos conductividad eléctrica presenta y se podría regar con ella, el resto son aguas con muchas sales disueltas y no es recomendable el riego

Tabla 2.3.3 *Análisis de aguas subterráneas*

Parámetros	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
pH	7,30	7,30	8,10	8,20	8,10	8,40	6,70	8,60	8,30
CE (dS/m)	6,60	4,30	3,60	4,00	1,30	3,30	5,50	2,30	2,80
Cl ⁻ (mg/l)	1464,20	958,40	784,10	856,20	235,30	771,50	1072,20	460,40	632,30
SO ₄ ⁻² (mg/l)	1664,50	929,60	390,60	730,40	308,40	381,40	1201,60	290,70	352,50
Ca ⁺² (mg/l)	547,90	264,50	51,70	254,10	104,10	48,80	435,70	56,10	59,60
Mg ⁺² (mg/l)	314,40	165,70	52,30	143,20	29,20	51,70	292,50	38,20	37,10
Na ⁺ (mg/l)	507,10	458,30	571,50	412,90	161,30	563,10	496,20	341,80	497,30
K ⁺ (mg/l)	9,30	10,20	13,40	9,40	6,40	12,30	16,50	10,40	10,70

2. Agua de trasvase. El trasvase Tajo-Segura, se mencionó por primera vez en el año 1922, pero no fue hasta el año 1969 cuando se comenzó a construir, y una década después, el 31 de marzo de 1979, se produjo la llegada de agua del Tajo al Segura, actualmente el envío de agua depende del Gobierno Central. El agua del trasvase es de buena calidad, proveniente del curso alto del río Tajo, adecuada para el cultivo, donde miles de agricultores se benefician de su llegada para poder regar sus cultivos.

Los resultados de los análisis efectuados al agua del trasvase Tajo Segura se observan en la tabla 2.2.6, donde se aprecia que el agua de trasvase tiene una baja conductividad eléctrica y la carga de iones que salinizan el suelo como Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², SO₄⁻² y Cl⁻ es baja, no presenta ningún problema para su uso directo en la explotación agrícola. Es un agua muy parecida en cualquier muestreo y muy constante

Tabla 2.3.4. *Análisis de agua del trasvase Tajo Segura*

Parámetros	T1	T2	T3	T4
pH	8,40	8,20	8,10	8,50
CE (dS/m)	1,00	1,10	1,00	1,10
Cl ⁻ (mg/l)	150,20	104,20	103,30	153,50
SO ₄ ⁻² (mg/l)	224,30	198,30	204,60	235,30
Ca ⁺² (mg/l)	65,60	63,10	67,80	72,80
Mg ⁺² (mg/l)	40,30	37,50	39,70	42,70
Na ⁺ (mg/l)	89,40	61,60	65,90	96,40
K ⁺ (mg/l)	3,10	5,30	4,50	4,40

El trasvase es uno de los mayores suministros de agua para la Región de Murcia, durante el experimento, el año que más agua se trasvasó fue el año hidrológico 2013-14 con 486 hm³, y el que menos el 2016-17 con 142 hm³. (MITECO 2023)

3. La desalación de agua es otra fuente de suministro, se utilizó por primera vez en la provincia de Las Palmas de Gran Canaria, en la isla de Lanzarote en el año 1964, fue diseñada para abastecimiento humano. Hoy en día la desalación es un arma en las regiones deficitarias de agua contra la sequía, mediante el sistema de membranas denominado osmosis inversa. Es la más cara de todas debido a su alto consumo energético, ya que depende de la electricidad para desalar el agua de mar. En la Región de Murcia existen cuatro plantas desalinizadoras de agua de mar (Águilas, Valdelentisco, Escombreras y San Pedro del Pinatar). Con la desalación lo que se pretende es dar demanda a los agricultores, ya que la llegada de agua del trasvase va disminuyendo su volumen, y así poder hacer frente a sus cultivos. Las sales de esta agua son muy bajas, y apta para la agricultura. El agua desalada lo que hace es mejorar el suelo debido a la cantidad tan baja de sales con que finaliza el proceso. En los análisis realizados de agua procedente de desaladora obtuvieron resultados en donde la concentración de iones que salinizan el suelo es muy baja, y la conductividad eléctrica no superaba los 0.70 dS/m

Tabla 2.3.4. *Análisis de agua desalada*

Parámetros	D1	D2	D3
pH	9,00	8,40	8,50
CE (dS/m)	0,60	0,70	0,67
Cl ⁻ (mg/l)	142,30	163,50	172,30
SO ₄ ⁻² (mg/l)	39,50	42,10	41,10
Ca ⁺² (mg/l)	11,30	9,50	10,20
Mg ⁺² (mg/l)	4,80	6,50	5,60
Na ⁺ (mg/l)	116,80	134,40	124,30
K ⁺ (mg/l)	1,10	1,20	1,17
B ⁺³ (mg/l)	0,90	0,88	0,86

4. La reutilización del agua en la Región de Murcia es uno de los usos que también dispone la agricultura, aproximadamente 100 Hm³/año son reutilizados, donde su uso para la agricultura asciende a un 95.4% (ESAMUR 2022) proceden del uso industrial y doméstico y es reutilizada por los agricultores previo tratamiento en las depuradoras para poder utilizarla en sus cultivos y poder verterla al Dominio Público Hidráulico (Aldaya et al., 2019)

Los agricultores lo que hacen es mezclar diferentes tipos de agua ya sea de pozo y desaladora o pozo y trasvase, por ejemplo, y junto con la adición de fertilizantes en las cubas de riego de los cabezales de las explotaciones agrícolas, tal y como se aprecia en la figura 2.3.2.



Figura 2.3.2. Moderno cabezal de riego donde se aplica la fertirrigación

2.4. Metodología de campo: Toma de muestras

El presente trabajo se basa en la salinización del suelo a lo largo del tiempo, en once explotaciones agrícolas, distribuidas en los términos municipales de Abanilla, Alhama de Murcia, Fortuna, Murcia, Santomera y Torre Pacheco, pertenecientes a la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, dedicadas al cultivo del limonero y con riego localizado en todas ellas. La figura 2.4.1 muestra el paisaje típico de una finca dedicada al cultivo del limón.



Figura 2.4.1. Paisaje típico de una explotación agrícola de limoneros en la Región de Murcia

Para la recogida de las diferentes muestras de suelo se hizo una revisión acerca de los suelos de la Región de Murcia y los trabajos científicos anteriores, también se consideró como información los distintos mapas topográficos a escala 1:50000 y 1: 25000 e información del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas, del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, más conocido por sus siglas SIGPAC.

Para poder localizar los diferentes puntos de muestreo sobre el terreno se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Para este experimento se utilizó un sistema de captura de datos Geoexplorer 3 como receptor y colector de datos GPS integrado para cartografía, localizador de nuevas ubicaciones y para la actualización de datos espaciales y datos GIS, y para la transferencia, importación y exportación de datos y posterior procesamiento.

Antes de las salidas a campo se editaron los diccionarios de datos especificando las configuraciones precisas del sistema para la toma de los puntos de control, se utilizó para ello el software Pathfinder Office.

“Para la toma de muestras de suelo se recogieron cinco muestras en la capa superficial (0-25 cm.), en el centro y en los extremos de las diagonales de una cuadrícula de uno a dos metros de lado. Se recogieron de uno a dos kilos de suelo en cada uno de los cinco puntos, se mezclaron y homogeneizaron, tomando finalmente una submuestra de tres a cuatro kilos representativa del punto de muestreo. En el laboratorio las muestras se secaron al aire, tamizadas por un tamiz de dos milímetros y almacenadas hasta su análisis.” (Martínez Sánchez M.J. y Pérez -Sirvent, C., 2009).

La toma de muestras se realizó en el mes de febrero de los años 2009, 2013 y 2017, con un total de tres muestreos en cada explotación, uno cada cuatro años. La figura 2.4.2 muestra los puntos de localización de las distintas explotaciones agrícolas dentro de toda la zona de mayor densidad de cultivo de cítricos.

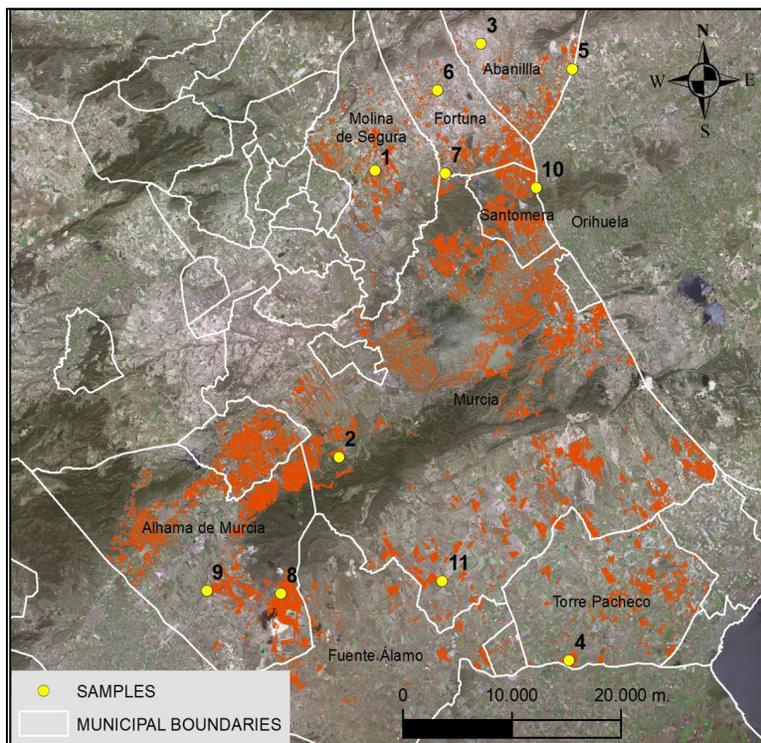


Figura 2.4.2. Localización de los puntos de muestreo y las principales zonas de producción

2.5. Metodología de laboratorio

Para las determinaciones fisicoquímicas del suelo se realizaron, una vez secas al aire las muestras y separada la fracción tierra fina (<2 mm), las siguientes determinaciones analíticas:

- El carbono orgánico se determinó por el método de Anne (1945). Los valores de materia orgánica se han obtenido multiplicando los de carbono por el factor 1,72. Finalmente, se ha expresado el contenido en materia orgánica como porcentaje.

- Determinación del valor de pH según el método Peech (1965), realizando la medida en suspensión 1:1 de suelo en agua ultrapura y KCl 1M.

- Conductividad eléctrica (CE) (dS m^{-1} a 25°C), medida en el extracto de saturación, obteniendo una pasta de suelo (200-400 g) saturada con agua ultrapura (Rhoades, 1982)

- Análisis granulométrico, tras la dispersión de la tierra fina se ha determinado, combinando la extracción con pipeta Robinson y la tamización, los porcentajes de arcilla (<2 micras), Limo (2-50 micras) y arena (50-2000 micras).

- El carbonato cálcico total se ha determinado por el método volumétrico del calcímetro de Bernard previamente calibrado frente a carbonato sódico RA, y partiendo del peso de tierra fina adecuado según su contenido en carbonatos. Los resultados se expresan en porcentaje.

- El carbonato cálcico activo se determinó por reacción con oxalato amónico y posterior valoración por retroceso con permanganato potásico.

- Extracción de fósforo asimilable, si los suelos presentan un pH entre 5,5 y 8,5 y su contenido en materia orgánica es inferior al 3%, se recomienda realizarlo con una solución de bicarbonato sódico 0,5M (Olsen et al., 1965), se determinó por espectrofotometría y los resultados se expresan en mg/Kg de suelo.

- Determinación de sodio y potasio, se realiza en una extracción de acetato amónico. Se necesitan 10 ml de acetato amónico 1M neutro. El potasio se determina posteriormente en el extracto filtrado mediante espectrofotometría de absorción atómica y expresado en mg/Kg de suelo.

- Determinación de microelementos asimilables hierro, manganeso, cobre y cinc, con DTPA 0,005M, cloruro cálcico 0,01M y trietanolamina 0,1M a pH 7,3 (Lindsay y Norvell, 1969). Las concentraciones de estos elementos se midieron por espectrofotometría de absorción atómica en llama (FAAS). Los resultados se expresan en mg/Kg de suelo.

- Determinación de boro asimilable, se realizó utilizando el método colorimétrico a partir de un complejo coloreado formado con azometina-H, previa extracción del boro con agua caliente, debido a la solubilidad del elemento en agua caliente, y se realizó la lectura en un espectrofotómetro a 430 nm junto con un blanco de muestra. El resultado se expresa en mg/Kg de suelo.

- Determinación de sulfatos por el método de la turbidimetría, agregando a la muestra cloruro de bario y, produciendo la formación de flóculos de sulfato de bario, que causan un cierto grado de turbidez, que es proporcional a la concentración de sulfatos que contiene la muestra, previamente se necesita realizar una recta de calibrado a diferentes concentraciones. El resultado se expresa en porcentaje

- Determinación de cloruros, se realiza sobre una alícuota del extracto acuoso de suelo, añadiendo cromato potásico como indicador, y posterior valoración con nitrato de plata, el exceso de plata en presencia de cromato potásico forma cromato de plata de color rojo ladrillo que nos indica el final de la valoración. El resultado se expresa en mg/Kg de suelo.

- Determinación de la mineralogía de las muestras de suelo se realizó por el método de Difracción de Rayos X (DRX). Se realizó un estudio de la composición mineralógica de las muestras sin tratar (fracción menor de 2 mm).

Para el estudio de la mineralogía de las muestras de los diferentes suelos, se utilizó un espectrómetro Philips Difractómetro de RX Philips PW3040 con rendija de ventana 1°,

contador proporcional y filtro de níquel. Se realizó de forma semicuantitativa trabajando en reflexión Cu- $K\alpha$, a una velocidad de $2^\circ/\text{min}$ y ventana automática.

Las condiciones instrumentales se han adaptado a los objetivos a alcanzar variando la sensibilidad del registro dependiendo de cada muestra.

La interpretación de los diagramas nos dará la mineralogía cualitativa, para ello se realizó mediante el software X Powder 2004.04.04 PRO (Martín, D., 2004) vinculado a la base de datos cristalográfica PDF-2 (ICDD®), comparando los picos del diagrama con los del mineral de interés en la base de datos del programa, teniendo en cuenta que la determinación cuantitativa de minerales usando este procedimiento, tiene un límite de sensibilidad de un 5% del peso total de una muestra” (Martínez Sánchez et al. 2011).

2.6. Metodología de diagnóstico y monitorización de la desertificación

Para poder resumir la información recopilada en los puntos de muestreo a lo largo del tiempo del experimento, vamos a utilizar la metodología de indicadores. Un indicador es definido por la AEMA como un “valor observado representativo de un fenómeno a estudiar. En general los indicadores cuantifican la información mediante la agregación de diferentes datos, dando lugar a información sintetizada. En definitiva, los indicadores simplifican la información, ayudando a describir y valorar fenómenos más complejos.”

Los indicadores útiles son aquellos que son sensibles para cambiar y responder a la gestión. La evaluación de la calidad del suelo comienza con la configuración de un valor de referencia estándar o valor que se utilizará para la comparación. Algunos indicadores se pueden probar en el sitio y con herramientas simples, mientras que otros requieren un campo más complejo pruebas o análisis de laboratorio sofisticados. Las evaluaciones pueden ser un hecho para ayudar a identificar áreas de especial interés, o para comparar unidades de tierra bajo diferentes prácticas de manejo.

Para evaluar la calidad del suelo, los indicadores pueden evaluarse en un solo punto en el tiempo o, preferiblemente, monitorearse a lo largo del tiempo, lo que permite identificación de cambios o tendencias en el funcionamiento del suelo.

En el año 1996, se comenzó a elaborar por el Ministerio de Medio Ambiente un sistema de indicadores medioambientales acordes con las características de nuestro país. Desde el año 2000 se comenzó a desarrollar unos indicadores que sirviesen para hacer informes sobre el estado medioambiental de España. A este grupo de indicadores se le llamó Tronco Común de Indicadores. Ya en el año 2006 el Ministerio de Medio Ambiente publicó en su web el Banco Público de Indicadores Ambientales, cuyos criterios fueron:

- Que sean relevantes
- Que los datos estén disponibles
- Que sean actualizados periódicamente
- Que sean fácilmente interpretables

Los indicadores utilizados para el presente trabajo son los descritos en el Proyecto Desertnet II (Martínez Sánchez et al. 2009) para el diagnóstico y monitorización de la desertificación mediante indicadores de degradación química:

Atendiendo a la escala espacial, los indicadores pueden considerarse a tres niveles:

- Escala Regional: Escala de pequeño detalle, del orden de 1:200000
- Escala Local: Escala de gran detalle, del orden de 1:5000; puede ser de escala de detalle alto a escala de detalle medio, 1:50000.
- Escala Puntual: Escala de altísimo detalle, de tipo catastral, escala de detalle elevado a muy elevado, del orden de 1:1000 a 1:500.

Se clasifican en:

1.- “Indicadores de Prevención: Permiten poner a punto las acciones de prevención idóneas con el fin de prevenir la degradación posterior. Han de basarse en la comprensión de los procesos de degradación y en las causas de éstos.

2.- Indicadores de Monitorización: Describen el estado del recurso natural o de los sistemas socioeconómicos que con ellos interaccionan y están, generalmente, ligados a conceptos como calidad o nivel de degradación.

3.- Indicadores de Mitigación: Permiten valorar la necesidad y la eficacia de las intervenciones de mitigación y pueden ser interpretadas como indicadores de impacto de la actividad y de las medidas adoptadas por el hombre para aliviar el efecto de la desertificación.” (Martínez Sánchez, M.J. y Pérez Sirvent, C. 2009).

2.6.1. Metodología de diagnóstico de la desertificación mediante indicadores de degradación química. Método IADQS.

El método que usaremos es el sistema IADQS (Indicadores Ambientales de Degradación Química del Suelo), (Martínez Sánchez. y Pérez Sirvent, 2009) consistente en el uso sencillo de una serie de indicadores de degradación química para contribuir a conocer la degradación del suelo. Los indicadores de degradación química son propiedades medibles del suelo estructurados en dos clases:

- Indicadores de salinización
- Indicadores de fertilización

“Los impactos ejercidos sobre el suelo son dinámicos y se miden a través de su velocidad o incremento, todo indicador debe tener dos aspectos como son, indicadores de estado (estado del suelo en el momento de la toma de muestra) e indicadores de velocidad (tendencias a lo largo del tiempo)”.

“El sistema IADQS usa una escala que define cada uno de los indicadores, la asociación a cada número cambia según la naturaleza de la variable según la tabla adjunta 2.2.8 descrita en el manual de procedimientos para diagnóstico y monitorización de la desertificación” (Método IADQS):

Tabla 2.6.1. *Indicadores de salinización, macronutrientes y micronutrientes*

Indicador de Salinización			
Estado		Velocidad	
	CE _{es} (dS/m)		Δ CE _{es} /t
1.- Ligero	0-4	1.- Mejora	<0
2.- Moderado	4-8	0.- Sin cambio	0
3.- Alto	8-16	-1.- Ligera	0-0.4
4.- Muy alto	>16	-2.- Moderada	0.4-0.8
		-3.- Grave	0.8-1.6
		-4.- Muy grave	>1.6
Indicador de Fertilidad Macronutrientes			
Estado		Velocidad	
1.- Deficiente		+1	Ganancia
2.- Medio		-1	Pérdida
3.- Rico			
Indicador de Fertilidad Micronutrientes			
Estado		Velocidad	
1.- Deficiente		+1	Ganancia
2.- Medio		-1	Pérdida
3.- Rico			

INDICADOR DE SALINIZACIÓN

1.- “El indicador de estado de salinización lo podemos definir como el valor de la conductividad eléctrica en el extracto saturado del suelo en el momento del muestreo. Se mide en dS/m”.

2.- “El indicador velocidad de salinización lo definimos como la variación de la conductividad eléctrica en el extracto saturado a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Se mide en dS/m año”.

3.- La función de este indicador es la elevada concentración de sales solubles de sodio, calcio, magnesio, entre otras, que provocan la correcta absorción de agua por la planta, debido a la elevada presión osmótica de la solución del suelo, generando problemas de toxicidad con elementos como el sodio y el cloro entre otros

4.- “Es un indicador de prevención, monitorización y/o mitigación”

INDICADOR DE FERTILIDAD DE MACRONUTRIENTES: NITRÓGENO

1.- “El indicador de estado de nitrógeno lo podemos definir como el valor del contenido en nitrógeno asimilable en el punto de muestreo. Se mide en porcentaje (%)”.

2.- “El indicador velocidad de nitrógeno lo definimos como la variación del contenido en nitrógeno asimilable en cada punto de muestreo a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Se mide en %/año”.

3.- La función de este macronutriente esencial es intervenir en el crecimiento del árbol y se encuentra en el suelo bajo dos formas, una orgánica, debido a la descomposición de del material vegetal y la segunda inorgánica, presente bajo la forma de amonio y nitrato. También es esencial para la formación de la clorofila y proteínas. Existen plantas que pueden capturar el nitrógeno atmosférico y formar una simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno del suelo. Su defecto en las plantas provoca una reducción del tamaño de las hojas y amarilleamiento en la zona de los nervios.

4.- “Es un indicador de prevención, monitorización y/o mitigación”

INDICADOR DE FERTILIDAD DE MACRONUTRIENTES: FÓSFORO

1.- “El indicador de estado de fósforo lo podemos definir como el valor del contenido en fósforo asimilable en el punto de muestreo. Se mide mg/Kg”

2.- “El indicador velocidad de fósforo lo definimos como la variación del contenido en fósforo asimilable en el punto de muestreo a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Se mide en mg/Kg año“

3.- La función de este macronutriente esencial en la planta porque interviene en la fotosíntesis, en el cuajado de los frutos y semillas, y como estimulador del sistema radicular. El defecto del fósforo produce una escasa brotación de flores, y el exceso produce dificultad para absorber ciertos metales como el cobre

4.- “Es un indicador de prevención, monitorización y/o mitigación”

5.- “Las clases establecidas para el indicador de estado son las siguientes: Deficiente <5, medio entre 5 y 10 y rico >10 mg/Kg. El indicador velocidad es establece como +1 ganancia, -1 pérdida”

INDICADOR DE FERTILIDAD DE MACRONUTRIENTES: POTASIO

1.- “El indicador de estado de potasio lo podemos definir como el valor del contenido en potasio asimilable en el punto de muestreo. Se mide mg/Kg”

2.- “El indicador velocidad de potasio lo definimos como la variación del contenido en potasio asimilable en el punto de muestreo a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Se mide en mg/Kg año”

3.- “La función de este macronutriente esencial en el metabolismo de la planta, controla el crecimiento y la producción, reducción del nitrógeno, interviene en la fotosíntesis y en la economía del hídrica en la planta, regulando la presión osmótica. Su deficiencia produce un enrollamiento de la hoja, y su exceso está relacionado con la calidad del fruto ya que se produce una pérdida de calidad y suelen ser de corteza gruesa y escaso zumo. Su déficit produce amarilleamiento de hojas viejas y su posterior necrosis.”

4.- “Es un indicador de prevención, monitorización y/o mitigación”

5.- “Las clases establecidas para el indicador de estado son las siguientes: Deficiente <50, medio entre 50 y 150 y rico >150 mg/Kg. El indicador velocidad es establece como +1 ganancia, -1 pérdida”

INDICADOR DE FERTILIDAD DE MICRONUTRIENTES: HIERRO

1.- “El indicador de estado de hierro lo podemos definir como el valor del contenido en hierro asimilable en cada punto de muestreo. Se mide en mg/Kg.

2.- El indicador velocidad de hierro lo definimos como la variación del contenido en hierro asimilable en cada punto de muestreo a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Se mide en mg/Kg año

3.- La función de este micronutriente esencial para la planta, es que se encuentra en los cloroplastos de las células e interviene en numerosas reacciones bioquímicas, en la fotosíntesis y la respiración. La planta lo absorbe en estado ferroso y está fuertemente influenciado por el pH del suelo. Su deficiencia produce clorosis en las hojas tornando a color amarillo en las hojas, el exceso da manchas de color marrón en las hojas y puede producir deficiencia de fósforo

4.- Es un indicador de prevención, monitorización y/o mitigación

5.- Las clases establecidas para el indicador de estado son las siguientes: Deficiente <2, medio entre 2 y 4,5 y rico >4,5 mg/Kg. El indicador velocidad es establece como +1 ganancia, -1 pérdida”

INDICADOR DE FERTILIDAD DE MICRONUTRIENTES: CINC

1.- “El indicador de cinc lo podemos definir como el valor del contenido en cinc asimilable en el punto de muestreo. Se mide en mg/Kg

2.- El indicador velocidad de cinc lo definimos como la variación del contenido en cinc asimilable en el punto de muestreo a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Se mide en mg/Kg año

3.- La función de este micronutriente esencial para la planta, interviene en la transformación de los carbohidratos y regula el consumo de azúcares, y forma parte de los enzimas que regulan el crecimiento de la planta. A pH elevados la absorción disminuye. Su deficiencia inhibe la síntesis de clorofila, se aprecia el amarilleamiento de los nervios

secundarios, floración reducida y frutos de bajo tamaño. El exceso de cinc provoca la no absorción del hierro y a concentraciones elevadas la muerte

4.- Es un indicador de prevención, monitorización y/o mitigación

5.- Las clases establecidas para el indicador de estado son las siguientes: Deficiente < 0,5, medio entre 0,5 y 1 y rico > 1 mg/Kg. El indicador velocidad es establece como +1 ganancia, -1 pérdida”

INDICADOR DE FERTILIDAD DE MICRONUTRIENTES: COBRE

1.- “El indicador de estado de cobre lo podemos definir como el valor del contenido en cobre asimilable en el punto de muestreo. Se mide en mg/Kg

2.- El indicador velocidad de cobre lo definimos como la variación del contenido en cobre asimilable en el punto de muestreo a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Se mide en mg/Kg año

3.- La función de este micronutriente esencial para la planta es, intervenir en el crecimiento y en el metabolismo radicular. Su defecto produce clorosis y pérdida de turgencia en las hojas de las plantas. El exceso de cobre en frutos produce unas manchas o puntos que suelen ser como cicatrices en los frutos, lo que implica una merma en la cosecha y una pérdida económica, también se manifiesta en las hojas nuevas que son grandes en ramas con crecimiento excesivo.

4.- Es un indicador de prevención, monitorización y/o mitigación

5.- Las clases establecidas para el indicador de estado son las siguientes: Deficiente < 0,2, medio entre 0,2 y 1 y rico > 1 mg/Kg. El indicador velocidad es establece como +1 ganancia, -1 pérdida”

INDICADOR DE FERTILIDAD DE MICRONUTRIENTES: MANGANESO

1.- “El indicador de estado de manganeso lo podemos definir como el valor del contenido en manganeso asimilable en el punto de muestreo. Se mide en mg/Kg

2.- El indicador velocidad de manganeso lo definimos como la variación del contenido en manganeso asimilable en el punto de muestreo a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Se mide en mg/Kg año

3.- La función de este micronutriente esencial para la planta es, intervenir en el metabolismo del nitrógeno, interviene en reacciones bioquímicas de la fotosíntesis y en el metabolismo de las auxinas, A pH altos se inmoviliza y produce un defecto de manganeso que se visualiza en las hojas nuevas que son pequeñas y con forma de lanza, floración reducida y frutos con poco zumo. Su exceso produce clorosis en las hojas adultas y manchas en las hojas

4.- Es un indicador de prevención, monitorización y/o mitigación

5.- Las clases establecidas para el indicador de estado son las siguientes: Deficiente <4, medio entre 4 y 8 y rico >8 mg/Kg. El indicador velocidad es establece como +1 ganancia, -1 pérdida”

INDICADOR DE FERTILIDAD DE MICRONUTRIENTES: BORO

1.- “El indicador de estado de fertilidad de boro lo podemos definir como el valor del contenido en manganeso asimilable en cada punto de muestreo. Se mide en mg/Kg

2.- El indicador velocidad de fertilidad de boro lo definimos como la variación del contenido en boro asimilable en cada punto de muestreo a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Se mide en mg/Kg año

3.- La función de este micronutriente esencial para la planta es intervenir en la construcción de las paredes de las células, en la división celular y en el desarrollo de frutas y semillas. La deficiencia se aprecia por un amarilleamiento por los nervios de las hojas, hojas nuevas mal formadas y los frutos pueden adoptar formas irregulares. Su exceso conlleva clorosis y necrosis en las hojas. A un pH elevado se incrementa su absorción, lo que en un cultivo se traduce en una toxicidad por boro donde el principal problema es la caída de las hojas del árbol.

4.- Es un indicador de prevención, monitorización y/o mitigación

5.- Las clases establecidas para el indicador de estado son las siguientes: Deficiente < 0,5, medio entre 0,5 y 2 y rico > 2 mg/Kg. El indicador velocidad es establece como +1 ganancia, -1 pérdida”

2.6.2. Metodología de diagnóstico de Neutralidad de la degradación/ desertificación de la tierra (LDN) en el contexto de los Objetivos de desarrollo sostenible. Selección de la metodología de evaluación de la LDN y selección de indicadores

Para ello es necesario clasificar las tierras de la zona de según el estado del proceso de degradación (Chasek P. et al., 2014):

- Tierras que se encuentren con prácticas sostenibles y cuya productividad podría servir de referencia cuando se tomen medidas para reducir la degradación
- Tierras que se encuentran en proceso de degradación para reducir su degradación en curso y
- Tierras degradadas que serían objeto de esfuerzos de restauración para compensar la degradación añadida.

Sin embargo, el reto es que "ya degradado" y "en proceso de degradación" no son estados discretos, ya que la "degradación de la tierra" es un continuo (Zucca et al., 2002). Por lo tanto, un requisito previo para poner en práctica ZNLD es tomar dos decisiones críticas.

La primera decisión se refiere a la selección adecuada de indicadores de “degradación de la tierra”, que depende de cómo se defina la "degradación de la tierra a efectos de la aplicación del DNLZ. La desertificación y la degradación de las tierras son fenómenos complejos en los que inciden muchos factores interdependientes, y no existe un consenso científico sobre la forma de abordar estos factores. Sin embargo, se pueden emplear los indicadores indirectos para detectar el deterioro del estado de la tierra” (Chasek et al., 2014).

Utilizar tres indicadores basados en la tierra y métricas asociadas : cobertura del suelo (evaluada como cambio en la cobertura del suelo), productividad de la tierra (evaluada como Producción Primaria Neta) y reservas de carbono (evaluadas como Carbono Orgánico del Suelo), como conjunto mínimo de indicadores acordados globalmente. Métricas, que fueron

adoptadas por la CLD para informar y como medio para comprender el estado de la degradación (Orr et al., 2017).

“La integración de los resultados de los tres indicadores globales debe basarse en un enfoque de “uno fuera, todo afuera” donde si cualquiera de los tres indicadores/métricas (cambio de cobertura del suelo, productividad de la tierra, reservas de carbono) muestra un cambio negativo significativo, se considera una pérdida. Por el contrario, si al menos un indicador/métrica muestra un cambio positivo significativo y ninguno muestra un cambio negativo significativo, se considera una ganancia”.

En la figura 2.6.1., se esquematiza la metodología aplica en esta Tesis Doctoral para el diagnóstico de la LDN en los cultivos de limonero.

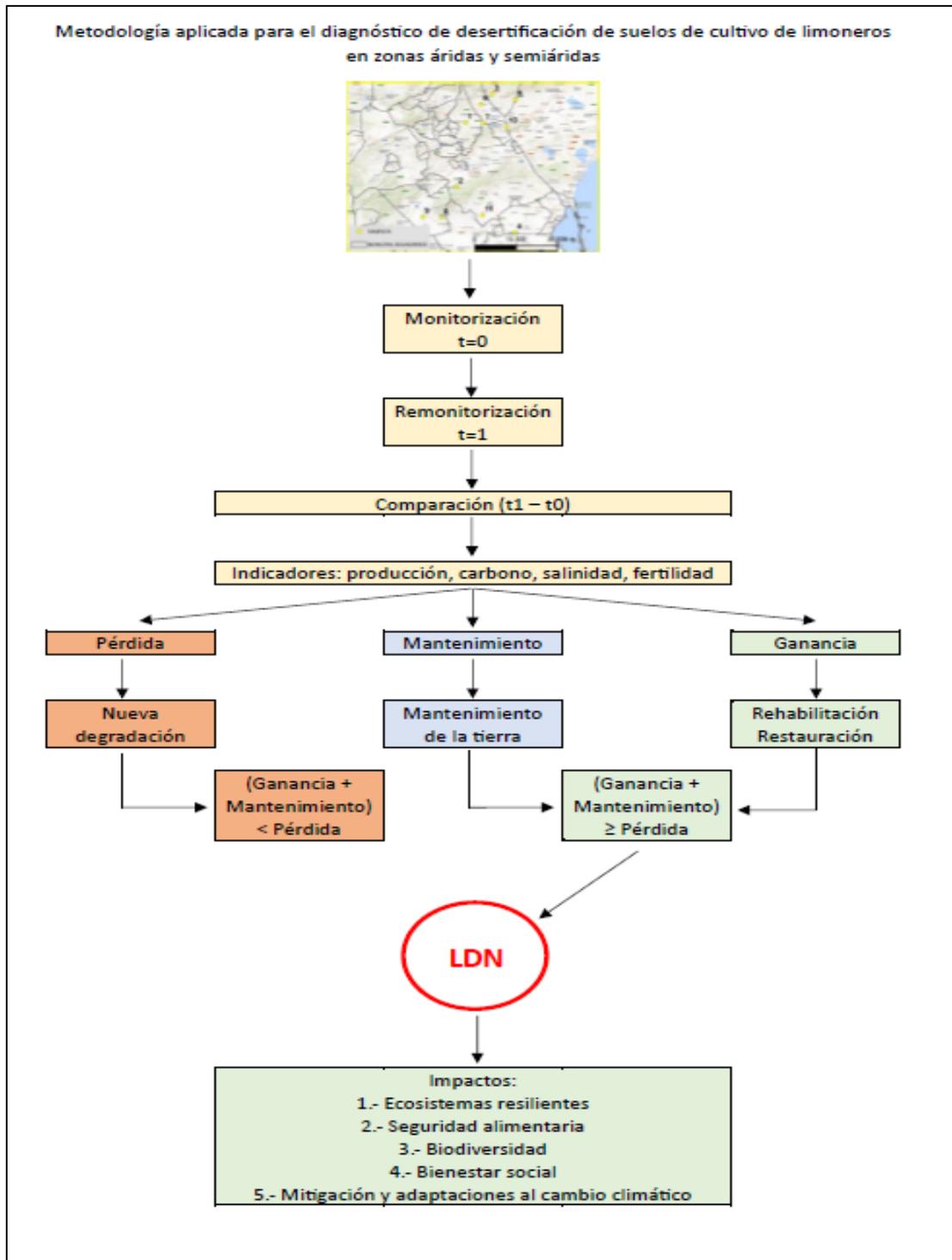


Figura 2.6.1. Metodología seguida para el diagnóstico de la desertificación según la LDN/ODS.

3. RESULTADOS

3. Resultados

3.1. Resultados de características generales y mineralógicas de los suelos en la zona de estudio

3.1.1. Tipos de Suelos

En la zona de estudio los tipos de suelo predominantes son el Xerosol, Fluvisol y Regosol. En la figura 3.1.1 aparecen los puntos de las diferentes explotaciones agrícolas y los tipos de suelos donde se recogieron las muestras. fueron Regosoles que, según la Base de Referencia Mundial (WRB 2014), “son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados que no tienen un horizonte móllico o úmbrico, no son muy someros ni ricos en gravas, arenosos o con materiales flúvicos”, este tipo de suelos están presentes en zonas muy erosionadas de lugares áridos o semiáridos y tienen escaso valor agrícola.

Los Fluvisoles, según la Base de Referencia Mundial (WRB 2014), “suelos genéticamente jóvenes en depósitos fluviales, lacustres o marinos”. Son suelos fáciles de manejar dada su fertilidad natural, debido a las inundaciones que existen en la Región de Murcia, se superponen las diferentes capas de suelo unas sobre otras, siendo las más jóvenes las primeras.

Los Xerosoles, que se caracteriza por ser un suelo de entornos áridos o semiáridos, la vegetación natural son matorrales.

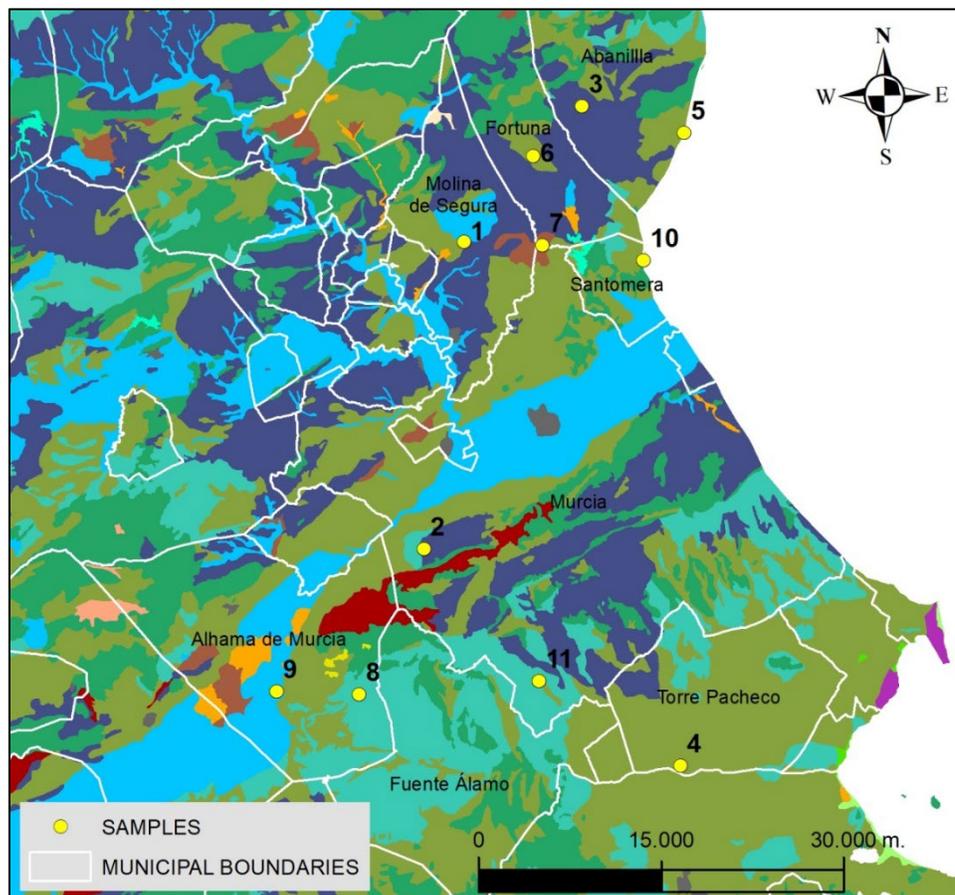


Figura 3.1.1. Mapa de suelos de la zona de estudio de la Región de Murcia.

3.1.2. Características generales

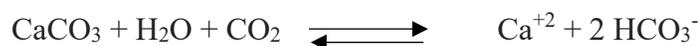
Tal y como se ve en la tabla 3.1.1 de características generales, observamos que los valores de carbono orgánico y nitrógeno son bajos, debido a la climatología de la zona de estudio en donde las altas temperaturas hacen que se degrade muy rápido estos dos parámetros, el carbono oscila de forma general no superando el 1% propio de esta zona de España, solo en

la explotación agrícola ocho se ve claramente que los valores están por encima de la media, ello es debido a que es un cultivo ecológico y ante la limitación de abonado con fertilizantes convencionales, se abona con materia orgánica y productos naturales, también se aprecia una fuerte disminución de carbono y nitrógeno en la explotación agrícola cinco, debido a que fue el comienzo de la plantación y se abonó con materia orgánica, las demás muestras están acorde con los valores de carbono y nitrógeno.

Tabla 3.1.1 *Características generales de los suelos*

Explotación agrícola (EA)	Tipo de suelo	CE (dS/m)	pH	N (%)	C (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CaCO3 total (%)	CaCO3 activo (%)
EA 1,NB	Xerosol calcárico	5,41	8,21	0,08	0,55	40	30	30	49,20	17,14
EA 1,2		5,06	7,86	0,11	1,20	46	26	28	69,47	17,01
EA 1,3		7,12	7,84	0,11	0,62	44	32	24	52,30	16,44
EA 2,NB	Xerosol calcárico	1,30	7,69	0,14	0,20	44	22	34	35,32	12,17
EA 2,2		2,80	7,57	0,07	0,19	40	32	28	34,10	17,96
EA 2,3		2,40	7,31	0,03	0,16	38	26	36	28,56	12,38
EA 3,NB	Regosol calcárico	4,16	8,25	0,09	0,63	14	34	52	51,48	22,79
EA 3,2		16,12	8,10	0,14	1,06	18	34	48	37,80	22,90
EA 3,3		8,45	7,54	0,12	0,76	16	26	58	45,90	23,10
EA 4,NB	Xerosol calcárico	2,17	7,57	0,07	0,47	20	32	48	46,37	24,01
EA 4,2		1,61	6,97	0,12	0,99	18	32	50	36,60	18,84
EA 4,3		0,52	7,95	0,04	0,67	16	32	52	53,70	17,87
EA 5,NB	Xerosol calcárico	1,26	7,28	0,29	3,21	46	20	34	49,44	18,22
EA 5,2		2,01	7,24	0,04	0,64	42	30	28	46,80	12,30
EA 5,3		5,67	7,65	0,13	1,16	40	30	30	56,10	18,57
EA 6,NB	Xerosol calcárico	0,96	7,74	0,06	0,38	32	30	38	51,83	15,00
EA 6,2		4,72	7,69	0,06	0,67	36	36	28	53,40	12,50
EA 6,3		4,46	7,44	0,10	0,49	34	24	42	37,31	15,29
EA 7,NB	Xerosol gipsico	6,12	8,25	0,08	0,81	48	50	2	20,72	16,68
EA 7,2		8,27	8,13	0,11	0,84	46	46	8	14,71	4,36
EA 7,3		7,74	7,57	0,10	0,74	44	52	4	25,85	10,74
EA 8,NB	Xerosol calcárico	3,78	7,58	0,14	1,58	48	38	14	63,90	18,30
EA 8,2		4,36	7,72	0,12	1,17	44	40	16	58,20	22,10
EA 8,3		1,26	7,64	0,21	2,40	44	36	20	50,90	17,16
EA 9,NB	Fluvisol calcárico	1,93	8,20	0,11	0,82	22	44	34	40,63	16,29
EA 9,2		2,17	8,04	0,10	0,91	30	48	22	41,83	10,29
EA 9,3		4,22	8,04	0,07	0,49	24	44	32	42,60	17,10
EA 10,NB	Xerosol calcárico	1,72	7,57	0,17	1,53	56	22	22	71,77	12,19
EA 10,2		1,65	7,61	0,11	1,02	52	22	24	63,50	15,62
EA 10,3		0,92	7,76	0,08	0,92	50	22	28	68,20	21,90
EA 11,NB	Xerosol calcárico	1,92	7,53	0,09	0,96	36	26	38	35,66	14,20
EA 11,2		1,90	7,58	0,12	1,03	46	20	34	34,20	15,20
EA 11,3		6,10	7,66	0,09	0,57	44	32	24	23,40	9,90

Como muestran los datos de la tabla 3.1.1. el contenido en carbonato cálcico es muy elevado, forma parte del perfil del suelo en esta zona de España, pudiendo estar formando nódulos, o también en forma de costras, lo que nos daría un horizonte petrocálcico. El carbonato cálcico se disuelve mediante reacción con el agua y el dióxido de carbono que hay disuelto en el agua mediante la reacción química siguiente:



Aunque el carbonato cálcico presenta beneficios sobre los microorganismos del suelo, también tienen efectos negativos ya que tiende a disminuir la producción de los cultivos mediante el bloqueo de elementos esenciales, sobre todo los micronutrientes como el hierro y, en menor medida, produce también el antagonismo con el cobre, cinc y manganeso.

La textura vemos que es por norma general arcillosa o franca, salvo la muestra siete que debido a la zona donde se encuentra queda enmarcada en un Xerosol gípsico y el contenido en arcilla es muy bajo.

3.1.3. Composición mineralógica de los suelos

En cuanto a la mineralogía de los suelos, (tabla 3.1.2.) cualitativamente son muy similares, y cuantitativamente hay bastantes diferencias. En general, el mineral mayoritario es la calcita, seguida de illita, yeso y dolomita. En menor proporción de trazas aparecen el cuarzo, clinocloro y solamente en la EA.11, la caolinita. Todo ello está de acuerdo con su contenido en carbonatos total y activo, y con su pH.

Tabla 3.1.2. *Mineralogía de los suelos*

	Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Illita	Cinocloro	Caolinita
EA.1	4	46	30	16	4	0	0
EA.2	3	32	38	16	11	0	0
EA.3	7	35	13	16	27	2	0
EA.4	12	30	0	5	47	6	0
EA.5	8	60	0	9	22	1	0
EA.6	4	32	11	29	22	2	0
EA.7	4	4	37	46	8	1	0
EA.8	5	69	0	5	19	2	0
EA.9	4	43	28	4	18	3	0
EA.10	6	82	0	1	9	2	0
EA.11	18	33	2	7	36	1	3

Los Xerosoles cálcicos son los más numerosos, en ellos, la calcita presenta una gran amplitud de concentración, con un intervalo mínimo de 30% en EA.4 y un máximo de 82% en EA.10.

La illita oscila entre el 4% y el 47% en EA.4. En cuanto al yeso, la explotación EA.2 es la que presenta mayor concentración con un 38%, mientras que la EA.4, EA.5 EA.8 y EA.10, no contienen. La explotación EA.6 es la que más dolomita tiene, 46%, y la EA.10 la que solamente son trazas. El cuarzo como corresponde a suelos procedentes de margas, calizas o dolomías, está a nivel de trazas, excepto en la EA. 4 y EA. 11 que está en proporciones escasas. Caolinita solo está presente en trazas en la EA. 11.

En los Regosoles de la EA.3, suelo de margas, calcita e illita son mayoritarios.

En los Xerosoles gípsicos son mayoritarios la dolomita y el yeso.

En cuanto a la mineralogía de los Fluvisoles, calcita y yeso son los mayoritarios seguidos de illita.

3.1.4. Resultados de carbono en el suelo

3.1.4.1. El carbono en el suelo

Las formas de carbono en el suelo son orgánica e inorgánica.

La forma inorgánica de carbono en el suelo es un componente muy importante de los suelos de climas áridos y semiáridos, (Lal, 2008) y se da en forma de carbonatos mayoritariamente.

El carbono inorgánico del suelo se puede formar de dos formas:

- i) Por la erosión del material original, se denominan carbonatos primarios
- ii) Por la reacción del CO_2 con Ca^{+2} y Mg^{+2} que están en el suelo y el agua, se denominan carbonatos secundarios y su formación se basa en los diferentes mecanismos, según Marion, (Marion et al., 1985) dedujeron que este tipo de carbonatos se forma por el CO_2 en la capa del suelo más superficial y tras esto un desplazamiento y precipitación con Ca^{+2} y Mg^{+2} en los horizontes profundos. Un segundo mecanismo fue propuesto por Sobecki, (Sobecki et al., 1983) donde se produce una ascensión por capilaridad de Ca^{+2} de agua a poca profundidad y su posterior precipitación en horizontes superficiales.

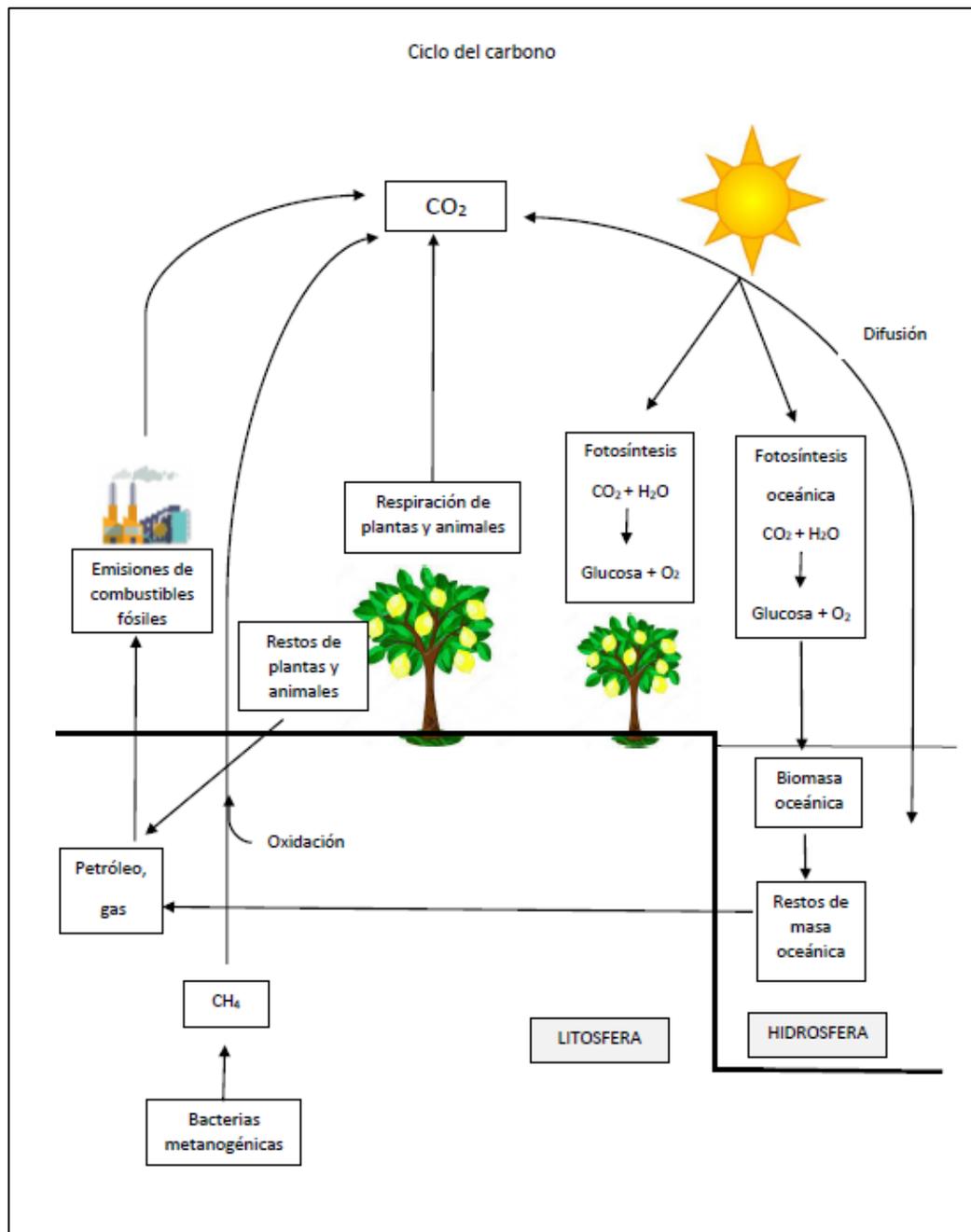
Este tipo de carbonatos son formados en condiciones de pH del suelo entre 7.3 y 8.5 (Lal, 2008).

El carbono orgánico del suelo es uno de los componentes más importantes del suelo, con muchos efectos beneficiosos, ya sea física, química y biológicamente, produce la retención de agua en el suelo, y la protección frente a la compactación y la erosión (Wenzel et al., 2022), junto con el nitrógeno total son componentes clave para evaluar las principales características de los suelos como son la producción, fertilidad y calidad. Los suelos son los mayores almacenes de carbono orgánico sobre la Tierra con un total de 1.408 Pg/C en el primer metro y de 2.060 Pg/C en los dos primeros metros (Luca et al., 2022), solo por detrás de los océanos. Los suelos aplacan el calentamiento y cambio climático del planeta mediante el almacenamiento de carbono (Cotrufo et al, 2019; Zhang et al., 2023)

El ciclo del carbono, figura 3.1.2, se puede resumir básicamente como un proceso mediante el cual el carbono de la atmósfera pasa a la tierra o al océano, para luego volver a aparecer

en la atmosfera. El ciclo comienza con la respiración tanto animal como vegetal, produciendo la emisión de dióxido de carbono a la atmosfera, también se produce dióxido de carbono por la combustión de energía de origen fósil, por parte del hombre y, por la acción de las bacterias metanogénicas, que producen metano, que se oxida y da como resultado dióxido de carbono (Rumpel et al, 2011). En los océanos se produce el fenómeno de difusión por el cual se produce el intercambio de gases de la atmosfera al agua, el agua en contacto con la zona baja de la atmosfera absorbe parte del dióxido de carbono emitido. Por medio de la fotosíntesis tanto en el océano como en la superficie terrestre, parte del carbono se queda en los mares y en la tierra, en forma de carbohidratos y se produce la liberación de oxígeno a la atmosfera colocando el carbono en el suelo o en el lecho de los mares, cuando las plantas y animales mueren, con el paso de los siglos se convierte en energías fósiles, como el petróleo y el gas, que tras la extracción por parte del hombre de este tipo de energía y tras su combustión, produce dióxido de carbono, que es emitido de nuevo a la atmosfera.

Más de la mitad del carbono orgánico del suelo está situado por debajo de los 0,3 m de profundidad (Gentile et al., 2021), el carbono orgánico del suelo no es un material uniforme, consta de una parte que es más frágil y otra de descomposición más lenta, la parte frágil es de mineralización rápida y de permanencia relativamente corta en el suelo, como son los restos de plantas y microorganismos del suelo, y las de descomposición más lenta se encuentran las sustancias húmicas, que son sustancias más complejas debido a su estructura molecular (Burbano-Orjuela, 2018)



El carbono orgánico del suelo juega un papel clave en la mitigación del cambio climático, y aumento de temperatura global (Zhang et al., 2023) debido a que el carbono de la atmósfera es llevado al suelo por procesos químicos, físicos y microbiológicos.

Para hacer frente a esta elevada concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, se pretende hacer una captura de dióxido de carbono atmosférico y colocarlo en el suelo en forma de carbono orgánico. Para ello lo mejor es retirar el dióxido de carbono de la atmósfera y ponerlo en el suelo ya que ejerce como sumidero o secuestro de carbono, y se define como: “proceso mediante el cual el carbono se fija desde la atmósfera a través de plantas o residuos orgánicos y se almacenan en el suelo” (FAO 2017). El secuestro de carbono es sencillo ya que se tiene lo esencial, que son las cubiertas vegetales, ya sean forestales o tierras de labor, porque los suelos de labor o cultivados reducen la erosión y aumentan el secuestro de carbono (Nath, et al., 2016). En la práctica, el dióxido de carbono de la atmósfera es retirado por mediación de las plantas por el proceso de la fotosíntesis, donde consumen dióxido de carbono y agua para producir carbohidratos y oxígeno, reacción química catalizada por la luz solar y, mediante la caída de hojas, ramas y demás partes de la planta al suelo y, por la acción microbiana, se produce una descomposición de las diferentes partes de la planta para incorporarse al suelo en forma de carbono orgánico. También encontramos una importante reserva de carbono en el suelo de naturaleza inorgánica, principalmente en forma de calcita y dolomita, cuya estimación es de 1.738 Pg. y puede durar hasta 10.000 veces más tiempo que el carbono orgánico (Stanbery et al., 2023)

También existen salidas de carbono a la atmósfera debido a las actividades humanas, respiración tanto animal como vegetal y a la respiración del suelo, donde se produce un aumento de dióxido de carbono en la atmósfera, esto crea un balance de dióxido de carbono entre la entrada y la salida, mientras las entradas sean superiores a las salidas, es decir, mientras sea positivo el balance, el carbono se mantendrá en el suelo (Burbano-Orjuela, 2018). Se sabe que en las zonas templadas del planeta se da un secuestro positivo de carbono (Burbano-Orjuela, 2018), se produce más fijación de dióxido de carbono que emisión del mismo a la atmósfera.

El carbono orgánico del suelo es importante para la mitigación del cambio climático (Lal, 2004), existe una relación entre el aumento de la concentración de dióxido de carbono y la disminución de la capacidad de los sumideros de dióxido de carbono debido a acciones antropogénicas como la degradación y desertificación de suelos. Los cambios del uso del

suelo producidos en los últimos 200 años han producido la liberación de dióxido de carbono a la atmosfera (Rodríguez Murillo, 2001).

La Unión Europea en su Pacto Verde Europeo, implica a los países miembros de la Unión a adoptar las medidas oportunas para mejorar la calidad y cantidad de bosques en territorio comunitario ya que previenen la erosión del suelo, al captar dióxido de carbono de la atmosfera para después colocarlo en el suelo, estos ecosistemas están sometidos a una presión por parte del hombre, ya que elimina zonas forestales para dárselas a los cultivos, que aunque actúa como sumidero, no capta la misma cantidad de carbono que los suelos boscosos, o bien para cedérsela a la industria, con la consecuencia directa de la perdida de sumideros de carbono.

El carbono orgánico del suelo también es un buen indicador de la calidad del suelo, debido a que aumenta la fertilidad, productividad y gracias a la materia orgánica del suelo también aumenta la capacidad de retención de agua del suelo (Burbano Orjuela, 2018).

El carbono orgánico del suelo es básico en el mundo que, junto con la materia orgánica del suelo, forman la mayor reserva de carbono en el suelo (Midwood et al., 2021). El carbono orgánico del suelo es el proceso por el cual las plantas capturan dióxido de carbono atmosférico y lo depositan en el suelo mediante la caída de hojas, ramas, etc. en forma de materia orgánica del suelo y más tarde es incorporado al suelo en forma de carbono orgánico del suelo. El suelo ejerce un papel fundamental en la descomposición de la materia orgánica del suelo por medio de la biota del mismo, donde se transformará por procesos microbiológicos en proteínas, hidratos de carbono, ácidos orgánicos, etc. Una parte de estos será transformada por procesos biológicos llamados procesos de mineralización, de compuestos orgánicos a formas inorgánicas como NO_3^- , SO_4^{2-} entre otras, y la parte no mineralizada pasa a realizar el proceso de humificación, que consiste en la descomposición de la materia orgánica del suelo para convertirla en humus, mediante reacciones bioquímicas complejas, dando como resultado esqueletos carbonados que forman enlaces con las arcillas y minerales del suelo.

La retención del carbono en el suelo se estabiliza por mecanismos químicos, bioquímicos y microbiológicos (Six et al., 2006), también existe el concepto de saturación de carbono (Six et al., 2002), en donde se predice que hay un máximo de carbono a partir del cual ya no se

puede almacenar más. El secuestro de carbono se da a lo largo de todo el perfil del suelo, pero será mayor en los horizontes superficiales (Trumbore, 2009). El carbono del suelo se encuentra bajo dos formas: carbono inorgánico del suelo, mayoritariamente en forma de carbonatos, y carbono orgánico del suelo, que son los restos de animales y material vegetal que tras su descomposición entran a formar parte del suelo.

La estabilización del carbono orgánico del suelo en el suelo depende de tres caminos:

1.- oclusión del carbono orgánico con los agregados del suelo

2.- interacción y formación de enlaces con las partículas minerales del suelo

3.- la resistencia a la descomposición del carbono orgánico, que viene influenciada por su estructura molecular (Zeng et al., 2021)

También existen emisiones de carbono a la atmósfera debido a las actividades humanas, respiración tanto animal como vegetal y a la respiración del suelo, donde se produce un aumento de dióxido de carbono en la atmósfera, esto crea un balance de dióxido de carbono entre la entrada y la salida, mientras las entradas sean superiores a las salidas, es decir, mientras sea positivo el balance, el carbono se mantendrá en el suelo (Burbano Orjuela, 2018). Se sabe que en las zonas templadas del planeta se da un secuestro positivo de carbono, se produce más fijación de dióxido de carbono que emisión del mismo a la atmósfera. El carbono no es un elemento estático sino dinámico, se mueve de un lugar a otro desde la atmósfera al suelo y al mar (Burbano Orjuela, 2018), convirtiéndose en uno de los ciclos más importantes de la Tierra, el ciclo del carbono

No todos los suelos captan carbono de la atmósfera en la misma cantidad, según su vegetación, los suelos capturarán más o menos carbono en el suelo, (Rodríguez Martín et al., 2016), los suelos forestales los que más carbono orgánico asimilan, seguidos de pastizales y cultivados, lo que está en concordancia con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del MAGRAMA del año 2016. La cantidad de carbono orgánico ha disminuido debido al paso de suelos de origen forestal a suelos de uso agrícola y también debido a la pérdida de suelo por desertización (Lal, R. 2011). A nivel mundial la pérdida de carbono orgánico ha disminuido del orden de 18 – 28 Gt debido a la desertificación (FAO 2009)

Más de la mitad del carbono orgánico del suelo está situado por debajo de los 0.3 m de profundidad (Gentile et al., 2021), el carbono orgánico del suelo no es un material uniforme, consta de una parte que es más frágil y otra de descomposición más lenta, la parte frágil es de mineralización rápida y de permanencia relativamente corta en el suelo, como son los restos de plantas y microorganismos del suelo, y las de descomposición más lenta se encuentran las sustancias húmicas, que son sustancias más complejas debido a su estructura molecular (Burbano Orjuela, 2018) El suelo guarda el carbono orgánico mediante los complejos arcillo húmicos que se forman entre la materia orgánica y los minerales de la arcilla del suelo, los suelos con más arcillas y limo son los que más carbono guardan (Rubio et al, 2021).

La aplicación directa de sustancias orgánicas frescas al suelo puede causar problemas como la fermentación, que puede producir metabolitos fitotóxicos, aumentar la temperatura del suelo, disminuir la concentración de nitrógeno mineral disponible y producir malos olores. Por estas razones es aconsejable tratar los residuos orgánicos antes de añadirlos al suelo mediante algún proceso de estabilización como el compostaje, que es uno de los más eficaces y utilizados. El compostaje es un proceso bio-oxidativo controlado por microorganismos en el que se estabiliza la materia orgánica transformándose en una sustancia similar al humus del suelo. Libre de compuestos fitotóxicos así como de organismos fitopatógenos (Zucconi y de Bertoldi 1987) Por otra parte, la aplicación de residuos orgánicos (tratados o no) puede producir cambios indeseables en el pH del suelo, aumentar su salinidad e introducir elementos y compuestos orgánicos tóxicos en el suelo. Cuando la concentración de estas sustancias contaminantes excede la capacidad de detoxificación del suelo, aparece el fenómeno de contaminación.

Una práctica cada vez más extendida entre los agricultores es la adición de restos de poda al suelo, esto se realiza mediante métodos mecánicos, por la trituración de los restos de ramas, troncos y hojas de los árboles y su inmediata incorporación al suelo, lo cual hace un triple efecto, primero proporciona una fuente de carbono que podría incorporarse al suelo, segundo, como fuente de nutrientes a disposición de las plantas allí presentes y tercero, sirve para evitar la erosión del suelo y aumentar la retención de humedad durante más tiempo, evitando que se pierda agua por evaporación. La forma más usual de disponer los restos de poda en

las explotaciones agrícolas es adicionarlo en las calles, tal y como se observa en la figura 3.2.2

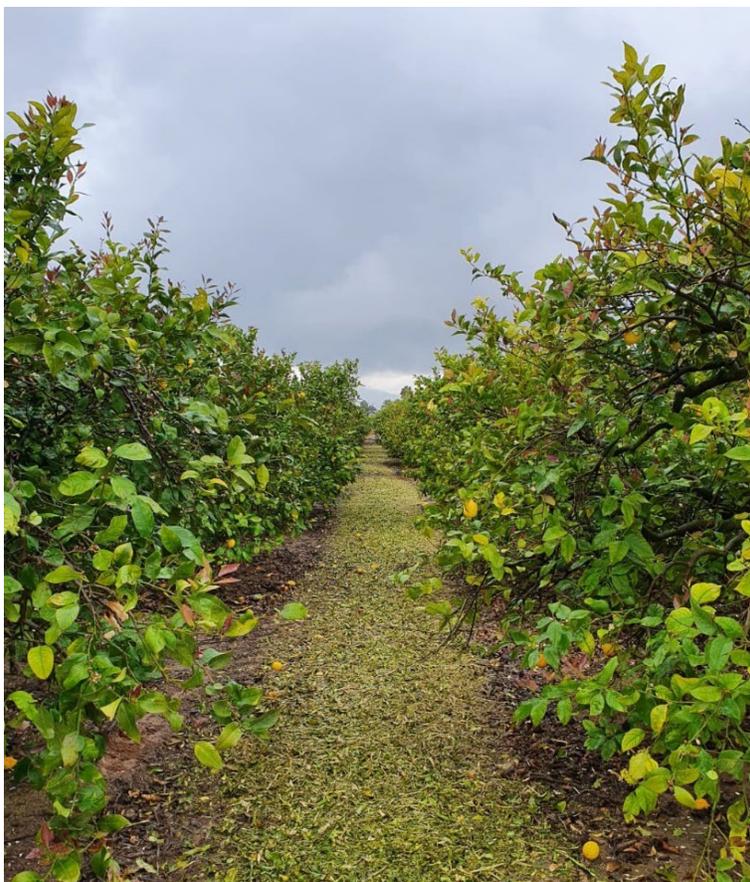


Figura 3.1.3. Adición de restos de poda a los cultivos

La descomposición de los restos de poda está en función de su tamaño, a mayor tamaño más lenta será la descomposición, los agricultores no dejan un tamaño de triturado grande porque sería difícil pasar por las calles para realizar alguna práctica cultural, y los restos son pequeños. La descomposición de estos restos de poda, se da más rápidamente durante el primer año, donde se descompone el 50% de los restos, debido a la acción de los microorganismos del suelo, siendo estos los compuestos solubles y los restos más lábiles, como los polisacáridos y proteínas, entre otros, los restos más tardíos en descomponerse son la celulosa y la lignina (Repullo et al., 2012)

3.1.4.2. Stocks de carbono orgánico en suelos

La agricultura tiene un valor de secuestro de carbono de 1,2 billones de toneladas métricas al año, lo que le hace ser unos de los sumideros de carbono más importantes de la tierra (Kadini et al, 2021) con lo que retira gases de efecto invernadero de la atmosfera, en el planeta los suelos dedicados a la agricultura pueden secuestrar hasta 6.000 Mg CO₂ eq. Año⁻¹ (Ur et al., 2023). Las reservas de carbono en las zonas agrícolas oscilan entre el 8 y el 10% del stock mundial de carbono en el suelo, (Guo et al., 2021; Belle et al, 2022)

En España, la distribución del carbono orgánico del suelo es variable, según la zona del país, se calculó la masa de carbono orgánico del suelo dando como resultado 2,05 Pg. (MAPAMA, 2018). La distribución del carbono orgánico en España es muy heterogénea, figura 3.1.4., dando los mayores niveles de carbono orgánico en el suelo, en el noroeste de la España, mientras que los niveles más bajos se encuentran en el sur y Castilla y León. En la España húmeda, norte y noroeste, oscila sobre los 200 MgC/ha y en la parte contraria, la España seca, sureste, los valores disminuyen drásticamente hasta los 40 MgC/ha. (Rodríguez-Martín et al., 2016).

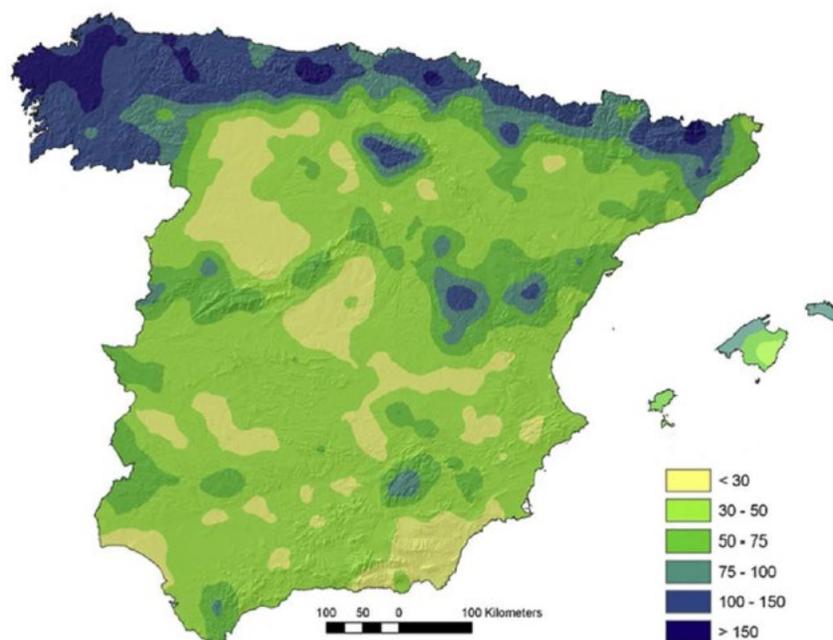


Figura 3.1.4. Concentración del carbono orgánico en España (Mg/ha).

Fuente: Rodríguez Martín et al., 2016

Según el Atlas Europeo del Suelo, figura 3.1.5., el porcentaje de carbono orgánico del suelo en España está distribuido de tal forma que, en la mitad sur y levente, oscila entre el 1 y el 2%, mientras que en la mitad norte los valores superan de forma general el 2%.

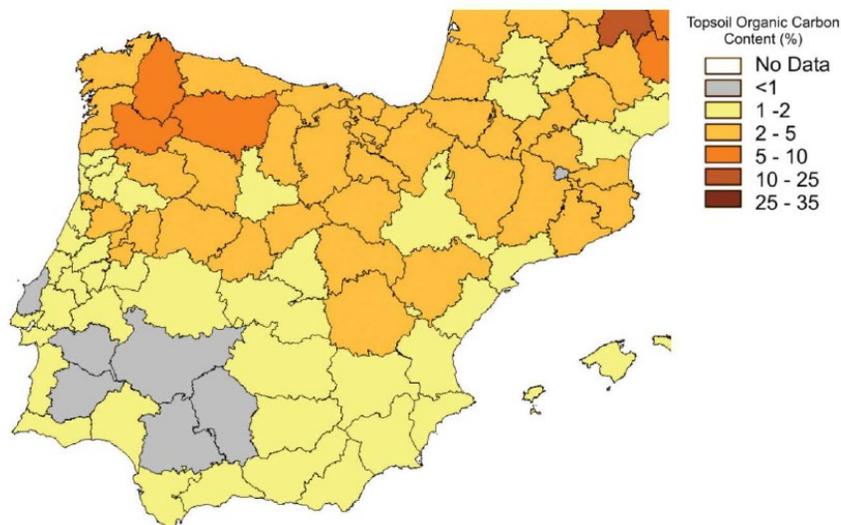


Figura 3.1.5. % COS medio en España. Fuente: Soil Atlas of Europe 2005.

También el uso del suelo influye en la concentración de carbono orgánico, los suelos de labor son los que menos carbono orgánico acumulan seguidos de los pastizales y forestales, que son los que más carbono orgánico acumulan (Rodríguez Martín, et al., 2016), algo en que también coincide el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (MAPAMA 2018), con unos valores de 51,39 MgC/ha para los forestales, 48,73 MgC/ha para los pastizales y 31,48 MgC/ha para los cultivados, tal y como predice Wang et al., 2023, donde los suelos que menos captan son los cultivados

La concentración de carbono orgánico del suelo también varía en función de las condiciones climáticas, son más altos en climas húmedos que en climas secos, tabla 3.1.3, el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (MAPAMA 2018), nos da de unos valores medios de carbono orgánico según la zona climática y el tipo de suelo:

Tabla 3.1.3. *Valores de carbono orgánico (MgC/ha) según el uso de suelo y clima.* Fuente: MAPAMA, 2018

	Atlántico	Mediterráneo	Continental
Bosques	64,21	46,36	50,35
Pastizales	76,94	37,02	45,79
Cultivos	50,28	29,03	33,72

Se puede observar que en las zonas con clima mediterráneo son las que menos acumulan, al ser un clima más seco, en el lado contrario encontramos el clima atlántico, mucho más húmedo, y donde los valores de carbono orgánico del suelo son mucho más elevados.

En cuanto al estado del carbono orgánico en la Región de Murcia, según el Atlas de Suelo de Europa coloca a esta Comunidad Autónoma entre el 1-2%, y según el MAPAMA 2018, estos suelos muestran una cantidad de carbono orgánico en los primeros 0,4 metros de 51,20 MgC/ha de media, y 56,4 TgC en la Región de Murcia, pero si lo desglosamos por tipo de suelo vemos que los suelos cultivados son los que menos carbono contienen, según la tabla 3.1.4:

Tabla 3.1.4. *Concentración y contenido de carbono orgánico, según el uso de suelo (0 a 0,40 m) en la Región de Murcia Fuente: MAPAMA, 2018.*

	Concentración COS (Mg C/ha)	Contenido COS (Tg)
Bosques	72,9	21,6
Matorrales	54,3	10,3
Cultivos	39,9	24,5

En la figura 3.1.5. está cartografiado el carbono de la Región de Murcia en g/kg en base a los proyectos LUCDEME, DESERNET I y II, en g/kg

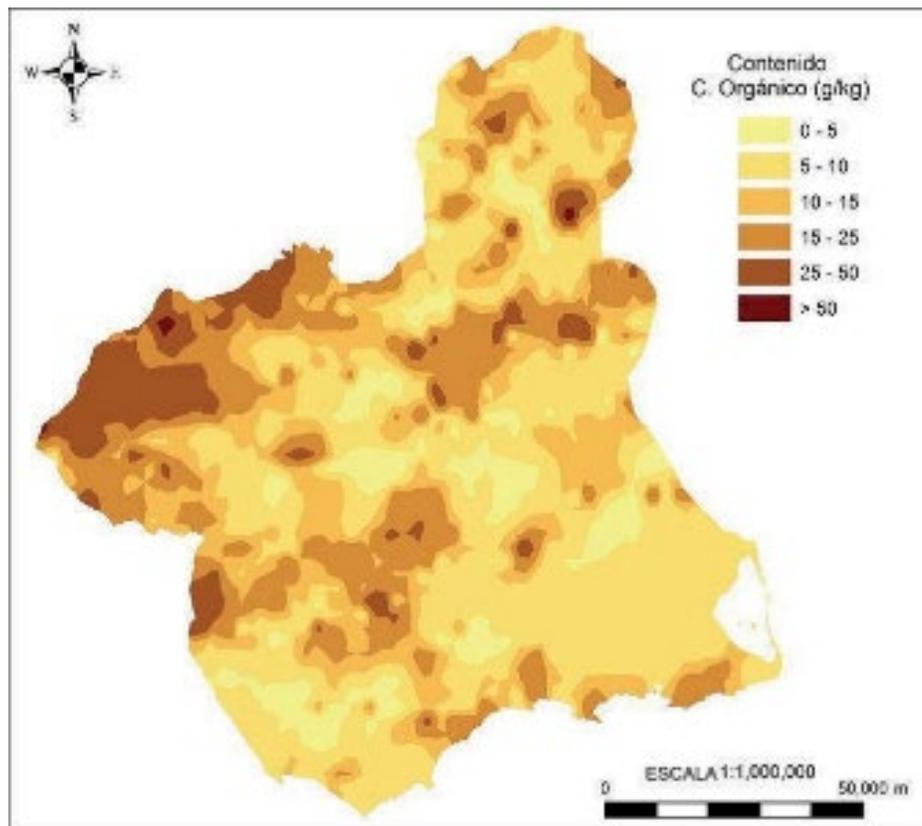


Figura 3.1.5. Carbono orgánico en suelos de Murcia en g/kg. Autora del gráfico, M.C. Gómez. Grupo Contaminación de suelos Universidad de Murcia.

Los niveles de fondo del stock de carbono de la Región de Murcia tC/ha aparecen en la cartografía de la figura 3.1.6, por tipo de suelo. El nivel de fondo de carbono de la Región es de 23,12 t/ha (tabla 3.2.3) (Martínez López et al, 2016)

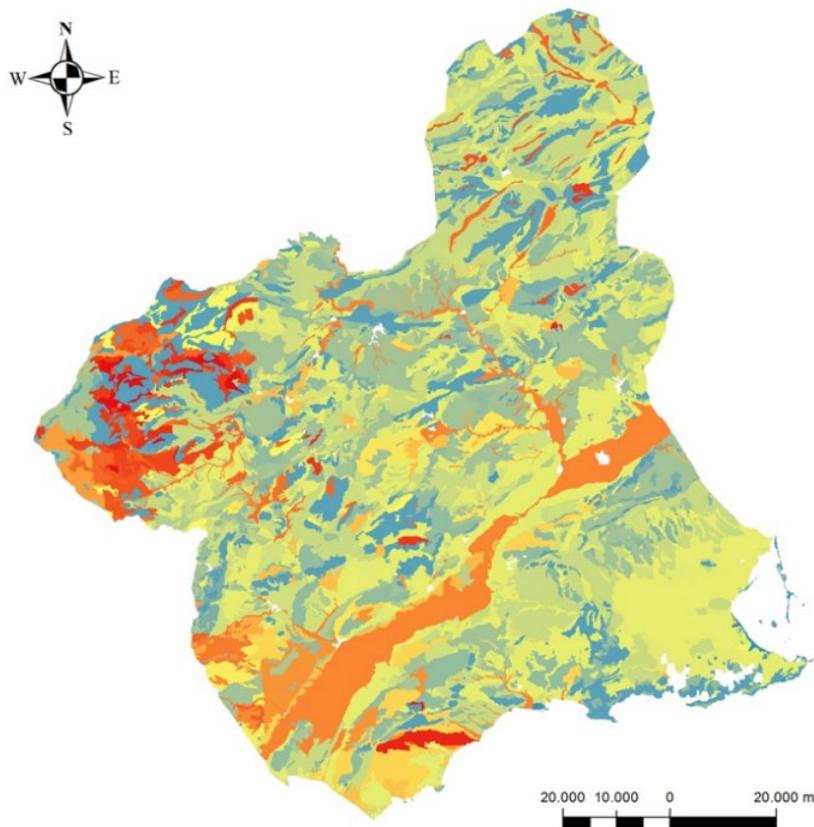


Figura 3.1.6. Niveles estadísticos de los niveles de fondo (mediana) del Stock de carbono en tC/ha en los suelos de Murcia. (Martínez López et al, 2016)

En la tabla 3.1.5, se dan los datos estadísticos de los niveles de fondo de los suelos de Murcia (Martínez López et al, 2016).

Tabla 3.1.5. *Datos estadísticos de los niveles de fondo de carbono de los suelos de Murcia*

Datos estadísticos de las muestras (tC/ha)	
P25	13.11
P50	23.12
P75	42.06
P90	69.06
Mínimo	0.23
Máximo	133.90
Media	31.6
Mediana	23.11
Moda	19.38

En la tabla 3.1.6, se resumen los niveles de fondo de los tipos de suelos de la Región de Murcia representados en este estudio

Tabla 3.1.6. *Niveles de fondo de los tipos de suelos estudiados.*

REGIÓN DE MURCIA		
SUELO	NIVEL DE FONDO	
	(tC/ha)	(tCO ₂ /ha)
Fluvisol calcárico	26,67	97,87
Regosol calcárico	19,53	71,69
Xerosol calcárico	21,18	77,75
Xerosol gípsico	19,88	72,96

3.1.4.3. Stock de carbono en los suelos agrícolas de limonero de las áreas de estudio

Los valores del contenido de carbono en el suelo hasta una profundidad de 0,25 metros están recogidos en la figura 3.4.1. Las cantidades de carbono no son estáticas sino dinámicas, varían a lo largo del tiempo

El estado de carbono en el suelo, tomamos como línea base la primera toma de muestra de las once explotaciones agrícolas seleccionadas en el año 2009. Tomaremos como valor “normal” la mediana publicada por Rodríguez Martín et al, 2009, (Rodríguez Martín, et al.,

2009) donde le asigna al cultivo de los cítricos un valor de 2% de materia orgánica lo que supone aproximadamente un 1.17% de carbono.

Atendiendo a la gráfica de las figuras 3.1.8 , la tabla de valores 3.1.7, se puede observar que, de todas las muestras analizadas, solo cinco de ellas han dado resultados mayores a la mediana, pero en el año 2017, en la última toma de muestras, solo existía una explotación agrícola que superase la mediana, la numero ocho, que además es la única explotación bajo cultivo ecológico.

En el segundo muestreo correspondientes al año 2013, figura 3.1.7, se puede observar un aumento del contenido en carbono en siete de las once explotaciones agrícolas estudiadas, lo que representa un 68%, de estas explotaciones, solo una se situó por encima del valor de la mediana 1.17% de carbono en la explotación que corresponde a la muestra uno. Las explotaciones agrícolas EA.2, EA.5, EA.8 y EA.10 se aprecia una disminución del contenido de carbono, el descenso más significativo es el de la EA.5, debido a que la plantación se realizó siete meses antes de la toma de muestra y adicionaron materia orgánica para que los árboles no tuviesen problemas en sus primeras etapas de crecimiento.

En el último muestreo, correspondiente al año 2017, se observa una bajada del carbono en nueve de las once explotaciones agrícolas, solo dos consiguen subidas, en concreto la cinco y ocho, pero solo una explotación consigue estar por encima del 1.17% de carbono, la explotación ocho.

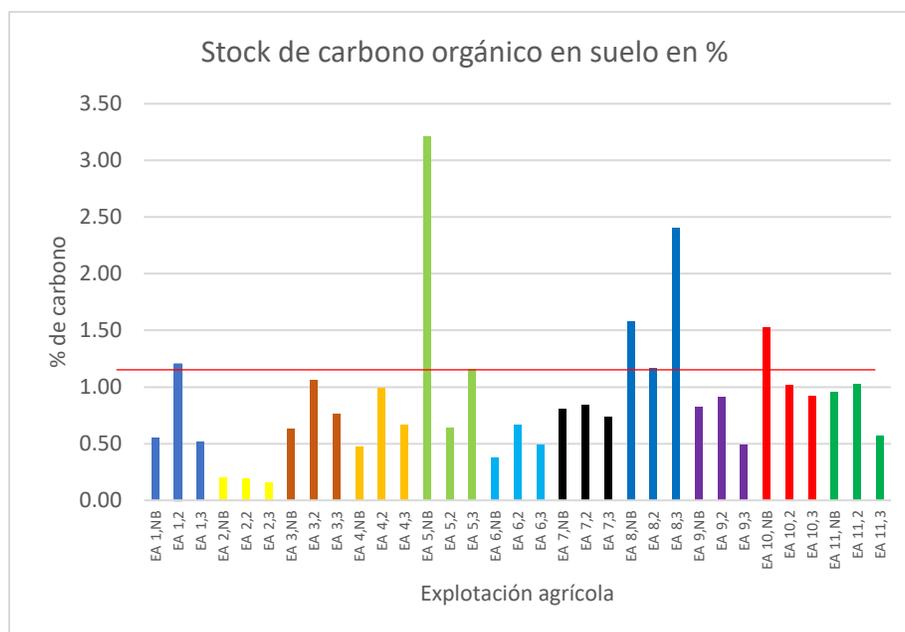


Figura 3.1.7. Stock de carbono orgánico en los años 2009, 2013 y 2017, La línea roja es la mediana publicada por Rodríguez Martín et al, 2009, para el cultivo de los cítricos

Los datos obtenidos pertenecen al carbono del suelo en porcentaje en diferentes tipos de suelos, y con cultivo de limoneros en las diferentes explotaciones agrícolas del estudio realizado. Tras realizar una estadística descriptiva del conjunto, el resultado aparece en la tabla:

Tabla 3.1.8. Estadística descriptiva de carbono orgánico de los suelos de la zona de estudio con cultivo de limoneros

	Estadística del carbono de las explotaciones agrícolas
Mínimo	0,16%
Máximo	3,21%
Mediana	0,81%
Promedio	0,90%
Desviación estándar	0,61%

La mediana de todas las muestras da como resultado un valor de 0.81%, más baja que la de Rodríguez Martín de 1.17%, la media de todas ellas da un valor de 0.90%, con una desviación estándar de 0.61.

Si lo desglosamos por tipo de suelo, tabla 3.1.9, los Xerosoles presentan una mediana de 0.81% igual que la del conjunto, pero en cambio la media está por encima con 0.93%, con una desviación estándar de 0.66. En el muestreo final de las explotaciones agrícolas, los valores que nos dan son que las explotaciones EA.1, EA.2 y EA.6, están por debajo de dicho nivel de fondo, lo que representa un 33.3% de las explotaciones sobre Xerosoles, cinco de ellas superan los valores de referencia, en concreto las explotaciones EA.3, EA.4, EA.5, EA.7, EA.8 y EA.10, lo que supone un 55.5%, y una explotación es igual que el valor de fondo, la número 11.

Tabla 3.1.9. *Estadística descriptiva de carbono orgánico por tipo de suelo de la zona de estudio con cultivo de limoneros*

	Estadística del carbono por tipo de suelo		
	Xerosol	Regosol	Fluvisol
Mínimo	0,16%	0,63%	0,91%
Máximo	3,21%	1,26%	0,49%
Mediana	0,81%	0,76%	0,82%
Promedio	0,93%	0,82%	0,74%
Desviación estándar	0,66%	0,22%	0,22%

El Regosol, correspondiente a la explotación agrícola tres, nos da una mediana de 0.76%, también más baja de 1.18%, la media es más baja que la del conjunto de explotaciones agrícolas, de 0.82% y la desviación estándar es de 0.22

En el Fluvisol, EA.9, los datos estadísticos obtenidos como la mediana, está en 0.82%, la media nos da un valor que es el más bajo de todos con 0.74%, y la desviación estándar es de 0.22.

Destaquemos la explotación ocho, que al estar en producción ecológica y no haber aplicaciones fitosanitarias, los restos de hierba y plantas que crecen más rápido y la poda se hace menos espaciada en el tiempo, los restos son adicionados al suelo de manera más regular y pasan a formar parte de él, los contenidos son los más altos de todos, el promedio de todos los muestreos es de 0.90% pero en la explotación agrícola ocho, los valores son muy superiores, del 2.40%.

Pese a que a los suelos se le aplican prácticas culturales que, entre otras, es adicionar los restos de poda y frutos caídos de los árboles al suelo, la incorporación de materia orgánica al suelo se hace lentamente, y dependiendo de las condiciones climatológicas, se degradaran más rápidamente o menos. En la zona de España donde nos encontramos la descomposición del carbono del suelo suele ser muy rápida debido a la escasa pluviometría y a las elevadas temperaturas.

En la tabla 3.1.10 se observan los valores de arena, limo y arcilla, así como los valores de densidad aparente de las muestras de los 3 muestreos.

Tabla 3.1.10. *Composición granulométrica y densidad aparente de las muestras*

	%Arena	%Limo	%Arcilla	Densidad aparente
M1,NB	40	30	30	1,47
M1,2	46	26	28	1,41
M1,3	44	32	24	1,50
M2,NB	44	22	34	1,51
M2,2	40	32	28	1,52
M2,3	38	26	36	1,50
M3,NB	14	34	52	1,38
M3,2	18	34	48	1,34
M3,3	16	26	58	1,35
M4,NB	20	32	48	1,41
M4,2	18	32	50	1,34
M4,3	16	32	52	1,37
M5,NB	46	20	34	1,15
M5,2	42	30	28	1,47
M5,3	40	30	30	1,40
M6,NB	32	30	38	1,46
M6,2	36	36	28	1,46
M6,3	34	24	42	1,44
M7,NB	48	50	2	1,51
M7,2	46	46	8	1,49
M7,3	44	52	4	1,51
M8,NB	48	38	14	1,39
M8,2	44	40	16	1,43
M8,3	44	36	20	1,28
M9,NB	22	44	34	1,40
M9,2	30	48	22	1,43
M9,3	24	44	32	1,45
M10,NB	56	22	22	1,39
M10,2	52	22	24	1,45
M10,3	50	22	28	1,45
M11,NB	36	26	38	1,40
M11,2	46	20	34	1,41
M11,3	44	32	24	1,49

Los valores de carbono orgánico del suelo COS en tC/ha y de CO₂ se muestran en la tabla 3.1.11, así como los valores de fondo de suelos del mismo tipo de la Región de Murcia.

Tabla 3.1.11. *Stock de carbono y de CO₂ en suelos*

Explotación agrícola (EA)	Stck de carbono tC/ha	Stock CO ₂ tCO ₂ /ha	Nivel de fondo por tipo de suelo		
			Carbono tC/ha	Dióxido de carbono tCO ₂ /ha	Tipo de suelo
EA 1,NB	20,25	66,88	21,19	77,56	Xerosol calcárico
EA 1,2	42,20	139,39			
EA 1,3	19,44	64,21			
EA 2,NB	7,56	27,20	21,19	77,56	Xerosol calcárico
EA 2,2	7,22	25,98			
EA 2,3	6,02	21,64			
EA 3,NB	21,66	77,91	19,54	71,70	Regosol calcárico
EA 3,2	35,45	127,50			
EA 3,3	25,64	92,21			
EA 4,NB	16,60	59,70	21,19	77,56	Xerosol calcárico
EA 4,2	33,21	119,45			
EA 4,3	23,01	82,75			
EA 5,NB	92,17	202,95	21,19	77,56	Xerosol calcárico
EA 5,2	23,50	51,76			
EA 5,3	40,55	89,29			
EA 6,NB	13,90	45,93	21,19	77,56	Xerosol calcárico
EA 6,2	24,39	80,57			
EA 6,3	17,69	58,45			
EA 7,NB	30,67	56,28	19,88	72,97	Xerosol gipsico
EA 7,2	31,39	57,59			
EA 7,3	27,98	51,35			
EA 8,NB	55,07	121,27	21,19	77,56	Xerosol calcárico
EA 8,2	41,94	92,35			
EA 8,3	76,50	168,46			
EA 9,NB	28,78	103,51	26,67	97,88	Fluvisol calcárico
EA 9,2	32,56	117,11			
EA 9,3	17,78	63,95			
EA 10,NB	53,35	39,16	21,19	77,56	Xerosol calcárico
EA 10,2	36,88	27,07			
EA 10,3	33,28	24,43			
EA 11,NB	33,58	117,06	21,19	77,56	Xerosol calcárico
EA 11,2	36,42	126,97			
EA 11,3	21,22	73,99			

3.2. Resultados Salinización

3.2.1. Salinización

La salinización del suelo es el principal problema de las zonas áridas y semiáridas del planeta, la podemos definir como la acumulación de sales más solubles que el yeso, suficiente para interferir en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas. Este problema es conocido desde el siglo XIX por Hilgard, y en el año 1954 el US Salinity Laboratory ubicado en Riverside, escribieron las bases teóricas y prácticas para el asesoramiento de este tipo de suelos, los cuales limitan el crecimiento de cultivos (FAO and ITPS, 2015). El manejo de este tipo de suelo es vital para el sostenimiento de alimentos en el futuro (Scudiero et al., 2017), y la salinización conduce a la desertificación, lo que lleva consigo a largo plazo el deterioro y abandono de estas tierras (Pérez-Sirvent et al, 2011).

Los suelos salinos es un término amplio donde están los suelos salinos propiamente dichos, suelos sódicos que tienen un elevado contenido en sodio, y suelos alcalinos que poseen un alto pH (Van Beck and Toth 2012). Se estima que la salinización primaria o natural está entorno a los 1.000 Mha, la salinización secundaria, debido al factor humano, está sobre los 77 Mha, de los cuales el 58% está en áreas irrigadas. Se estima que el 20% de todas las áreas irrigadas están afectadas por la salinización, principalmente en áreas de cultivo intensivo de India, Pakistán, China, Irak e Irán y las regiones en riesgo de aumentar la salinización son la cuenca mediterránea, Australia, Asia Central, Medio Oriente y el norte de África, (World Atlas of Desertification 2018). A nivel mundial la salinización de suelos se expande a razón de 2 Mha por año (Akhtar Abbas et al, 2010; Shaygan et al, 2022).

Europa contribuye a éste fenómeno de salinización con 30.7 Mha, o lo que es lo mismo, un 3.3% de la superficie global de suelos sódicos y salinos, dándose principalmente en el área del mar Mediterráneo (Daliakopoulos et al, 2016). El manejo de este tipo de suelo es vital para el sostenimiento de alimentos en el futuro (Scudiero, et al., 2017)

Europa contribuye a este fenómeno con 30.7 Mha o lo que es lo mismo un 3.3% de la superficie global de suelos sódicos y salinos, dándose principalmente en el área del mar Mediterráneo (Daliakopoulos et al, 2016), a nivel mundial la salinización de suelos se expande a razón de 2 Mha por año (Abbas. et al, 2010).

En el sureste de España se encuentra la CARM una de las principales productoras de cítricos a nivel nacional, caracterizada por su escasa pluviometría y elevadas temperaturas, lo que es un factor natural propicio para la salinización, que también se puede deber a los cambios antrópicos en las prácticas culturales, donde se ha pasado a unos cultivos intensivos, que se han regado con aguas de baja calidad, salinizando a veces el suelo, y a la aplicación de fertilizantes para aumentar el rendimiento de los cultivos (Pérez-Sirvent et al, 2003; Stan et al, 2022).

En esta zona se dan las dos clases de salinización,

- la natural o primaria y es el desarrollo de sales mediante procesos naturales, además en las zonas costeras las aguas subterráneas pueden estar infiltradas por agua de mar de elevada salinidad, la cual disminuye su calidad y uso
- la antrópica o secundaria, debido a la acción humana por exceso de fertilizantes y al manejo de aguas salinas de baja calidad y pobre drenaje, y, al tratarse de zonas áridas, lleva a la desertificación del suelo y su posterior abandono (Daliakopoulos et al., 2016).

En esta zona de España se da el fenómeno climatológico conocido como “gota fría” que es un periodo de lluvias extraordinario, en donde en un corto periodo de tiempo se recoge mucha cantidad de agua. Esto nos da una serie de factores negativos y positivos, entre los negativos cabe destacar la erosión del terreno debido a las fuertes lluvias que, junto con la escasa vegetación de algunas zonas y la abundante escorrentía del agua, nos da como resultado un arrastre de la capa arable del suelo, con la consiguiente destrucción del mismo. Otro factor negativo a resaltar son las deficientes canalizaciones que hace que la mayoría del agua se pierda sin aprovecharse en los cultivos. La parte positiva es el lavado de sales de la capa superficial y la escasa recarga de agua subterránea.

Esta región de España está encuadrada en la Confederación Hidrográfica del Segura, que es una cuenca deficitaria en recursos hídricos de 400 Hm³/año, (CHS, 2017) se estima que el 80% de los recursos disponibles de agua están dedicados a la agricultura (Chehbouni et al., 2008; Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena 2015), los agricultores deben usar agua de mala calidad o bien disminuir su contenido en sales mediante la mezcla de agua,

además en verano hay zonas donde no se da la disponibilidad de toda el agua requerida (Pedrero et al., 2015), y el plan de riego necesita ser preciso y optimo (Tapsuwan et al., 2014).

Un indicador es definido según la Agencia Europea del Medio Ambiente como “un valor observado representativo de un fenómeno a estudiar. En general, los indicadores cuantifican la información mediante la agregación de diferentes datos, dando lugar a información sintetizada. En definitiva, los indicadores simplifican la información, ayudando a describir y valorar fenómenos más complejos”.

3.2.2. Resultados .

En la tabla 3.2.1 se resumen las características químicas y fisico químicas de las aguas con las que se riegan las diferentes explotaciones.

Tabla 3.2.1. *Características fisico químicas estadísticas de las aguas utilizadas*

Agua subterránea									
	pH	CE (mS/cm)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	
Promedio	7,87	3,41	722,10	570,42	134,17	85,50	421,52	10,63	
Mediana	8,10	3,60	784,10	390,60	104,10	52,30	496,20	10,40	
Desviación estandar	0,64	1,61	354,75	484,01	186,44	112,37	128,21	2,86	
Agua del trasvase Tajo Segura									
	pH	CE (mS/cm)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	
Promedio	8,30	1,05	125,51	215,11	67,23	40,01	76,91	4,25	
Mediana	8,30	1,05	127,20	214,45	66,70	40,00	77,65	4,45	
Desviación estandar	0,18	0,06	27,81	17,17	4,12	2,14	17,16	0,91	
Agua desalinizada									
	pH	CE (mS/cm)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	B ⁺³ (mg/l)
Promedio	8,63	0,66	158,86	40,89	10,31	5,59	124,96	1,16	0,88
Mediana	8,50	0,67	163,50	41,10	10,20	5,60	124,30	1,17	0,88
Desviación estandar	0,32	0,05	15,42	1,31	0,91	8,83	8,83	0,05	0,02

En cuanto a las características de los suelos de las diferentes explotaciones , en la tabla 3.2.2 se resumen.

La conductividad eléctrica del extracto de saturación, CE, de las muestras es muy variable y dependen del tipo de suelo que nos encontremos en la zona de estudio, y del tipo de agua de riego que utilicen, como norma general la CE ha aumentado debido a que cada vez la calidad del agua es mas mala y se deben hacer procesos de mezcla de agua para conseguir una conductividad aceptable para el cultivo.

Solo hay tres casos donde la CE ha disminuido con respecto al año inicial del experimento, son las explotaciones de Xerosoles EA.4, EA.8 y EA.10, en donde la EA.4 debe su bajada a estar regando con agua procedente de desaladora todos los periodos, con una baja conductividad electrica lo que hace mejorar el suelo y no salinizarlo, la EA.8 ha disminuido tambien por haberla regado con agua desalada durante el ultimo periodo del experimento (2014 a 2017), y la muestra diez es debido ala alta pedregosidad del terreno, en donde el agua percola bien y no existe posibilidad de encharcamiento.

El pH de las muestras son todos básicos entre 7.0 y 8.3, propios de la zona de España caliza donde nos encontramos.

Tabla 3.2.2. *Conductividad del extracto de saturación, pH, iones solubles*

Explotación agrícola (EA)	CE (dS/m)	pH	Cloruro (meq/100 g)	Sulfato (meq/100 g)	Sodio (meq/100 g)	Calcio (meq/100 g)	Magnesio (meq/100 g)
EA 1,NB	5,41	8,21	1,88	16,63	2,43	15,03	3,46
EA 1,2	5,06	7,86	1,77	15,58	1,95	14,58	3,04
EA 1,3	7,12	7,84	3,80	14,19	4,20	9,60	4,05
EA 2,NB	1,30	7,69	0,75	1,86	1,42	10,71	4,55
EA 2,2	2,80	7,57	1,98	17,91	2,15	12,60	3,83
EA 2,3	2,40	7,31	0,21	15,70	0,35	19,50	2,91
EA 3,NB	4,16	8,25	1,12	3,26	3,41	12,18	4,70
EA 3,2	16,12	8,10	6,90	19,54	15,30	13,50	6,40
EA 3,3	8,45	7,54	4,71	4,88	7,40	9,70	3,71
EA 4,NB	2,17	7,57	2,56	1,98	2,37	13,00	4,32
EA 4,2	1,61	6,97	1,01	0,70	2,03	14,10	4,53
EA 4,3	0,52	7,95	0,07	0,12	0,39	12,40	3,84
EA 5,NB	1,26	7,28	0,13	0,35	0,34	13,75	2,86
EA 5,2	2,01	7,24	0,21	4,03	0,36	15,40	2,01
EA 5,3	5,67	7,65	3,57	5,44	1,57	15,50	2,73
EA 6,NB	0,96	7,74	0,42	4,05	2,33	12,93	2,04
EA 6,2	4,72	7,69	0,74	14,30	1,44	12,60	2,65
EA 6,3	4,46	7,44	0,28	13,14	0,77	15,60	2,16
EA 7,NB	6,12	8,25	2,37	18,26	1,90	42,31	1,58
EA 7,2	8,27	8,13	4,79	17,45	8,10	42,20	2,32
EA 7,3	7,74	7,57	1,82	18,03	3,27	50,00	3,12
EA 8,NB	3,78	7,58	1,57	8,37	2,06	15,80	4,90
EA 8,2	4,36	7,72	0,84	15,12	2,22	16,40	5,20
EA 8,3	1,26	7,64	0,57	1,51	1,31	17,00	3,52
EA 9,NB	1,93	8,20	0,17	5,70	0,36	13,80	4,87
EA 9,2	2,17	8,04	0,05	7,79	0,20	15,03	1,63
EA 9,3	4,22	8,04	0,12	12,91	0,69	14,90	3,51
EA 10,NB	1,72	7,57	0,15	1,40	0,41	12,20	3,86
EA 10,2	1,65	7,61	0,11	0,81	0,21	11,27	2,95
EA 10,3	0,92	7,76	0,07	0,23	0,09	10,40	1,38
EA 11,NB	1,92	7,53	1,58	3,61	0,04	10,97	1,40
EA 11,2	1,90	7,58	1,50	4,54	0,03	8,45	0,98
EA 11,3	6,10	7,66	4,58	8,61	2,28	13,70	1,76



Figura 3.2.1. Perfil AE 10, Xerosol cálcico

En cuanto a los aniones y cationes observamos que el suelo posee mucho calcio y magnesio, debido al elevado porcentaje de caliza/dolomía que presenta, el sodio y cloruro aumenta en las muestras donde ha subido la CE o se ha mantenido, mientras que las muestras en donde ha disminuido afectan a las explotaciones 4, 8 y 10, Xerosoles cálcicos, la mejora del suelo se debe a la disminución de estos dos iones, unos por usar agua desalada y otro por tener un terreno pedregoso Figura 3.2.1.

Cabe destacar la EA.3, en donde se producen afloramientos de sales que ascienden por capilaridad, debido al tipo de suelo donde se encuentran plantados, Regosol cálcico muy arcilloso, en este tipo de suelos no son aptos para el cultivo, pero en este caso existe una

plantación de limoneros, con un aporte importante de materia orgánica que mejora los servicios ecosistémicos, en concreto la permeabilidad por aumento de la porosidad del suelo y mejora de la estructura del suelo.

3.3. Fertilidad

3.3.1. Introducción

Los cítricos y en particular el limonero (*Citrus limon L.*), es uno de los cultivos más importantes presentes en la Península Ibérica (García-Sánchez et al., 2007), los primeros datos acerca de la explotación comercial y expansión del cultivo del limón en la Región de Murcia data del siglo XVIII y XIX (Acosta Motos. et al., 2020.), y ha perdurado hasta nuestros días, siendo además de un motor económico para la Región de Murcia, el medio de supervivencia de muchos agricultores pequeños, que en la actualidad están desapareciendo, bien sea por la negativa de sus descendientes a seguir con el trabajo agrario, o bien porque las grandes explotaciones pueden competir mejor ajustando los precios con el consiguiente abaratamiento de la fruta. España es uno de los mayores productores de limón del mundo con una producción de 1.208.159 Tm en la campaña 2019-20. Dentro de este país se encuentra la Región de Murcia, donde están localizadas las mayores plantaciones de limoneros, destinadas a su consumo en fresco, y a sus derivados, como son pectinas, zumo y aceites esenciales. Con una producción de limón del 80% entre la Región de Murcia y la provincia de Alicante (Robles et al. 2017), la mayor concentración de limón se encuentra en la Región de Murcia con un 55% de la producción total de España (AILIMPO 2017). La producción de esta fruta ejerce una influencia para la economía de las zonas de cultivo (Pérez-Pérez et al. 2009), dando actividad laboral a cerca de veinticinco mil personas, tanto directas (cultivo, recolección, manipulado para consumo en fresco, e industria para la obtención de zumo y aceites esenciales entre otros), como indirectas (fábricas de embalaje, transporte a destino, consumo de energía y agua, mantenimiento de plantaciones, abonado y fumigaciones, entre otras) (AILIMPO, 2017)

Éstas plantaciones se encuentran en el sureste de España, con una climatología puramente mediterránea, que básicamente se puede resumir en dos etapas de lluvias, una en primavera y otra en otoño, combinadas con periodos de sequía y ausencia de agua, sobre todo en verano,

debido a estos dos factores hacen que en esta zona de España exista una elevada evapotranspiración, lo que conlleva que presenten problemas de salinidad del suelo y los cultivos sean difíciles de manejar

Las plantaciones están pasando de ser pequeñas y regadas por riego tradicional de inundación o “a manta”, tal y como se ha realizado en la huerta de Murcia durante siglos, a ser explotaciones grandes y regadas por riego localizado o “goteo”, donde se efectúa tanto el riego como la aplicación de fertilizantes, mediante tanques de almacenamiento y uno o varios cabezales de riego, que suelen ser programables para poder controlar mejor el tiempo de fertirrigación. En el caso de riego localizado el sistema radicular del árbol tiene poca profundidad, extendiéndose las raíces a lo largo de la superficie del suelo, debido a que la disponibilidad de agua está sobre la superficie, tal y como se aprecia en la figura 3.3.1.



Figura 3.3.1. Distribución radicular de un limonero regado por riego localizado.

Destacar que el uso de agua agrario supone un 85% del total (MITECO, 2015). El cambio es debido a dos factores fundamentales, el primero por la falta de agua que existe en esta parte de España, ya que la Cuenca del Segura es hidrológicamente deficitaria, demanda más agua de la que aporta, lo que hace que el aprovechamiento del agua deba ser el máximo, como el riego localizado, que hace que toda el agua se incorpore al bulbo, donde se encuentran las raíces, y solo humedezca esta zona, y la segunda es que así se controla que la cantidad de

agua y nutrientes sean la misma para todos en función del número de goteros que necesite cada árbol.

Para poder sacar adelante las cosechas, además de fertilidad natural del suelo, debemos tener en cuenta la fertilización. La fertilización juega un papel fundamental en la producción de alimentos, un fertilizante se define según la FAO (FAO, 2002), como “cualquier mineral natural o industrializado que contenga al menos 5% de uno o más de los tres nutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio)”, los fertilizantes efectúan la reposición antrópica de nutrientes al suelo, permitiendo un equilibrio entre lo consumido por los árboles y lo aportado por el hombre, los fertilizantes permiten poner a disposición de las plantas elementos asimilables, todo ello va a favorecer el crecimiento de plantas y frutos, lo que los hace muy efectivos para poder hacer frente al incesante aumento de la población mundial, que se estima, según la ONU, que para el año 2050 se alcanzaran los 9.700 millones de habitantes en el planeta (United Nations, 2022). Ante este aumento de la población, los fertilizantes son indispensables en la agricultura de hoy en día porque mejoran la productividad de los cultivos (Branco Rodrigues et al., 2015), y también se pueden obtener frutos de más calidad, debido a que la disponibilidad de tierra para el cultivo se estima que disminuya en un 25% hasta 2050, (Labbilta, et al., 2023) si la disponibilidad de nutrientes en el suelo es el adecuado, los cultivos crecerán mejor y se obtendrán mejores rendimientos, pero si la disponibilidad de un elemento es baja, las cosechas no crecerán y los rendimientos bajarán considerablemente.

En condiciones semiáridas, como en la Región de Murcia, el exceso de fertilizante puede movilizarse por lavado ascendente y aflorar en la superficie como sales procedentes de horizontes inferiores, planteando problemas de salinidad e impidiendo el normal desarrollo de los árboles. En el limonero, como en cualquier otra especie vegetal, existen dos grupos de nutrientes esenciales, como son el grupo de los macronutrientes que son el carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y un segundo grupo llamado micronutrientes que son hierro, cobre, cinc, manganeso, boro, molibdeno, níquel y cloro.

Cada elemento nutritivo es importante porque interviene en una fase crítica del desarrollo de las plantas y se absorbe de una determinada forma y en función del pH del suelo, figura 3.3.2,

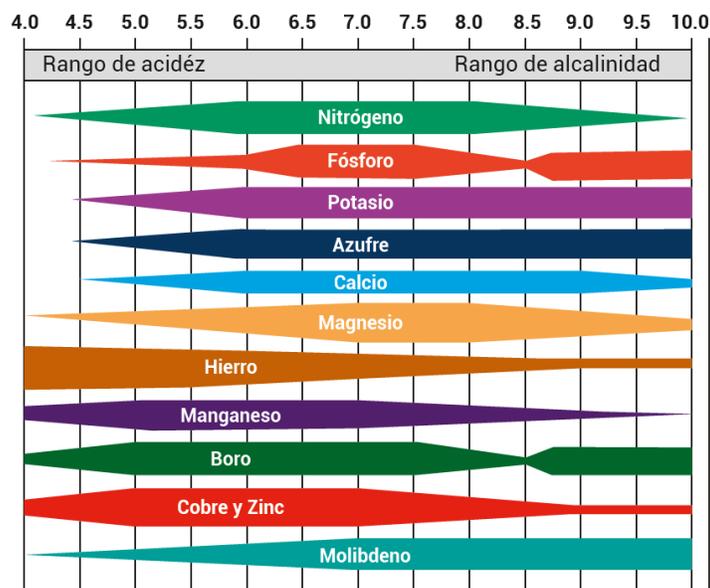


Figura 3.3.2. Disponibilidad de nutrientes por las plantas en función del pH.
Fuente: Castellanos, R. J. Z. (2000).

3.3.2. Nutrientes: macronutrientes y micronutrientes

Los indicadores de fertilidad que se llevaron a cabo en nuestro experimento fueron nitrógeno, fósforo y potasio para los macronutrientes y boro, cinc, cobre, hierro y manganeso para los micronutrientes.

3.3.2.1 Macronutrientes

En el grupo 1 de los macronutrientes tenemos, nitrógeno, fósforo y potasio.

1.-Nitrógeno

El nitrógeno es un macronutriente esencial, forma parte de las proteínas de los seres vivos, su esencialidad en la planta fue dada por J.B. Lawes y J.H. Gilbert en 1847.

El nitrógeno está presente en la atmósfera y en el suelo:

- 1) nitrógeno atmosférico, bajo la forma molecular de N_2 , esta forma es tratada por la microflora del suelo para transformarla en amonio y hacerla asimilable por la planta. También se producen óxidos de nitrógeno que se emiten a la atmósfera a través de fábricas, combustión de motores y la agricultura, y pertenecen a los denominados gases de efecto invernadero.

- 2) nitrógeno en el suelo, donde los restos de animales muertos y plantas producen en su descomposición restos orgánicos nitrogenados que, mediante procesos químicos y bioquímicos, como la amonificación y nitrificación los hacen asimilables para las plantas. También está la adición antrópica al suelo mediante fertilizantes inorgánicos en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). Los microorganismos del suelo pasan el nitrato a nitrógeno molecular, y a óxidos de nitrógeno, que se emiten a la atmósfera. La forma nitrato se puede perder por lavado en épocas de lluvias y acabar en horizontes profundos, o bien ascensión a la superficie en épocas de sequía, formando costras salinas en la superficie del suelo.

En la figura 3.3.3 presentamos el ciclo del nitrógeno en la naturaleza.

El ciclo del nitrógeno es el proceso natural por el cual el nitrógeno en la atmósfera se transforma y se convierte en formas utilizables para los organismos vivos, y luego regresa nuevamente a la atmósfera.

El ciclo del nitrógeno, de forma resumida, consta de cuatro etapas:

- 1) Fijación: en esta etapa, ciertas bacterias fijadoras de nitrógeno, como la *Azotobacter* entre otras, convierten el nitrógeno molecular N_2 de la atmósfera, en compuestos utilizables por los organismos, como el amonio.
- 2) Nitrificación: las bacterias nitrificantes, del género *Nitrobacter*, que convierten el amonio en nitritos y luego en nitratos, que son absorbidos por las plantas y utilizados para su crecimiento y desarrollo.
- 3) Asimilación: en esta etapa, las plantas toman los nitratos del suelo y los utilizan para sintetizar productos como las proteínas y otros compuestos nitrogenados que necesitan para su crecimiento.
- 4) Desnitrificación: existen en el suelo bacterias desnitrificantes, como [*Pseudomonas Fluorescens*](#), que convierten los nitratos presentes en el suelo de nuevo en nitrógeno gaseoso, liberándolo a la atmósfera.

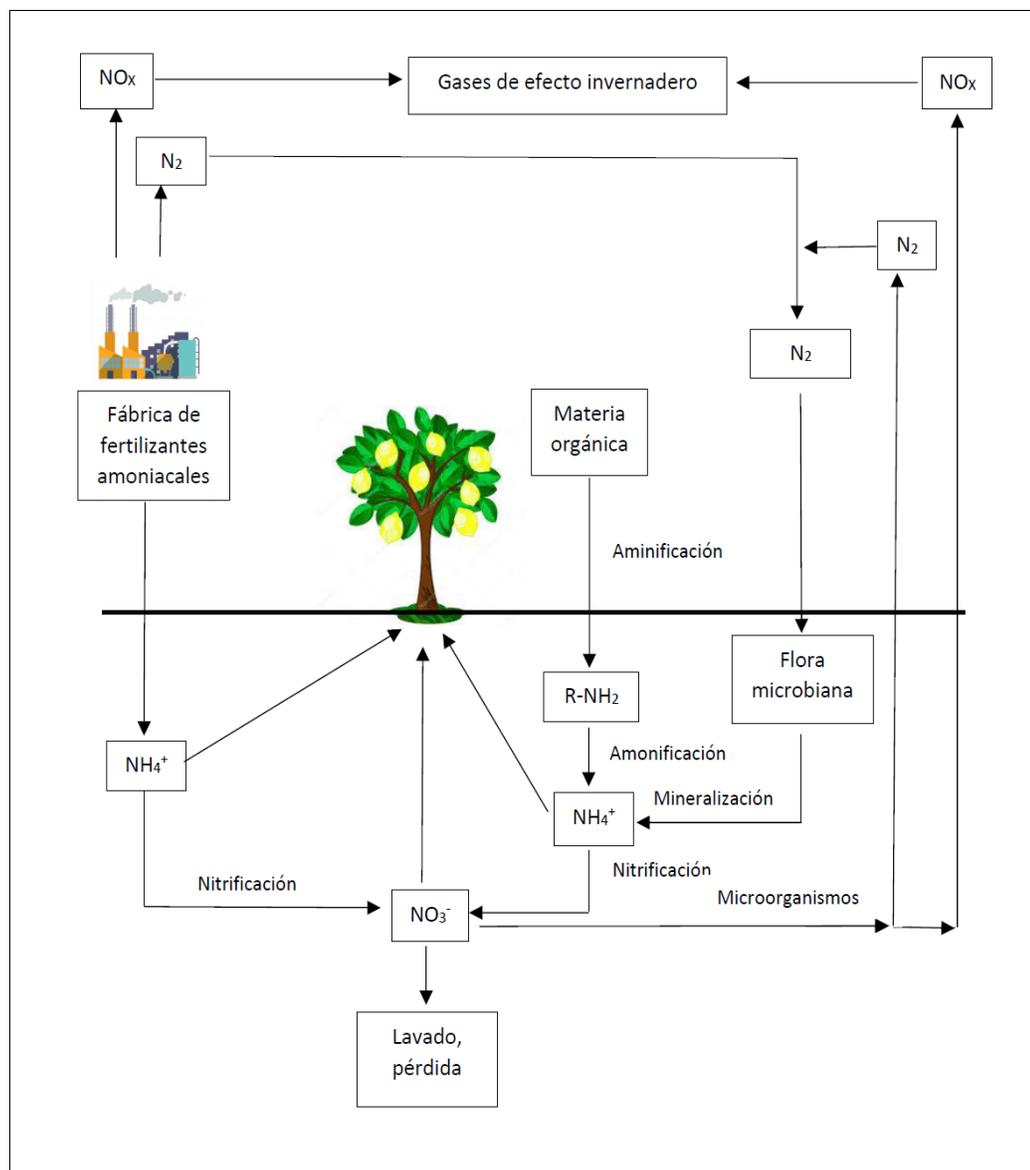


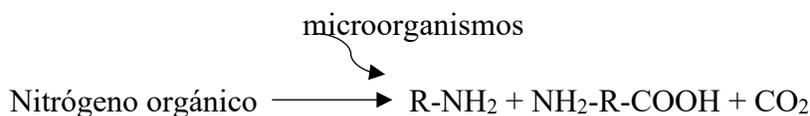
Figura 3.3.3. Ciclo del nitrógeno

Durante estas etapas, también puede producirse la amonificación, donde algunos organismos descomponedores convierten los compuestos nitrogenados presentes en restos orgánicos en amonio.

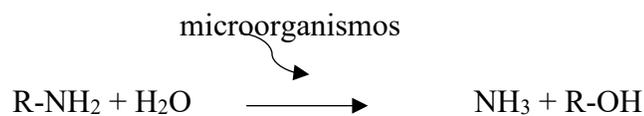
El nitrógeno interviene sobre todo en el crecimiento del árbol, y se encuentra en el suelo bajo dos formas:

a) orgánica, debido a la descomposición del material vegetal por reacciones de aminización y amonificación:

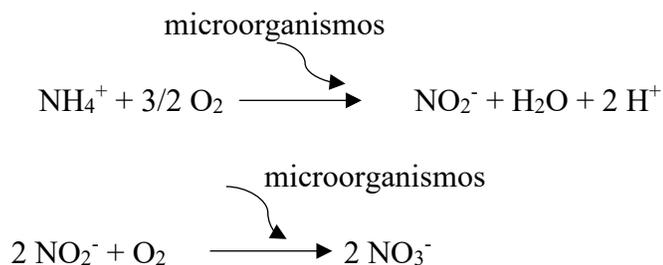
Aminización: ruptura hidrolítica del nitrógeno orgánico para producir la liberación de aminas, aminoácidos y dióxido de carbono, entre otros compuestos.



Amonificación: la liberación de productos de la aminización es usado por otros microorganismos para formar compuestos amoniacaes,



b) inorgánica, está presente bajo la forma de amonio, nitrato y nitrito, por la mineralización de la forma orgánica, mediante el proceso de la nitrificación, que la podemos definir como la oxidación del amoniaco a nitrato, mediante bacterias nitrificantes, el amoniaco puede ser fijado por algunas arcillas como catión de cambio amonio NH_4^+ . La reacción se da en dos etapas



La deficiencia de nitrógeno se presenta en un amarilleamiento de las hojas del árbol y faltas de tamaño, figura 3.3.4, la floración de los cítricos es abundante pero su cuajado es pobre. El

exceso de nitrógeno en los cítricos se ve afectada por un elevado desarrollo vegetativo del árbol, los frutos presentan la corteza gruesa y blanda. El nitrógeno es necesario para el crecimiento vegetativo.



Figura 3.3.4. Deficiencia de nitrógeno en cítricos.

Fuente: cítricas.com (<https://citricas.com/deficiencias-nutricionales-en-citricos-y-sintomas-visuales>)

El nitrato es un fertilizante de acción rápida y los árboles lo absorben rápidamente por el sistema radicular, es muy móvil en el suelo y es desplazado del sistema radicular por lavado o periodos de fuertes lluvias, (CARM, 2006) yendo a parar a las aguas subterráneas, cauces y mar.

La fertilización nitrogenada está siendo muy controlada en la Región de Murcia, debido al Decreto Ley 1/2017 de medidas urgentes para garantizar la sostenibilidad ambiental en el entorno del Mar Menor, debido a la contaminación por nitratos y su posterior vertido a la laguna salada.

2.-Fósforo

La esencialidad de este elemento fue propuesta por Justus von Liebig en el año 1840 y confirmada por Salm Horstmar en 1856.

La mayor parte del fósforo procede de la degradación de la roca madre, como el fosfato bicálcico, CaHPO_4 o el hidroxapatito cálcico, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, entre otros. Se absorbe bajo la forma de H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} . El fósforo está bajo dos formas en el suelo una inorgánica, presente en los minerales de la arcilla y se solubilizan gracias a los ácidos que producen los microorganismos del suelo y los hacen asimilables para las plantas, y otra orgánica, contenida en la materia orgánica, la liberación del fósforo es llevada a cabo por reacciones bioquímicas de los microorganismos del suelo.

El fosforo está presente en el suelo, por la degradación de rocas y minerales de fósforo y, en las minas de compuestos de fósforo para la fabricación de fertilizantes, que pasan al suelo mediante fósforo soluble e insoluble, el fósforo insoluble llega a los ríos y mares donde se convierte de nuevo en materiales de fósforo, y soluble se obtiene mediante la fijación, que pasa a fósforo orgánico y por la mineralización a fósforo soluble, apto para poder utilizarlo las plantas. También se obtiene fósforo mediante restos de plantas que, tras su descomposición, dan fósforo orgánico, que se mineraliza y se convierte en fósforo soluble. Mediante la fertilización orgánica se aplica fósforo soluble, que lo cogen las plantas y fósforo insoluble, que por medio de la solubilización pasa a ser soluble y asimilable por la planta. En la figura 3.3.5 podemos observar el ciclo del fósforo.

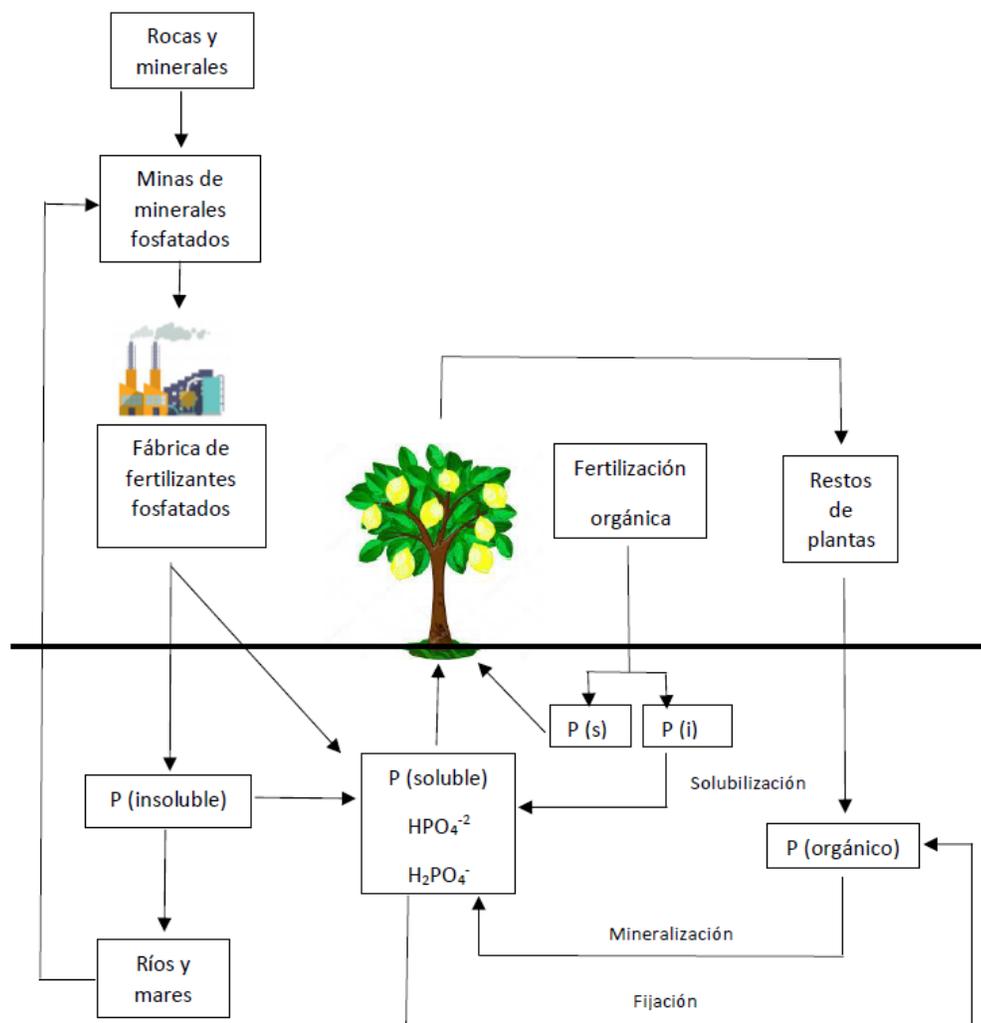


Figura 3.3.5. Ciclo del fósforo

El fósforo interviene en el cuajado de los frutos, en el sistema radicular, en la fotosíntesis y fijación del nitrógeno, entre otras. El defecto del fósforo en los cítricos se produce una escasa brotación de flores, y el exceso produce dificultad para absorber ciertos metales como el cobre.

El enriquecimiento de fósforo es otro factor importante de mitigación de las emisiones de óxidos de nitrógeno del suelo a la atmósfera, lo que reduce la formación de gases de efecto invernadero. Las razones de esta disminución pueden ser por varias teorías, la primera teoría es que la aportación de fósforo mejoraría la absorción de nitrógeno por los vegetales, lo que

produce una menor disponibilidad de nitrógeno para la elaboración de óxidos de nitrógeno, la segunda teoría es que al añadir fósforo se estimula el crecimiento de la microbiota del suelo y la inmovilización del nitrógeno del suelo, también puede alterar los microorganismos del suelo que realizan la desnitrificación y, la última teoría nos dice que la adición de fósforo cambia el estado fisicoquímico del suelo, y eleva el consumo de agua de las plantas, reduciendo la humedad y las emisiones de óxidos de nitrógeno.

3.-Potasio

La esencialidad de este elemento fue reconocida en el año 1856 por Salm Horstmar. Este elemento procede de la degradación de las rocas, y se encuentran como feldespatos potásicos, $\underline{K}(\text{Si}_3\text{Al})_4\text{O}_8$, biotita, $\underline{K}_2(\text{Mg,Fe})_6\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ o moscovita, $\text{K}_2\text{Al}_4(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20})(\text{OH,F})_4$, entre otros. Interviene en la fotosíntesis y en la economía del agua de la planta, y cofactor de reacciones enzimáticas. Se absorbe del suelo como K^+ y, también existe el potasio no intercambiable, que es el que está incrustado en las redes cristalinas de los minerales, como por ejemplo las micas, perteneciente al grupo de los filosilicatos. Su estructura está formada por capas tetraédrica-octaédrica-tetraédrica, tipo 2:1, con potasio en su interior, fijo a la estructura cristalina, y no se intercambia con la solución del suelo, como muestra la figura 3.3.6:

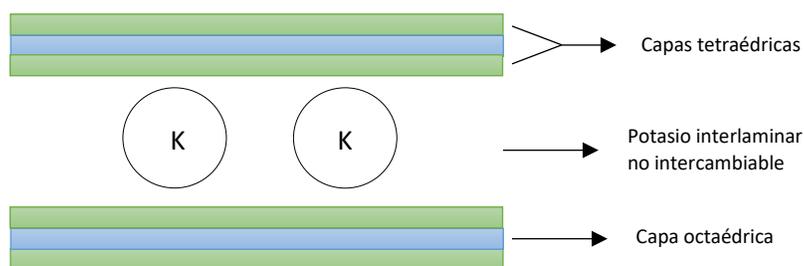


Figura 3.3.6. Disposición interlaminar del potasio

En la figura 3.3.7 podemos ver el ciclo del potasio desde un punto de vista agronómico.

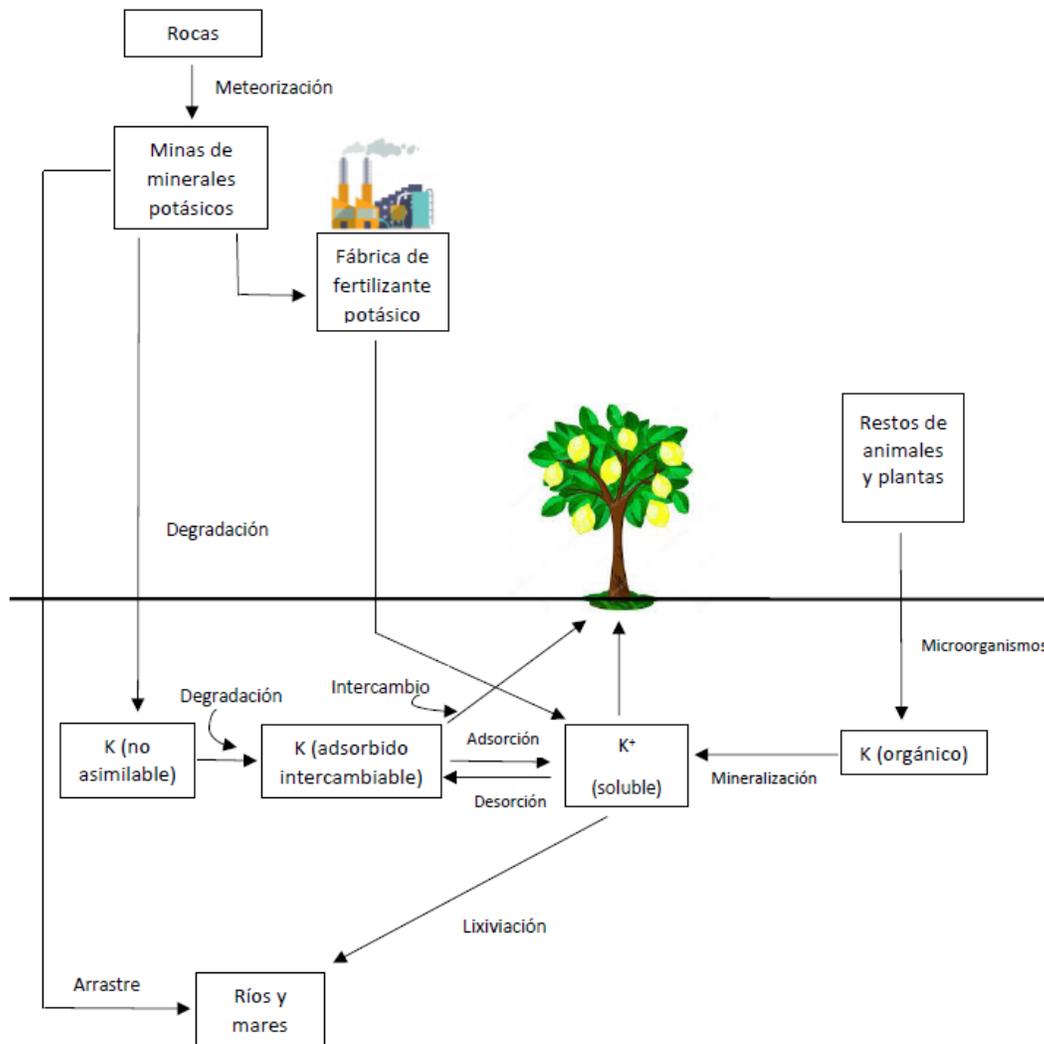


Figura 3.3.7. Ciclo del potasio

El ciclo del potasio comienza con la meteorización de rocas y minerales potásicos que, por degradación, da como resultado el potasio no asimilable y el potasio intercambiable mediante intercambio con la raíz, por adsorción pasa a ser potasio soluble que lo utiliza la planta para su crecimiento y desarrollo, una parte de éste se pierde por lavado, como por ejemplo las lluvias, va a los cauces de los ríos y al mar. A través de las minas potásicas se elaboran los fertilizantes potásicos que los agricultores emplean para abastecer sus explotaciones agrícolas. También existe el potasio orgánico, que son los restos de animales y plantas que

por la acción de los microorganismos del suelo y la posterior mineralización da como resultado potasio soluble asimilable.

Es un elemento muy móvil en la planta y la deficiencia de potasio se aprecian mejor en las hojas viejas, produciendo un enrollamiento, y su exceso está relacionado con la calidad del fruto debido a que se produce una pérdida de calidad, ya que suelen ser de corteza gruesa y escaso zumo.

3.3.2.2 Micronutrientes

En el grupo 2 de los micronutrientes tenemos boro, cinc, cobre, hierro y manganeso.

1.- Boro, es un micronutriente esencial establecido por A.L. Sommer y C.B. Lipman, en el año 1926. El boro presente en el suelo está en determinadas rocas como la turmalina, perteneciente al grupo de los sorosilicatos, es principal mineral de boro, se absorbe en forma de boro trivalente en las diferentes formas de ácido bórico como BO_3^{-3} , BO_3H^{-2} entre otras. La deficiencia se aprecia por un amarilleamiento por los nervios de las hojas, hojas nuevas mal formadas y los frutos pueden adoptar formas irregulares. A un pH elevado se incrementa su absorción, lo que en el cultivo de limoneros se traduce en una toxicidad por boro donde el principal problema es la caída de las hojas del árbol.

2.- Cinc

La esencialidad de este micronutriente fue dada por Sommer y Lipman en 1926 durante sus trabajos realizados en Estados Unidos. El cinc interviene en el crecimiento de la planta, esencial para la síntesis del ácido β indol acético, hormona del crecimiento, entre otras, el cinc en el suelo está presente en minerales como la hemimorfita, $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, blenda, ZnS , o cincita, ZnO , entre otros. Interviene en reacciones bioquímicas de las plantas y se absorbe según su forma divalente Zn^{+2} . A pH elevados la absorción disminuye. Su deficiencia produce la “foliocolosis” se aprecia por el amarilleamiento de los nervios secundarios, figura 3.3.8, que si es muy acusada las hojas pierden su color amarillento y pasan a ser albinas, floración reducida y frutos de bajo tamaño.



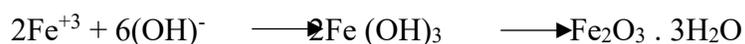
Figura 3.3.8. Árbol con deficiencia de cinc

3.- Cobre

Micronutriente esencial, propuesta por Sommer en el año 1931. interviene en reacciones bioquímicas de la planta, es absorbido en su forma divalente Cu^{+2} , y en el suelo existen diversos minerales de cobre entre los que destacaremos la calcosita, Cu_2S , y la calcopirita, CuFeS_2 . El cobre tiene la facilidad de formar complejos húmico cúprico con la materia orgánica, mediante la unión del Cu^{+2} con los grupos funcionales de naturaleza orgánica, como carboxilo, carbonilo y grupos fenólicos. El déficit de cobre se visualiza primero en hojas jóvenes, ya que mueren después de aparecer clorosis. El exceso de cobre en limones produce unas manchas o puntos que suelen ser como cicatrices en los frutos, lo que implica una merma en la cosecha y una pérdida económica, también se manifiesta en las hojas nuevas que son grandes en ramas con crecimiento excesivo.

4.- Hierro

Micronutriente esencial para la planta, atribuido a J. Sachs en el año 1865. Se encuentra en los cloroplastos de las células e interviene en numerosas reacciones bioquímicas, en la fotosíntesis y la respiración. El hierro del suelo procede de la degradación de minerales de hierro como magnetita, $\text{Fe}^{+2} \text{Fe}^{+3}_2\text{O}_4$, hematita, Fe_2O_3 , siderita, FeCO_3 , etc. La planta lo absorbe en estado ferroso, Fe^{+2} y está fuertemente influenciado por el pH del suelo, ya que pH superiores a 5 forma el hidróxido y óxidos hidratados, prácticamente insolubles:



existen zonas en la Región de Murcia donde el hierro no está disponible para la planta y da como resultado árboles con hojas de color amarillo, enfermedad conocida en esta zona de España por falta de hierro como clorosis férrica, debido a la inmovilización del hierro a pH altos, figura 3.3.9, la cual se corrige aplicando quelatos de hierro.



Figura 3.3.9. Árbol afectado por clorosis férrica debido a la falta de hierro, es una deficiencia muy normal en la Región de Murcia por el elevado pH del suelo.

5.- Manganeso

Micronutriente esencial, su esencialidad fue dada por los experimentos de J.S. McHarge en 1912. Es absorbido por las raíces en su forma divalente Mn^{+2} , interviene en reacciones bioquímicas de la fotosíntesis, y también interviene en el metabolismo de las auxinas. El manganeso en el suelo proviene de la degradación de las rocas y los principales minerales son pirolusita, MnO_2 y braunita, $Mn^{+2}(Mn^{+3})_6SiO_{12}$, entre otros. A pH altos se inmoviliza y produce un defecto de manganeso que se visualiza en las hojas nuevas que son pequeñas y con forma de lanza, floración reducida y frutos con poco zumo. Su exceso se detecta por necrosis en la corteza interior de frutos, grietas en las ramas y manchas marrones en las hojas.

3.4. Resultados

Los resultados de los diferentes elementos se dan en tablas adjuntas de conductividad eléctrica, pH y en grupos de macro y micronutrientes, indicando el estado en el momento del muestreo y la velocidad de degradación con el tiempo.

1.- pH

El pH nos indica el grado de saturación del complejo de cambio del suelo, el valor de pH es alto, con un valor promedio de las muestras realizadas que es de 7.72, lo que nos indica un complejo de cambio con iones intercambiables, por el contrario, un pH bajo nos indica que el complejo de cambio contiene muchos cationes H^+ , debido al lavado del complejo por las abundantes precipitaciones. En nuestro muestreo el nivel de pH es básico, tabla 3.3.1, propio de la zona donde nos encontramos, con escasa precipitación. El pH varía entre 6.97 y 8.25, siendo la mediana de 7.66 (figura 3.4.1). El pH es un factor muy importante a la hora de asimilar los nutrientes por las plantas, en estos baremos de pH los micronutrientes son los más problemáticos para la absorción de las plantas.

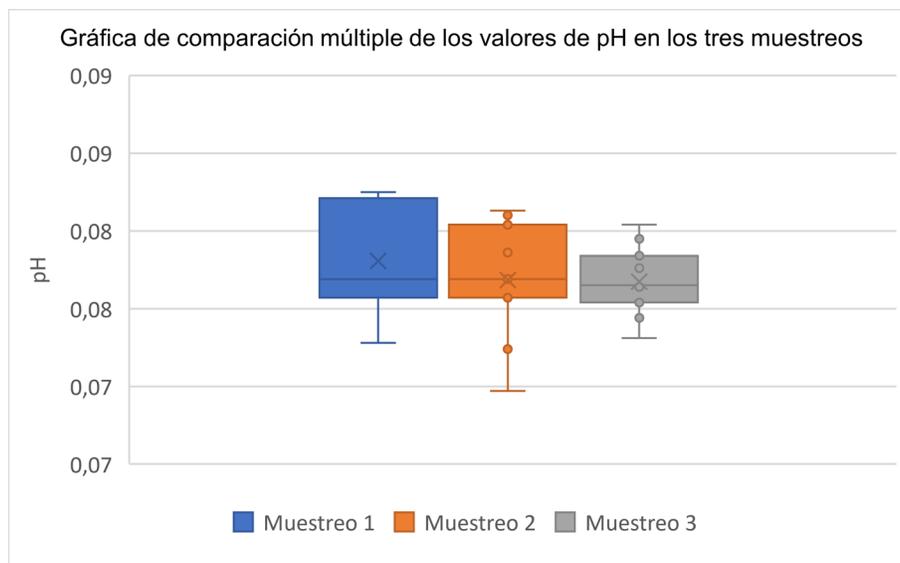


Figura 3.4.1. Gráfica de comparación múltiple de los valores de pH

2. Macronutrientes. Los macronutrientes son elementos que la planta asimila en cantidades altas y juegan un papel esencial en las plantas. Los resultados obtenidos están en la tabla 3.4.1.

Tabla 3.4.1. Variabilidad espaciotemporal de pH y macronutrientes en suelo.

Explotación agrícola (EA)	pH	N (%)	K (mg/Kg)	P (mg/Kg)
EA 1,NB	8,21	0,08	297,16	13,04
EA 1,2	7,86	0,11	74,29	9,82
EA 1,3	7,84	0,11	265,88	15,37
EA 2,NB	7,69	0,14	488,75	13,07
EA 2,2	7,57	0,07	289,34	9,73
EA 2,3	7,31	0,03	211,14	9,34
EA 3,NB	8,25	0,09	480,93	67,58
EA 3,2	8,10	0,14	1900,26	68,30
EA 3,3	7,54	0,12	645,15	71,50
EA 4,NB	7,57	0,07	261,97	9,83
EA 4,2	6,97	0,12	688,16	14,20
EA 4,3	7,95	0,04	254,15	13,00
EA 5,NB	7,28	0,29	555,22	43,68
EA 5,2	7,24	0,04	74,29	9,71
EA 5,3	7,65	0,13	465,29	11,50
EA 6,NB	7,74	0,06	183,77	9,44
EA 6,2	7,69	0,06	410,55	9,75
EA 6,3	7,44	0,10	535,67	11,90
EA 7,NB	8,25	0,08	168,13	12,25
EA 7,2	8,13	0,11	203,32	9,94
EA 7,3	7,57	0,10	649,06	9,35
EA 8,NB	7,58	0,14	89,93	8,32
EA 8,2	7,72	0,12	156,40	9,51
EA 8,3	7,64	0,21	340,17	13,40
EA 9,NB	8,20	0,11	301,07	28,36
EA 9,2	8,04	0,10	324,53	29,32
EA 9,3	8,04	0,07	512,21	32,90
EA 10,NB	7,57	0,17	383,18	16,04
EA 10,2	7,61	0,11	250,24	15,20
EA 10,3	7,76	0,08	164,22	10,02
EA 11,NB	7,53	0,09	367,54	24,41
EA 11,2	7,58	0,12	414,46	29,30
EA 11,3	7,66	0,09	199,41	22,30

2.1- Nitrógeno

El contenido de nitrógeno en los suelos del experimento son relativamente bajos, comprendidos entre 0.03 y 0.29%, este valor de 0.29% se dio en la explotación agrícola cinco muestreo uno, y es debido a que se plantó de nuevo y se adicionó materia orgánica al suelo, por lo general el valor promedio de nitrógeno que resulta es 0.11%, según la zona del experimento los valores fluctúan debido a la degradación por la elevada temperatura que existe en la Región de Murcia, y la lixiviación de los nitratos por las fuertes precipitaciones que tienen lugar en esta zona de España, pero se observa que la mediana está en 0.10% siendo la dos y cuatro contenidos muy bajos.

En la figura 3.4.2 se observa la comparación múltiple de este elemento en los tres muestreos.

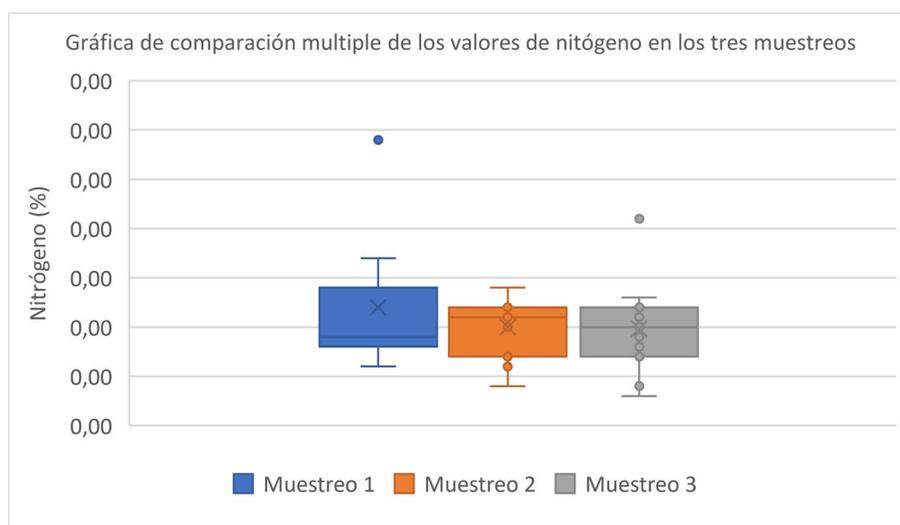


Figura 3.4.2. Gráfica de comparación múltiple de los valores de nitrógeno

2.2.- Fósforo

El fósforo no presenta ningún problema para la disponibilidad de este elemento para las plantas, debido a que en el suelo está disponible de forma asimilable en cantidad suficiente. En nuestros indicadores, aunque exista pérdida en la velocidad, su estado es medio o rico, lo que nos indica que no debería existir ningún problema con este elemento. Presenta una mediana de 13, y un promedio de 20.6.

En la figura 3.4.3 se observa la comparación múltiple del fósforo en los tres muestreos.



Figura 3.4.3. Gráfica de comparación múltiple de los valores de fósforo

2.3.- Potasio

El potasio no presenta ningún problema para la disponibilidad de este elemento para las plantas, debido a que en el suelo está disponible de forma asimilable en cantidad suficiente. En nuestros indicadores, aunque exista pérdida en la velocidad, su estado es el más constante y es rico. Presenta una mediana de 301, y un promedio de 382, el máximo se alcanza en la muestra tres con un valor elevado de 1900 mg/Kg.

En la figura 3.4.4, se observa la comparación múltiple de potasio en los tres muestreos.

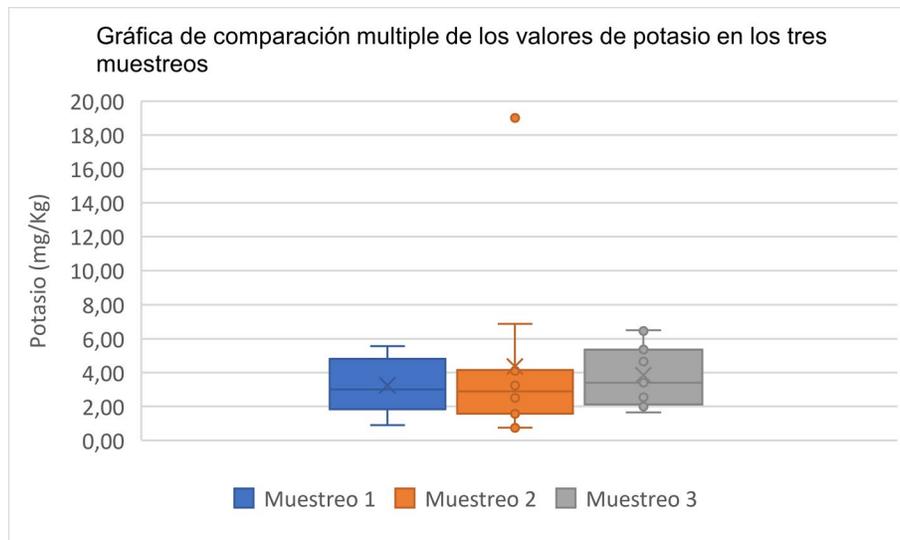


Figura 3.4.4. Gráfica de comparación múltiple de los valores de potasio

4.- Micronutrientes. Los micronutrientes son elementos que las plantas necesitan en pequeñas cantidades, pero que su deficiencia provoca su mal funcionamiento e incluso su muerte. Los resultados obtenidos se dan en la tabla 3.3.2

Tabla 3.4.1. *Variabilidad espaciotemporal de micronutrientes en suelo.*

Explotación agrícola (EA)	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B (mg/Kg)
EA 1,NB	5,25	1,89	0,73	0,66	0,74
EA 1,2	1,30	0,67	0,32	1,16	0,54
EA 1,3	2,84	3,70	2,41	0,46	0,57
EA 2,NB	3,51	2,98	0,27	1,66	1,00
EA 2,2	1,88	3,50	1,13	0,62	0,44
EA 2,3	0,82	0,82	0,20	0,52	0,12
EA 3,NB	4,95	1,00	0,82	0,79	1,37
EA 3,2	3,11	1,45	1,60	1,23	1,11
EA 3,3	2,08	1,37	1,61	1,07	0,68
EA 4,NB	2,05	2,20	0,28	0,59	1,17
EA 4,2	4,25	2,20	1,63	1,15	0,35
EA 4,3	1,66	1,15	0,48	0,51	0,40
EA 5,NB	4,23	3,73	2,40	1,35	1,83
EA 5,2	1,38	3,22	0,20	0,37	0,62
EA 5,3	1,15	4,50	1,82	0,95	0,64
EA 6,NB	3,39	1,49	0,32	1,06	0,83
EA 6,2	1,97	4,20	0,22	1,06	0,99
EA 6,3	0,67	2,75	0,20	1,05	1,06
EA 7,NB	3,03	1,22	3,58	0,28	0,96
EA 7,2	2,36	3,80	4,56	1,12	0,31
EA 7,3	0,34	0,36	2,47	1,03	0,73
EA 8,NB	1,80	2,26	1,69	2,29	2,31
EA 8,2	1,13	1,41	0,61	1,36	1,44
EA 8,3	3,50	3,40	2,48	3,05	2,34
EA 9,NB	3,07	2,89	1,19	0,56	0,70
EA 9,2	6,20	3,70	1,09	1,13	1,05
EA 9,3	5,80	3,90	0,85	1,53	0,36
EA 10,NB	3,00	3,82	2,23	1,22	1,37
EA 10,2	2,04	3,02	1,36	0,84	0,63
EA 10,3	1,88	2,67	0,68	0,55	0,17
EA 11,NB	1,41	1,07	0,74	0,19	1,55
EA 11,2	0,94	0,16	0,87	0,28	1,79
EA 11,3	0,62	0,67	0,72	0,94	0,36

4.1.- Hierro

El hierro es uno de los elementos más abundantes del suelo, pero está en forma no asimilable por las plantas debido al alto valor de pH del suelo, que lo inmoviliza y provoca la enfermedad conocida como clorosis férrica, si nos fijamos en el diagrama de disponibilidad de nutrientes observamos que estamos en una zona de baja asimilación.

Si nos centramos en los datos del experimento los niveles de hierro son por norma general bajos, presentan un promedio de 2.53 mg/Kg con una amplitud que varía entre un mínimo de 0.34 y un máximo de 6.20 mg/Kg, presentando una mediana de 2.05 ppm, solo hay un tipo

de suelo en donde el estado sea rico y es la muestra nueve, un Fluvisol, justo donde se alcanza el máximo, el resto de muestras son generalmente deficientes en este elemento. En la figura 3.4.4 se observa la comparación múltiple de este elemento en los tres muestreos.

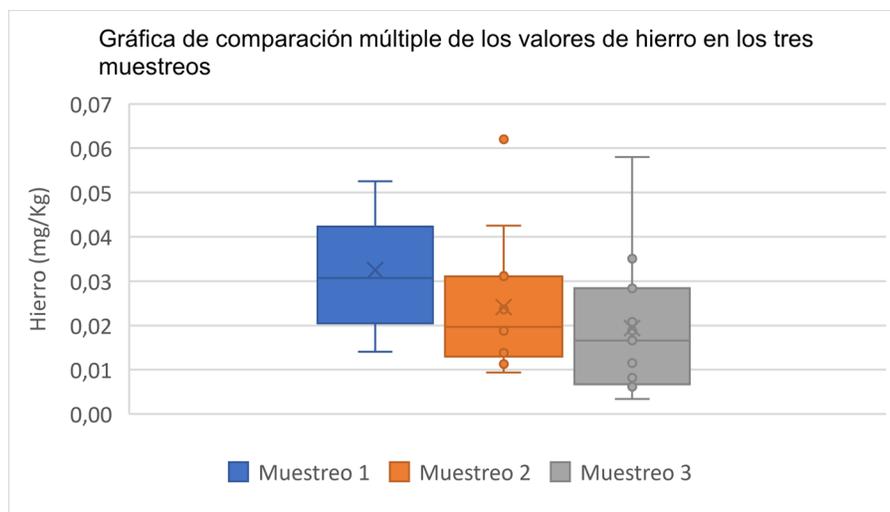


Figura 3.4.4. Gráfica de comparación múltiple de los valores de hierro

4.2.- Manganeso

El manganeso es quizás el elemento que más unanimidad presenta, ya es claramente deficiente, sin importar el tipo de suelo donde se encuentre. Al igual que el hierro, es un elemento muy influenciado por el pH, a pH elevados se encuentra en su forma insoluble como Mn^{+4} , y a pH ácidos está bajo forma soluble de Mn^{+2} , en nuestros suelos no se encuentra mucho manganeso soluble, debido a que el pH de los suelos es básico. El contenido de manganeso varía entre 0.16 y 4.50 mg/Kg, presenta un promedio de 2.34 mg/Kg, y una mediana de 2.26 mg/Kg. En la figura 3.4.5 se observa la comparación múltiple de este elemento en los tres muestreos

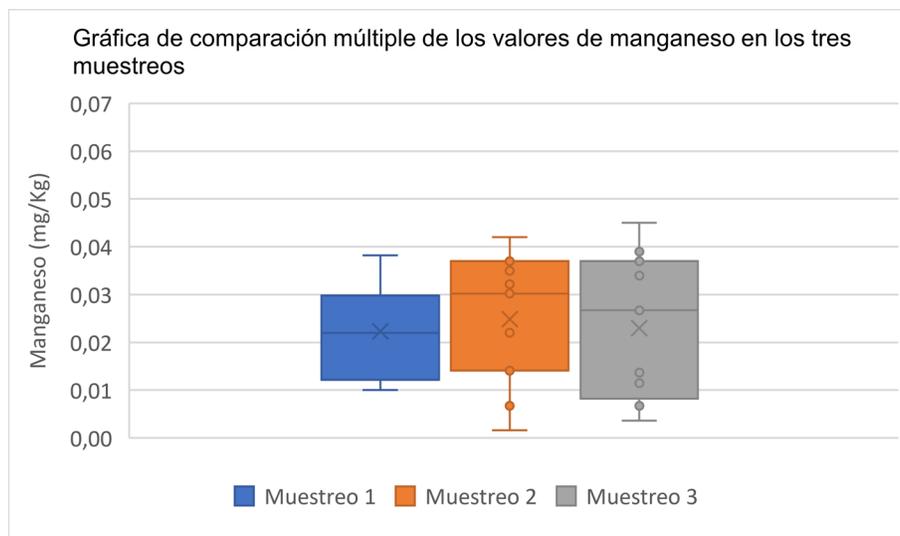


Figura 3.4.5. Gráfica de comparación múltiple de los valores de manganeso

4.3.- Cinc

El cinc presenta una gran variabilidad de valores en los suelos estudiados, al final del estudio las explotaciones agrícolas uno, tres, cinco, siete y ocho, presentan un indicador final de rico, siendo el tipo de suelo Xerosol y Regosol, las explotaciones agrícolas nueve, diez y once, que corresponden con los suelos Fluvisol y Xerosol, presentan indicador final de medio y, las explotaciones agrícolas dos, cuatro y seis, el indicador es deficiente y, se corresponden con Xerosoles. Los valores de este elemento presentan un mínimo de 0.20 mg/Kg y un máximo de 4.56 mg/Kg, el valor promedio es de 1.27 mg/Kg y la mediana está situada en 0.87 mg/Kg. Por lo general los suelos no presentan problemas ante este elemento y su máximo se ha alcanzado en la explotación agrícola siete, Xerosol gípsico. En la figura 3.4.6, se observa la comparación múltiple de este elemento en los tres muestreos.

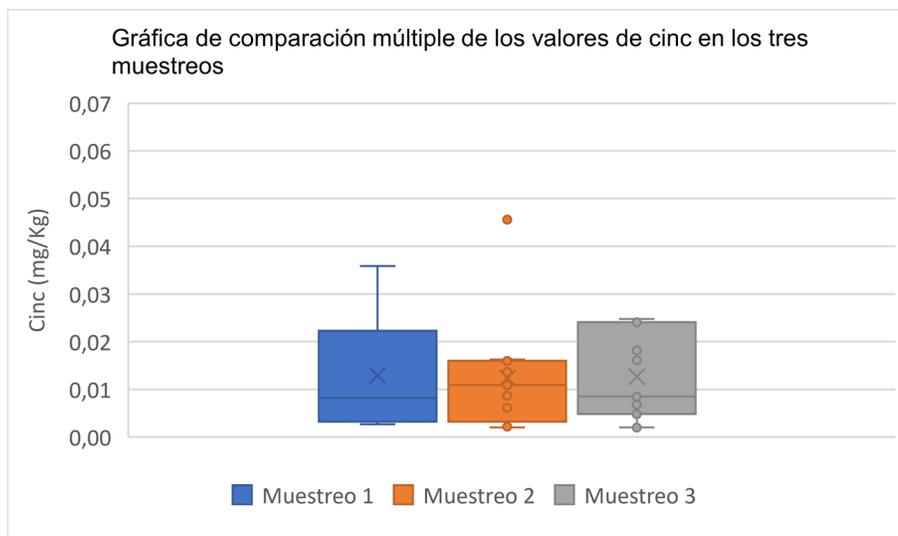


Figura 3.4.6. Gráfica de comparación múltiple de los valores de cinc

4.4.- Cobre

El cobre es un elemento que se asimila bajo la forma Cu^{+2} , no presenta problemas en las muestras analizadas ni en el tipo de suelo donde se presenta, los indicadores finales nos dan resultados medios o ricos, los valores encontrados están entre 0.19 y 3.05 mg/Kg, no son valores muy altos ya que el promedio es de 0.99 mg/Kg, uno de los más bajos, lo que nos indica que por poco que exista la planta lo va a asimilar y no presentará problemas de carencia. En la figura 3.4.7, se observa la comparación múltiple de este elemento en los tres muestreos.

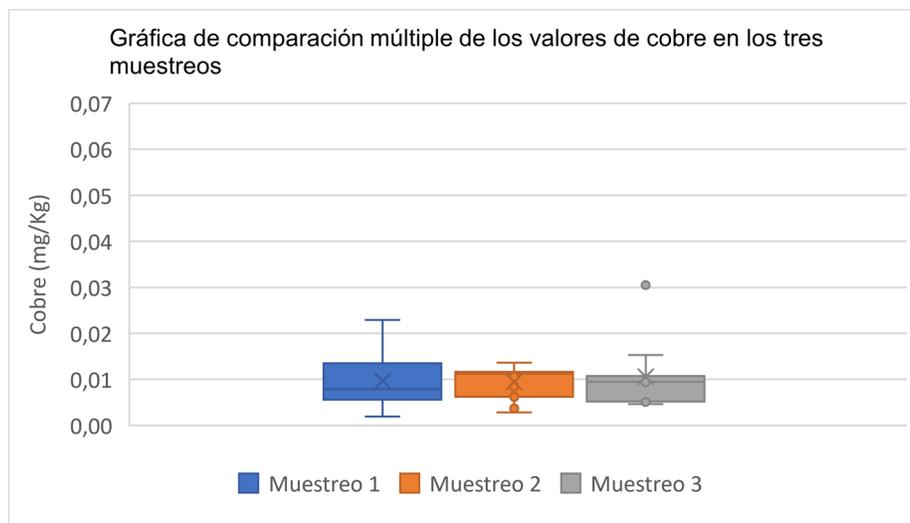


Figura 3.4.7. Gráfica de comparación múltiple de los valores de cobre

4.5.- Boro

Este elemento está influenciado por el pH del suelo, y por el riego con agua procedente de desaladoras, ya que contienen boro, su rango varía en función de las muestras entre 0.12 mg/Kg y 2.34 mg/Kg, representa un promedio de 0.93 mg/Kg, el más bajo de todos y una mediana de 0.74 mg/Kg. Este elemento tiene los valores más altos en la muestra número ocho, regada con agua de desaladora, el resto en cinco explotaciones agrícolas el nivel es deficiente en las muestras dos, cuatro, nueve, diez y once, y en otras cinco son medios, concretamente en las muestras uno, tres, cinco, seis, y siete. En la figura 3.4.8, se observa la comparación múltiple de este elemento en los tres muestreos, el stock de boro en suelo y su incremento con el tiempo.



Figura 3.4.8. Gráfica de comparación múltiple de los valores de boro

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4. Discusión de resultados

4.1. Características generales

En el estudio realizado se presentan cuatro tipos de suelos, Xerosol calcárico, Xerosol gipsico, Regosol calcárico y Fluvisol calcárico.

Los Xerosoles calcáricos se presentan en las explotaciones agrícolas EA.1, EA.2, EA.4, EA.5, EA.6, EA.8, EA.10 y EA.11. Los valores estadísticos descriptivos de los Xerosoles calcáricos se resumen en la tabla 4.1.1. Se trata de suelos con muy bajo contenido en materia orgánica, un valor de fondo de carbono orgánico de 0,81% y 0,1% de nitrógeno carbono y nitrógeno.

Tabla 4.1.1. *Estadística descriptiva de los Xerosoles de las explotaciones agrícolas*

	CE (dS/m)	pH	N (%)	C (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CaCO3 total (%)	CaCO3 activo (%)
Máximo	8,27	8,25	0,29	3,21	56,00	52,00	52,00	71,77	24,01
Mínimo	0,52	6,97	0,03	0,16	16,00	20,00	2,00	14,71	4,36
Promedio	3,45	7,65	0,11	0,93	40,52	31,11	28,30	45,61	15,71
Mediana	2,40	7,64	0,10	0,81	44,00	30,00	28,00	49,20	16,44
Desviación estandar	2,31	0,28	0,05	0,66	9,73	8,56	12,67	15,59	4,13

El contenido en carbonato cálcico total es muy elevado, casi del 50% de valor de fondo, así como el contenido en carbonato cálcico activo, 16.44%; se ha realizado un mapa de distribución de carbonato cálcico total de la zona de estudio a partir de datos de los proyectos LUCDEME y DESERTNET (figura 4.1.1), en el que se observa que una zona que tiene un alto contenido en carbonato cálcico entre 40% y más del 60% y otra entre 20% y 40 %.

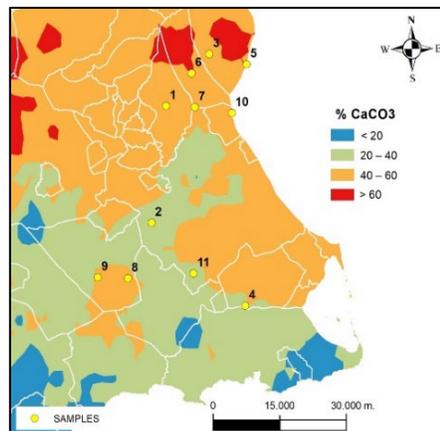


Figura 4.1.1. Distribución de carbonato cálcico total de la zona de estudio

En cuanto al contenido en arcilla el nivel de fondo es 28 %, en la zona figura 4.1.2, el nivel oscila entre el 20-30%, en menor proporción entre el 10-20% y más escaso el de 30%

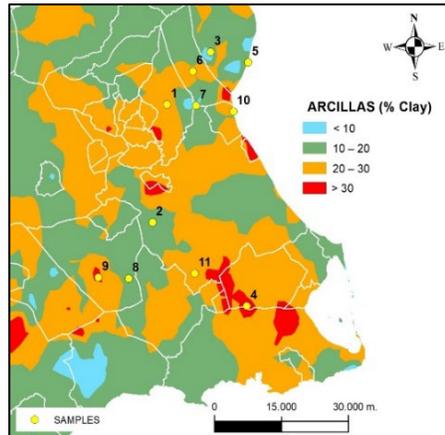


Figura 4.1.2. Representación cartográfica del contenido de arcilla, de la zona de estudio.

En la figura 4.1.3, se representa la cartografía de los valores de pH en agua de los suelos del entorno de las explotaciones, se encuentran entre 7 y 8.5.

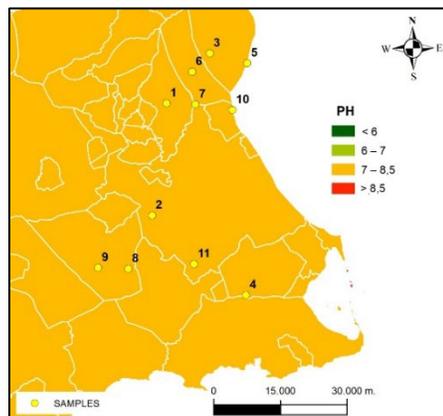


Figura 4.1.3. Representación cartográfica del pH en agua en la zona de estudio.

El valor de fondo del pH en agua de los Xerosoles de estas explotaciones agrícolas es básico de 7.64, con un máximo de 8.25 y mínimo de 6.97, neutro prácticamente. Estos valores están de acuerdo con los altos contenidos en carbonato cálcico total y carbonato finamente dividido, carbonato cálcico activo.

Estos resultados van a condicionar en gran manera los contenidos de elementos macro y micronutrientes, puesto que a esos pH no van a estar disponibles para las plantas, no podrán ser asimilables, aunque estuvieran en altas concentraciones totales. Por ello, dada su baja fertilidad natural, es por lo que será necesario, y así lo hacer los agricultores, en el riego por goteo introducir los nutrientes. El alto carbonato cálcico activo provoca que el fosfato precipite como fosfato tricálcico insoluble, y por ello, las bajas concentraciones de este macronutriente

En cuanto a la salinidad en la zona de estudio, figura 4.1.4, se encuentra en dos intervalos, entre 2-4 dS/m y 4-8 dS/m, habiendo puntos concretos donde la salinidad es mucho más elevada

El valor de fondo de la conductividad de las explotaciones estudiadas es de 2,40 dS/m, pero hay oscilaciones importantes debido al material original que aporta sales en unos casos, pero es por sales aportadas por las aguas de riego en épocas de sequía aguda en gran parte, a lo que se une el lavado ascendente de las sales por las altas temperaturas.

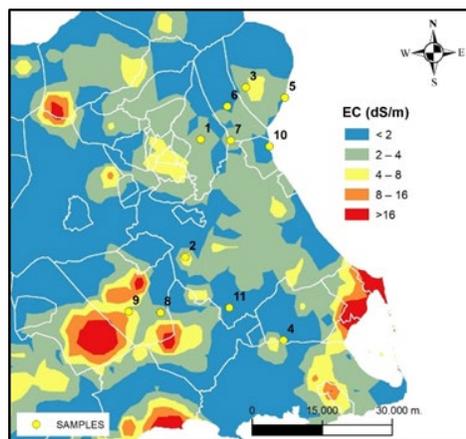


Figura 4.1.4. Representación cartográfica del contenido de conductividad eléctrica del extracto de saturación de la zona de estudio.

La explotación uno y once son francas, la explotación dos, cuatro y seis son arcillosas, la explotación cinco corresponde a una franco arcillosa, y la explotación diez es franco arcillo arenosa, cuanto más fina es la textura, menor percolación para el agua y los nutrientes. Atendiendo a las clases texturales y las prácticas culturales relativas al carbono que se están realizando de depositar los restos de poda en superficie, las que más dificultades tendrían para la incorporación del carbono en el suelo, serían las arcillosas. Por ello, entre otros motivos, se recomienda que se mezcle la parte superior del suelo, favoreciendo así la mezcla. Por otra parte, es necesario que haya un mínimo de arcilla para poder formar el complejo arcillo húmico y la formación de humus.

Las explotaciones agrícolas están regadas con agua del trasvase Tajo Segura, apoyadas con pozos de las comunidades de regantes, en donde no se tiene constancia de que alguna de las regadas con agua de trasvase hubiese pasado sequía. Sólo la explotación EA.11 no tiene acceso al agua del trasvase y fue regada con pozos, en donde en la campaña 2016/17 tuvo sequia por falta de agua. Las explotaciones EA.4 y EA.8 se regaron con agua desalada.

Se ha realizado un análisis de componentes principales aplicado a las características generales y mineralógicas. En la tabla 4.1.2 se detallan los cuatro factores principales, que explican la mayoría de la varianza.

El factor 1, representa el factor mineralogía, roca madre, el mayor peso lo representan, en su parte positiva la calcita y en la negativa yeso, dolomita, sulfatos y calcio.

Tabla 4.1.2. Componentes principales

	Component			
	1	2	3	4
C	,382	,210	,666	,195
N	,371	,412	,639	,205
CCat	,452	-,232	,160	,698
CCaa	,421	,279	-,351	,479
arena	-,106	-,333	,864	-,153
limo	-,634	,154	-,067	,087
arcilla	,488	,198	-,715	,075
cuarzo	,596	,099	-,219	-,700
calcita	,607	-,259	,414	,494
yeso	-,838	,015	,052	,044
dolomita	-,800	,199	,045	-,225
illita	,560	,169	-,640	-,353
clorita	,371	-,011	-,639	,186
caolinita	,338	,000	,098	-,848
CE	-,364	,867	,087	-,009
cloruros	-,066	,863	,076	-,246
sulfatos	-,778	,272	,121	-,026
potasio	,035	,812	-,183	,140
sodio	-,225	,918	-,038	,072
calcio	-,761	,130	,171	-,092
magnesio	,072	,478	-,150	,682

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 21 iterations.

El factor 2, factor salinidad, representa las sales solubles, están presentes en su eje positivo, la conductividad eléctrica de extracto de saturación, sodio, potasio y cloruros.

El factor 3, factor materia orgánica y textura, en su parte positiva se encuentran carbono, nitrógeno y arena, y en la parte negativa arcilla, illita y clorita

El factor 4, factor de carbonatos cálcicos total y activo en el eje positivo y caolinita en el eje negativo.

En la figura 4.1.5 se han representado las puntuaciones factoriales de todas las diferentes explotaciones estudiadas de los tres periodos de muestreo. En el cuadrante 1 están representados los suelos con mayor contenido en sales y calcita, EA.3 Regosol calcárico y algunos Xerosoles. En el cuadrante 2, son suelos con yeso y sales, como el Xerosol gipsico EA.7, en el cuadrante 3, se encuentran suelos con yesos en menor concentración, sin sales, como es el Fluvisol calcárico y algunos Xerosoles cálcicos que tienen poca calcita. El cuadrante 4, los Xerosoles cálcicos sin sales y sin yeso, con calcita.

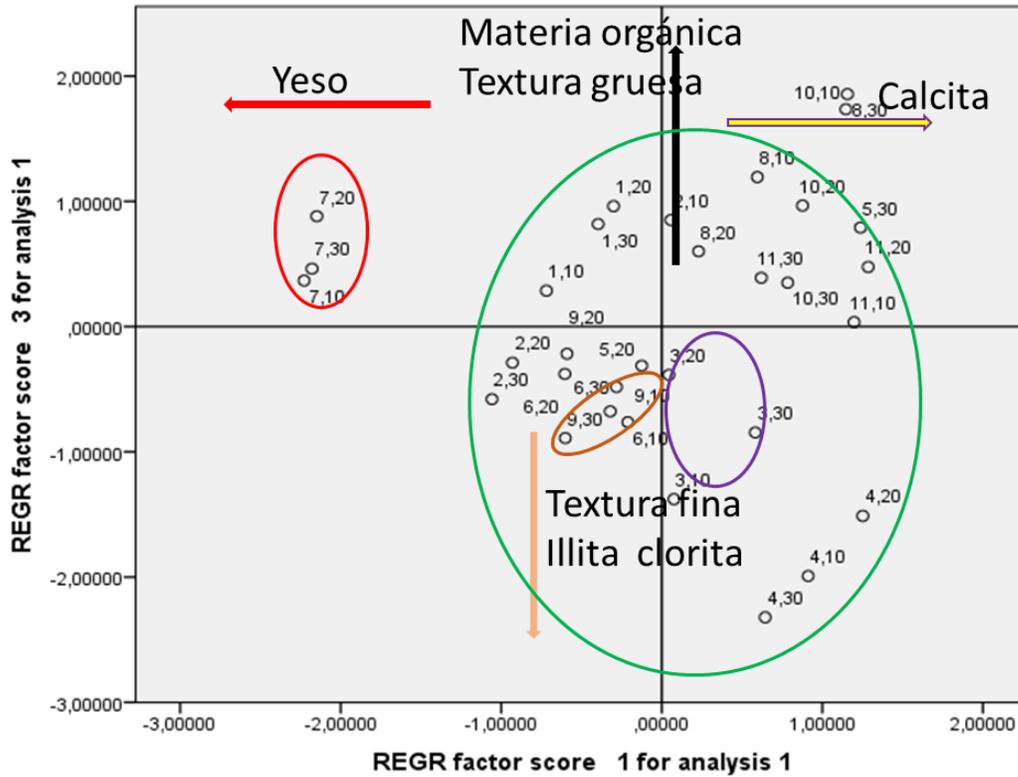


Figura 4.1.6. Representación puntuaciones factoriales en función del factor 1-factor 3

Cuando se representan las puntuaciones factoriales en función de los factores 1 y 4, se observa que casi todas las muestras están muy influenciadas por su contenido en carbonato cálcico, con la diferencia de su mayor o menor contenido en yeso o calcita, por ello se forma un grupo muy numeroso entre los cuadrantes 1 y 2, donde están Xerosoles cálcicos, Fluvisol y Regosol. Se separa el Xerosol gipsico, EA.7, por tener mucho yeso y textura más fina y el Xerosol cálcico EA.11, por su menor contenido en carbonatos y sobre todo por su textura.

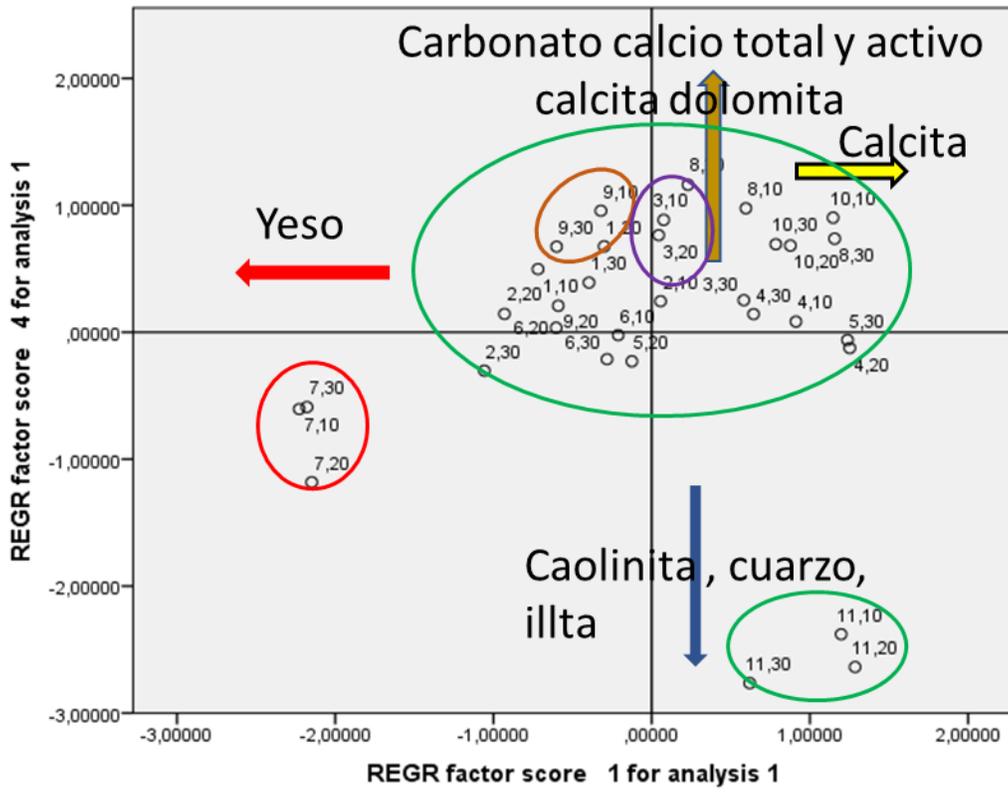


Figura 4.1.7. Representación puntuaciones factoriales en función del factor 1-factor 4

De los resultados del análisis realizado se desprende que se trata de suelos que cualitativamente sus componentes son muy similares, con alto contenido en carbonato cálcico total y activo, y en ocasiones con suelos con alto contenido en yeso. La influencia de la textura también es muy importante, discriminando muy bien. La materia orgánica es variable en función de la textura y de las prácticas de cultivo por aportes de materia orgánica fresca que puedan quedar en superficie o que se incorporen al suelo.

4.2. Relaciones Carbono orgánico del suelo (COS)- Tipo de suelo -Prácticas agrícolas- Situación topográfica

1. El carbono de los suelos de Xerosoles cálcicos de estas explotaciones, a lo largo del tiempo total de la monitorización, disminuye en todas menos en tres, que son EA.4, EA.6 y EA.8

i.- Explotación EA.4, explotación agrícola de topografía prácticamente llana, presenta una pendiente del 1.2% (SIGPAC CARM), no hay erosión. La práctica de cultivo que se aplicó en esta parcela de finca fue mezclar e introducir los restos de poda en el suelo mientras éstos están frescos, se realizó en una parcela debido a los elevados costes de dinero y tiempo para los agricultores, donde se introdujeron restos triturados, que además benefician al suelo debido a que contienen nutrientes esenciales para la planta y, sobre la superficie se dejaron también restos de poda para que aguantase la humedad del suelo. Los resultados fueron muy buenos ya que en el primer periodo dobló la cantidad de carbono disponible, lo que nos indica que los restos vegetales deben ser incorporados al suelo para que sea efectiva la incorporación del carbono y llegue a formar complejos con la arcilla. La incorporación al perfil del suelo de los restos de poda aumenta el contenido de carbono orgánico del suelo (Xiya Wang et al., 2023). En el segundo periodo esta explotación perdió carbono, pero en el conjunto sale un saldo positivo de +0.20%



Figura 4.2.1. Explotación agrícola cuatro. Introducción de restos vegetales al suelo para su mejora, donde se aprecian los surcos de la maquinaria para su introducción.

ii.- Explotación EA.6, se trata de una parcela llana, no hay erosión, los restos de poda se adicionan directamente al suelo y no se introducen, lo que ocurre es que el agricultor

realiza esta práctica con mucha frecuencia, sin usar herbicidas, y por métodos manuales, con lo que la incorporación al suelo de los restos de malas hierbas van quedándose un poco enterradas en la superficie del suelo, lo que a lo largo de los años da como resultado un aumento de carbono, dado que al adicionar los restos de poda triturados el suelo está un poco abierto y pueden colarse restos triturados al interior, dando un balance positivo de +0.11%.

iii.- La explotación agrícola EA.8 presenta una pendiente del 6.4% (SIGPAC CARM), pero la erosión está muy frenada. Es la única de las estudiadas que está bajo cultivo ecológico y, al no tener aplicaciones fitosanitarias, los restos de hierba y plantas que crecen son adicionadas al suelo de forma muy frecuente y manual, enterrándola en el suelo, lo que le permite pasar a formar parte de él y aumentar el contenido en materia orgánica, gracias a la actividad de los microorganismos, que descomponen los restos vegetales del suelo. El balance de carbono es positivo a lo largo del tiempo estudiado con un saldo de +0.82%, una cantidad muy alta para la zona de España donde nos encontramos.



Figura 4.2.2. Explotación agrícola ocho. Se aprecia el crecimiento de plantas bajo los árboles y cercano a éstos. Además, con la adición de restos de poda, pasan a formar parte del suelo, donde aparece un horizonte más oscuro superficial (color gris) en el perfil del suelo, y los restos de hojas y ramas.

2.- El suelo de la explotación agrícola EA.7 es un Xerosol gípsico, tiene una pendiente del 6.0% (SIGPAC CARM), presenta un pH básico, la textura es franco limoso, la procedencia del agua es del trasvase Tajo Segura, y las prácticas culturales relativas al carbono consisten en depositar los restos de poda triturados sobre la superficie del suelo,

Se aprecia una degradación del carbono, dando un saldo negativo de -0.07%, se trata de un suelo marginal cultivado sobre una placa de yeso y cercano al río salado Rambla Salada, lo que a la larga nos aporta es un beneficio para la mitigación del cambio climático ya que, al ejercer prácticas culturales en los árboles, está realizando la labor de quitar carbono de la atmosfera y ponerlo en el suelo.



Figura 4.2.3. Explotación agrícola siete, Xerosol gipsico. Cultivo de limoneros sobre este tipo de suelo, donde afloran en su superficie cristales de yeso y Rambla Salada, muy cercana a la explotación agrícola, donde se da una escasa vegetación que resiste la salinidad.

3.- El Regosol calcárico, está en la explotación agrícola tres, tiene una pendiente del 7.6% (SIGPAC CARM), su pH es básico, la textura es arcillosa, con más del 50% de la fracción arcilla, la fuente de riego es agua del trasvase apoyada por pozos, y las prácticas culturales relativas al carbono consisten en depositar los restos de poda triturados sobre la superficie del suelo.

Al igual que el Xerosol gípsico, este suelo se trata de un suelo marginal, que en condiciones normales sería improductivo, rodeado de una vegetación escasa y la mayor parte del tiempo seca, debido a la falta de precipitaciones. Esta explotación ejerce una labor social, debido a la retirada de carbono de la atmósfera para colocarlo en el suelo, mediante la poda y eliminación de malas hierbas, que lo efectúan de forma manual, quitando y enterrando la mala hierba en el suelo. El balance de carbono que nos da este suelo es positivo de +0.13%.



Figura 4.2.4. Vista de la explotación agrícola tres, asentada sobre un Regosol y rodeada de margas con escasa vegetación, en un paraje casi desértico.

4.- El Fluvisol calcárico está ubicado en la explotación agrícola EA.9, próximo a la ribera del río Sangonera y cercano a los saladares del mismo, presenta una pendiente del 2% (SIGPAC CARM), su pH es básico y no baja de 8, su textura es franco arcillosa, el agua es de procedencia variada como el trasvase Tajo Segura y pozos de las comunidades de regantes de la zona, y las prácticas culturales relativas al carbono consisten en depositar los restos de poda triturados sobre la superficie del suelo. Al estar próximo a un río y, al secarse la materia orgánica fresca por la acción de las elevadas temperaturas, es transportada por acción de los factores climatológico como agua y viento hacia zonas más bajas, acabando parte de los restos en el cauce del río. El balance de carbono que nos ofrece esta explotación es negativo de -0.33%, pudiendo ser debido sobre todo a la DANA ocurrida a finales de diciembre de 2016 y principios de enero de 2017, por eso se observa una disminución muy drástica entre el punto de muestreo dos y tres, llegando a perder casi el 50% del carbono.

4.3. Diagnóstico del proceso de desertificación en función de indicadores

4.3.1. Diagnóstico de desertificación en función del indicador carbono orgánico del suelo

Se va a aplicar el criterio de pérdida/ganancia de stock COS/ha.año, según la velocidad del indicador carbono COS , positiva o negativa.

El stock de carbono orgánico en el suelo es una buena medida que nos indica cómo los suelos pueden almacenar carbono y pueden capturarlo de la atmósfera, y por tanto actuar como sumideros de carbono, o bien puede mineralizarse y pasar a la atmósfera como foco emisor. Los stocks de carbono orgánico de los suelos de la Región de Murcia (figuras 4.2.5 y 4.2.6) presentan unos valores de fondo que dependen del tipo de suelo, según el “Informe para la distribución espacial del contenido en carbono orgánico en suelos de la Región de Murcia, y su aplicación a la compensación de emisiones”, de Martínez López, S. et. al. (2016), Los tipos de suelo estudiados en el experimento son los Fluvisoles calcáricos tienen un valor fondo de 26,67 tC/ha, y 97.87 tCO₂/ha, los Regosoles calcáricos presentan 19,54 tC/ha y 71,69 tCO₂/ha, los Xerosoles calcáricos 21,19 y 77,75 tCO₂/ha, y los Xerosoles gipsicos 19,88 tC/ha y 72,96 tCO₂/ha. Todos ellos contienen menos carbono y CO₂ que los referenciados en la tabla 3.2.1. (MAPAMA 2018) de suelos de diferentes climas entre ellos el mediterráneo.

En nuestro caso, tal y como se observa en la figura 4.2.5, salvo algunas excepciones, se trata de suelos con pobres en carbono orgánico en los niveles de base, excepto el EA.5, EA 7, EA8, EA.9 y EA.10. En el primer período aumentan, pero disminuyen en el segundo periodo, excepto la explotación EA.8 en cultivo ecológico. El Fluvisol calcárico del muestreo, EA.9, presentaba en el último año un valor de 63,95 tC/ha, un valor por debajo de la media de esta clase de suelos, debido a la erosión por arrastres que se dan por las inundaciones y las fuertes precipitaciones, y además la materia orgánica fresca es retirada para mantener la explotación limpia de restos que pueden ser arrastrados hasta el cauce del río.

El Regosol, EA.3, da un valor en el último año de 92,21 tCO₂/ha, muy por encima de la media de los Regosoles de la Región de Murcia, ya que al estar cultivado, los restos de poda

y demás materia orgánica se depositan sobre su superficie, capturando dióxido de carbono y mitigando los gases de efecto invernadero, debido a que es un suelo marginal y difícil de cultivar, efectúa una labor de sumidero de dióxido de carbono, ya que si fuera improductivo, la retirada de dióxido de carbono sería mucho menor que en las actuales condiciones. Por último los Xerosoles del experimento presentan en la última toma de muestras un valor promedio de 81,04 tCO₂/ha, y una mediana de 79.99 tCO₂/ha, valores más altos que la media del informe de la Región de Murcia, el mayor valor se da en la EA.8 con 168,46 tC/ha, en la etapa final del muestreo, y el menor de todos se da en la EA.2, donde en ningún momento del muestreo superaba las 30.0 t/ha.

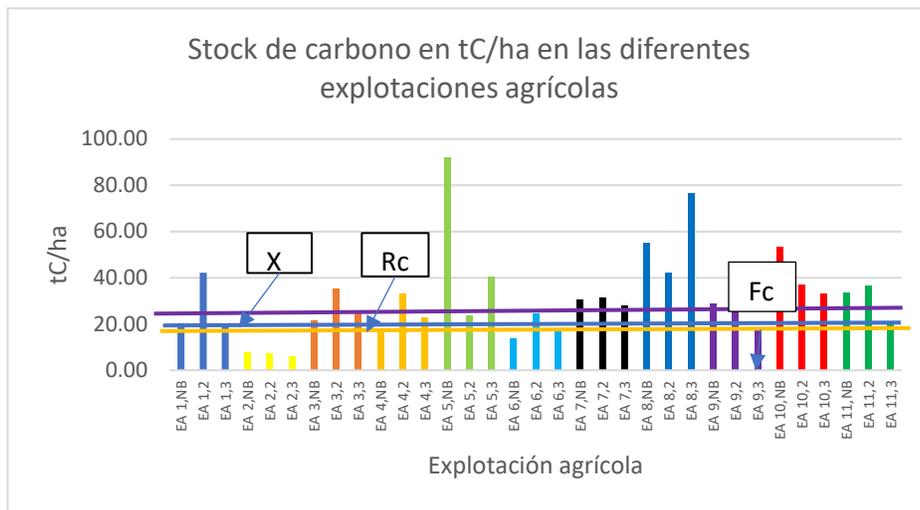


Figura 4.3.1 Stock de carbono en t/ha y valores de referencia (niveles de fondo) de suelos

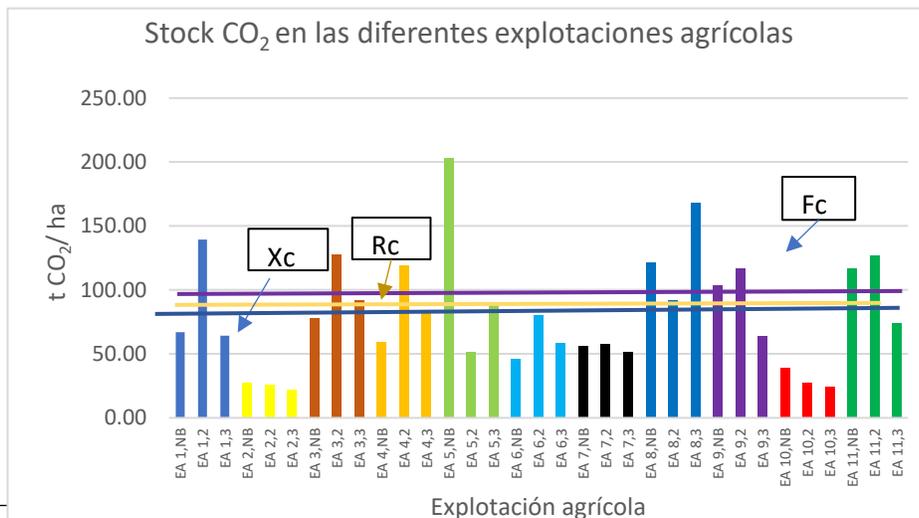


Figura 4.3.2. Stock de dióxido de carbono almacenado en el suelo en tCO₂/ha

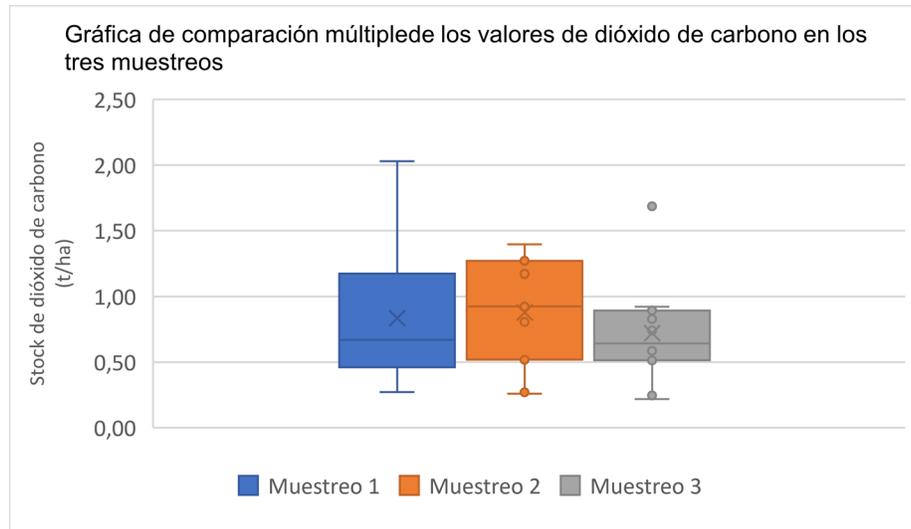


Figura 4.3.3. Stock de dióxido de carbono en suelo en los años 2009, 2013 y 2017



Figura 4.3.4. Pedregosidad del terreno en la EA.10.

4.3.2. Impactos transformativos del carbono orgánico del suelo como sumidero de CO₂ en el cambio climático

Se sabe que el mayor factor para la degradación del suelo es la ausencia de carbono en el suelo, para ello en la Conferencia de Paris sobre el Clima (COP21), celebrada en el año 2015, se impulsó la iniciativa del 4 por 1000, que tiene como objetivo que la temperatura media mundial limite su ascenso a 2°C, tomando como base la era preindustrial, y que la agricultura ejerza de sumidero de carbono y adaptación al cambio climático mediante el incremento del 4‰ de carbono orgánico en el suelo, los suelos tendrían mayor fertilidad debido al carbono capturado y serían más fértiles.

Los fundamentos de la iniciativa 4 por 1000 están expuestos en el MAPAMA 2018: “El IPCC, en su quinto informe de evaluación (IPCC, 2013), estimó que las emisiones anuales de gases de efecto invernadero a nivel mundial de origen antrópico representaban la incorporación de 8.900 millones de toneladas de carbono a la atmósfera, consecuencia de la actividad en las zonas industriales y urbanas (7.800 millones de toneladas de dióxido de carbono) y de los cambios de usos de suelo y deforestación (1.100 millones de toneladas de CO₂) (IPCC 2013). Poniendo en relación la cantidad de carbono emitido de manera anual a la atmósfera (0,0089 billones de t) con la cuantía de carbono almacenada en el suelo (2,4 billones de t), resulta que las emisiones anuales representan el 0,4%, o lo que es lo mismo, el 4 por mil (4‰) de la cantidad de carbono almacenada en el suelo.”

En la figura 4.3.5. se representan los incrementos de carbono que se han producido a lo largo de toda la monitorización, solamente la EA.3, EA.4, EA.6 EA.8 tienen impacto positivo por el incremento a veces muy escaso de carbono orgánico. Estas explotaciones sería las únicas que actúan como sumidero y el resto serían un foco emisor.

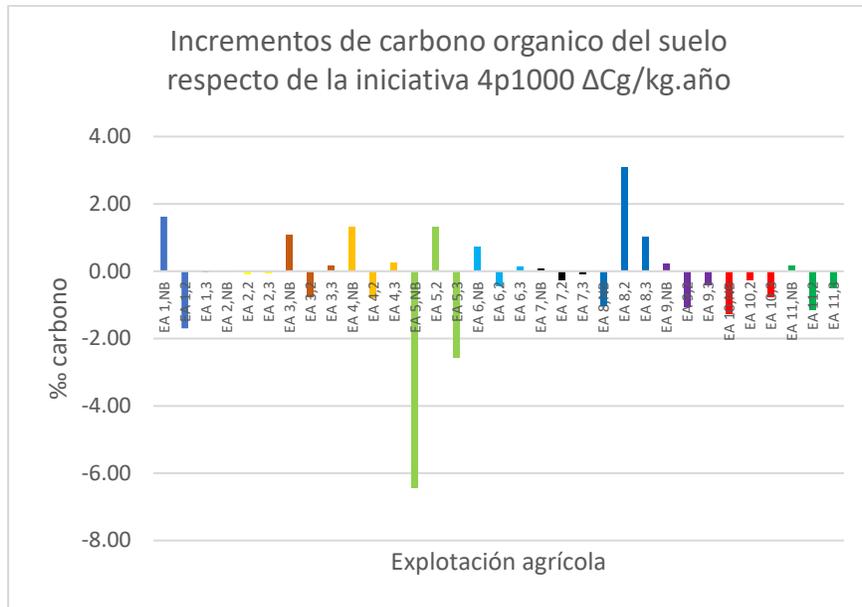


Figura .4.3.5. Incrementos de carbono orgánico del suelo respecto de la iniciativa 4p1000 en la diferentes explotaciones agrícolas, por tramos, T1: periodo 2013-2009, T2: periodo 2017-2013, global: periodo 2017-2009

En la tabla 4.2.10. podemos ver los valores de incremento de carbono en tC/ha de las diferentes explotaciones agrícolas realizados por periodos y de forma global. En ellas se puede apreciar que, desde el comienzo del experimento hasta el final, solo cinco muestras consiguen tener ganancia de carbono, donde solo la explotación número EA.8, las otras cuatro que ganan carbono orgánico al final del experimento, las explotaciones agrícolas uno, tres, cuatro y seis, aumentan muy poco. Es debido principalmente a la rápida descomposición de la materia orgánica por las elevadas temperaturas en las zonas semiáridas de España, por eso en esta zona resulta muy difícil llegar al 4% de carbono orgánico en el suelo en tierras cultivadas, tal y como se pone de manifiesto en la figura 4.2.10. Otro factor que hace poco probable que se llegue a ese valor es que los restos de poda son adicionados a las calles y son pisados por el personal y maquinaria pesada al realizar prácticas culturales, apelmazando el suelo y evitando la llegada a las capas profundas del suelo.

La pérdida de carbono orgánico es fundamental para conseguir los servicios ecosistémicos que presta el suelo y que van a influir en el resto de propiedades del suelo, producción, permeabilidad, fertilidad, etc. y el proceso de degradación se acelerará en todas aquellas explotaciones con incrementos negativos

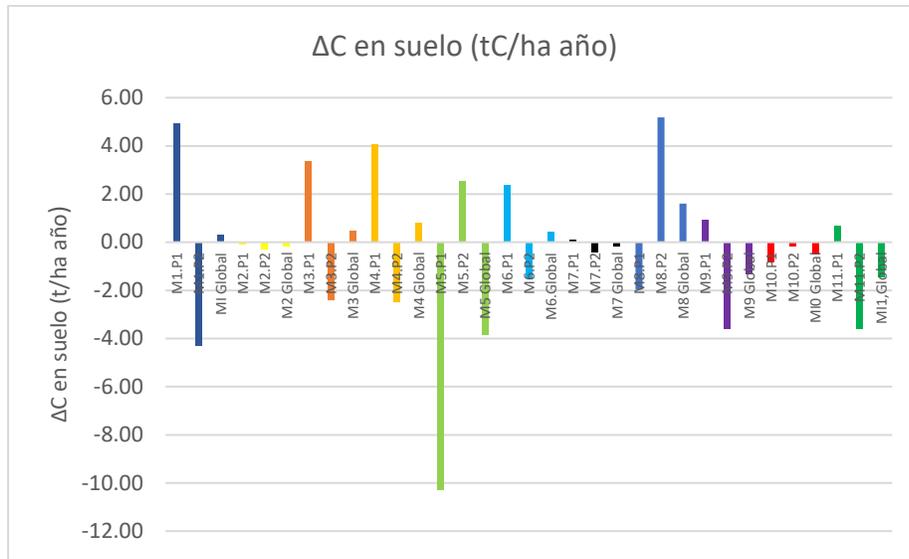


Figura 4.3.6. Incremento de carbono en suelo en t/ha. año. Periodo 2009-2017 por tramos, tramo 1 (P1), 2013-2009, tramo 2 (P2), 2017-2013, y global (GLO), 2017-2009

Los impactos transformativos del carbono COS sobre el cambio climático (figura 4.3.7, se pueden observar por los incrementos de dióxido de carbono del suelo que tienen lugar positivos o negativos, captura o foco emisor. En las condiciones en que se realizan estas prácticas es muy difícil capturar carbono.

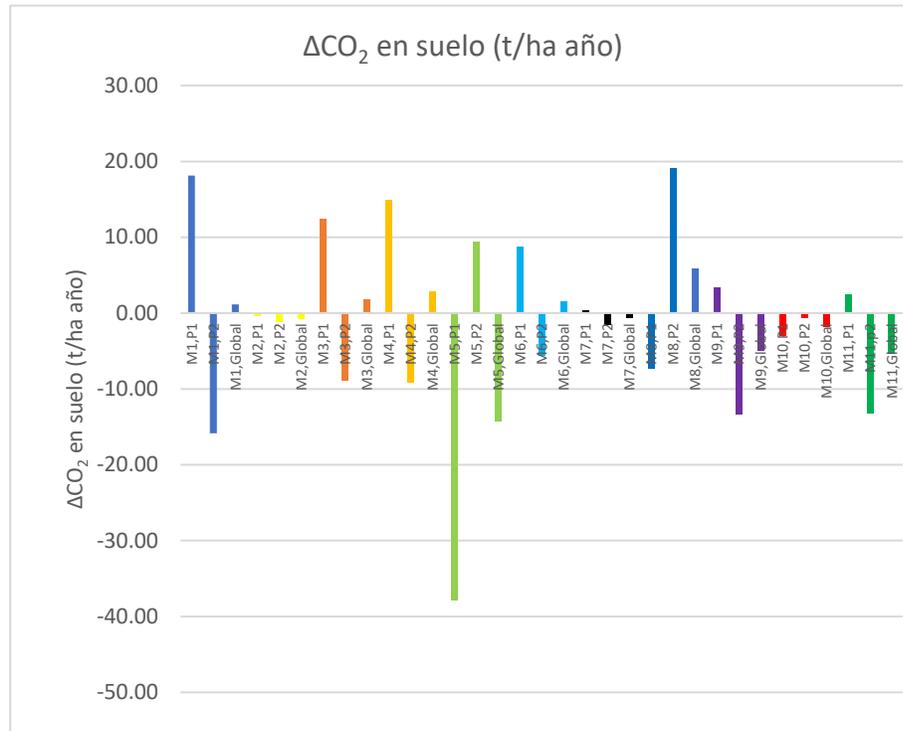


Figura 4.3.7. Incremento de dióxido de carbono en suelo. Periodo 2009-2017 por tramos, tramo 1 (P1), 2013-2009, tramo 2 (P2), 2017-2013, y global (GLO), 2017-2009

4.3.3. Diagnóstico del proceso de desertificación en función del indicador salinización.

La evaluación se va a realizar según Indicadores IADQS Desertnet (Martínez Sánchez y Pérez Sirvent, 2009), como se ha comentado en la metodología.

El estado de salinización en el que se encuentran las diversas explotaciones agrícolas se representa gráficamente en la figura 4.2.12.

Si las evaluamos de acuerdo con los indicadores IADQS DESERTNET, las explotaciones agrícolas cuyos suelos son Xerosoles cálcicos EA.2, EA.4, EA.8, EA.9 y la EA.10 se encuentran en todos los periodos de monitorización en la clase 1, estado ligero, suelos no salinos, mientras que las explotaciones EA.5, y EA.11, en el último periodo han aumentado el contenido en sales solubles, pasando a clase 2, moderado, y la EA.6, ya lo hace en el periodo intermedio. La EA.1 está en estado moderado, aumentando su contenido en sales en el último periodo.

En la explotación AE.9, no existía salinización en el nivel base, clase 1, ligero, y aunque se mantiene a ese nivel, está aumentando casi al doble su contenido en sales, estando en proceso de salinización

En cuanto a la explotación EA.7, sus suelos son Xerosoles gipsicos, está en estado moderado, si bien aumentó en el segundo muestreo el contenido en sales, en el último disminuyó, estando en vías de recuperación

El Regosol va de un nivel de sales en superficie, clase 1, ligero, a la clase 2, alto, casi a nivel muy alto, para disminuir en el último tramo a moderado, casi duplicando su concentración inicial.

En cuanto a la velocidad con la que sucede el proceso de salinización en la zona de estudio, figura 4.3.8 se observa que son velocidades negativas en un 33%, ligeras en un 24%, moderadas en un 8%, grave cerca del 1% y muy graves en solo un muestreo en la AE.3 con Regosoles en el primer periodo.

Velocidad negativa de desertificación del suelo, significa una mejora y muy positivo para la lucha contra la desertificación

Tabla 4.3.1. Indicadores de estado de salinidad

Indicadores de estado de salinidad		
Clase		Conductividad eléctrica (dS/m)
1	Ligero	0.0 – 4.0
2	Moderado	>4.0 – 8.0
3	Alto	>8.0 – 16.0
4	Muy alto	>16.0

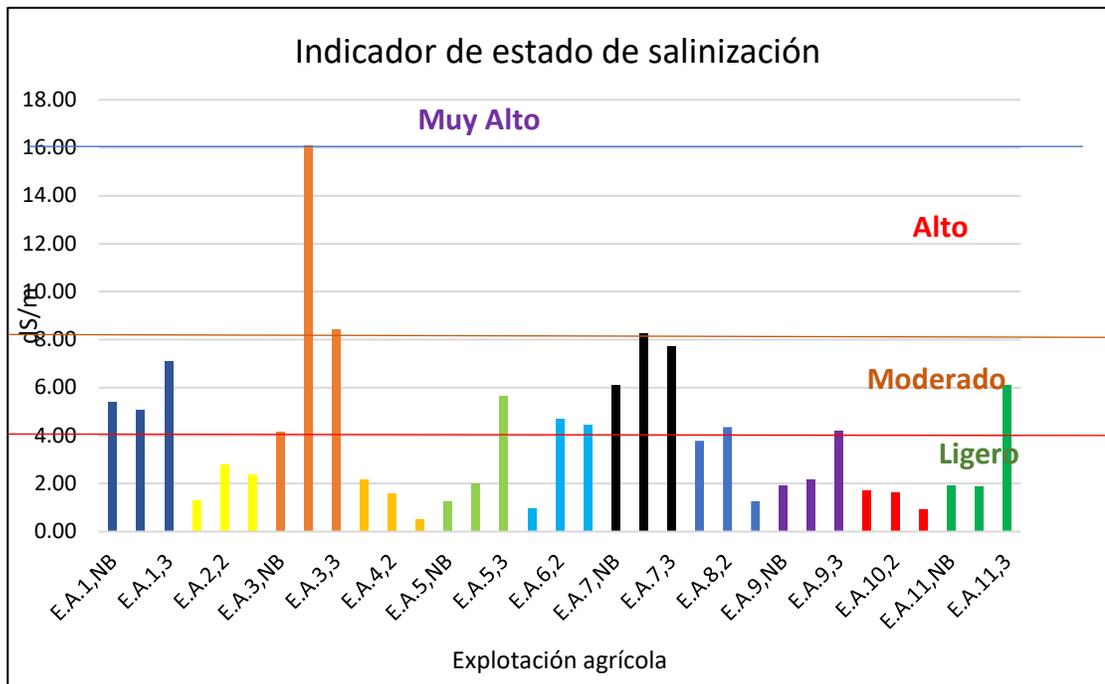


Figura 4.3.8. Indicador estado de salinización en los periodos de monitorización

Tabla 4.3.2. Indicadores de velocidad de salinización

Clase		Indicadores de velocidad de salinización
		dS/m año
0	Negativa	<0
-1	Ligero	>0.0 – 0.40
-2	Moderado	>0.40 – 0.80
-3	Grave	>0.80 – 1.6
-4	Muy grave	>1.6

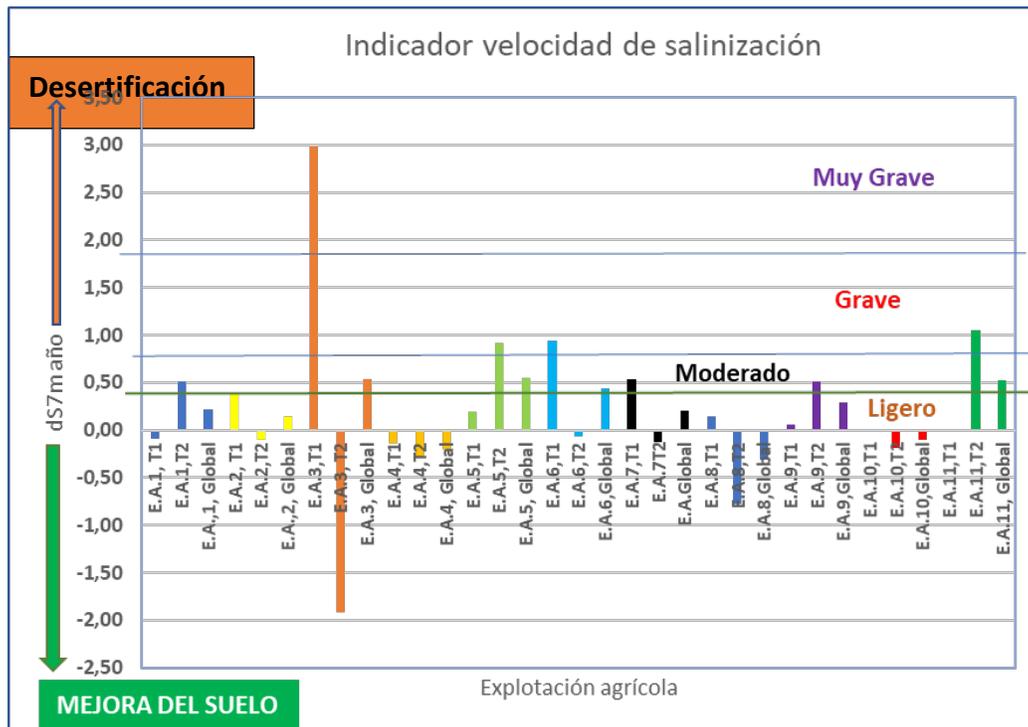


Figura 4.3.9. Evolución del indicador velocidad de salinización del proceso de desertificación

4.3.4. Diagnóstico del proceso de desertificación en función del indicador fertilidad

La evaluación se va a realizar según Indicadores IADQS Desertnet (Martínez Sánchez y Pérez Sirvent, 2009), como se ha comentado en la metodología.

Tabla 4.3.3. Indicadores de estado de macronutrientes

		Indicadores de estado macronutrientes		
		Nitrógeno (%)	Fósforo (mg/Kg)	Potasio (mg/Kg)
1	Deficiente	< 0.11	< 5.0	< 50.0
2	Medio	0.11 – 0.19	5.0 – 10.0	50.0 – 150.0
3	Rico	> 0.20	> 10.0	> 150.0

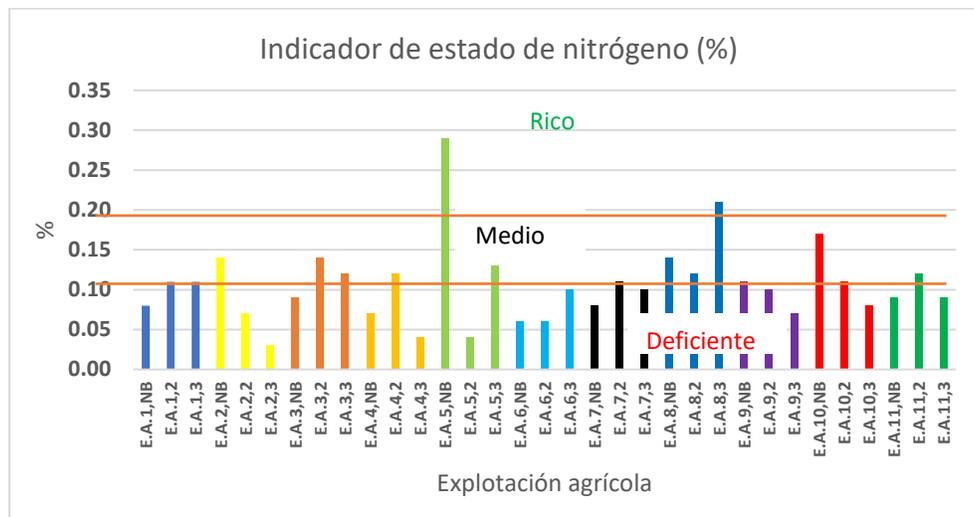


Figura 4.3.10. Nivel de estado de nitrógeno

El indicador estado de nitrógeno monitoreado en el total de las explotaciones agrícolas se puede observar en figura 4.3.10 que el 52% están en nivel deficiente, el 42% está en estado medio y solo un 6% están en estado rico.

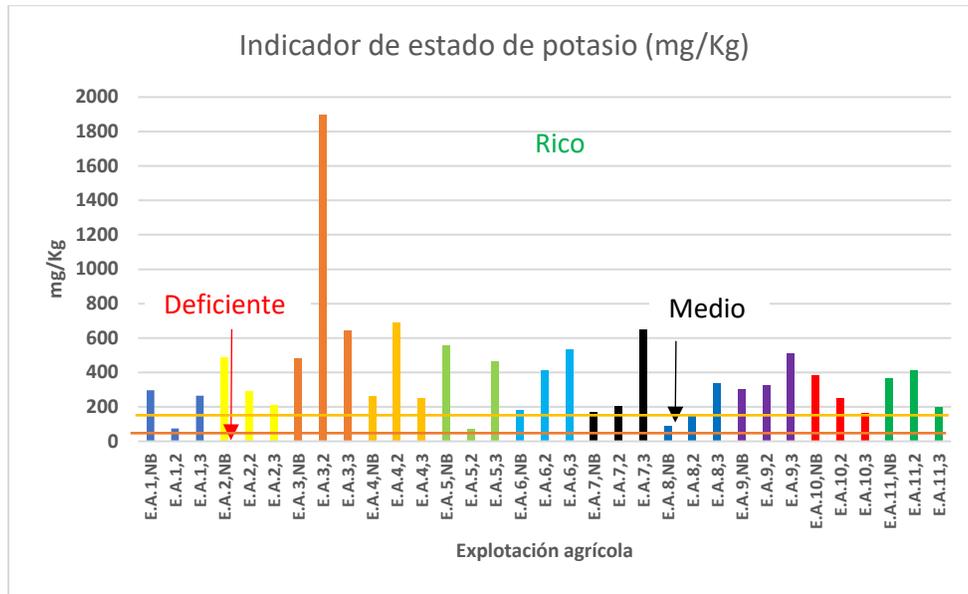


Figura 4.3.II. Nivel de estado de potasio

El potasio es un elemento que no presenta problemas en las diferentes explotaciones agrícolas, de hecho, ninguna está en estado deficiente, un 9% de los muestreos realizados nos da estado medio y un 91% estado rico

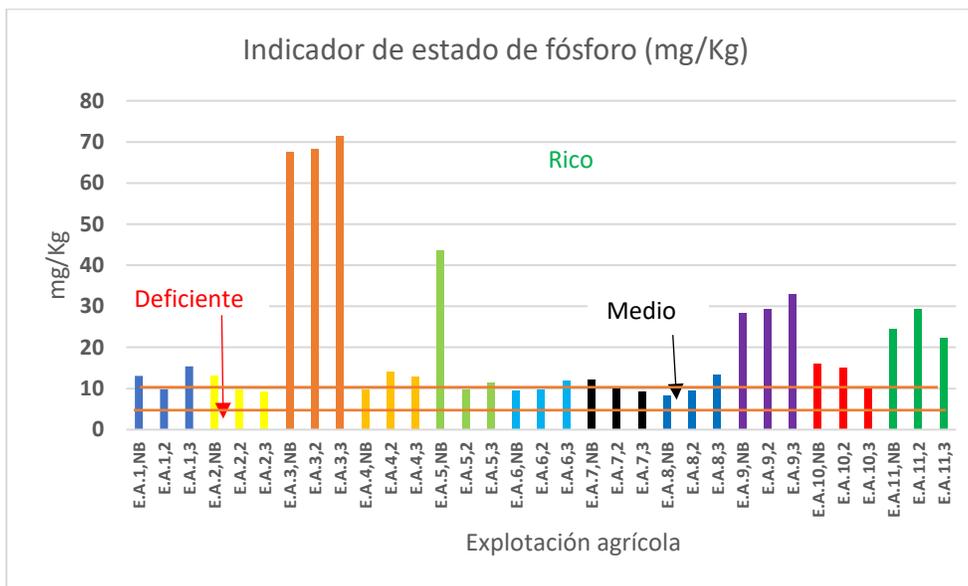


Figura 4.3.12. Nivel de estado de fósforo

El fósforo, tal y como se observa en la figura 4.3.12, no presenta problemas en ninguna explotación agrícola, un 33% de las muestras quedan enmarcadas en la zona media y un 67% está en estado rico, ninguna muestra está en estado deficiente.

Tabla 4.3.4. Indicadores de velocidad de macronutrientes

Indicadores de velocidad macronutrientes			
	Nitrógeno (%/año)	Fósforo (mg/Kg año)	Potasio (mg/Kg año)
Ganancia	+1	+1	+1
Estable	0	0	0
Pérdida	-1	-1	-1

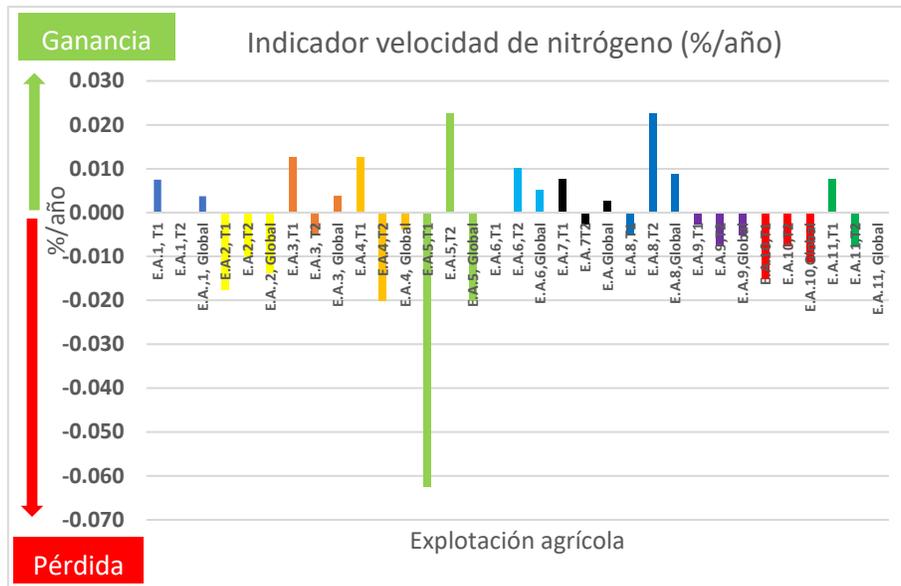


Figura 4.3.13. Indicador de velocidad de nitrógeno

El indicador de velocidad de nitrógeno, figura 4.3.13, disminuye de forma general, solo cinco de las explotaciones tienen subida de nitrógeno al final de la última toma de muestra, lo que supone un 45%, un 55% disminuye su contenido en nitrógeno.

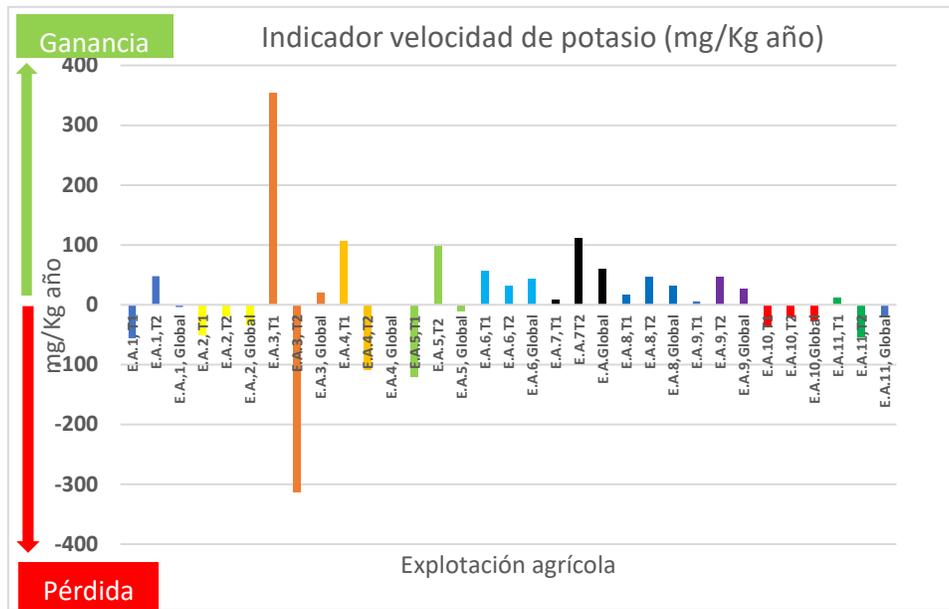


Figura 4.3.14. Indicador de velocidad de potasio

El indicador de velocidad de potasio, figura 4.3.14, nos indica unas bajadas en el 55% de las explotaciones, no debe llevarnos a alarma, ya que es un elemento abundante y aunque veamos pérdida, el estado final es rico y no debe presentar ningún problema para las diferentes explotaciones agrícolas, el 45% restante de las explotaciones agrícolas asciende la velocidad de potasio.

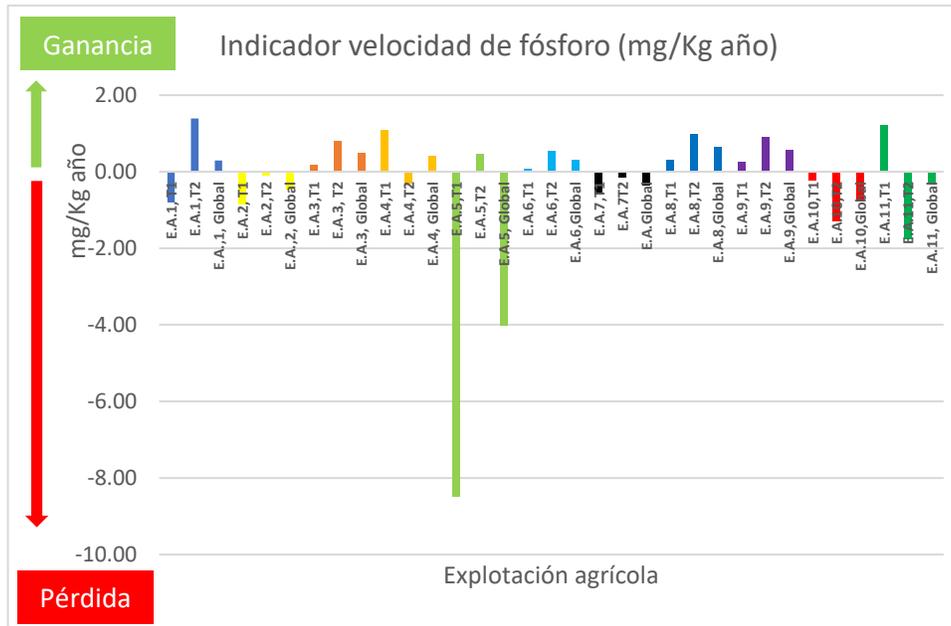


Figura 4.3.15. Indicador de velocidad de fósforo

El indicador estado de fósforo, figura 4.3.15, se ven bajadas en la velocidad pero al final el estado es medio o rico y ninguna explotación está deficiente de este elemento. Un 55% de las explotaciones presentan alzas en la velocidad de fósforo, y un 45% presentan bajadas.

Tabla 4.3.5. Indicadores de estado y velocidad de los macronutrientes

	Tipo de suelo	Indicador de estado de nitrógeno	Indicador de velocidad de nitrógeno	Indicador de estado de fósforo	Indicador de velocidad de fósforo	Indicador de estado de potasio	Indicador de velocidad de potasio
E.A.1,NB	Xerosol calcárico	Bajo		Rico		Rico	
E.A.1,2		Bajo	Ganancia	Medio	Pérdida	Medio	Pérdida
E.A.1,3		Bajo	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.2,NB	Xerosol calcárico	Medio		Rico		Rico	
E.A.2,2		Bajo	Pérdida	Medio	Pérdida	Rico	Pérdida
E.A.2,3		Bajo	Pérdida	Medio	Ganancia	Rico	Pérdida
E.A.3,NB	Regosol calcárico	Bajo		Rico		Rico	
E.A.3,2		Medio	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.3,3		Medio	Pérdida	Rico	Ganancia	Rico	Pérdida
E.A.4,NB	Xerosol calcárico	Bajo		Medio		Rico	
E.A.4,2		Medio	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Pérdida
E.A.4,3		Bajo	Pérdida	Rico	Pérdida	Rico	Ganancia
E.A.5,NB	Xerosol calcárico	Rico		Rico		Rico	
E.A.5,2		Bajo	Pérdida	Medio	Pérdida	Medio	Pérdida
E.A.5,3		Medio	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.6,NB	Xerosol calcárico	Bajo		Deficiente		Rico	
E.A.6,2		Bajo	Ganancia	Medio	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.6,3		Bajo	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.7,NB	Xerosol gipsico	Bajo		Rico		Rico	
E.A.7,2		Bajo	Ganancia	Medio	Pérdida	Rico	Ganancia
E.A.7,3		Bajo	Pérdida	Medio	Pérdida	Rico	Ganancia
E.A.8,NB	Xerosol calcárico	Medio		Deficiente		Medio	
E.A.8,2		Rico	Pérdida	Deficiente	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.8,3		Rico	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.9,NB	Fluvisol calcárico	Bajo		Rico		Rico	
E.A.9,2		Bajo	Pérdida	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.9,3		Bajo	Pérdida	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.10,NB	Xerosol calcárico	Medio		Rico		Rico	
E.A.10,2		Bajo	Pérdida	Rico	Pérdida	Rico	Pérdida
E.A.10,3		Bajo	Pérdida	Rico	Pérdida	Rico	Pérdida
E.A.11,NB	Xerosol calcárico	Bajo		Rico		Rico	
E.A.11,2		Medio	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.11,3		Bajo	Pérdida	Rico	Pérdida	Rico	Pérdida

Tabla 4.3.6. Indicadores de estado de micronutrientes

		Indicadores de estado micronutrientes				
		Hierro (mg/Kg)	Cinc (mg/Kg)	Manganeso (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Boro (mg/Kg)
1	Deficiente	< 2	< 0.5	< 4	< 0.2	< 0.5
2	Medio	2.0 – 4.5	0.5 – 1.0	4.0 – 8.0	0.2 – 1.0	0.5 – 2.0
3	Rico	> 4.5	> 1.0	> 8.0	> 1.0	> 2.0

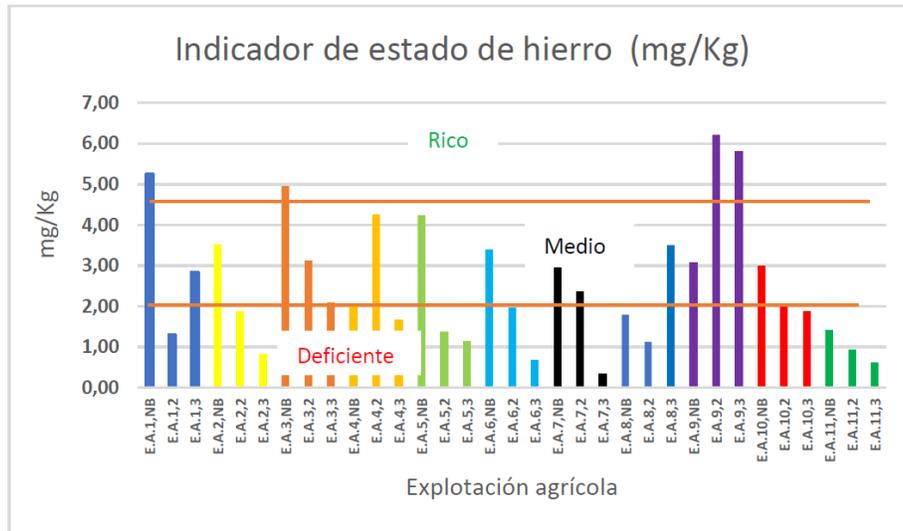


Figura 4.3.16. Indicador estado de hierro

El indicador de estado de hierro, figura 4.3.16, sale que el 51% de los muestreos están en estado deficiente, el 12% presenta un estado rico y el 37% restante está en situación media.

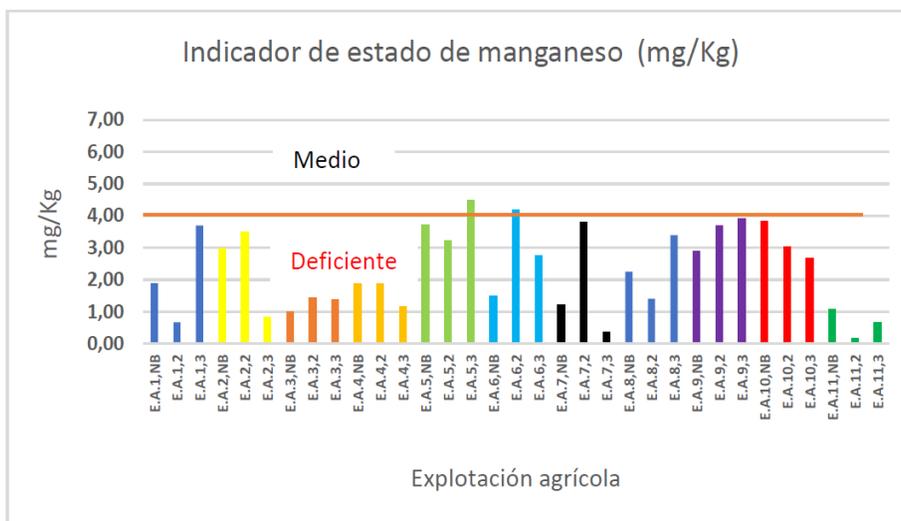


Figura 4.3.17. Indicador estado de manganeso

El indicador de estado de manganeso, figura 4.3.17, nos indica que es un elemento que presenta más valores pobres con un 6% de las muestras en estado medio, y un 94% en estado deficiente. Nos indica la baja disponibilidad de manganeso en las explotaciones estudiadas

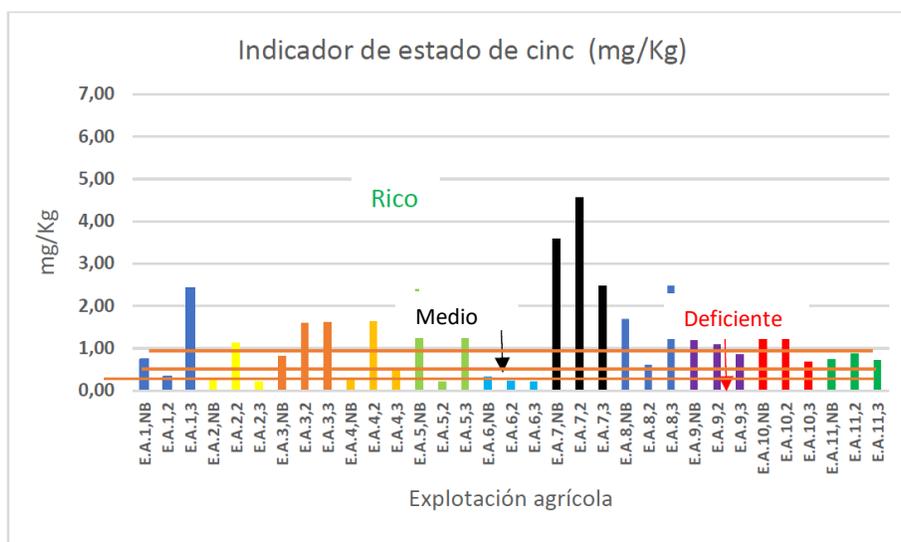


Figura 4.3.18. Indicador estado de cinc

El indicador de estado de cinc, figura 4.3.18, presenta un 27% de muestreos en estado deficiente, un 21% en estado medio y un 52% rico.

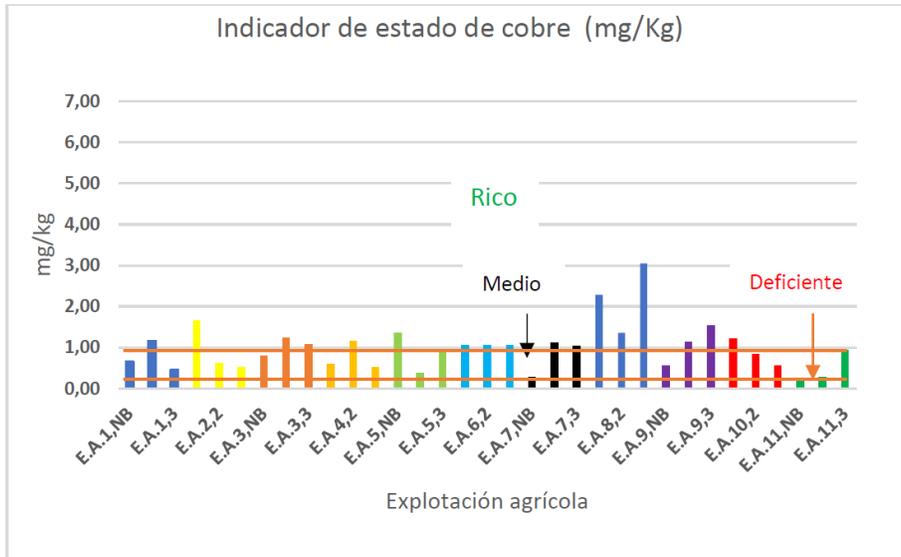


Figura 4.3.19. Indicador estado de cobre

El indicador de estado de cobre, figura 4.3.19, muestra que solo el 3% del total de los muestreos dan deficiente, un 33% dan estado medio y un 64% están en estado rico.

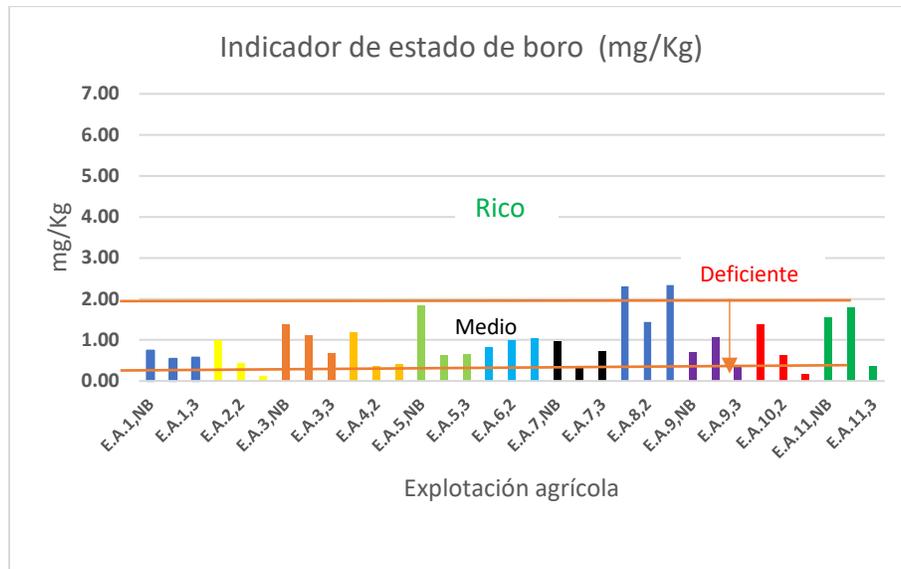


Figura 4.3.20. Indicador estado de boro

El indicador de estado de boro, figura 4.3.20, muestra que solo el 24% del total de los muestreos están en estado deficiente, un 70% están en estado medio y un 6% están en estado rico.

Tabla 4.3.7. Indicadores de velocidad de micronutrientes

	Indicadores de velocidad micronutrientes				
	Hierro (mg/Kg año)	Cinc (mg/Kg año)	Manganeso (mg/Kg año)	Cobre (mg/Kg año)	Boro (mg/Kg año)
Ganancia	+1	+1	+1	+1	+1
Estable	0	0	0	0	0
Pérdida	-1	-1	-1	-1	-1

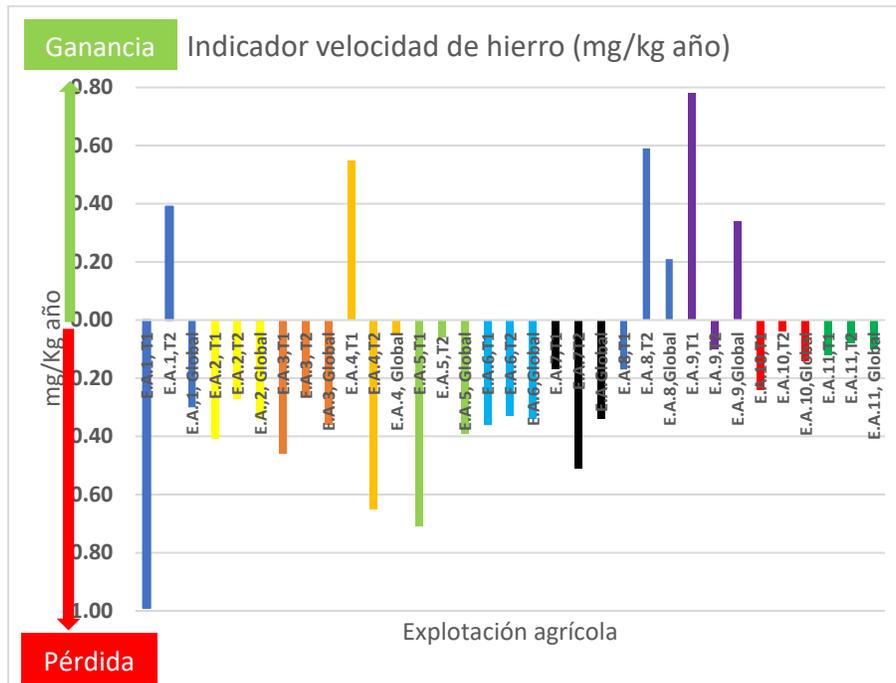


Figura 4.3.21. Indicador de velocidad de hierro.

El indicador velocidad de hierro, figura 4.3.21, nos muestra caídas en la velocidad de este elemento, descendiendo en el 82% de las explotaciones agrícolas y ascendiendo en el 18%.

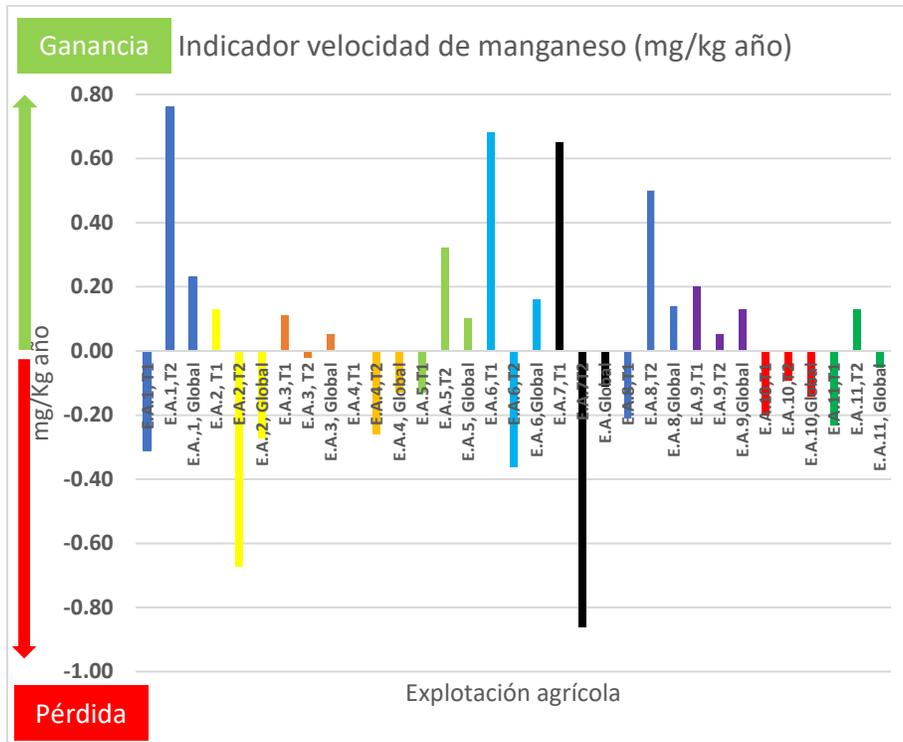


Figura 4.3.22. Indicador de velocidad de manganeso.

El indicador velocidad de manganeso, figura 4.3.22, nos muestra que en un 55% de las explotaciones se produce una velocidad positiva y en un 45% la velocidad es negativa.

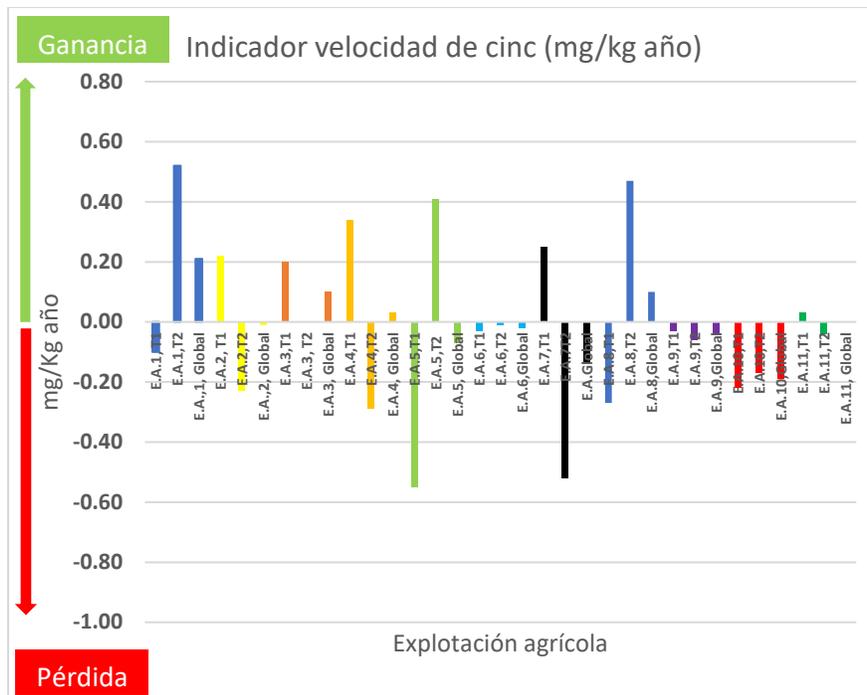


Figura 4.3.23. Indicador de velocidad de cinc

El indicador velocidad de cinc, figura 4.3.23, nos muestra que en un 36% de las explotaciones agrícolas la velocidad es negativa y en el 64% la velocidad es positiva.

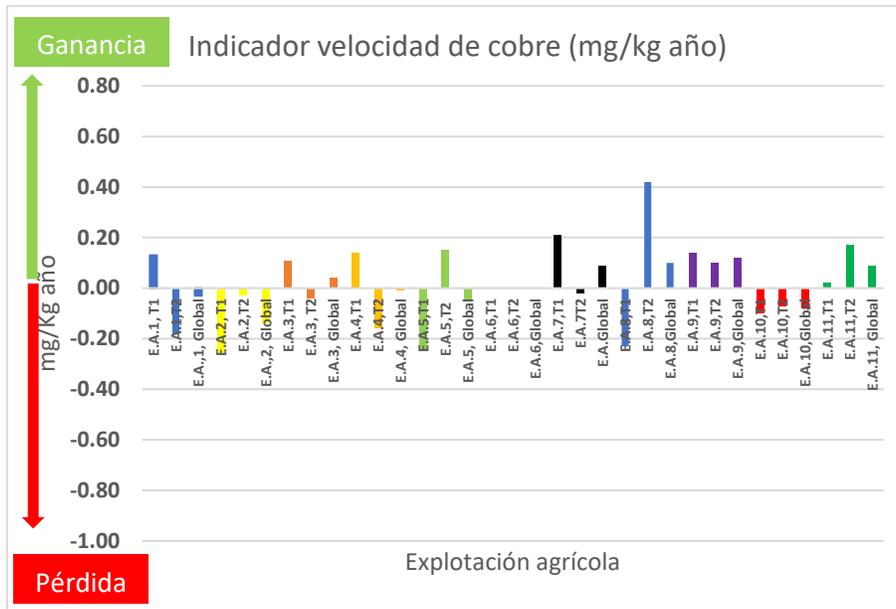


Figura 4.3.24. Indicador de velocidad de cobre

El indicador velocidad de cobre, figura 4.3.24, nos muestra que en un 55% de las explotaciones agrícolas la velocidad es negativa y en el 45% la velocidad es positiva.

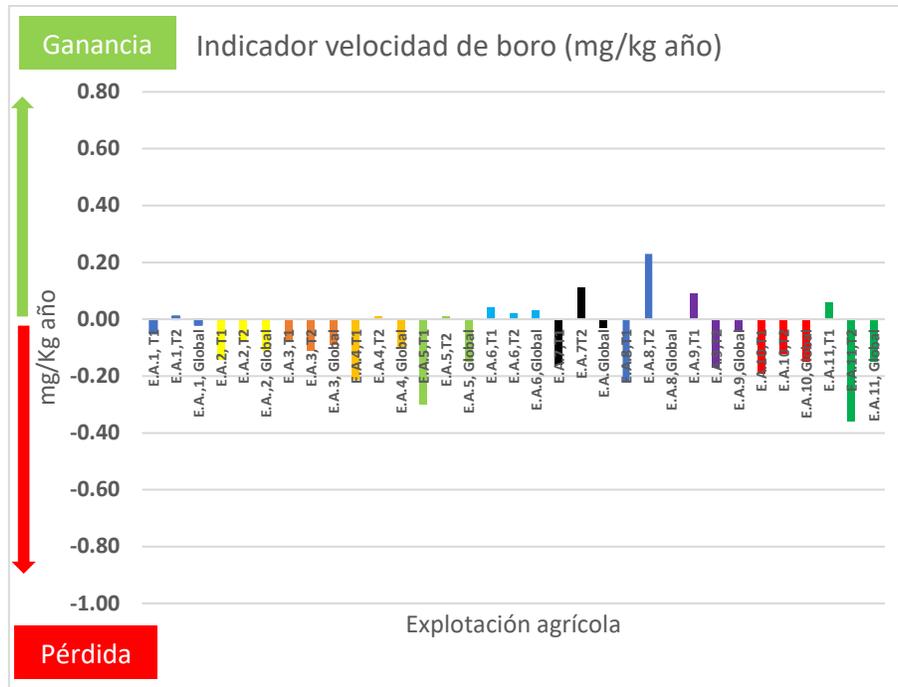


Figura 4.3.25. Indicador de velocidad de boro

El indicador velocidad de boro, figura 4.3.25, nos muestra que en un 82% de las explotaciones agrícolas la velocidad es negativa y en el 18% la velocidad es positiva.

Tabla 4.3.8. Tabla indicadores de estado y velocidad de micronutrientes

	Tipo de suelo	Indicador de estado de hierro	Indicador de velocidad de hierro	Indicador de estado de manganeso	Indicador de velocidad de manganeso	Indicador de estado de cinc	Indicador de velocidad de cinc	Indicador de estado de cobre	Indicador de velocidad de cobre	Indicador de estado de boro	Indicador de velocidad de boro
E.A.1,NB		Rico		Deficiente		Medio		Medio		Medio	
E.A.1,2	Xerosol calcárico	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Rico	Ganancia	Medio	Ganancia
E.A.1,3		Medio	Ganancia	Deficiente	Ganancia	Rico	Ganancia	Medio	Pérdida	Medio	Ganancia
E.A.2,NB		Medio		Deficiente		Deficiente		Rico		Medio	
E.A.2,2	Xerosol calcárico	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Ganancia	Rico	Ganancia	Medio	Pérdida	Deficiente	Pérdida
E.A.2,3		Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Medio	Pérdida	Deficiente	Pérdida
E.A.3,NB		Rico		Deficiente		Medio		Medio		Medio	
E.A.3,2	Regosol calcárico	Medio	Pérdida	Deficiente	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia	Medio	Pérdida
E.A.3,3		Medio	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Rico	Ganancia	Rico	Pérdida	Medio	Pérdida
E.A.4,NB		Medio		Deficiente		Deficiente		Medio		Medio	
E.A.4,2	Xerosol calcárico	Medio	Ganancia	Deficiente	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia	Deficiente	Pérdida
E.A.4,3		Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Medio	Pérdida	Deficiente	Ganancia
E.A.5,NB		Medio		Deficiente		Rico		Rico		Medio	
E.A.5,2	Xerosol calcárico	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Medio	Pérdida	Medio	Pérdida
E.A.5,3		Deficiente	Pérdida	Medio	Ganancia	Rico	Ganancia	Medio	Ganancia	Medio	Ganancia
E.A.6,NB		Medio		Deficiente		Deficiente		Rico		Medio	
E.A.6,2	Xerosol calcárico	Deficiente	Pérdida	Medio	Ganancia	Deficiente	Pérdida	Rico	Ganancia	Medio	Ganancia
E.A.6,3		Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Rico	Pérdida	Medio	Ganancia
E.A.7,NB		Medio		Deficiente		Rico		Medio		Medio	
E.A.7,2	Xerosol gipsico	Medio	Pérdida	Deficiente	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia	Deficiente	Pérdida
E.A.7,3		Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Rico	Pérdida	Rico	Pérdida	Medio	Ganancia
E.A.8,NB		Deficiente		Deficiente		Rico		Rico		Rico	
E.A.8,2	Xerosol calcárico	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Medio	Pérdida	Rico	Pérdida	Medio	Pérdida
E.A.8,3		Medio	Ganancia	Deficiente	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia	Rico	Ganancia
E.A.9,NB		Medio		Deficiente		Rico		Medio		Medio	
E.A.9,2	Fluvisol calcárico	Rico	Pérdida	Deficiente	Ganancia	Rico	Pérdida	Rico	Ganancia	Medio	Ganancia
E.A.9,3		Rico	Pérdida	Deficiente	Ganancia	Medio	Pérdida	Rico	Ganancia	Deficiente	Pérdida
E.A.10,NB		Medio		Deficiente		Rico		Rico		Medio	
E.A.10,2	Xerosol calcárico	Medio	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Rico	Pérdida	Medio	Pérdida	Medio	Pérdida
E.A.10,3		Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Medio	Ganancia	Medio	Pérdida	Deficiente	Pérdida
E.A.11,NB		Deficiente		Deficiente		Medio		Deficiente		Medio	
E.A.11,2	Xerosol calcárico	Deficiente	Pérdida	Deficiente	Pérdida	Medio	Ganancia	Medio	Ganancia	Medio	Ganancia
E.A.11,3		Deficiente	Pérdida	Deficiente	Ganancia	Medio	Pérdida	Medio	Ganancia	Deficiente	Pérdida

4.3.5. Estimación del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible y neutralidad de la degradación de la tierra a 2030 y 2050: Tendencias en los valores de monitorización

- **4.3.5.1. Estimación de la dinámica del carbono a 2030 y 2050, en cumplimiento de los objetivos ODS y de LDN**

Se ha realizado la estimación de la evolución del carbono orgánico del suelo en función de las ecuaciones de la línea de tendencia (Anexo I), calculadas según los valores de monitorización del carbono cuyos resultados se dan en el capítulo 3. Los valores de la pendiente nos hablan de la velocidad y si es positiva o negativa y los de R², del grado de correlación del tiempo con la concentración de carbono.

En la tabla se dan los valores de carbono en t/ha que se estima que tendrían los suelos en función de su ecuación correspondiente.

1.- Explotaciones que cumplirían con los objetivos ODS Y LDN. Las tierras que se encuentren con prácticas sostenibles y cuya productividad podría servir de referencia cuando se tomen medidas para reducir la degradación. Pertenecen a esta clase los suelos que tienen ganancia, que son los de las explotaciones en Xerosoles cálcicos, EA.1, EA.4, EA.6 y EA.8, y en Regosoles calcáricos EA.3, en color azul, tabla 4.3.8.

2. Explotaciones en proceso de degradación, suelos que sería fácil reducir la degradación y mejorar. Los suelos con pérdida de carbono, pero con una velocidad de pérdida pequeña, tabla 4.2.7 color amarillo claro son los EA.2, Xerosol cálcico, muy pobre en carbono y el Xerosol gipsico, EA.7 suelo marginal que se encuentra ya recuperado respecto al nivel de fondo de los Xerosoles gipsicos de la Región de Murcia, pero que requiere un tratamiento especial para no seguir esa línea de tendencia negativa. El Xerosol cálcico EA.2 es un suelo muy erosionado por encontrarse en pendiente y sería preciso rehabilitarlo controlando la erosión

3. Explotaciones con suelos degradados que no cumplirían los objetivos, color naranja, Tabla 4.2.7 con pendiente negativa, Xerosol cálcico, EA.5, EA.10 y EA.11, y Fluvisoles calcáricos , EA.9. La pendiente de la recta en algunos casos es muy importante, como es EA.5, que tuvo una plantación nueva y que es muy irregular su línea de tendencia, (Anexo I) disminuyendo en el primer periodo, y luego recuperando, pero que es preciso vigilar y aplicar prácticas concretas.

Tabla 4.3.9. *Dinámica del carbono orgánico del suelo a 2030 y 2050*

	Ecuación	Valor de R²	COS estimado tC/ha a 2030	COS estimado tC/ha a 2050
EA.1	$y = -0,4036x + 28,104$	0,0010	25.88	24.07
EA.2	$y = -0,7733x + 8,4804$	0,9045	4.42	0.75
EA.3	$y = 1,9876x + 23,609$	0,0784	34.04	43.48
EA.4	$y = 3,2036x + 17,866$	0,1462	34.68	49.90
EA.5	$y = -25,81x + 103,69$	0,5211	0	0
EA.6	$y = 1,8949x + 14,875$	0,1273	24.82	33.82
EA.7	$y = -1,3424x + 32,697$	0,5599	25.65	19.27
EA.8	$y = 10,716x + 36,405$	0,3772	92.63	143.57
EA.9	$y = -5,4991x + 37,372$	0,5129	8.50	0
EA.10	$y = -10,035x + 61,239$	0,8797	8.56	0
EA.11	$y = -6,1763x + 42,758$	0,5846	10.33	0

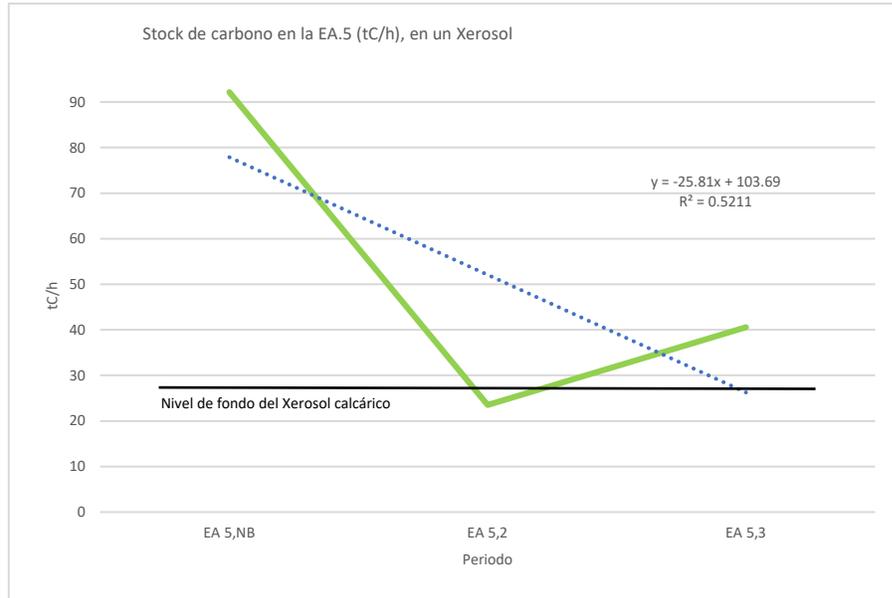


Figura 4.3.26. Stock de carbono EA.5

• **4.3.5.2. Estimación de la dinámica de indicador salinización a 2030 y 2050**

La salinización es un proceso muy generalizado en la Región de Murcia, como se deduce de los resultados encontrados (tabla 4.3.10). Se debe por una parte a salinización natural (EA.3 y EA.7), que junto al clima semiárido/árido, es muy importante, y por otro lado a la salinización de las aguas de riego, por la escasez de lluvias y los materiales por los que circundan las aguas.

1.- Explotaciones que cumplirían con los objetivos ODS Y LDN

EA.4, EA.8 y EA.10, se debe al riego con agua desalada en las dos primeras y la 10 con agua de trasvase y pozo, y textura gruesa que favorece el lavado descendente y lateral.

2. Explotaciones en proceso de degradación, suelos que sería fácil reducir la degradación y mejorar

EA.2 Reducir pozo y trasvase

3. Explotaciones con suelos degradados que no cumplirían los objetivos

El resto de explotaciones no llegarían a cumplir con las practicas actuales de cultivo, sería preciso planes de acción. En este grupo es de resaltar los dos suelos marginales que actualmente se recuperado para el cultivo EA.3 y EA.7, cuyas líneas de tendencia se observan en las figuras 4.3.27, que si bien tiende a pendiente positiva hay una inflexión en el tramo 1, y la pendiente actual cambia de signo, con lo que probablemente cumplirían

Tabla 4.3.10. *Dinámica de la salinización del suelo a 2030 y 2050*

	Ecuación	Valor de R²	2030	2050
EA.1	$y = 0,855x + 4,1533$	0,6017	8.85	12.70
EA.2	$y = 0,55x + 1,0667$	0,5014	4.09	6.56
EA.3	$y = 2,145x + 5,2867$	0,1253	17.07	26.73
EA.4	$y = -0,825x + 3,0833$	0,9668	0	0
EA.5	$y = 2,205x - 1,43$	0,8733	10.69	20.62
EA.6	$y = 1,75x - 0,12$	0,6946	9.51	17.38
EA.7	$y = 0,81x + 5,7567$	0,5229	10.21	13.85
EA.8	$y = -1,26x + 5,6533$	0,5845	0	0
EA.9	$y = 1,145x + 0,4833$	0,8276	6.78	11.93
EA.10	$y = -0,4x + 2,23$	0,8151	0.10	0
EA.11	$y = 2,09x - 0,8733$	0,7464	10.62	20.03

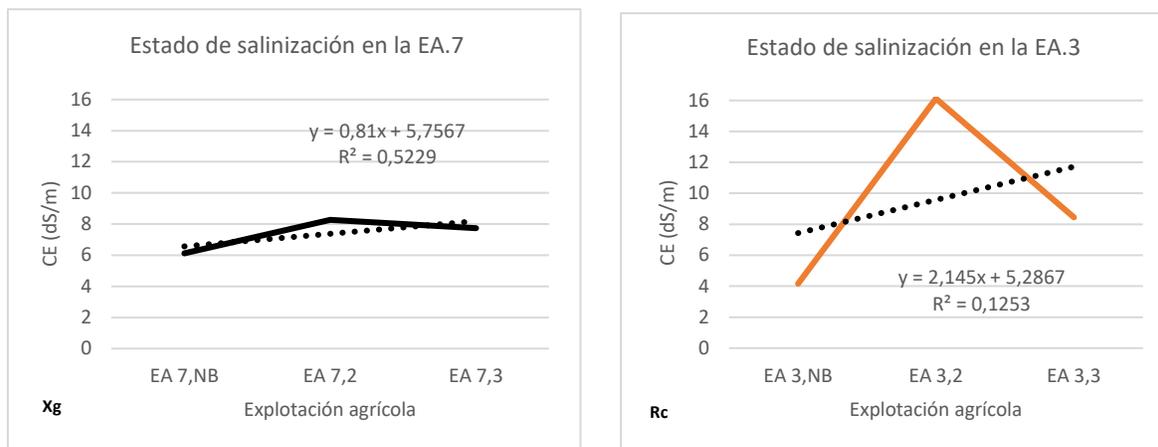


Figura 4.3.27. Ecuaciones y líneas de tendencia de EA.3 y EA.7

• **4.3.5.3. Estimación de la dinámica de indicador producción a 2030 y 2050**

La producción es un indicador muy variable, en función de la climatología y de las condiciones de resiliencia. Por ello si se mejoras la cantidad de materia orgánica incorporada y de la calidad de las aguas, la producción se mejora además de otros servicios ecosistémicos

1. Explotaciones que cumplirían con los objetivos ODS Y LDN

Se trata de las explotaciones EA.4 y EA.5 con pendiente positiva, la EA.8 tiene cultivo ecológico y se está estabilizando y posiblemente cumpliría. Figura 4.3.28.

2. Explotaciones en proceso de degradación, suelos que sería fácil reducir la degradación y mejorar

Las explotaciones EA.6, EA.7 y EA.9, podrían mejorar su producción.

3. Explotaciones con suelos degradados que no cumplirían los objetivos

Las explotaciones EA.1, EA.2 EA.3 EA.10 y EA.11 no los alcanzarían

Tabla 4.3.11. Dinámica de producción del suelo a 2030 y 2050

	Ecuación	Valor de R²	2030	2050
EA.1	$y = -1983,3x + 59416$	0.3782	48.507	39.583
EA.2	$y = -1383,6x + 54358$	0.2312	46.731	40.492
EA.3	$y = -1008,9x + 42808$	0.1990	37.259	32.719
EA.4	$y = 664,22x + 46269$	0.3544	49.922	52.711
EA.5	$y = 5827,3x - 10603$	0.9352	21.447	47.670
EA.6	$y = -998,26x + 51450$	0.3082	45.959	41.467
EA.7	$y = -850,15x + 48424$	0.2607	43.748	39.922
EA.8	$y = -1795,7x + 48374$	0.9276	38.497	30.417
EA.9	$y = -485,63x + 41176$	0.0288	38.505	36.319
EA.10	$y = -1510,7x + 53627$	0.2490	45.318	38.520
EA.11	$y = -2012,4x + 58464$	0.3436	47.395	38.340

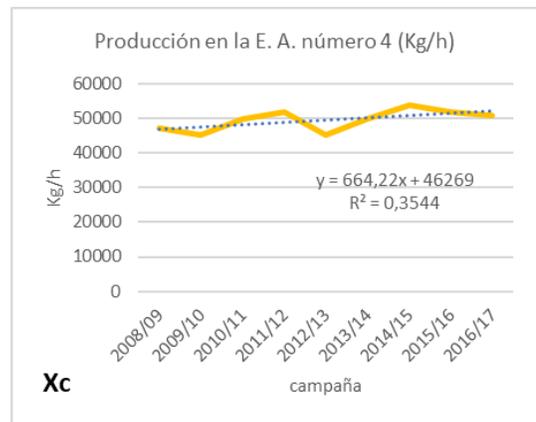
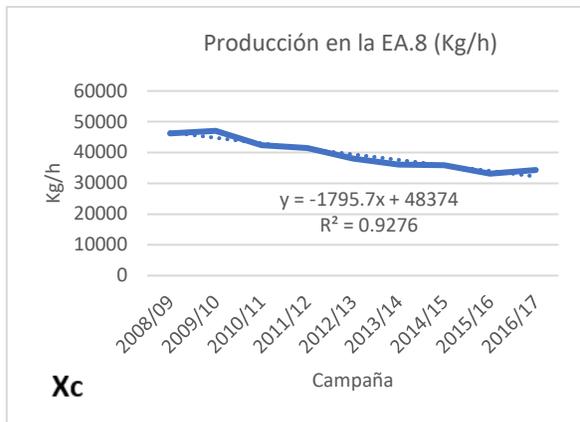


Figura 4.3.28. Ecuaciones y líneas de tendencia de EA.4 y EA.8

4.4 Diagnóstico de la neutralidad de la degradación/ desertificación de la tierra.

Indicadores LDN/ODS

El seguimiento del estado de la LDN se basa en los cambios de valor de las métricas, utilizando el planteamiento de "una salida, todas las salidas" aplicado a cada unidad de tierra.

La integración de los resultados de los tres indicadores globales debe basarse en un enfoque de “uno fuera, todo afuera” donde si cualquiera de los tres indicadores/métricas (cambio de cobertura del suelo, productividad de la tierra, reservas de carbono) muestra un cambio negativo significativo, se considera una pérdida. Por el contrario, si al menos un indicador/métrica muestra un cambio positivo significativo y ninguno muestra un cambio negativo significativo, se considera una ganancia

Tabla 4.4.2. Diagnóstico de la desertificación/degradación de la tierra en cultivo de limón, según indicadores LDN/ODS.

Tabla 4.4.2. Diagnóstico de la desertificación/degradación de la tierra en cultivo de limón, según indicadores LDN/ODS.
Carbono

Unidad de suelo	Métrica	Línea base t=0		Futuro t=1		t1-t0 Incremento	Estado	Estado LDN a t=1 Estado LDN en la unidad de suelo
		Valor	Unidad	Valor	Unidad			
E.A.1 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	30 h	1 h	30 h	0 h	Estable	Pérdida 30 h Degradación
	Producción	56,7 t/h año	1.701 t/h año	51,8 t/h año	1.554 t	-147 t	Negativo	
	Carbono	0.61	0.61%	0.62	0.62%	0.01%	Estable	
E.A.2 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	16 h	1 h	16 h	0 h	Estable	Pérdida 16 h Degradación
	Producción	51 t/h año	816 t/h año	48,2 t/h año	771,2 t	-44,8 t	Negativo	
	Carbono	0.23	0.23%	0.16	0.16%	-0.07%	Negativo	
E.A.3 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	20 h	1 h	20 h	0 h	Estable	Ganancia 20 h Mejoría
	Producción	40,5 t/h año	810 t/h año	39,8 t/h año	796 t	-14 t (n.s.)	Estable	
	Carbono	0.60	0.60%	0.76	0.76%	0.16%	Positivo	
E.A.4 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	50 h	1 h	50 h	0 h	Estable	Ganancia 50 h Mejoría
	Producción	49,2 t/h año	2.460 t/h año	51 t/h año	2.550 t	90 t	Positivo	
	Carbono	0.49	0.49%	0.67	0.67%	0.18%	Positivo	
E.A.5 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	35 h	1 h	35 h	0 h	Estable	Pérdida 35 h Degradación
	Producción	0,0 t/h año	0 t/h año	46 t/h año	1.610 t	1.610 t	Positivo	
	Carbono	3.21	3.21%	1.16	1.16%	-2.05%	Negativo	
E.A.6 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	18 h	1 h	18 h	0 h	Estable	Pérdida 18 h Degradación
	Producción	50,8 t/h año	914,4 t/h año	43,7 t/h año	786,6 t	-127,8 t	Negativo	
	Carbono	0.41	0.41%	0.49	0.49%	0.08%	Positivo	
E.A.7 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	26 h	1 h	26 h	0 h	Estable	Pérdida 26 h Degradación
	Producción	45,2 t/h año	1.175,2 t/h año	44,3 t/h año	1.151,8 t	-23,4 t	Estable	
	Carbono	0.85	0.85%	0.74	0.74%	-0.11%	Negativo	
E.A.8 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	49 h	1 h	49 h	0 h	Estable	Ganancia 49 h Mejoría
	Producción	48,3 t/h año	2.366,7 t/h año	34,3 t/h año	1.680,7 t	-686 t (n.s.)	Positivo	
	Carbono	0.71	0.71%	2.40	2.40%	1.69%	Positivo	
E.A.9 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	5 h	1 h	5 h	0 h	Estable	Pérdida 5 h Degradación
	Producción	41,2 t/h año	206 t/h año	45 t/h año	225 t	-19 t	Negativo	
	Carbono	0.80	0.80%	0.49	0.49%	-0.31%	Negativo	
E.A.10 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	12 h	1 h	12 h	0 h	Estable	Pérdida 12 h Degradación
	Producción	52,5 t/h año	630 t/h año	48,7 t/h año	584,4 t	-45,6 t	Negativo	
	Carbono	1.57	1.57%	0.92	0.92%	-0.65%	Negativo	
E.A.11 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal	1 h	20 h	1 h	20 h	0 h	Estable	Pérdida 20 h Degradación
	Producción	53,9 t/h año	1.078 t/h año	45,2 t/h año	904 t	-174 t	Negativo	
	Carbono	1.02	1.02%	0.57	0.57%	-0.45%	Negativo	
Ganancia neta: 119 ha 42%								
Pérdida neta: 162 ha 58%								

Tabla 4.4.3. Diagnóstico de la desertificación/degradación de la tierra en cultivo de limón, según indicadores LDN/ODS. Salinidad

Unidad de suelo	Métrica	Línea base t=0		Futuro t=1		t1-t0 Incremento	Estado	Estado LDN a t=1 Estado LDN en la unidad de suelo
		Valor	Unidad	Valor	Unidad			
E.A.1 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 56,7 t/h año 3.89 dS/m	30 h 1.701 t/h año 3.89 dS/m	1 h 51,8 t/h año 7.12 dS/m	30 h 1.554 t 7.12 dS/m	0 h -147 t 3.23 dS/m	Estable Negativo Negativo	Pérdida 30 ha Degradación
E.A.2 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 51 t/h año 0.64 dS/m	16 h 816 t/h año 0.64 dS/m	1 h 48,2 t/h año 2.40 dS/m	16 h 771,2 t 2.40 dS/m	0 h -44,8 t 1.76 dS/m	Estable Negativo Negativo	Pérdida 16 h Degradación
E.A.3 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 40,5 t/h año 8.55 dS/m	20 h 810 t/h año 8.55 dS/m	1 h 39,8 t/h año 8.45 dS/m	20 h 796 t 8.45 dS/m	0 h -14 t -0.10 dS/m	Estable Estable Estable	Estable 20 h Sin cambio
E.A.4 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 49,2 t/h año 0.90 dS/m	50 h 2.460 t/h año 0.90 dS/m	1 h 51 t/h año 0.52 dS/m	50 h 2.550 t 0.52 dS/m	0 h 90 t -0.38 dS/m	Estable Positivo Positivo	Ganancia 50 h Mejoría
E.A.5 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 0,0 t/h año 1,26 dS/m	35 h 0 t/h año 1,26 dS/m	1 h 46 t/h año 5,68 dS/m	35 h 1.610 t 5,68 dS/m	0 h 1.610 t 4,42 dS/m	Estable Positivo Negativo	Pérdida 35 h Degradación
E.A.6 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 50,8 t/h año 0.98 dS/m	18 h 914,4 t/h año 0.98 dS/m	1 h 43,7 t/h año 4.46 dS/m	18 h 786,6 t 4.46 dS/m	0 h -127,8 t 3.48 dS/m	Estable Negativo Negativo	Pérdida 18 h Degradación
E.A.7 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 45,2 t/h año 6.12 dS/m	26 h 1.175,2 t/h año 6.12 dS/m	1 h 44,3 t/h año 7.74 dS/m	26 h 1.151,8 t 7.74 dS/m	0 h -23,4 t 1.62 dS/m	Estable Estable Negativo	Pérdida 26 h Degradación
E.A.8 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 48,3 t/h año 1.59 dS/m	49 h 2.366,7 t/h año 1.59 dS/m	1 h 34,3 t/h año 1.26 dS/m	49 h 1.680,7 t 1.26 dS/m	0 h -686 t (n.s.eco) -0.33 dS/m	Estable Positivo Positivo	Ganancia 49 h Mejoría
E.A.9 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 41,2 t/h año 2.78 dS/m	5 h 206 t/h año 2.78 dS/m	1 h 45 t/h año 4.22 dS/m	5 h 225 t 4.22 dS/m	0 h 19 t 1.44 dS/m	Estable Positivo Negativo	Pérdida 5 h Degradación
E.A.10	Cubierta vegetal	1 h	12 h	1 h	12 h	0 h	Estable	Ganancia

Cultivo de limonero	Producción CE	52,5 t/h año 1.17 dS/m	630 t/h año 1.17 dS/m	48,7 t/h año 0.92 dS/m	584,4 t 0.92 dS/m	-45,6 t (<10%) -0.25 dS/m	Positivo ↑ Positivo ↑	12 h Mejoria
E.A.11 Cultivo de limonero	Cubierta vegetal Producción CE	1 h 53,9 t/h año 1.92 dS/m	20 h 1.078 t/h año 1.92 dS/m	1 h 45,2 t/h año 6.10 dS/m	20 h 904 t 6.10 dS/m	0 h -174 t 4.18 dS/m	Estable = Negativo ↓ Negativo ↓	Pérdida 20 h Degradación
Ganancias netas 131 ha 47%								
Pérdida neta 150 ha 53 %								

4.4. Planes de Acción

En la figura 4.5.1 se esquematizan las diferentes situaciones que podemos encontrar para luchar contra la desertificación/degradación de los suelos estudiados.

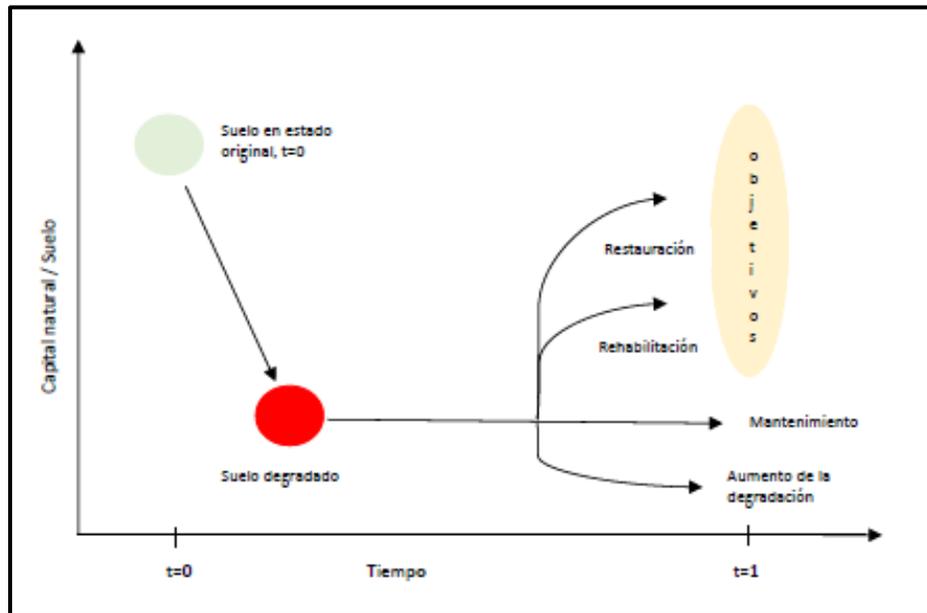


Figura 4.5.1. Metodología de lucha contra la desertificación/degradación

PLAN DE ACCIÓN CLASE 1.

MANTENER Y EVITAR

- **CARBONO:** Prácticas agrícolas en los suelos Xerosoles cálcicos, EA.1, EA.4, EA.6, similares a las de EA.8, en cultivo ecológico si es posible, y en Regosoles calcáricos, EA.3. Es de resaltar el hecho de que la explotación EA.3 se encuentra en un suelo de margas con yesos, suelo marginal, en principio no cultivado, que se ha conseguido recuperar y que actúe como sumidero de carbono en una zona árida y con grandes dificultades de cultivo, su nivel de carbono ya es superior a los niveles de fondo de Regosoles en su región. **En resumen, tanto las prácticas agrícolas en EA.3 como en EA.8 son buenas prácticas aplicables como ejemplo, y se favorece la captura de carbono con la adición de restos vegetales de las podas, si se entierran y no se dejan al aire libre. El cultivo ecológico puede favorecer la captura**
- **SALINIZACIÓN:** Pertenecen las explotaciones EA.4, EA.8 y EA.10. Mantener agua desalada en riego de EA.4 y EA.8, y en EA.10 con trasvase y pozo, su textura gruesa favorece la percolación.

Mantener el riego con agua de calidad

- **PRODUCCIÓN:** Pertenecen las explotaciones EA.4, EA.5 y EA.8
Peligro por afección debido a las altas temperaturas y al cambio climático. La EA.8 tenderá a estabilizar su producción tras pasar de convencional a ecológica.
- **FERTILIDAD:**

Macronutrientes

Nitrógeno: Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.3, EA.6, EA.7, EA.8 y EA.11.

Fósforo: Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.3, EA.4, EA.6, EA.8, EA.9 y EA.11.

Potasio: Pertenecen las explotaciones EA.3, EA.4, EA.6, EA.7, EA.8 y EA.9.

Micronutrientes

Hierro: Pertenecen las explotaciones EA.8 y EA.9

Cobre: Pertenecen las explotaciones EA.3, EA.6, EA.7, EA.8, EA.9, EA.11

Manganeso: Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.3, EA.5, EA.6, EA.8 y EA.9

Cinc: Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.3, EA.4, EA.8 y EA.11

Boro: Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.6 y EA.8

Mantener el programa de fertirrigación actual

PLAN DE ACCIÓN CLASE 2.

REDUCIR

- **CARBONO:** Reducir la degradación existente, adoptando prácticas sostenibles de gestión de la tierra que puedan frenar la degradación, al tiempo que aumentan la salud del suelo, y la producción, afectando al EA.2 y al EA.7. Para el suelo EA.2, se puede seguir el ejemplo del EA.8, aumentando la adición de materia vegetal e incorporándola al suelo para ir aumentando su contenido. Es un suelo que puede tener una gran capacidad de captura de carbono porque el nivel de fondo de los Xerosoles en la zona es de más de 21 tC/ha y puede ser el nivel objetivo. En cuanto al EA.7, también se trata de un suelo marginal, que se encuentra por encima de los niveles de fondo de su clase, pero que es necesario reducir la tendencia negativa en estos momentos y se puede conseguir frenar y aumentar la producción siguiendo las mismas recomendaciones anteriores.

SALINIZACIÓN: Pertenece la explotación EA.2- Reducir la salinidad con pozo y trasvase

Mantener el riego con agua de calidad

- **PRODUCCIÓN:** Pertenece las explotaciones: EA.6, EA.7 y EA.9

Peligro por afección debido a las altas temperaturas, al cambio climático y a la calidad de las aguas.

- **FERTILIDAD:**

Macronutrientes

Potasio: Pertenece la explotación EA.1

Micronutrientes

Cobre: Pertenece las explotaciones EA.4

Cinc: Pertenece las explotaciones EA.2

Mantener el programa de fertirrigación actual, enriquecido con cinc y cobre

PLAN DE ACCIÓN CLASE 3.

REVERTIR

- **CARBONO:** Afecta a Xerosol cálcico, EA.5, EA.10 y EA.11, y Fluvisoles calcáricos, Es preciso intensificar la adición de materia orgánica triturada y volteada periódicamente.
- **SALINIZACIÓN:** Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.3, EA.5, EA.6, EA.7, EA.9, EA.11.

Aumentar la cantidad y calidad del agua de riego.

- **PRODUCCIÓN:** Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.2, EA.3, EA.10 y EA.11

Peligro por afección debido a las altas temperaturas y al cambio climático. En suelos marginales se debe estar muy vigilantes con el aumento de la resiliencia del suelo

- **FERTILIDAD:**

Macronutrientes

Nitrógeno: Pertenecen las explotaciones EA.2, EA.4, EA.5, EA.9 y EA.10.

Fósforo: Pertenecen las explotaciones EA.2, EA.5, EA.7 y EA.10.

Potasio: Pertenecen las explotaciones EA.2, EA.5, EA.10 y EA.11

Micronutrientes

Hierro: Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.2, EA.3, EA.4, EA.5, EA.6, EA.7, EA.10 y EA.11

Cobre: Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.2, EA.5 y EA.10

Manganeso: Pertenecen las explotaciones EA.2, EA.4, EA.7, EA.10 y EA.11

Cinc: Pertenecen las explotaciones EA.5, EA.6, EA.7, EA.9 y EA.10

Boro: Pertenecen las explotaciones EA.1, EA.2, EA.3, EA.4, EA.5, EA.7 EA.9, EA.10 y EA.11

Revertir, aplicar materia orgánica para aumentar el nitrógeno, junto con fertilizantes nitrogenados, adicionar ácido fosfórico para aumentar el nivel de fósforo y disminuir el pH del suelo y, aplicación de fertilizantes ricos en sales de potasio y micronutrientes.

5.CONCLUSIONES

Conclusiones

Los resultados obtenidos nos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- Se ha conseguido monitorizar 11 explotaciones de *Citrus limon L*, convertirlos en “Living labs”, en la Región de Murcia, una de las zonas más sensibles (estado crítico o muy crítico) a la desertificación de Europa, durante 8 años, que pueden servir de ejemplo en diagnósticos posteriores para la planificación de otras tierras similares.
- El diagnóstico del estado de desertificación ha permitido clasificar los “living labs” en 3 clases de degradación de la tierra, basado en evidencias mediante los impactos transformativos de los diferentes indicadores cuantificados. Se detectan los puntos calientes de los suelos degradados, y ello permite aplicar los planes de acción localizados.
- Los principales problemas de desertificación diagnosticados son la pérdida de carbono orgánico y la salinidad, además de la erosión que sufren en zonas de pendiente (no valorada cuantitativamente en esta tesis).
- Las estimaciones realizadas a 2030 y 2050 en la dinámica del carbono de estos suelos, en función de las ecuaciones de tendencia de monitorización, muestran que el 45% de las explotaciones (clase 1) alcanzaría 2050, con ganancias de carbono, siguiendo el manteniendo de las prácticas agrícolas actuales, mientras que el 27%, de clase 3, en 2050 tendría pérdidas totales de carbono y debería aplicarse un plan de acción de revertir.
- En los procesos de salinización, producida fundamentalmente por el agua de mala calidad, a lo que se suma la alta evapotranspiración, solamente el 27% de las explotaciones, clase 1, evitaría la degradación hasta el 2050. El 64% de las explotaciones tendría un riesgo alto o muy alto de salinización / degradación en 2030 y 2050.
- En cuanto al cumplimiento de los objetivos de neutralidad de degradación de la tierra, y ODS, actualmente solo lo cumplen el 27%, en gran parte debido a la bajada de

producción por las altas temperaturas en épocas de floración. También por pérdida de carbono y/o salinización.

- La metodología que se propone es un sistema abierto, aplicable a suelos de secano o regadío, ampliando el número de indicadores, y los criterios de integración de LDN de “one-out, all-out.””, enfoque conservador, porque con ello se detectaría no solo los puntos calientes, sino la causa o causas de la degradación.
- La gestión de la materia orgánica, aumento de la materia en el suelo por adición de restos orgánicos e incorporación dentro del suelo por volteo superficial ha resultado ser uno de los pilares fundamentales para la lucha contra la desertificación y por tanto para el desarrollo sostenible.
- Se propone un nuevo paradigma de diagnóstico de la desertificación/ degradación de la tierra:
 - Cambiar “aumentar la productividad”, en los objetivos de desertificación por “mejorar la sostenibilidad”, ya que de esa forma aumentarán los servicios ecosistémicos que presta el suelo.
 - En cuanto a los indicadores para realizar esta evaluación se propone utilizar los indicadores propuestos por LDN más el carbono como indicador de mitigación y los indicadores de degradación química IADQS, figura 5.1.

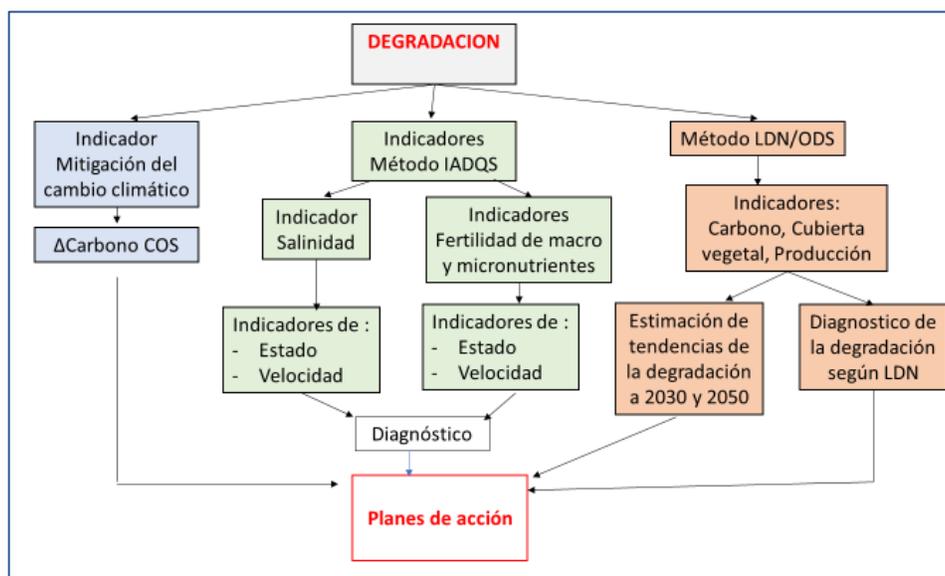


Figura 1. Esquema propuesto para el diagnóstico de la desertificación/degradación de suelos cultivo de Citrus limon L para los objetivos de LDN y ODS 15.3.1.

- No hay soluciones únicas aplicables a la desertificación de los suelos. Los planes de acción deben crearse, probarse y adaptarse sobre cada terreno, realizando proyectos piloto, mediante monitorizaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, A., Khan, S., Hussain, N., Hanjra, M.A., Akbar, S. (2010). Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. *Physics and Chemistry of the Earth* 55-57, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.004>
- Acosta Motos, J.R. y col., 2020. Alimentos de la Región de Murcia: Limón, Cátedra UCAM-Santander de emprendimiento en el ámbito agroalimentario. <https://www.ucam.edu/sites/default/files/public/catedras/emprendimiento-ambito-agroalimentario/informe-limon.pdf>
- Adedoyin, F., Ozturk, I., Abubakar, I., Kumeka, T., Oludele Folarin, Bekung, F.V. (2020). Structural breaks in CO₂ emissions: Are they caused by climate change protests or other factors?. *Journal of Environmental Management* 266, 110628.
- AEMET. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>
- AEMET. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. [http://www.aemet.es/es/noticias/2021/06/Record_concentraciones_co2_2021#:~:text=Enlaces%20relacionados,La%20concentraci%C3%B3n%20de%20di%C3%B3xido%20de%20carbono%20alcanza%20niveles%20r%C3%A9cord%20pese,partes%20por%20mill%C3%B3n%20\(ppm\)](http://www.aemet.es/es/noticias/2021/06/Record_concentraciones_co2_2021#:~:text=Enlaces%20relacionados,La%20concentraci%C3%B3n%20de%20di%C3%B3xido%20de%20carbono%20alcanza%20niveles%20r%C3%A9cord%20pese,partes%20por%20mill%C3%B3n%20(ppm))
- Agencia Europea de Medio Ambiente (2019) <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/articulos/>
- AILIMPO, 2022. Comunicación verbal. www.ailimpo.com.
- Albiac, J., Kahil, T., Notivol, E., & Calvo, E. (2017). Agriculture and climate change: Potential for mitigation in Spain. *The Science of the Total Environment*, 592, 495-502. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.110>
- Alcon F., Sorada Tapsuwan, Martínez-Paz, J.M., Roy Brouwer, Miguel M.D. (2014). Forecasting deficit irrigation adoption using a mixed stakeholder assessment methodology. *Technological Forecasting & Social Change* 83, 183–193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2013.07.003>
- Aldaya, M.M., Custodio, E., Llamas, R., Fernández, M.F., García, J., Ródenas, M.A. (2019). An academic analysis with recommendations for water management and planning at the basin scale: A review of water planning in the Segura River Basin. *Science of The Total Environment*, 662, 755-768. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.266>
- Alías, L.J., Ortiz R., Martínez M.J., Linares P., Alcaraz F., y Marín P. (1990b). Proyecto LUCDEME. Mapa de suelos E 1:100000. Alcantarilla-33. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA-Universidad de Murcia

- Anne, (1945). *Ann. Agro.*, 2, 161-172. Black, C.A. 1965. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Properties, including Statistics of Measurement and Sampling.* Am. Soc. of Agron., Inc. Publisher. Madison. Wisconsin. USA. 1-770.
- Aubreville, A. 1949. *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale.* Geog. Marit. & Col. Paris. 351 pp.
- Bai, X. Y., Wang, S. J., & Xiong, K. N. (2013). Assessing spatial-temporal evolution processes of Karst rocky desertification land: Indications for restoration strategies. *Land Degradation & Development*, 24(1), 47–56. DOI: 10.1080/10106049.2019.1595175
- Ballabio C, Panagos P., Lugato E, Huang J-H, Orgiazzi A, Jones A, Fernández-Ugalde O, Borrelli P, Montanarella L. (2018). Copper distribution in European topsoils: An assessment based on LUCAS soil survey. *Science of the Total Environment* 636, 282–298.. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.268>
- Bell, S.M., Barriocanal, C., Terrer, C., Rosell-Mele, A. (2020). Management opportunities for soil carbon sequestration following. *Environmental Science and Policy*, 108, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.03.018>
- Belle S.L., Riotte J., Sekhar M., Ruiz L., Schiedung M., Abiven S. (2022). Soil organic carbon stocks and quality in all-scale tropical, sub-humid and semi-arid watersheds under shrubland and dry deciduous forest in southwestern India. *Geoderma*, 409, 115606. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115606>
- Borrelli, P. R. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water. *Proceedings of the National Academy of Sciences- PNAS*, 117(36), 21994-22001. Obtenido de <https://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2001403117>
- Branco Rodrigues, R., de Magalhães Ozorio L., de Lamare C., Pinto B., Teixeira Brandão. L.E. (2015). Opción de troca de producto en la industria de fertilizantes. *Revista de Administración Volumen 50, número 2, páginas 129-140.* <https://doi.org/10.5700/rausp1189>
- Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev. Cienc. Agr.* 35(1): 82-96. doi:<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Calvo García -Tornel, F. (1971). “Los cultivos y la estructura agraria en la huerta de Murcia”, Departamento de Geografía, Universidad de Murcia.
- Carvalho Nunes, F. et al. (2020). Chapter 9 - Soil as a complex ecological system for meeting food and nutritional security. *Climate Change and Soil Interactions*, 229–269. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00009-6>
- Castellanos, R. J. Z. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas.* México: Intagri 2ª edición
- Chasek, P., Safriel, U., Shikongo, S., & Fuhrman, V. F. (2014). Operationalizing zero net land degradation: The next stage in international efforts to combat desertification? *Journal of Arid Environments*, 112, 5-13. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.020>
- Chasek, P., Cowie, A, Orr, B., Castillo, V., Crossman, N., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G., Minelli, S., Tengberg, A., Walter, S., Welton, S. (2017). Land in balance:

The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*. 79. 25-35. 10.1016/j.envsci.2017.10.011.

Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S. and Von Maltitz, G., *World Atlas of Desertification*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-75350-3, doi:10.2760/9205, JRC111155.

Christian, B. A., Dhinwa P.S., Ajai, (2018). Long term monitoring and assessment of desertification processes using medium & high resolution satellite data. *Applied Geography* 97, 10–24. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.04.010>

CHS (Confederación Hidrográfica del Segura). (2020). Control de aguas subterráneas. <https://www.chsegura.es/es/cuenca/redes-de-control/calidad-en-aguas-superficiales/estado-de-las-masas-de-agua/>

Colombi, T., Keller, T., (2019). Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction—A plant eco-physiological perspective. *Soil & Tillage Research*, 191, 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.008>

COM (2019). Communication from the commission to the european parliament, the european council, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions *The European Green Deal*.

COM (2021) 699 final. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions *Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate*.)

COM (2023). 416 final. ANNEXES to the proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699>

https://environment.ec.europa.eu/system/files/2023-07/ANNEXES%20to%20the%20proposal%20for%20a%20Directive%20of%20the%20European%20Parliament%20and%20of%20the%20Council_COM_2023_416_final.pdf

Comisión Europea, Dirección General de Investigación e Innovación, *The Medalus project : Mediterranean desertification and land use: Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*, Publications Office, 1999.

Comisión Europea, Dirección General de Medio Ambiente, *Los costes ocultos del sellado del suelo: en busca de alternativas a la ocupación y el sellado del suelo*, Oficina de Publicaciones, 2013, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/16773>

Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, (2016). Serie técnica y de estudios nº 26 “Las heladas en la zona citrícola de la huerta murciana” 2003. ISBN: 84-688-4423-3

Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Agua y Agricultura, 2008. *La fertirrigación del limonero*. <https://www.carm.es/web/descarga?IDCONTENIDO=6159&ALIAS=PUBT&RASTRO=c>

498\$m1259,20559&IDADIC=1196&ARCHIVO=Texto+Completo+1+La+fertirrigación+en+el+limonero.pdf

Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente. Estadística Agraria de Murcia 2019-20. [https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=Estad%C3%ADstica%20Agraria%20de%20Murcia%202016-2017.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=147657&IDTIPO=60&RASTRO=c80\\$m22721,22746,1174,2589](https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=Estad%C3%ADstica%20Agraria%20de%20Murcia%202016-2017.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=147657&IDTIPO=60&RASTRO=c80$m22721,22746,1174,2589)

Comunidad Autónoma de la Región de Murcia,. (2006). Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca. Programa de Innovación Tecnológica. N° 22. Fertilización en la zona vulnerable del Campo de Cartagena) [https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=20538&IDTIPO=100&RASTRO=c498\\$m1259](https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=20538&IDTIPO=100&RASTRO=c498$m1259)

Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. SIGPAC. [https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=64355&IDTIPO=100&RASTRO=c80\\$m22721,22772,64316](https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=64355&IDTIPO=100&RASTRO=c80$m22721,22772,64316)

Cotrufo, M. F., Ranalli, M. G., Haddix, M. L., Six, J., & Lugato, E. (2019). Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nature Geoscience*, 12(12), 989-994. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6>

Daliakopoulos, I. N., Tsanis, I. K., Koutroulis, A., Kourgialas, N. N., Varouchakis, A. E., Karatzas, G. P., & Ritsema, C. J. (2016). The threat of soil salinity: A european scale review. *The Science of the Total Environment*, 573, 727-739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>

Decreto-ley 1/2017, de 4 de abril, de medidas urgentes para garantizar la sostenibilidad ambiental en el entorno del Mar Menor. (2017). BORM» núm. 80

EEA (2019), *The European Environment: State and Outlook 2020*.

EEA (2019). *Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/publications/cc-adaptation-agriculture>

Endale T., Diels J., Tsegaye D., Kassaye A., Belayneh L., Verdoodt A.. (2023). Farmer science-based soil degradation metrics guide prioritization of catchment-tailored control measures.

Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia, ESAMUR 2022. <https://www.esamur.com/reutilizacion>

Environmental Development, Vol. 45, pp. DOI:10.1016/j.envdev.2022.100783

FAO (2002). Asociación internacional de la industria de los fertilizantes. Los fertilizantes y su uso. 2002. 77 pags. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>

FAO (2009). Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change. Implications and opportunities for mitigation and adaptation. https://www.fao.org/uploads/media/LWdisc_paper8_temp.pdf

- FAO. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia <https://www.fao.org/3/i6937es/i6937es.pdf>
- FAO. (2018). *Handbook for saline soil management* (R. Vargas, E.I. Pankovoy, S.A. Balyuk, P.V. Krasilnikov and G.M. Hasanhanova, Ed.). ISBN 978-92-5-130141-8
- FAO. (2021). *Standard operating procedure for saturated soil paste extract*. Rome.
- FAO. (s.f.). Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- FAO-ISRIC-IUSS. 2006. *World reference base for soil resources 2006*. World Soil Resource Reports n° 103. FAO. Roma. 145 pp.
- Fatondji, D., Martius, C., Biielders, C. L., Vlek, P. L. G., Bationo, A., & Gerard, B. (2006). Effect of planting technique and amendment type on pearl millet yield, nutrient uptake, and water use on degraded land in Niger. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76(2-3), 203-217. <https://doi.org/10.1007/s10705-005-6209-9>
- Feng, S., Zhao, W., Zhan, T., Yan, Y., & Pereira, P. (2022). Land degradation neutrality: A review of progress and perspectives. *Ecological Indicators*, 144, 109530. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109530>
- Ferreira, C. S. S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., & Kalantari, Z. (2022). Soil degradation in the european mediterranean region: Processes, status and consequences. *The Science of the Total Environment*, 805,150106-150106. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>
- Ferreira, V., Panagopoulos, T., Cakula, A., Andrade, R., & Arvela, A. (2015). Predicting soil erosion after land use changes for irrigating agriculture in a large reservoir of southern Portugal. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.006>
- Fu, L., Cao, Y., Kuang, S., & Guo, H. (2021). Index for climate change adaptation in china and its application. *Advances in Climate Change Research*, 12(5), 723-733. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.06.006>
- García-Sánchez, Francisco, Simón, Inmaculada, Lidón, Vicente, Manera, Francisco J.; Simón-Grao, Silvia; Pérez-Pérez, Juan G.; Gimeno, Vicente. (2015). Shade screen increases the vegetative growth but not the production in ‘Fino 49’ lemon trees grafted on *Citrus macrophylla* and *Citrus aurantium* L. *Scientia Horticulturae*. Vol. 194, p175-180. 6p. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.08.005.
- Geisen, S., Wall, D. H., & van der Putten, Wim H. (2019). Challenges and opportunities for soil biodiversity in the anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R1036-R1044. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.007>
- Gentile, R.M., Malepfane, N.M., Van den Dijssel, C., Arnold, N., Liu, J., Müller K. (2021). Comparing deep soil organic carbon stocks under kiwifruit and pasture land uses in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 306, 107190. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107190>

- Gilbey, B., Davies, J., Metternicht, G., & Magero, C. (2019). Taking land degradation neutrality from concept to practice: Early reflections on LDN target setting and planning. *Environmental Science & Policy*, 100, 230-237. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.007>
- Gnacadja, L. (2012b). Moving to zero net rate of land degradation, statement by Executive Secretary. UN Convention to combat desertification, Rio de Janeiro
- Gobierno de España. Presidencia del Gobierno 2019. <https://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh18-19/agricultura/Paginas/index.aspx>
- Han, J., Ge, W., Hei, Z., Cong, C., Ma, C., Xie, M., Liu, B., Feng, W., Wang, F., & Jiao, J. (2020). Agricultural land use and management weaken the soil erosion induced by extreme rainstorms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107047. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107047>
- Hu, Y., Han, Y., & Zhang, Y. (2020). Land desertification and its influencing factors in Kazakhstan. *Journal of Arid Environments*, 180, 104203. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104203>
- Infoagro, (2022). Producción de limón en Mexico y en el mundo. mexico.infoagro.com/producción-de-limon
- Instituto Geológico Nacional.(1978)
http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaRedirigida.do?ruta=PUBLICACION_CNIG_DATOS_VARIOS/aneTematico/Espana_Mapa-litologico_1978_mapa_15184_spa.pdf
- Insua-Costa, D., Lemus-Canovas, M., Miguez-Macho, G., Llasat, M.C. (2021). Climatology and ranking of hazardous precipitation events in the western Mediterranean area. *Atmospheric Research* 255,10552. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105521>
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis, Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC.
- IUSS Working Group WRB, 2014. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma. <https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>
- Keesstra, S., Mol, G., de Leeuw, J., Okx, J., Molenaar, C., de Cleen, M., & Visser, S. (2018). Soil-related sustainable development goals: Four concepts to make land degradation neutrality and restoration work. *Land (Basel)*, 7(4), 133. <https://doi.org/10.3390/land7040133>
- Labbiltaa, T., Ait-El-Mokhtar, M., Anli, M., Boutasknit, A., Abouliatime, Y., Khouloudf, M., Meddich, A., Mesnaoui M. (2023). Controlled-release fertilizers from phosphate glass-matrix: A new ecological approach to match nutrients release with plants demand. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* Volume 62, Issue 6, pages 571-587. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2022.12.004>

- Lal R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677):1623-7. doi: 10.1126/science.1097396.
- Lal R. (2008). Carbon sequestration. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 363, 815–830. <https://doi:10.1098/rstb.2007.2185>
- Lal R. (2011). Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European journal of soil science*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01114.x>
- Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 29(4), 437-450. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00192-7)
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 7(5), 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Lal, R., Safriel, U., & Boer, B. (2012). Zero Net Land Degradation: A New Sustainable Development Goal for Rio+ 20. https://catalogue.unccd.int/58_Zero_Net_Land_Degradation.pdf
- Le Page, M. (2022). EU's net-zero plan has a huge flaw. *New Scientist* (1971), 254(3381), 16-16. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(22\)00599-1](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(22)00599-1)
- Leogrande, R., Pedrero, F., Nicolas, E., Vitti, C., Lacolla, G., & Stellacci, A. M. (2022). Reclaimed water use in agriculture: Effects on soil chemical and biological properties in a long-term irrigated citrus farm. *Agronomy (Basel)*, 12(6), 1317. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061317>
- Li Y., Lu H., Yang K., Wang W., Tang Q., Khem S., Yang F., Huang Y. (2021). Meteorological and hydrological droughts in Mekong River Basin and surrounding areas under climate change. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 36, 100873. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100873>
- Lindsay, W.L y Norwell, W.A. 1969. Development of a DTPA micronutrient soil test. *Agron, Abstr*, 84.
- Liu B., Feng W., Wang F., Jiao J. (2020). Agricultural land use and management weaken the soil erosion induced by extreme rainstorms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 301, 107047. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107047>
- Liu D., Li M., Yu R., Li H., Shen Y., Bud H., Huang C., Tan W. (2023). Interlayer organic matter within hydroxy-interlayered clay minerals enhances soil organic carbon stability under long-term organic fertilization. *Applied Clay Science* 239, 106963. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2023.106963>
- Long Guo, Peng Fu, Tiezhu Shi, Yiyun Chen, Chen Zeng, Haitao Zhang, Shanqin Wang. (2021). Exploring influence factors in mapping soil organic carbon on low-relief agricultural lands using time series of remote sensing data. *Soil and Tillage Research*, Volume 210, 104982. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104982>
- Maas, E.V., (1993). Salinity and citriculture. *Tree Physiology*, Volume 12, Issue 2, Pages 195–216, <https://doi.org/10.1093/treephys/12.2.195>

- MAGRAMA. (2023). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/resumen_inventario_gei_ed_2023_tcm30-560383.pdf
- MAPA 1994. Métodos oficiales de análisis .Tomo III. Madrid
- Marion, G. M., Schlesinger, W. H., & Fonteyn, P. J. (1985). Caldep: A regional model for soil CaCO₃ (caliche) deposition in southwestern (U.S.) deserts. *Soil Science*, 139(5), 468-481. <https://doi.org/10.1097/00010694-198505000-00014>
- Martin, D. (2004). Qualitative, quantitative and microtextural power x-ray difraccion análisis. Available at www.xpowder.com
- Martínez López, S., Gómez Martínez M.C. y Martínez Sánchez M.J. (2016). informe sobre la distribución espacial del contenido en carbono organico en suelos de la Región de Murcia, y su aplicación a la compensación de emisiones. Informe para la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Informe Privado
- Martínez Sánchez M.J, y Pérez Sirvent C. (2009). Manual de procedimientos para el diagnóstico y la monitorización de la desertificación mediante indicadores de degradación química (Método IADQS). INTERREG IIIB. Espacio MEDOCC. Proyecto DESERTNET 2. Acción piloto Región de Murcia. ISBN: 978-8-693-0003-9. Pags 75.
- Martínez-Álvarez V., González-Ortega M.J., Martín-Gorriz B., Soto-García M., Maestre-Valero J.F. (2017). The use of desalinated seawater for crop irrigation in the Segura River Basin (southeastern Spain). *Desalination*. Volume 422, Pages 153-164. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.08.022>
- Martínez-Sánchez, M. J., Pérez-Sirvent, C., García-Lorenzo, M. L., & Molina-Ruiz, J. (2015). An evaluation of the environmental sensitivity to land degradation in Murcia Region, SE Spain. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(9), 2776-2786.
- Martínez-Sánchez, M. J., Pérez-Sirvent, C., Molina-Ruiz, J., Tudela, M. L., & García-Lorenzo, M. L. (2011). Monitoring salinization processes in soils by using a chemical degradation indicator. *Journal of Geochemical Exploration*, 109(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.01.007>
- Martínez-Sánchez, M.J., Pérez-Sirvent, C., Tudela, M.L., Molina, J., Linares, P., Navarro Hervás, M.C., Vidal, J., Barberán, R., Mantilla, W., Tovar, P., Solano, A., Marimón, J., Agudo, I., Hernández, C. (2005). Desertificación: Monitorización mediante indicadores de degradación química. Proyecto DESERTNET: Acción piloto Región de Murcia. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del territorio, Dirección General del Medio Natural, Murcia.
- Martínez-Sánchez, M.J.; Navarro, M.C.; Pérez-Sirvent, C.; Marimón, J.; Vidal, J.; García-Lorenzo, M.L.; Bech, J. (2008). Assessment of the mobility of metals in a mining-impacted coastal area (Spain, Western Mediterranean). *Journal of Geochemical Exploration*. 96(2):171-182. DOI: 10.1016/j.gexplo.2007.04.006

- Martínez-Sánchez, M.J.; Navarro, M.C.; Pérez-Sirvent, C.; Marimón, J.; Vidal, J.; García-Lorenzo, M.L.; Bech, J. (2008). Assessment of the mobility of metals in a mining-impacted coastal area (Spain, Western Mediterranean). In *Journal of Geochemical Exploration*. 96(2):171-182. DOI: 10.1016/j.gexplo.2007.04.006
- Midwood A.J., Kirsten H. D., Gebretsadik T., E.D., Jones M. D. (2021) Storage of soil carbon as particulate and mineral associated organic matter in irrigated woody perennial crops. *Geoderma* 403, 115185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115185>
- Midwood, A. J., Hannam, K. D., Gebretsadikan, T., Emde, D., & Jones, M. D. (2021). Storage of soil carbon as particulate and mineral associated organic matter in irrigated woody perennial crops. *Geoderma*, 403, 115185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115185>
- Miháliková, M., & Dengiz, O. (2019). Towards more effective irrigation water usage by employing land suitability assessment for various irrigation techniques. *Irrigation and Drainage*, 68(4), 617-628. <https://doi.org/10.1002/ird.2349>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente, MITECO. Confederación Hidrográfica del Segura. (2015). Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015-21, anejo 6 sistemas de explotación y balances, pg. 52. https://www.chsegura.es/export/sites/chs/descargas/planificacionydma/planificacion15-21/docsdescarga/docplan1521/A06_balances_y_reservas/Anejo_6_Sistemas_explotacion_balances.pdf
- Ministerio de Agricultura, Demografía, Pesca y Alimentación. “Anuario Estadístico 2019/20. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2019/default.aspx>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, MAPAMA 2018. Iniciativa 4 por mil: el carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España. Enero 2018. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/4por1000_tcm30-438109.pdf
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2023). https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/lucha-contra-la-desertificacion/lch_espana.html
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2023). Confederación Hidrográfica del Segura. <https://www.chsegura.es/es/cuenca/infraestructuras/trasvase-tajo-segura-y-postrasvase/historicos/>
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2023). Informe de inventario nacional de gases de efecto invernadero. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-es_nir_edicion2023_tcm30-560374.pdf
- Montanarella, L., Pennock, D. J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., Mamo, T., Yemefack, M., Singh Aulakh, M., Yagi, K., Young Hong, S., Vijarnsorn, P., Zhang, G., Arrouays, D., Black, H., Krasilnikov, P., Sobocká, J., Alegre, J., Henriquez, C. R., Vargas,

- R. (2016). World's soils are under threat. *Soil*, 2(1), 79-82. <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>
- Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H. S., Sharma, P. C., & Bolan, N. S. (2021). Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, 280, 111736 -111736 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736>
- Nadal-Romero, E., Rubio, P., Kremyda, V., Absalah, S., Cammeraat, E., Jansen, B., & Lasanta, T. (2021). Effects of agricultural land abandonment on soil organic carbon stocks and composition of soil organic matter in the central spanish pyrenees. *Catena* (Giessen), 205, 105441. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105441>
- Nath, A.J., Lal, R., (2017). Effects of Tillage Practices and Land Use Management on Soil Aggregates and Soil Organic Carbon in the North Appalachian Region, USA. *Pedosphere* 27(1): 172–176, ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P, [http://doi:10.1016/S1002-0160\(17\)60301-1](http://doi:10.1016/S1002-0160(17)60301-1)
- National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021. <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2764/Coronavirus-response-barely-slows-rising-carbon-dioxide>
- Nosalewicz, A., Lipiec, J. (2014). The effect of compacted soil layers on vertical root distribution and water uptake by wheat. *Plant Soil* 375, 229–240. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1961-0>
- Nunes J.P., Seixas J., Keizer J.J.. (2013). Modeling the response of within-storm runoff and erosion dynamics to climatechange in two Mediterranean watersheds: A multimodel, multiscale approach toscenario design and análisis. *Catena* 102, 27–39. doi: 10.1016/j.catena.2011.04.00
- Olalekan W., Kadiri J., Fasina A. S., Babalola T. S.. (2021). Soil organic carbon concentration and stock of arable land use of two agro-ecological zones of Nigeria. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20, 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.01.004>
- Olsen, S.R. y Dean, L.A. 1965. Phosphorus. En C.A. Black, Ed. *Methods of Soil Analysis*, part 2, 1044-1045. Amer. Soc. Agronomy, Inc. Madison, Wis.
- Omuto CT, Vargas RR, El Mobarak, AM, Mohamed N, Viatkin K, Yigini Y. (2020). Mapping of salt-affected soils: Technical manual. Rome, FAO <https://doi.org/10.4060/ca9215en>
- Orgiazzi, A., Ballabio, C., Panagos, P., Jones, A., & Fernández-Ugalde, O. (2018). LUCAS soil, the largest expandable soil dataset for europe: A review. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 140-153.
- Orr, B.J., A.L. Cowie, V.M. Castillo Sanchez, P. Chasek, N.D. Crossman, A. Erlewein, G. Louwagie, M. Maron, G.I. Metternicht, S. Minelli, A.E. Tengberg, S. Walter, and S. Welton. (2017). Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD),

Bonn, Germany. https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2019-06/LDN_CF_report_web-english.pdf

- Palenzuela Cruz, J. E., Bañón Peregrín L. M., Valcarcel Hernández, M. M. García Valero J. A. (2021). El cambio climático, presente y tendencias futuras en la región de Murcia, capítulo 1. En : Cambio climático en la Región de Murcia, Del acuerdo de París a la emergencia climática. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático. ISBN: 978-84-09-26245-8. [https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=1113-2020%20Libro%20del%20Cambio%20Clima%20C2%BFtico%20con%20portadas.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=176927&IDTIPO=60&RASTRO=c864\\$m9665](https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=1113-2020%20Libro%20del%20Cambio%20Clima%20C2%BFtico%20con%20portadas.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=176927&IDTIPO=60&RASTRO=c864$m9665)
- Pardo, G., del Prado, A., Martínez-Mena, M., Bustamante, M. A., Martín, J. A. R., Álvaro-Fuentes, J., & Moral, R. (2017). Orchard and horticulture systems in spanish mediterranean coastal areas: Is there a real possibility to contribute to C sequestration? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 238, 153-167. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.034>
- Park, S., & Um, J. (2018). Differentiating carbon sinks versus sources on a university campus using synergistic UAV NIR and visible signatures. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11), 652-12. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7003-x>
- Peech, M. (1965). Hydrogen-ion activity. En C.A. Black, Ed. *Methods of Soil Analysis*, part 2, 914916. Amer. Soc. Agronomy, Inc. Madison. Wisconsin. EEUU.
- Pérez-Pérez, J.G., Robles, J.M., Tovar, J.C., Botía P., 2009. Response to drought and salt stress of lemon ‘Fino 49’ under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. *Scientia Horticulturae*, Volume 122, Issue 1, 1, Pages 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.04.009>
- Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M. J., Vidal, J., & Sánchez, A. (2003). The role of low-quality irrigation water in the desertification of semi-arid zones in Murcia, SE Spain. *Geoderma*, 113(1), 109-125. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00334-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00334-8)
- Perovic, V., Cakmak, D., Stajkovic Srbinovic, O. Vesna Mrvic, Snezana Belanovic Simic, Marija Matic, Dragana Pavlovic, Darko Jaramaz, Miroslava Mitrovic, Pavle Pavlovic (2023). A conceptual modelling framework for assessment multiple soil degradation: A case study in the region of Sumadija and Western Serbia. *Ecological Indicators*. Volume 148, 110096. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110096>
- Právělie, R., Patriche, C., & Bandoc, G. (2017). Quantification of land degradation sensitivity areas in southern and central southeastern Europe. new results based on improving DISMED methodology with new climate data. *Catena* (Giessen), 158, 309-320. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.006>
- Prospero, J. M., & Lamb, P. J. (2003). African droughts and dust transport to the caribbean: Climate change implications. *Science* (American Association for the Advancement of Science), 302 (5647), 1024-1027. <https://doi.org/10.1126/science.1089915>
- Ramos, T. B., Darouich, H., Oliveira, A. R., Farzamian, M., Monteiro, T., Castanheira, N., Paz, A., Alexandre, C., Gonçalves, M. C., & Pereira, L. S. (2023). Water use, soil water balance and soil salinization risks of mediterranean tree orchards in southern Portugal under current

- climate variability: Issues for salinity control and irrigation management. *Agricultural Water Management*, 283, 108319. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108319>
- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.(2005). BOE núm. 15.
- Redondo Orts, J.A., López Ortiz, M.I., Melgarejo Moreno, J., & Fernández Aracil, P. (2023). Análisis y alternativas para paliar el déficit hídrico en la Demarcación Hidrográfica del Segura (2022-2027), sureste de España. *Investigaciones Geográficas*, (79), 179-206. <https://doi.org/10.14198/INGEO.23607>
- Repullo M.A., Carbonell R., Hidalgo J., A. Rodríguez-Lizana, R. Ordoñez. (2012). Using olive pruning residues to cover soil and improve fertility. *Soil & Tillage Research*, 124, 36–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.04.003>
- Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. En: *Methods of Soil Analysis. Part 2*. Ed. Page, A.L. *Agronomy* 9: 167.
- Rhoades, J.D., Chanduvi, F., & Lesch, S. 1999. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurement. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy*, pp. 1-150.
- Robles, J.M., Botía, P., Pérez-Pérez, J.G. (2017). Sour orange rootstock increases water productivity in deficit irrigated ‘Verna’ lemon trees compared with *Citrus macrophylla*. *Agricultural Water Management*, 186, 98–107. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.002>
- Rodríguez Martín, J. A., Álvaro-Fuentes, J., Gonzalo, J., Gil, C., Ramos-Miras, J. J., Grau Corbí, J. M., & Boluda, R. (2016). Assessment of the soil organic carbon stock in Spain. *Geoderma*, 264, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.10.010>
- Rodríguez Martín, J.A., López Arias, M., Grau Corbí, J.M. (2009). Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y pastos de España (pp 65-76). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. ISBN 978-84-491-0980-5
- Rodríguez-Murillo, J. C. (2001). Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. *Biology and Fertility of Soils*, 33(1), 53-61. <https://doi.org/10.1007/s003740000289>
- Rubio, V., Diaz-Rossello, R., Quincke, J.A., Mathijs van Es, H. (2021). Quantifying soil organic carbon’s critical role in cereal productivity losses under annualized crop rotations. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 321 (2021) 107607. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107607>
- Rugendo, M. K., Gichimu B. M., Mugwe J. N., Mucheru-Muna M., Mugend. D. N. (2023). Surface runoff and soil erosion from Nitisols and Ferralsols as influenced by different soil organic carbon levels under simulated rainfall conditions. *Heliyon* 9, e17684. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17684>
- Ruiz D., Martínez V., Cerdá A. (1995). Citrus response to salinity: growth and nutrient uptake. *Tree Physiology*, 17, 141-150

- Rumpel, C., & Kögel-Knabner, I. (2011). Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and Soil*, 338(1/2), 143-158. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0391-5>
- Safriel, U. (2017). Land degradation neutrality (LDN) in drylands and beyond – where has it come from and where does it go. *Silva Fennica* (Helsinki, Finland : 1967), 51(1) <https://doi.org/10.14214/sf.1650>
- Scudiero, S., Skaggs, T.H., Corwin, D.L. (2017). Simplifying field-scale assessment of spatiotemporal changes of soil salinity. *Science of The Total Environment*. Volume 587–588, Pages 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.136>
- Setia, R., Gottschalk, P., Smith, P., Marschner, P., Baldock, J., Setia, D., & Smith, J. (2013). Soil salinity decreases global soil organic carbon stocks. *The Science of the Total Environment*, 465, 267-272. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.028>
- Shaohua Gu, Liang Zhang, Shiqiang Sun, Xiaofeng Wang, Beibei Lu, Hangtao Han, Jun Yang, Aihong Wang. (2020). Projections of temperature-related cause-specific mortality under climate change scenarios in a coastal city of China. *Environment International*, 143, 105889. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105889>
- Shaygan, M., & Baumgartl, T. (2022). Reclamation of salt-affected land: A review. *Soil Systems*, 6(3), 61. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6030061>
- Shen Y., Zhu B.. (2022). Effects of nitrogen and phosphorus enrichment on soil N₂O emission from natural ecosystems: A global meta-analysis. *Environmental Pollution*, 301, 118993. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118993>
- Simon-Grao, S.; Simon, I.; Lidon, V.; Conesa, A.; Manera, J.; Brotons, J.M.; Martinez-Nicolas, J.J.; Garcia-Sanchez, F. (2016). Effects of shade screens and mulching on the color change of fruits from “Fino 49” lemon trees irrigated with water of different salinity or irrigation regimes. *Scientia Horticulturae*. Vol. 209, p316-322. 7p. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.06.039.
- Simpson N.P, Mach K. J., Constable A., Hess J., Hogarth R., et al, (2021). A framework for complex climate change risk assessment. *One earth* 4, pp 489-501 <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005>
- Simpson, N. P., Mach, K. J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., Lawrence, J., Lempert, R. J., Muccione, V., Mackey, B., New, M. G., O'Neill, B., Otto, F., Pörtner, H. O., Reisinger, A., Roberts, D., Schmidt, D. N., Seneviratne, S., Strongin, S., Trisos, C. H. (2021). A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth* (Cambridge, Mass.), 4(4), 489-501. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005>
- Sims, N. C., England, J. R., Newnham, G. J., Alexander, S., Green, C., Minelli, S., & Held, A. (2019). Developing good practice guidance for estimating land degradation in the context of the united nations sustainable development goals. *Environmental Science & Policy*, 92, 349-355. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.10.014>

- Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241(2), 155-176. <https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>
- Six, J., Frey, S. D., Thiet, R. K., & Batten, K. M. (2006). Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 555-569. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>
- Sobecki, T. M., & Wilding, L. P. (1983). Formation of calcic and argillic horizons in selected soils of the texas coast prairie. *Soil Science Society of America Journal*, 47(4), 707-715. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700040021x>
- Soil and land. Environment. https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land_en.
- Stan, C. O., Pîrnău, R. G., Roșca, B., & Sirbu-Radasanu, D. S. (2022). Risk of salinization in the agricultural soils of semi-arid regions: A case study from moldavian plain (NE Romania). *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 14(24), 17056. <https://doi.org/10.3390/su142417056>
- Stanbery, C., Ghahremani, Z., Huber, D.P., Will, R., Benner, S.G., Glenn, N., Hanif, T., Spaete, L., Terhaar, D., Kathleen A. Lohse, Mark Seyfried, William Freutel, Pierce, J.L. (2023). Controls on the presence and storage of soil inorganic carbon in a semi-arid watershed. *Catena* 225, 106980. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106980>
- Stavi, I., & Lal, R. (2015). Achieving zero net land degradation: Challenges and opportunities. *Journal of Arid Environments*, 112, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.016>
- Suravi, K. N., Attenborough, K., Taherzadeh, S., Macdonald, A. J., Powlson, D. S., Ashton, R. W., & Whalley, W. R. (2021). The effect of organic carbon content on soil compression characteristics. *Soil & Tillage Research*, 209, 104975-104975. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104975>
- Thapa V. R., Ghimire R., Adhikari K. P., Lamichhane S. (2023). Soil organic carbon sequestration potential of conservation agriculture in arid and semi-arid regions: A review. *Journal of Arid Environments*, 217, 105028. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.105028>
- Tribunal de Cuentas Europeo.(2018). Informe especial nº 33/2018. La lucha contra la desertificación en la UE: una amenaza creciente contra la que se debe actuar más intensamente <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/desertification-33-2018/es/#chapter0>
- Trumbore, S. (2009). Radiocarbon and soil carbon dynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37(1), 47-66. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124300>
- UNCCD (1994). Elaboration of an International convention to Combat Desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/UNCCD_Convention_ENG.pdf.
- UNCCD. (2024). Convention to Combat Desertification. <https://www.unccd.int/land-and-life/land-degradation-neutrality/overview>

- United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations 1992. Obtenido de https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf pg4
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423)*. ISBN: 978-92-1-148316-1
- United Nations. UN news 2022. <https://news.un.org/es/story/2022/05/1508872>
- Vargas-Amelin E., Pindado P. (2014). (The challenge of climate change in Spain: Water resources, agriculture and land. *Journal of Hydrology* 518, 243–249, <https://doi.org/10.1016/j.jhidrol.2013.11.035>
- Wang C J., Hudson J. M., Lassalle G., Whitesel T.A.. (2021). Impacts of a changing climate on native lamprey species: From physiology to ecosystem services. *Journal of Great Lakes Research*, Volume 47, 1, S186-S200. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.06.013>
- Wang X., Xu X. P., Qiu S., Zhao S.. (2023). Deep tillage enhanced soil organic carbon sequestration in China: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 399, 136686. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136686>
- Wang Z., Huang L., Shao M.. (2023). Spatial variations and influencing factors of soil organic carbon under different land use types in the alpine region of Qinghai-Tibet Plateau. *CATENA* Volume 220, Part A, 106706. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106706>
- Wang, C. J., Michael Hudson, J., Lassalle, G., & Whitesel, T. A. (2021). Impacts of a changing climate on native lamprey species: From physiology to ecosystem services. *Journal of Great Lakes Research*, 47, S186-S200. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.06.013>
- Wang, X., Tian, W., Zhenga, W., Shahb, S., Lia, J., Wang, X., Zhang, X. (2023). Quantitative relationships between salty water irrigation and tomato yield, quality, and irrigation water use efficiency: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 280, 108213. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108213>
- Wen, Y., Bernhardt, E. S., Deng, W., Liu, W., Yan, J., Baruch, E. M., & Bergemann, C. M. (2019). Salt effects on carbon mineralization in southeastern coastal wetland soils of the united states. *Geoderma*, 339, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.035>
- Wenzel W. W., Duboc O, Golestanifard A., Holzinger C., Mayr K., Reiter J., Schiefer A.. (2022). Soil and land use factors control organic carbon status and accumulation in agricultural soils of Lower Austria. *Geoderma*, 409, 115595. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115595>
- World Meteorological Organization (WMO). <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2023-smashes-global-temperature-record>
- Zeng, R., Wei, Y., Huang, J., Chen, X., Cai, C. (2021). Soil organic carbon stock and fractional distribution across central south China. *International Soil and Water Conservation Research*, 9, 620e630. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.004>

- Zhang, Y., Chenb, A., Wang, Z., Wangc, X., Lin, Y., Ye, C. (2023). Soil organic carbon accumulation along a chronosequence of vegetation colonization on debris flow fans in Southwest China. *Catena*, 223 ,106936. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106936>
- Zucca, C., Bautista, S., Orr, B., Previtali, F. (2002). Desertification: prevention and restoration. In *Encyclopedia of Environmental Management*. Publisher: Taylor and Francis. London
- Zúñiga D., Ramos Vasquez. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada* 7 (1-2). DOI: 10.21704/rea.v7i1-2.367

ANEXOS I, II y III

ANEXO I.
Fichas de suelos

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 1
PROVINCIA	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol calcárico



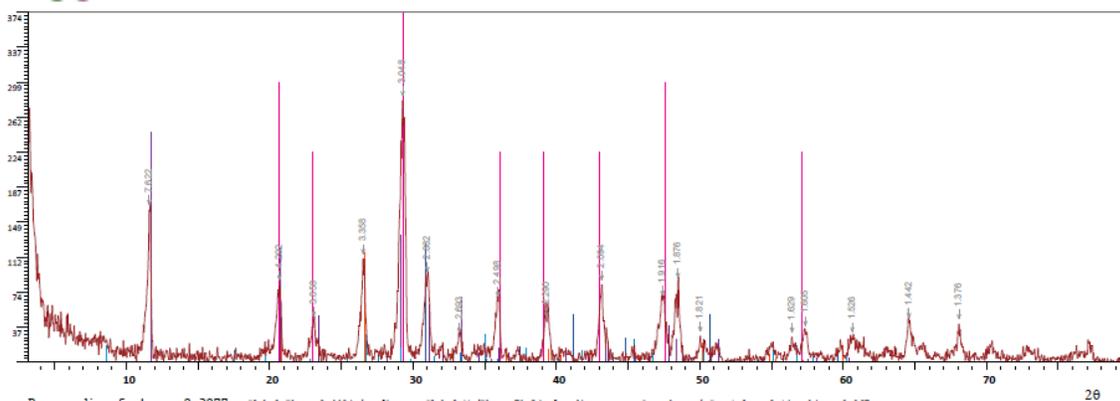
2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E. es (dS/m)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.1NB	8.21	5.41	1.88	2.43
E.A.1.2	7.86	5.06	1.77	1.95
E.A.1.3	7.84	7.12	3.80	4.20

GRANULOMETRÍA USDA (mm)				
Muestra	Arena (2-0.05)	Limo (0.05-0.002)	Arcilla (menor de 0.002)	Textura
E.A.1NB	40	30	30	Franco-arcilloso
E.A.1.2	46	26	28	Arcilloso
E.A.1.3	44	32	24	Franco

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro
4	46	30	16	4	0



4.- CONTENIDO EN MACRONUTRIENTES

MACRONUTRIENTES						
Muestra	C (%)	N (%)	P (mg/Kg)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	C (%)
E.A.1NB	0.55	0.08	13.04	0.76	15.03	0.55
E.A.1.2	1.20	0.11	10.00	0.19	14.58	1.20
E.A.1.3	0.62	0.11	25.50	0.68	9.60	0.62

5.- CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES					
Muestra	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B (mg/Kg)
E.A.1NB	5.25	1.89	0.73	0.66	0.74
E.A.1.2	1.30	0.67	0.32	1.16	0.54
E.A.1.3	2.84	3.70	2.41	0.46	0.57

6.- PRODUCCIÓN

CAMPAÑA	PRODUCCIÓN (t/h)
2009/10	56.7
2010/11	53.5
2011/12	51.0
2012/13	46.9
2013/14	51.6
2014/15	48.6
2015/16	27.8
2016/17	51.8

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 2
PROVINCIA	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol calcárico



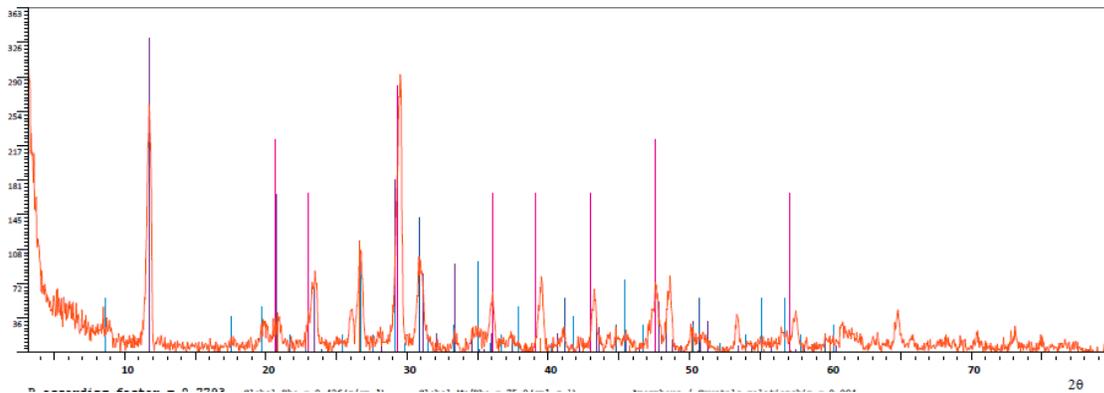
2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E. es (dS/m)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.2NB	7.69	1.30	0.75	1.42
E.A.2.2	7.57	2.80	1.98	2.15
E.A.2.3	7.31	2.40	0.21	0.35

GRANULOMETRÍA USDA (mm)				
Muestra	Arena (2-0.05)	Limo (0.05-0.002)	Arcilla (menor de 0.002)	Textura
E.A.2NB	44	22	34	Franco-arcilloso
E.A.2.2	40	32	28	Franco
E.A.2.3	38	26	36	Arcilloso

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro
3	32	38	16	11	0



4.- CONTENIDO EN MACRONUTRIENTES

MACRONUTRIENTES					
Muestra	N(%)	P (ppm)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	C (%)
E.A.2NB	0.14	1.25	1.25	10.71	0.20
E.A.2.2	0.07	0.74	0.74	12.60	0.19
E.A.2.3	0.03	0.54	0.54	19.50	0.16

5.- CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES					
Muestra	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	B (ppm)
E.A.2NB	3.51	2.98	0.27	1.66	1.00
E.A.2.2	1.88	3.50	1.13	0.62	0.44
E.A.2.3	0.82	0.82	0.20	0.52	0.12

6.- PRODUCCIÓN

CAMPAÑA	PRODUCCIÓN (t/h)
2009/10	50.9
2010/11	50.6
2011/12	55.0
2012/13	45.6
2013/14	47.1
2014/15	51.5
2015/16	27.7
2016/17	48.3

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 3
PROVINCIA	Murcia
TIPO DE SUELO	Regosol calcárico



2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E. es (dS/m)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.3NB	8.25	4.16	1.12	3.41
E.A.3.2	8.10	16.12	6.90	15.30
E.A.3.3	7.54	8.54	4.71	7.40

GRANULOMETRÍA USDA (mm)

CAMPAÑA	PRODUCCIÓN (t/h)
2009/10	41.6
2010/11	44.3
2011/12	38.2
2012/13	31.8
2013/14	40.1
2014/15	40.0
2015/16	23.8
2016/17	39.9

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 4
TERMINO MUNICIPAL	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol calcárico



2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

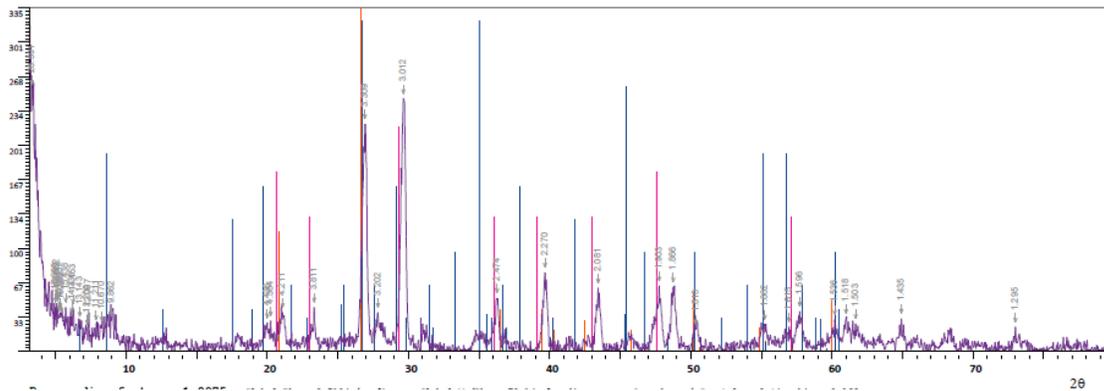
Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E.es (dS/m)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.4NB	7.57	2.17	2.56	2.37
E.A.4.2	6.97	1.61	1.01	2.03
E.A.4.3	7.95	0.52	0.07	0.39

GRANULOMETRÍA USDA (mm)				
Muestra	Arena (2-0.05)	Limo (0.05-0.002)	Arcilla (menor de 0.002)	Textura
E.A.4NB	20	32	48	Arcilloso

E.A.4.2	18	32	50	Arcilloso
E.A.4.3	16	32	52	Arcilloso

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro
12	30	0	5	47	6



4.- CONTENIDO EN MACRONUTRIENTES

MACRONUTRIENTES					
Muestra	N(%)	P (ppm)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	C (%)
E.A.4NB	0.07	9.83	0.67	13.0	0.47
E.A.4.2	0.12	14.20	1.76	14.1	0.99
E.A.4.3	0.04	13.00	0.65	12.4	0.67

5.- CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES					
Muestra	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	B (ppm)
E.A.4NB	2.05	2.20	0.28	0.59	1.17
E.A.4.2	4.25	2.20	1.63	1.15	0.35
E.A.4.3	1.66	1.15	0.48	0.51	0.40

6.- PRODUCCIÓN

CAMPAÑA	PRODUCCIÓN (t/h)
2009/10	45.4
2010/11	49.9

2011/12	51.9
2012/13	45.1
2013/14	49.8
2014/15	53.9
2015/16	51.8
2016/17	51.0

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 5
PROVINCIA	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol calcárico lúvico, colindante con Regosoles



2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

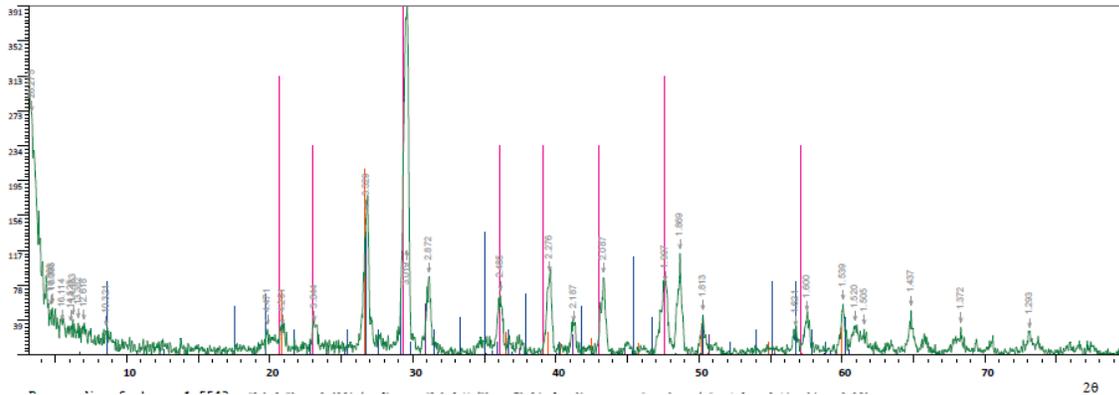
Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E.es (dS/m)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.5NB	7.28	1.26	0.13	0.34
E.A.5.2	7.24	2.01	0.21	0.36
E.A.5.3	7.65	5.67	3.57	1.57

GRANULOMETRÍA USDA (mm)				
Muestra	Arena (2-0.05)	Limo (0.05-0.002)	Arcilla (menor de 0.002)	Textura
E.A.5NB	46	20	34	Franco-arcilloso-arenoso
E.A.5.2	42	30	28	Franco-arcilloso

E.A.5.3	40	30	30	Franco-arcilloso
---------	----	----	----	------------------

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro
8	60	0	9	22	1



4.- CONTENIDO EN MACRONUTRIENTES

MACRONUTRIENTES					
Muestra	N (%)	P (ppm)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	C (%)
E.A.5NB	0.29	43.68	1.42	13.75	3.21
E.A.5.2	0.04	9.17	0.19	15.40	0.64
E.A.5.3	0.13	11.5	1.19	15.50	1.16

5.- CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES					
Muestra	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B (mg/Kg)
E.A.5NB	4.23	3.73	2.40	1.35	1.83
E.A.5.2	1.38	3.22	0.20	0.37	0.62
E.A.5.3	1.15	4.50	1.82	0.95	0.64

6.- PRODUCCIÓN

CAMPAÑA	PRODUCCIÓN (t/h)
2009/10	0.0
2010/11	2.3
2011/12	8.0
2012/13	17.2
2013/14	28.6
2014/15	35.9
2015/16	37.4
2016/17	45.9

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 6
TERMINO MUNICIPAL	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol calcárico



2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

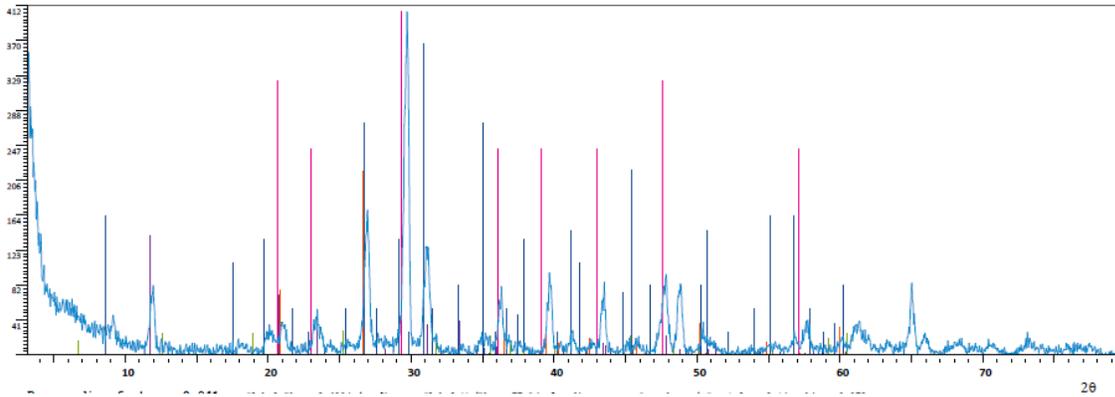
Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E. (dS/m)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.6NB	7.74	0.96	0.42	2.33
E.A.6.2	7.69	5.72	0.74	1.44
E.A.6.3	7.44	4.46	0.28	0.77

GRANULOMETRÍA USDA (mm)				Textura
Muestra	Arena (2-0.05)	Limo (0.05-0.002)	Arcilla (menor de 0.002)	

E.A.6NB	32	30	38	Franco-arcilloso
E.A.6.2	36	36	28	Franco
E.A.6.3	34	24	42	Arcilloso

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro
4	32	11	29	22	2



4.- CONTENIDO EN MACRONUTRIENTES

MACRONUTRIENTES					
Muestra	N(%)	P (ppm)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	C (%)
E.A.6NB	0.06	9.44	0.47	12.93	0.38
E.A.6.2	0.06	9.75	1.05	12.60	0.67
E.A.6.3	0.10	11.9	1.37	15.60	0.49

5.- CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES					
Muestra	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B (mg/Kg)
E.A.6NB	3.39	1.49	0.32	1.06	0.83
E.A.6.2	1.97	4.20	0.22	1.06	0.99
E.A.6.3	0.67	2.75	0.20	1.05	1.06

6.- PRODUCCIÓN

CAMPAÑA	PRODUCCIÓN (t/h)
2010/11	50.0
2010/11	47.8
2011/12	50.5
2012/13	42.1
2013/14	43.9
2014/15	52.5
2015/16	37.9
2016/17	43.8

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 7
PROVINCIA	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol gípsico



2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

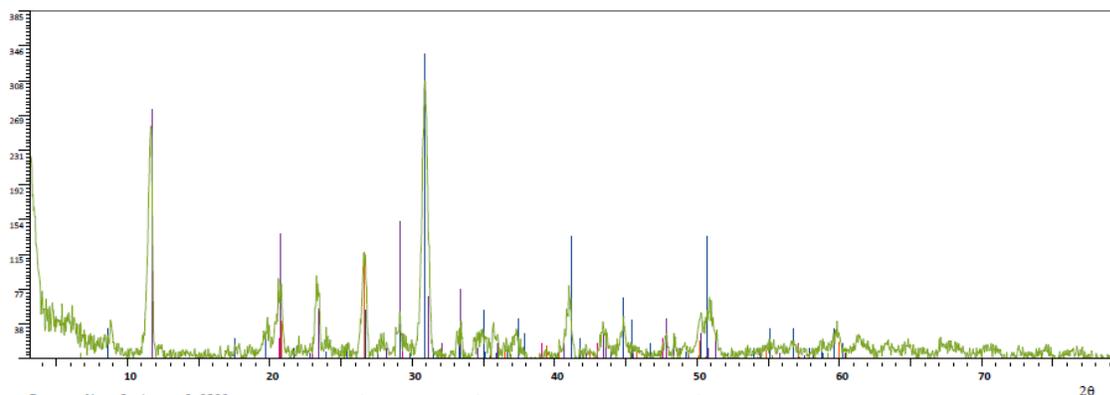
Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E. es (dS/m)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.7NB	8.25	6.12	2.37	1.90
E.A.7.2	8.13	8.27	4.79	8.10
E.A.7.3	7.57	7.74	1.82	3.27

GRANULOMETRÍA USDA (mm)

Muestra	Arena (2-0.05)	Limo (0.05-0.002)	Arcilla (menor de 0.002)	Textura
E.A.7NB	48	50	2	Franco-limoso
E.A.7.2	46	46	8	Franco
E.A.7.3	44	52	4	Franco-limoso

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro
4	4	37	46	8	1



4.- CONTENIDO EN MACRONUTRIENTES

MACRONUTRIENTES					
Muestra	N (%)	P (mg/Kg)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	C (%)
E.A.7NB	0.08	12.25	0.43	42.31	0.81
E.A.7.2	0.11	9.94	0.52	42.20	0.84
E.A.7.3	0.10	9.35	1.66	50.00	0.74

5.- CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES					
Muestra	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B (mg/Kg)
E.A.7NB	3.03	1.22	3.58	0.28	0.96
E.A.7.2	2.36	3.80	4.56	1.12	0.31
E.A.7.3	0.34	0.36	2.47	1.03	0.73

6.- PRODUCCIÓN

CAMPAÑA	PRODUCCIÓN (t/h)
2009/10	48.3
2010/11	48.5
2011/12	48.1
2012/13	43.9
2013/14	35.7
2014/15	45.8
2015/16	33.1
2016/17	44.4

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 8
PROVINCIA	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol calcárico



2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

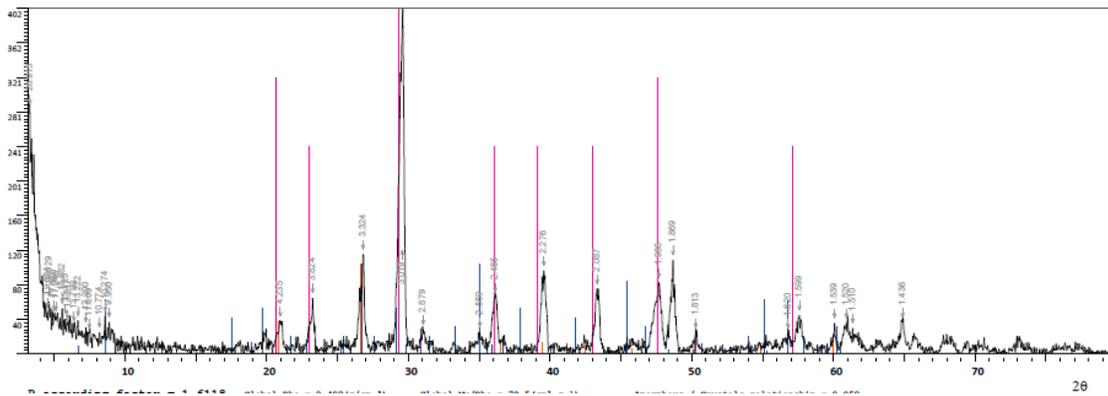
Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E. es (dS/m)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.8NB	7.58	3.78	1.57	2.06
E.A.8.2	7.72	4.36	0.84	2.22
E.A.8.3	7.64	1.26	0.57	1.31

GRANULOMETRÍA USDA (mm)				Textura
Muestra	Arena	Limo	Arcilla	

	(2-0.05)	(0.05-0.002)	(menor de 0.002)	
E.A.8NB	48	38	14	Franco
E.A.8.2	44	40	16	Franco
E.A.8.3	44	36	20	Franco-arcilloso-arenoso

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro
5	69	0	5	19	2



4.- CONTENIDO EN MACRONUTRIENTES

MACRONUTRIENTES					
Muestra	N(%)	P (mg/Kg)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	C (%)
E.A.8NB	0.14	8.32	0.23	15.0	1.58
E.A.8.2	0.12	9.51	0.40	16.40	1.17
E.A.8.3	0.21	13.40	0.87	17.00	2.40

5.- CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES					
Muestra	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B (mg/Kg)
E.A.8NB	1.80	2.26	1.69	2.29	2.31
E.A.8.2	1.13	1.41	0.61	1.36	1.44
E.A.8.3	3.50	3.40	2.48	3.05	2.34

6.- PRODUCCION

CAMPAÑA	PRODUCCIÓN (t/h)

2009/10	47.0
2010/11	42.4
2011/12	41.4
2012/13	38.0
2013/14	36.1
2014/15	35.9
2015/16	24.9
2016/17	34.3

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 9
PROVINCIA	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol calcárico



2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

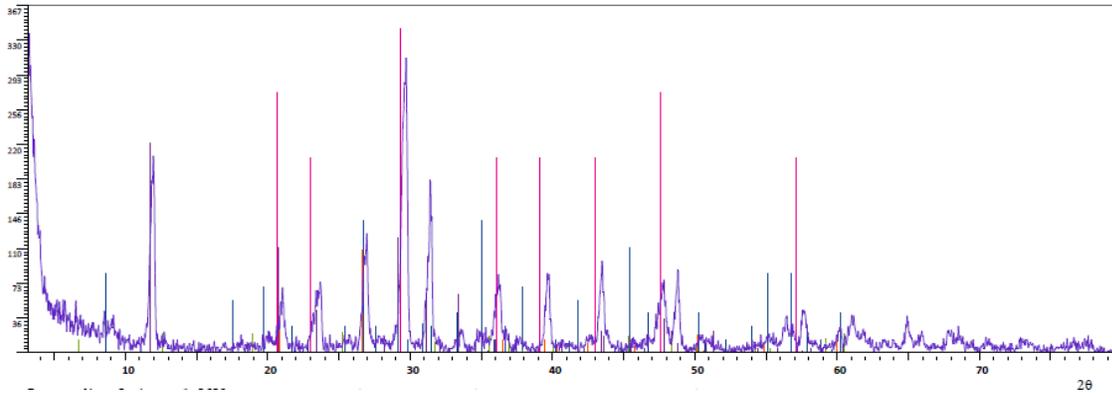
Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E. (mS/cm)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.9NB	8.20	1.93	0.17	0.36
E.A.9.2	8.04	2.17	0.05	0.20
E.A.9.3	8.04	4.22	0.12	0.69

GRANULOMETRÍA USDA (mm)				
Muestra	Arena (2-0.05)	Limo (0.05-0.002)	Arcilla (menor de 0.002)	Textura
E.A.9NB	22	44	34	Franco-arcilloso

E.A.9.2	30	48	22	Franco
E.A.9.3	24	44	32	Franco-arcilloso

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro
4	43	28	4	18	3



4.- CONTENIDO EN MACRONUTRIENTES

MACRONUTRIENTES					
Muestra	N(%)	P (mg/kg)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	C (%)
E.A.9NB	0.11	28.36	0.77	13.80	0.82
E.A.9.2	0.10	29.32	0.83	15.03	0.91
E.A.9.3	0.07	32.90	1.30	14.90	0.49

5.- CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES					
Muestra	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B (mg/Kg)
E.A.9NB	3.07	2.89	1.19	0.56	0.70
E.A.9.2	6.20	5.70	1.09	1.13	1.05
E.A.9.3	5.80	3.90	0.85	1.53	0.36

6.- PRODUCCIÓN

CAMPAÑA	PRODUCCIÓN
2009/10	31.1
2010/11	46.4

2011/12	50.1
2012/13	35.2
2013/14	38.2
2014/15	37.4
2015/16	24.7
2016/17	45.0

1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 10
PROVINCIA	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol calcárico lúvico coluvial muy pedregoso



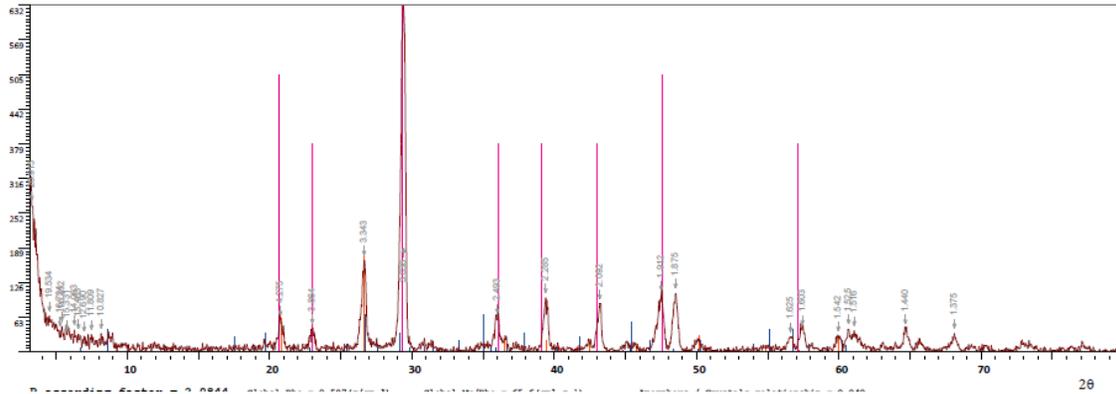
2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E. (mS/cm)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.10NB	7.57	1.72	0.15	0.41
E.A.10.2	7.61	1.65	0.11	0.21
E.A.10.3	7.76	0.92	0.07	0.09

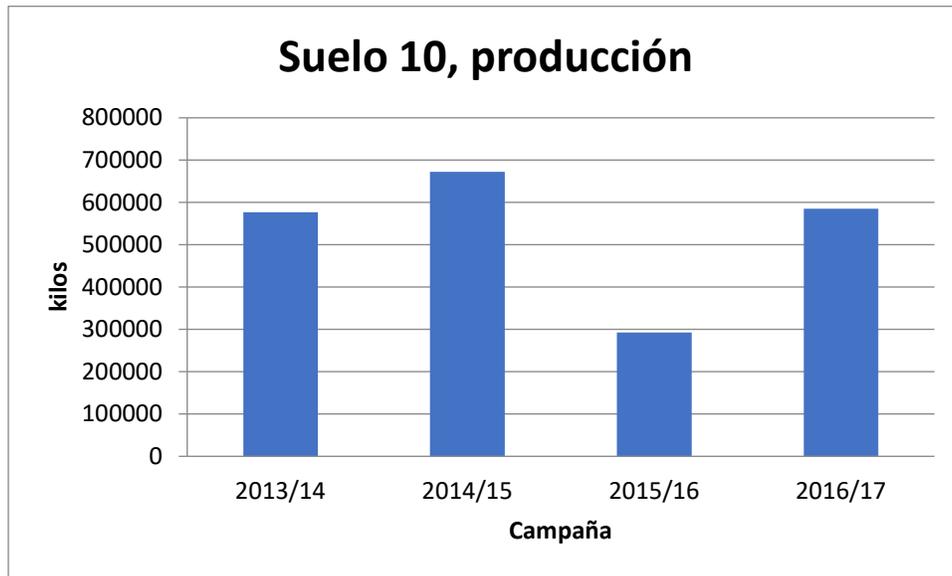
GRANULOMETRÍA USDA (mm)				
Muestra	Arena (2-0.05)	Limo (0.05-0.002)	Arcilla (menor de 0.002)	Textura
E.A.10NB	56	22	22	Franco-arcilloso -arenoso
E.A.10.2	52	22	26	Franco-arcilloso -arenoso
E.A.10.3	50	22	28	Franco-arcilloso -arenoso

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro
6	82	0	1	9	2



2014/15	47.4
2015/16	24.4
2016/17	48.7



1.- CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

FICHA RESUMEN	
CÓDIGO	E. A. número 11
PROVINCIA	Murcia
TIPO DE SUELO	Xerosol calcárico



2.-CARACTERIZACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

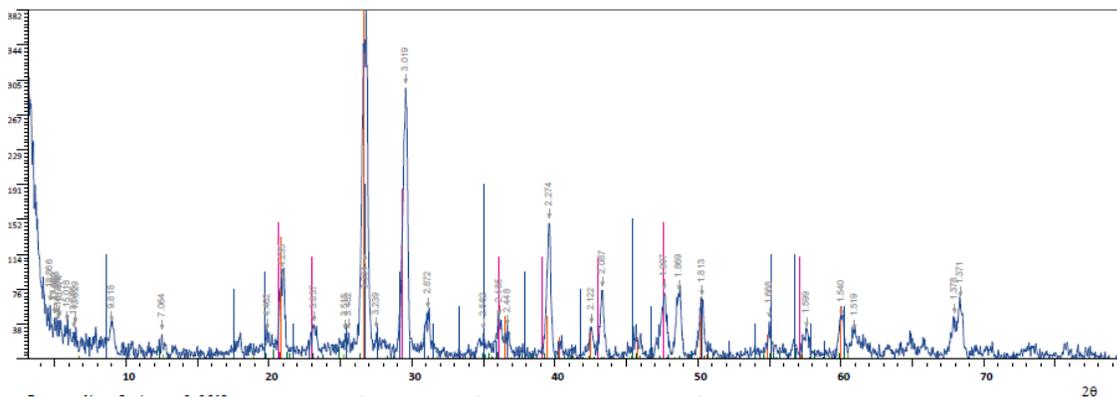
Muestra	pH H ₂ O (1:2)	C.E. (mS/cm)	Cl ⁻ (meq/100 g)	Na ⁺ (meq/100 g)
E.A.11.NB	7.53	1.92	1.58	0.04
E.A.11.2	7.58	1.90	1.50	0.03
E.A.11.3	7.66	6.10	4.58	2.28

GRANULOMETRÍA USDA (mm)				
Muestra	Arena	Limo	Arcilla	Textura

	(2-0.05)	(0.05-0.002)	(menor de 0.002)	
E.A.11.NB	36	26	38	Franco-arcilloso
E.A.11.2	46	20	34	Franco-arcilloso-arenoso
E.A.11.3	44	32	24	Franco

3.- MINERALOGÍA

Cuarzo	Calcita	Yeso	Dolomita	Ilita	Cinocloro	Caolinita
18	33	2	7	36	1	3



4.- CONTENIDO EN MACRONUTRIENTES

MACRONUTRIENTES					
Muestra	N(%)	P (mg/Kg)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	C (%)
E.A.11.NB	0.09	34.34	0.94	10.94	0.96
E.A.11.2	0.12	41.60	1.06	8.45	1.03
E.A.11.3	0.09	15.80	0.51	13.70	0.57

5.- CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES					
Muestra	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	B (mg/Kg)
E.A.11.NB	1.41	1.07	0.74	0.19	1.55
E.A.11.2	0.94	0.16	0.87	0.28	1.79
E.A.11.3	0.62	0.67	0.72	0.94	0.36

6.-PRODUCCIÓN

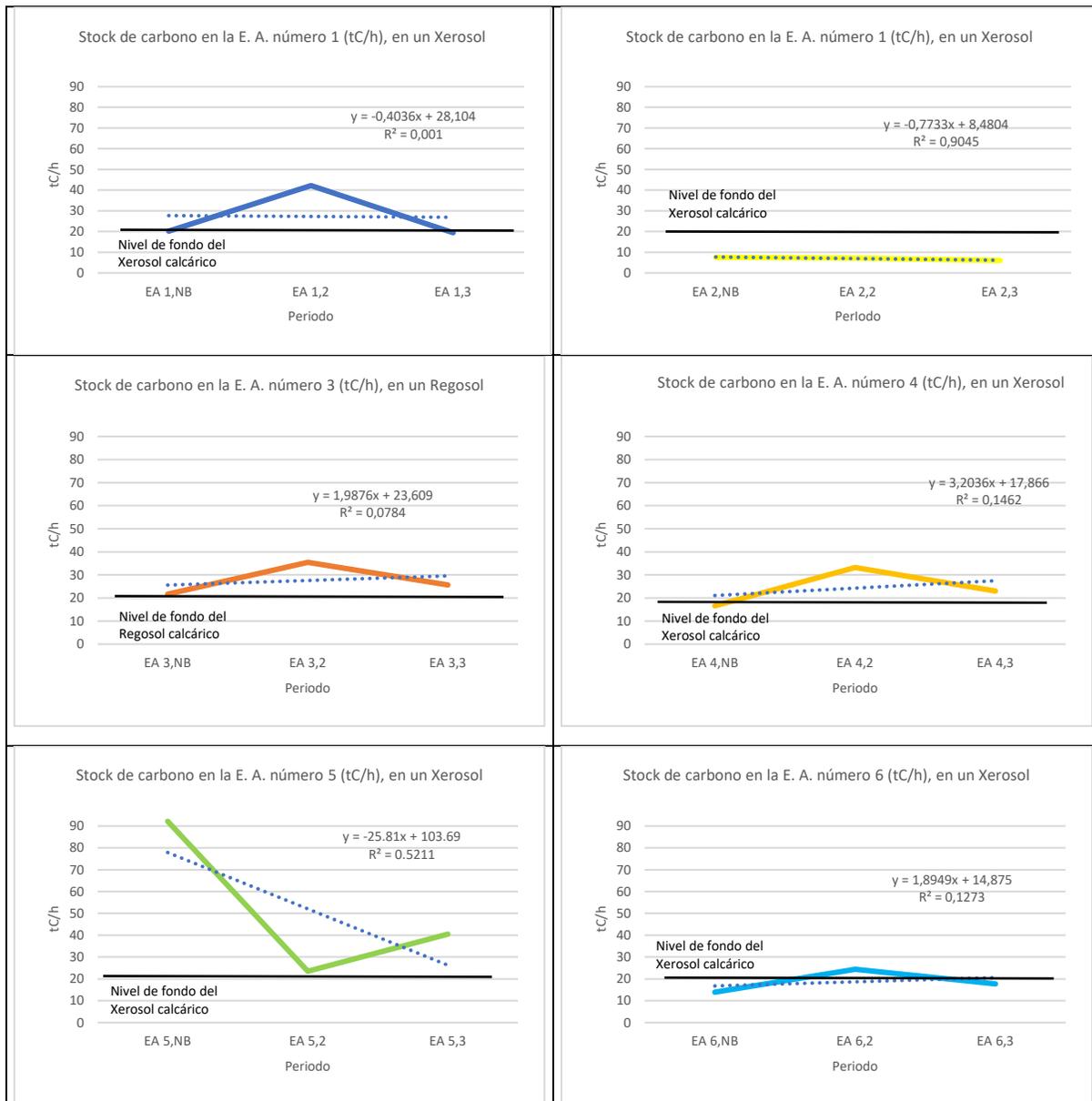
CAMPAÑA	PRODUCCIÓN (t/h)

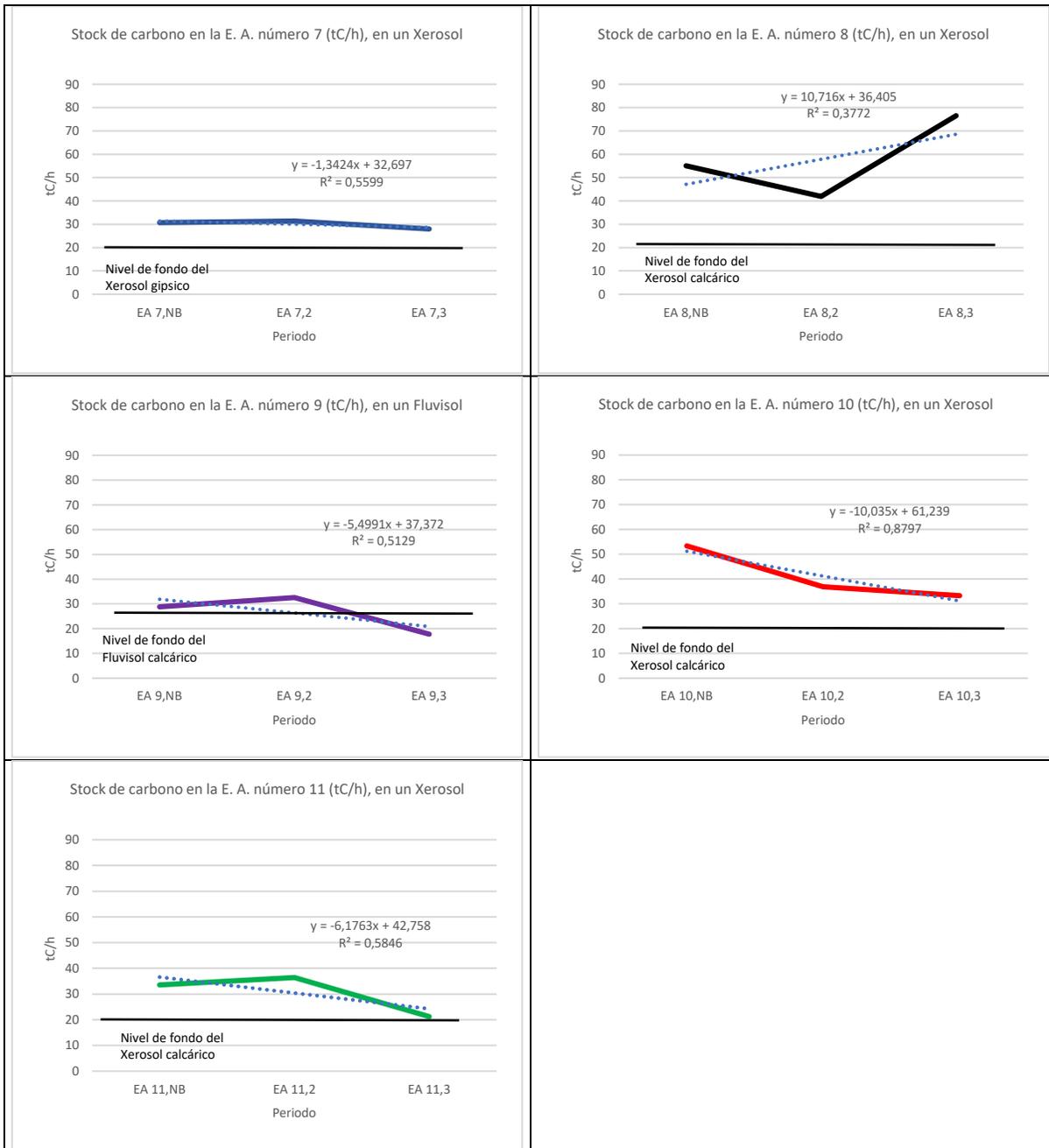
2010/11	55.0
2010/11	51.3
2011/12	51.5
2012/13	50.3
2013/14	51.1
2014/15	53.3
2015/16	37.3
2016/17	45.3

ANEXO II
Líneas de tendencia

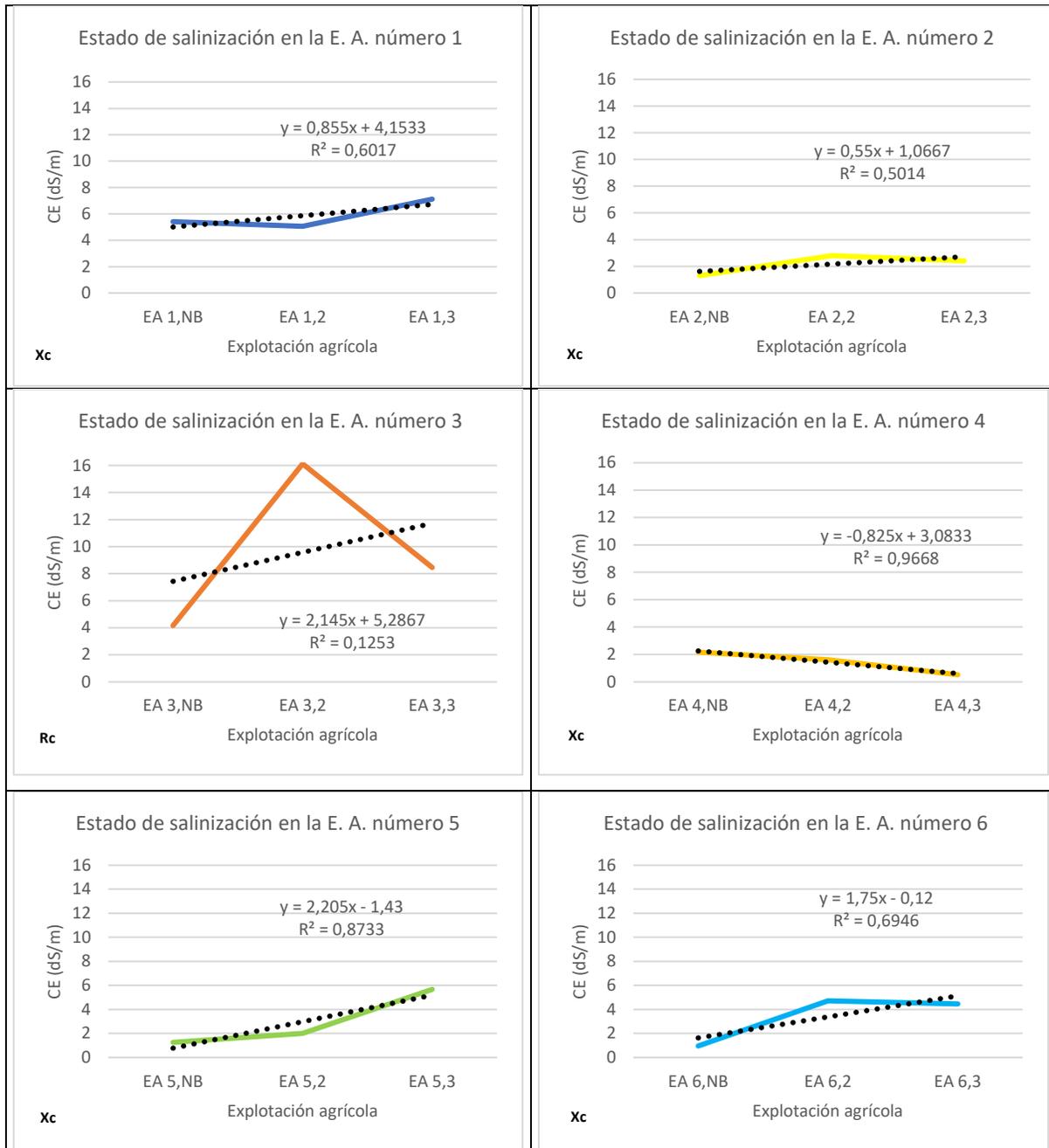
1. El carbono indicador de degradación/desertificación LDN/ODS

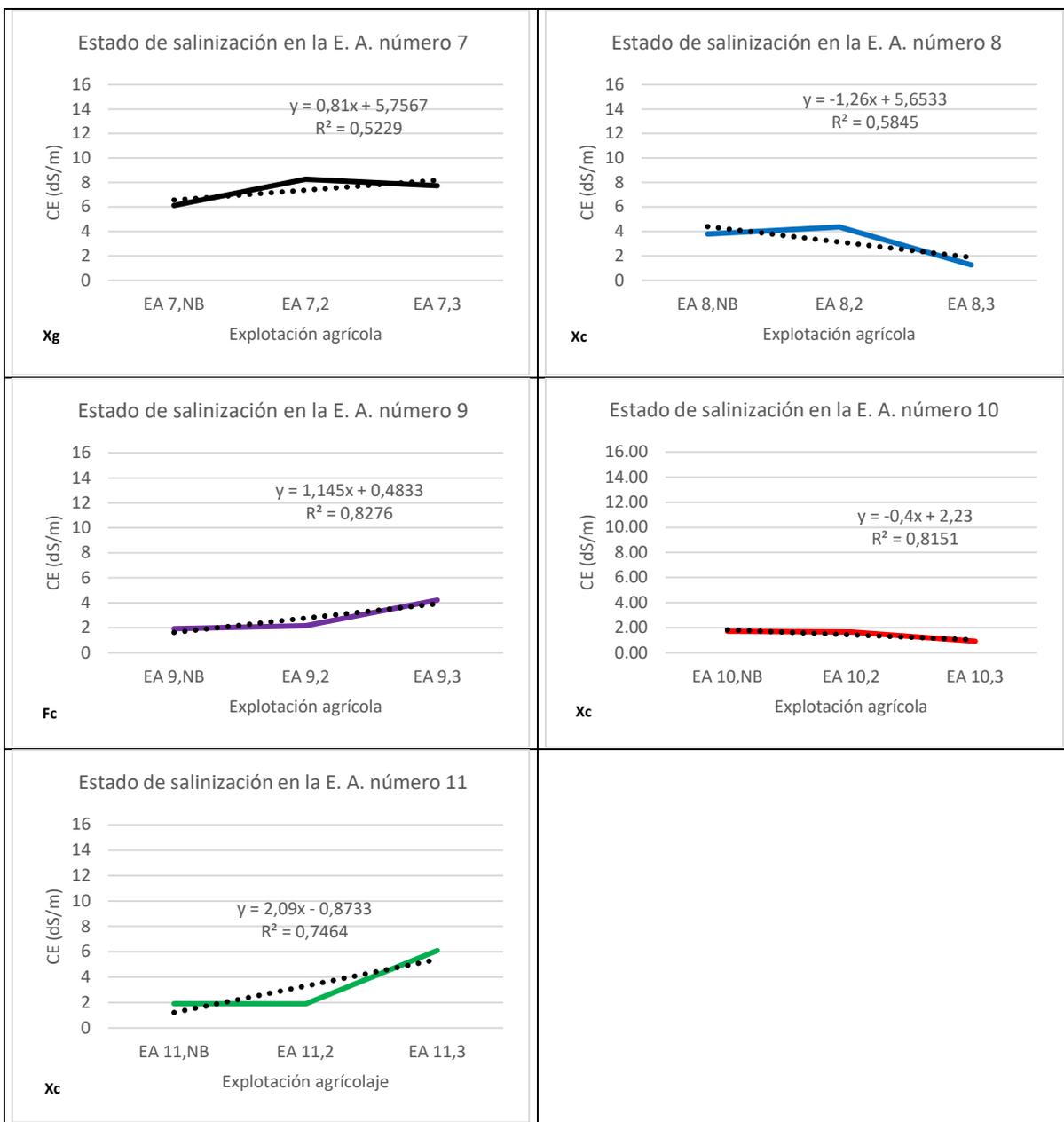
Ecuaciones de estado y líneas de tendencia



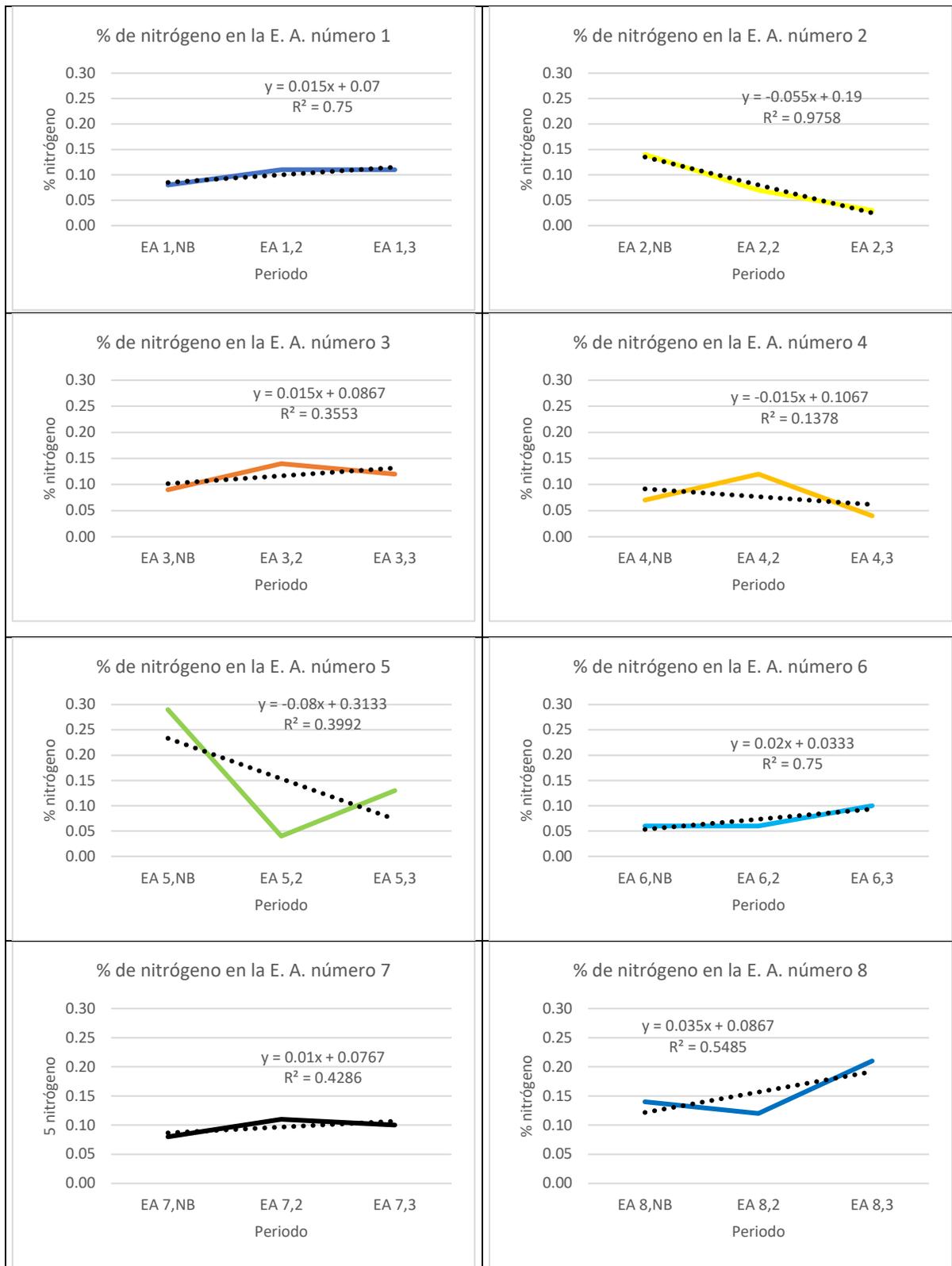


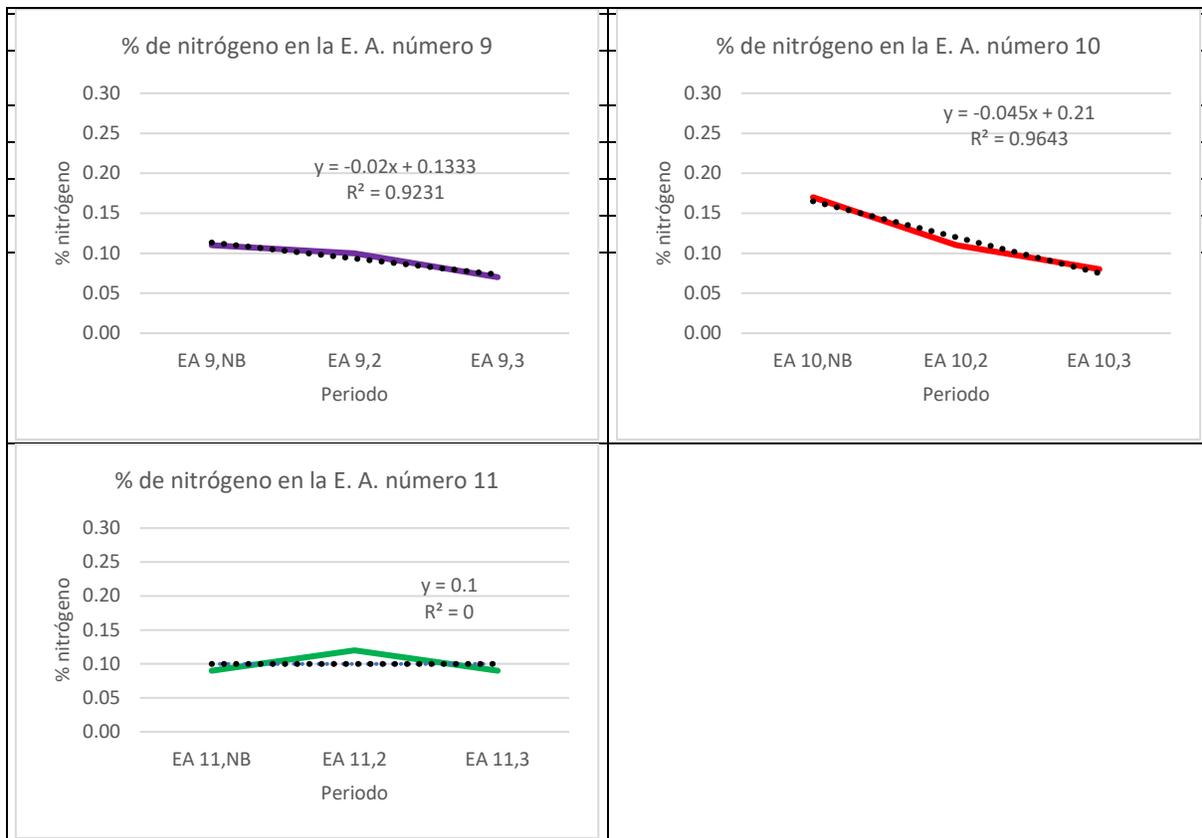
La salinización del suelo como indicador de desertificación/degradación

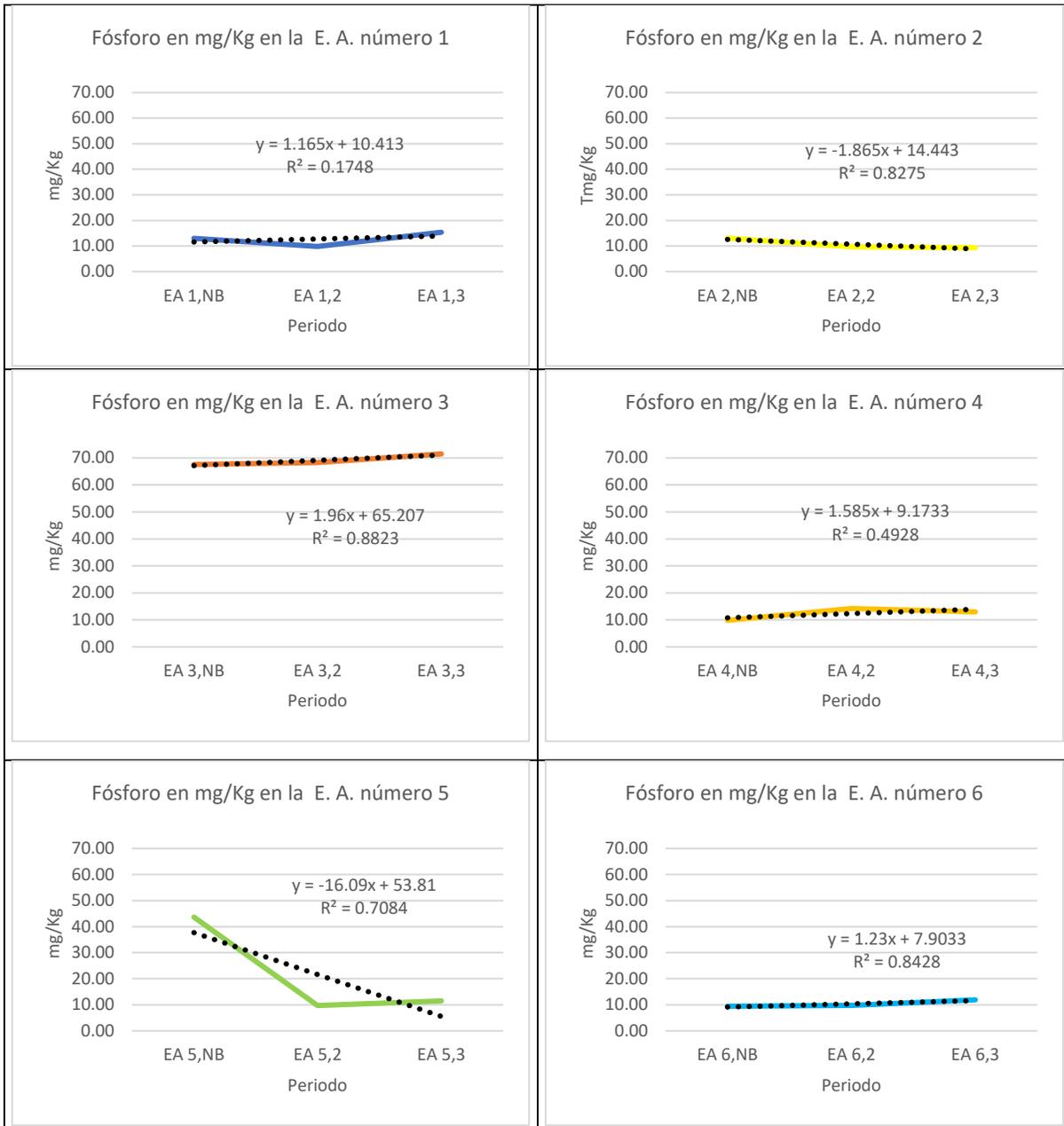


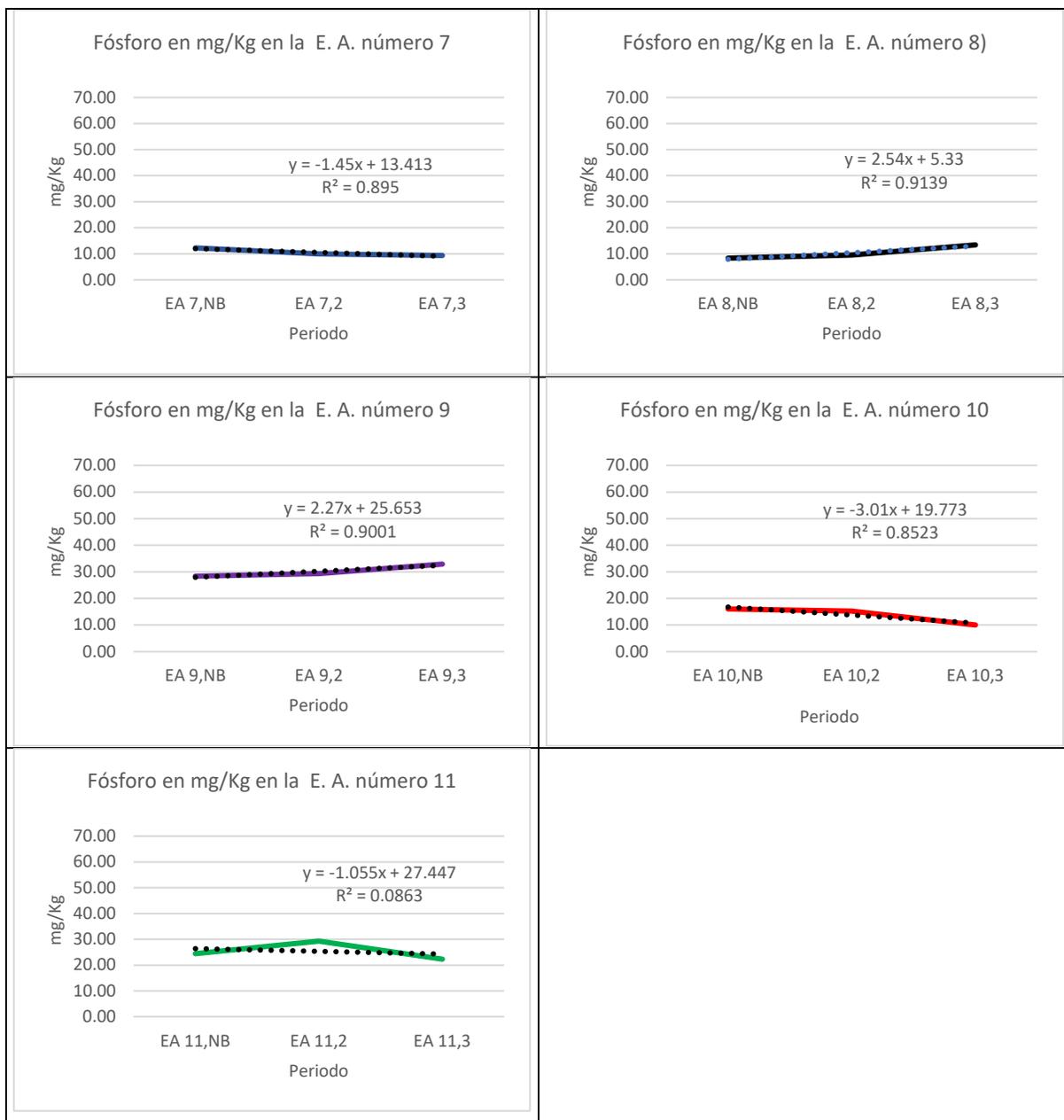


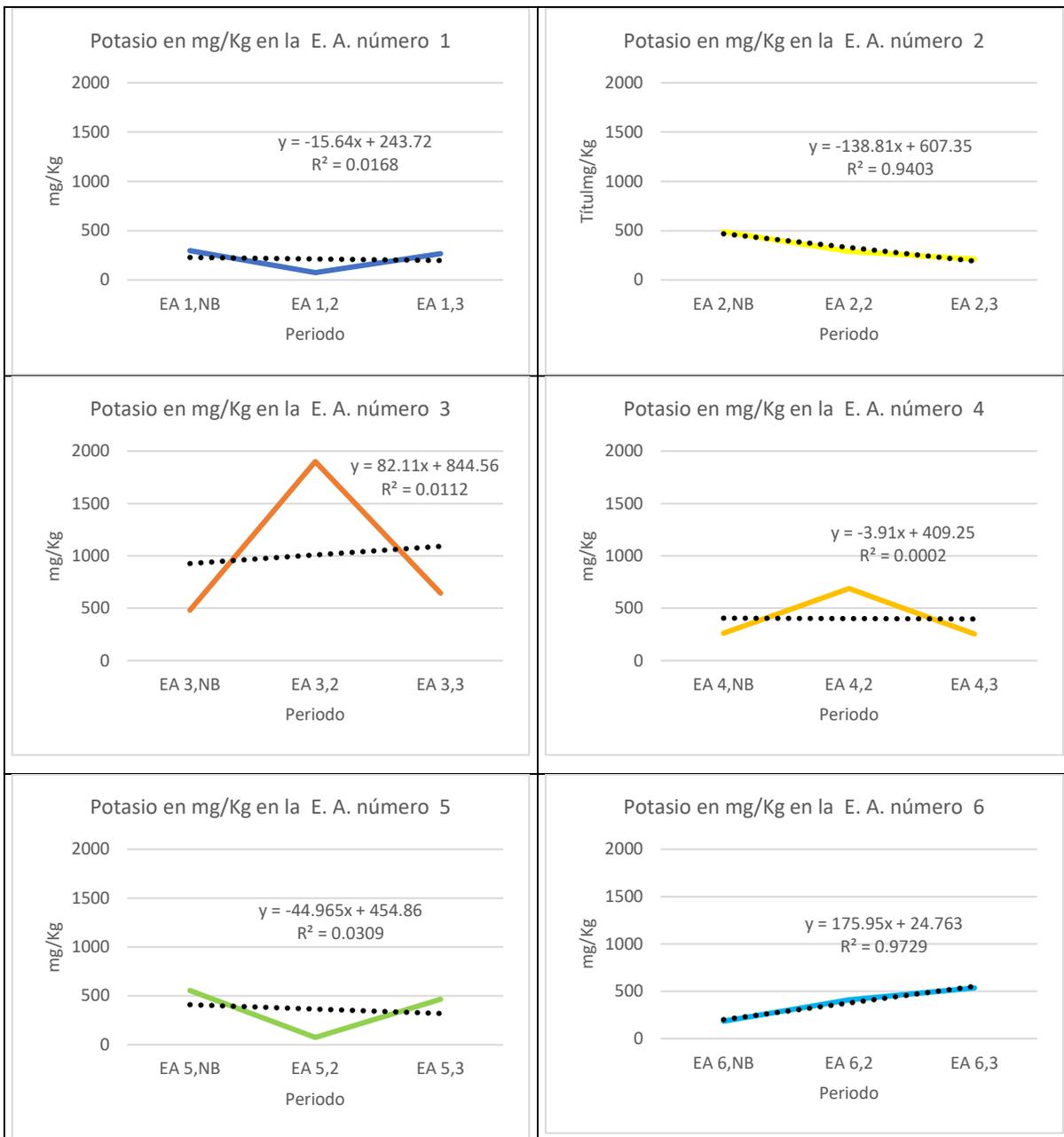
Macronutrientes y micronutrientes

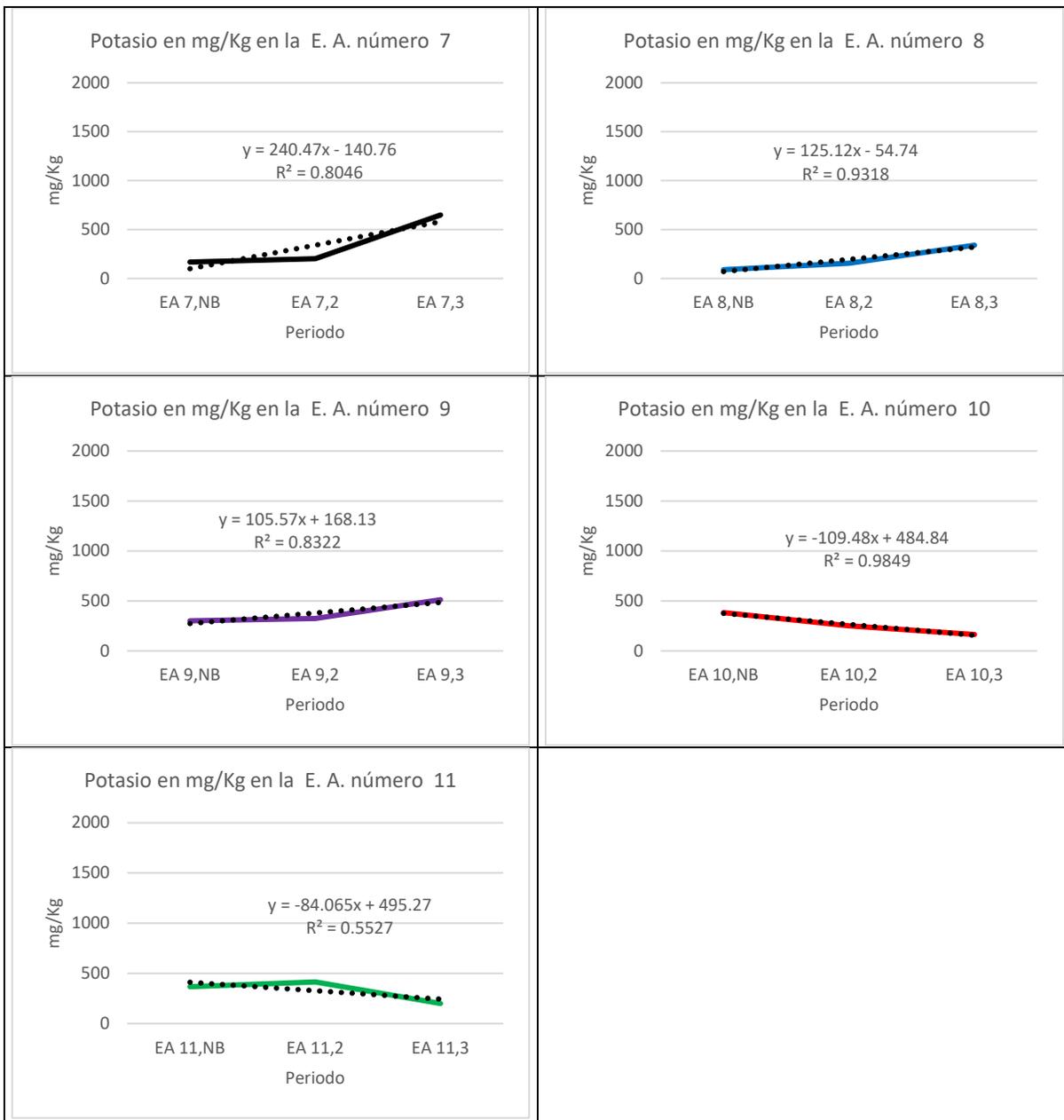


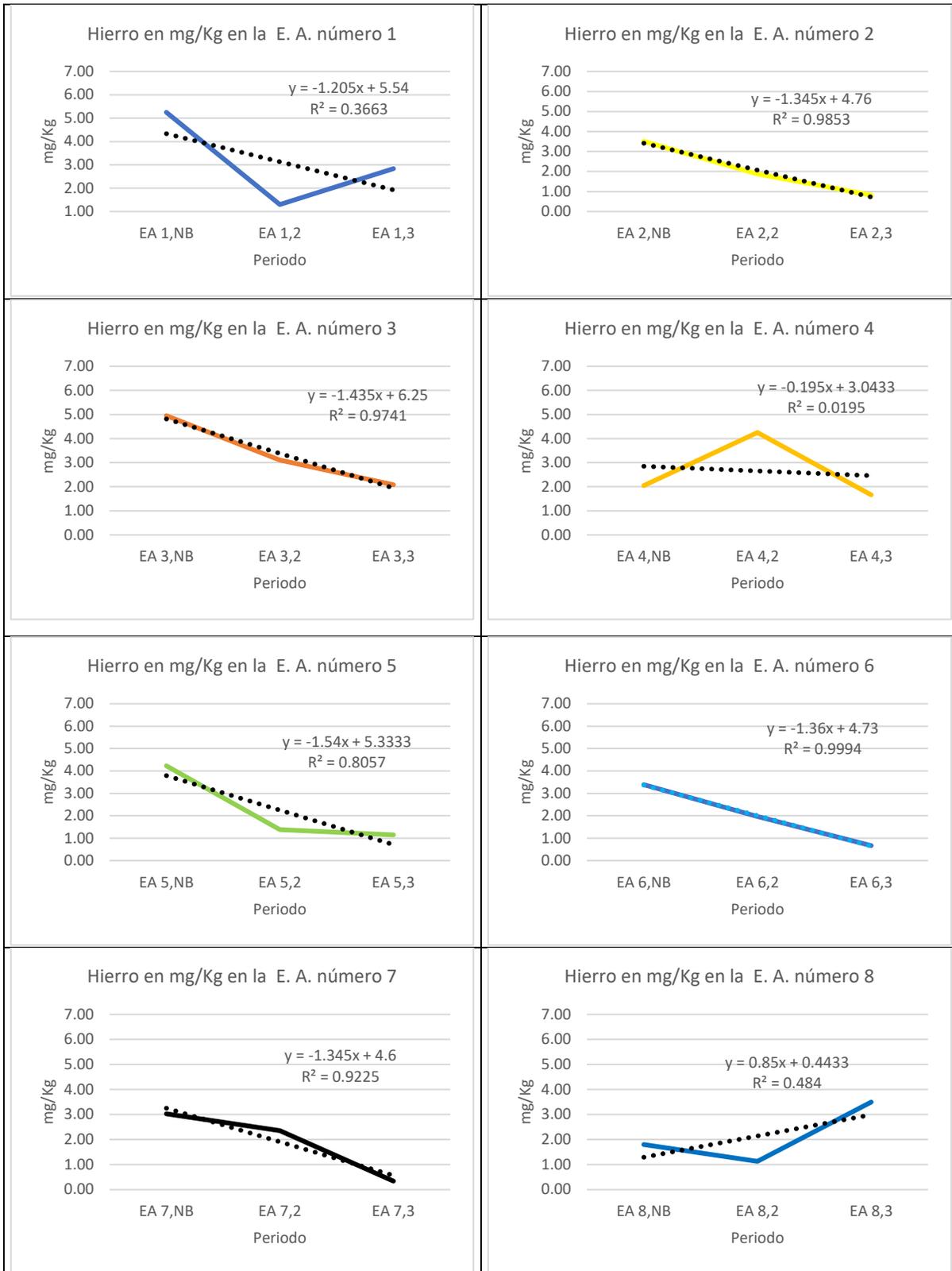


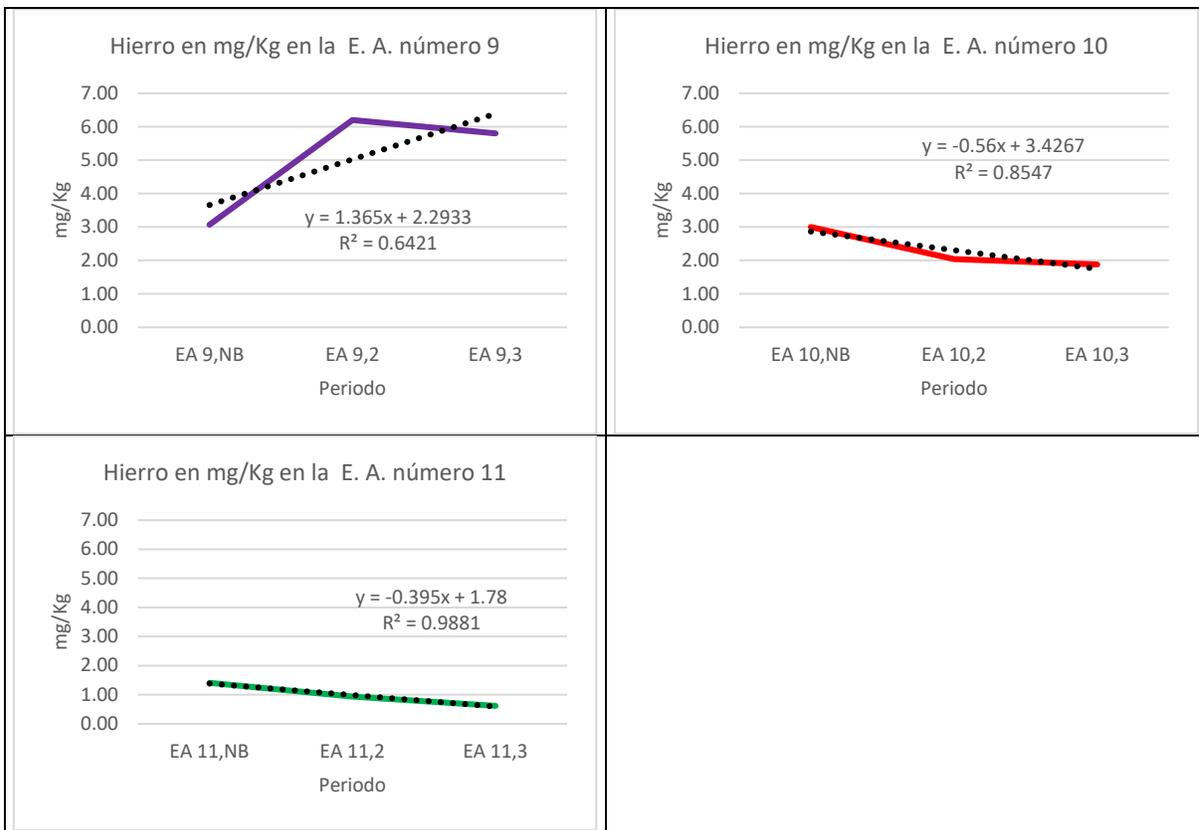


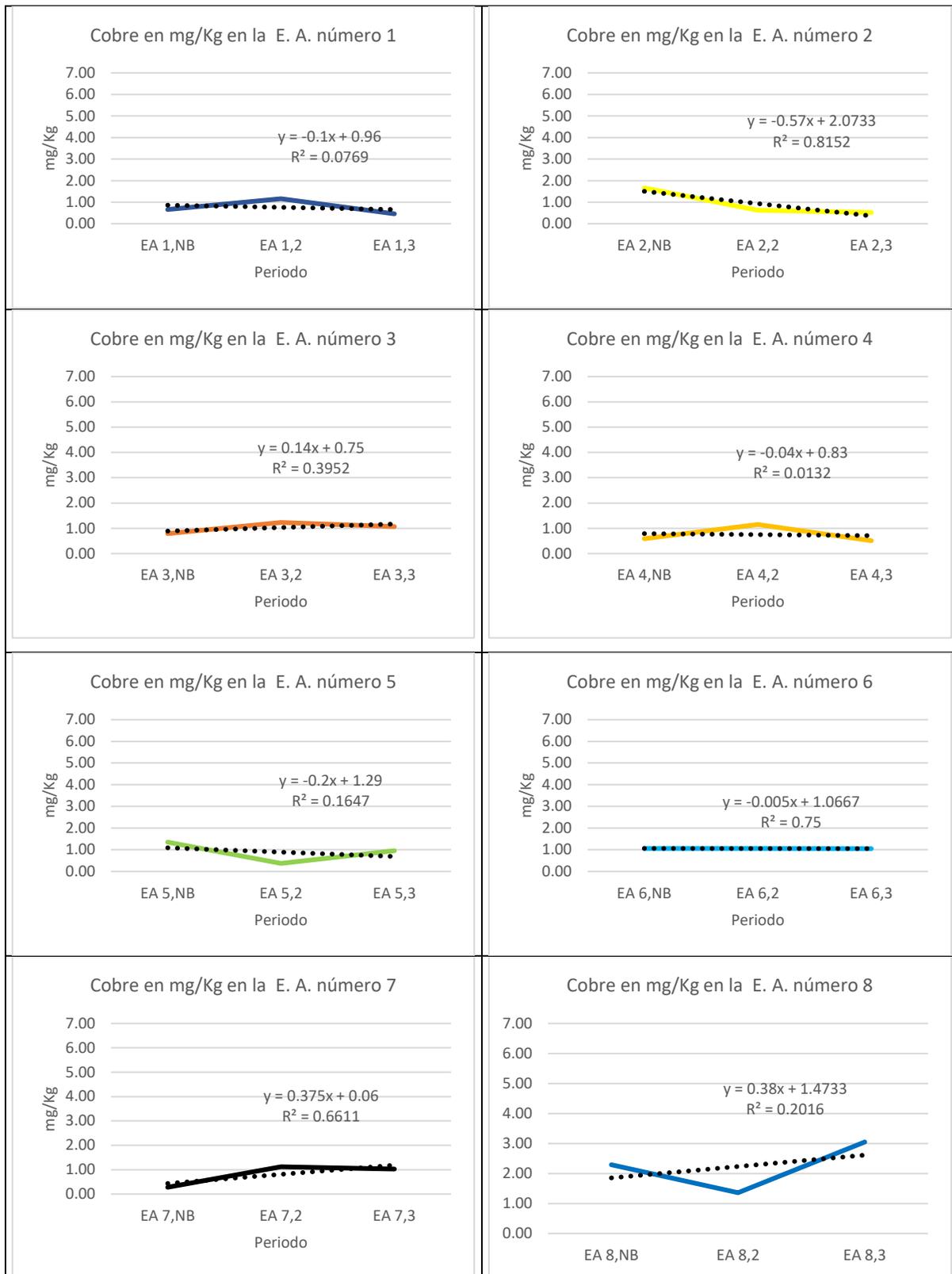


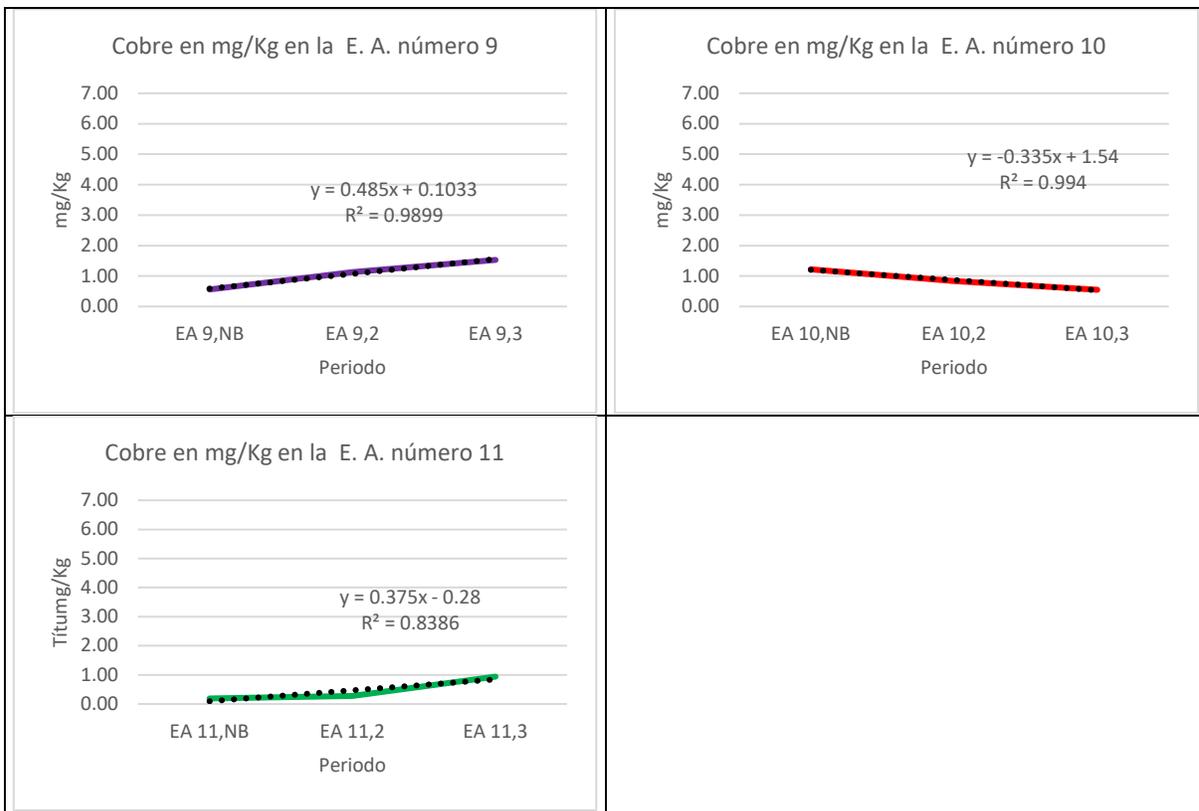


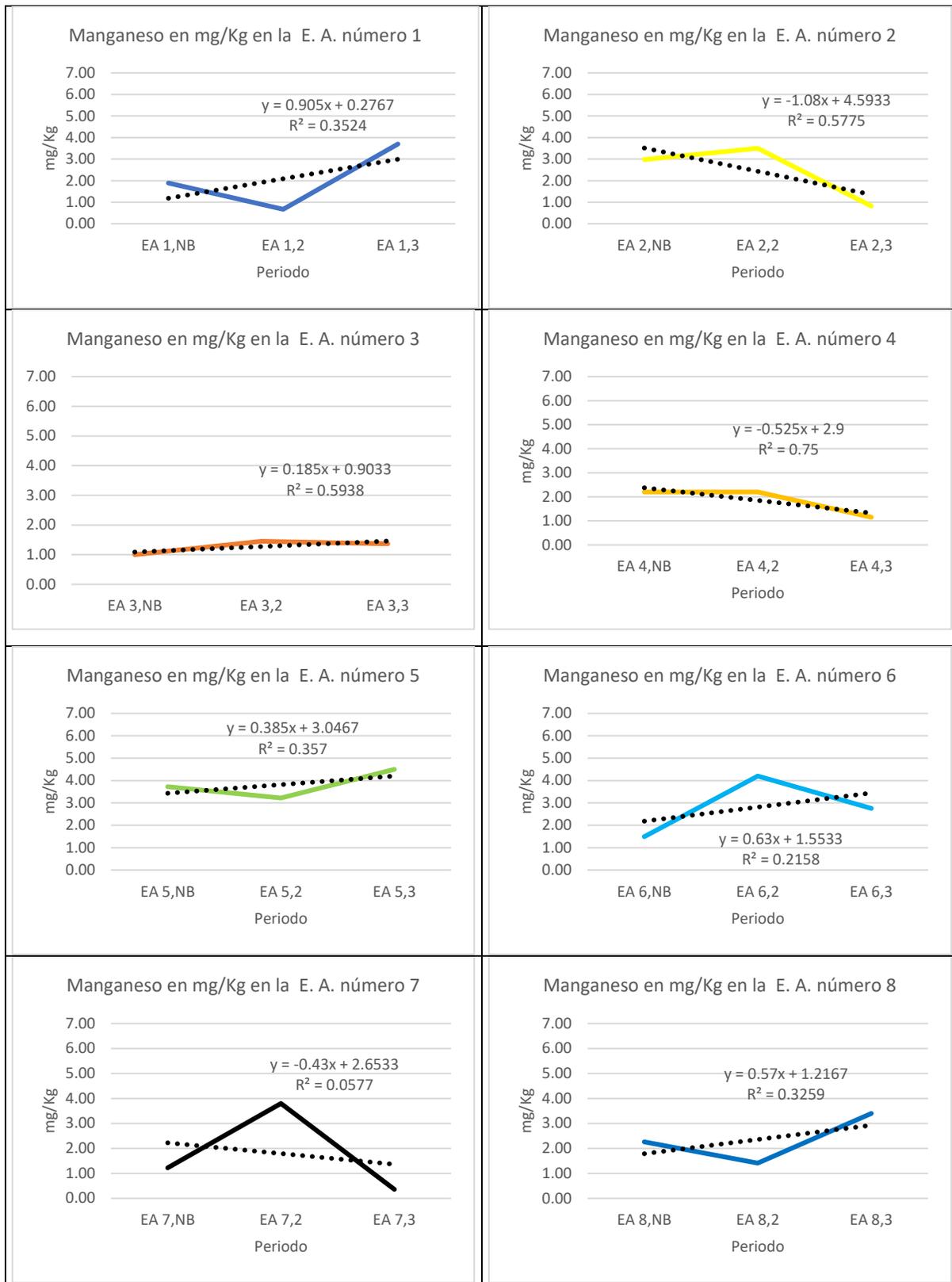


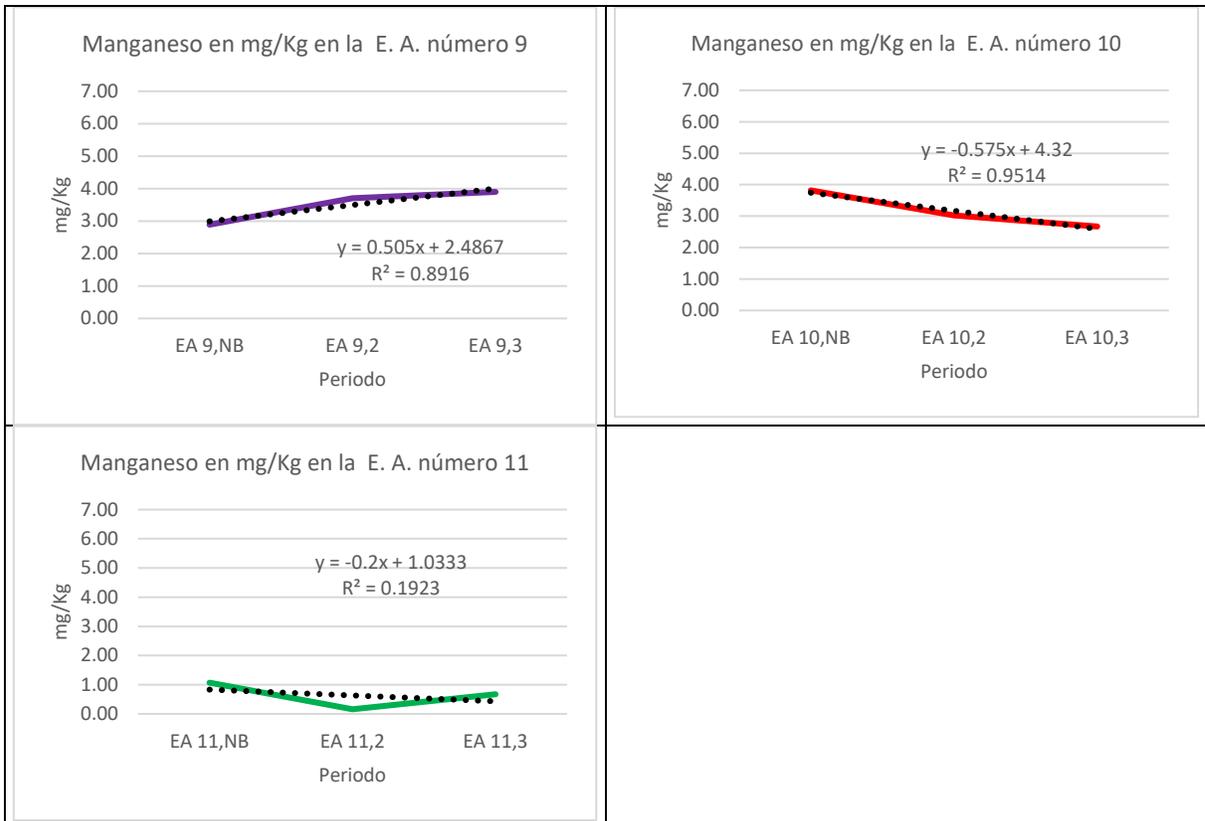


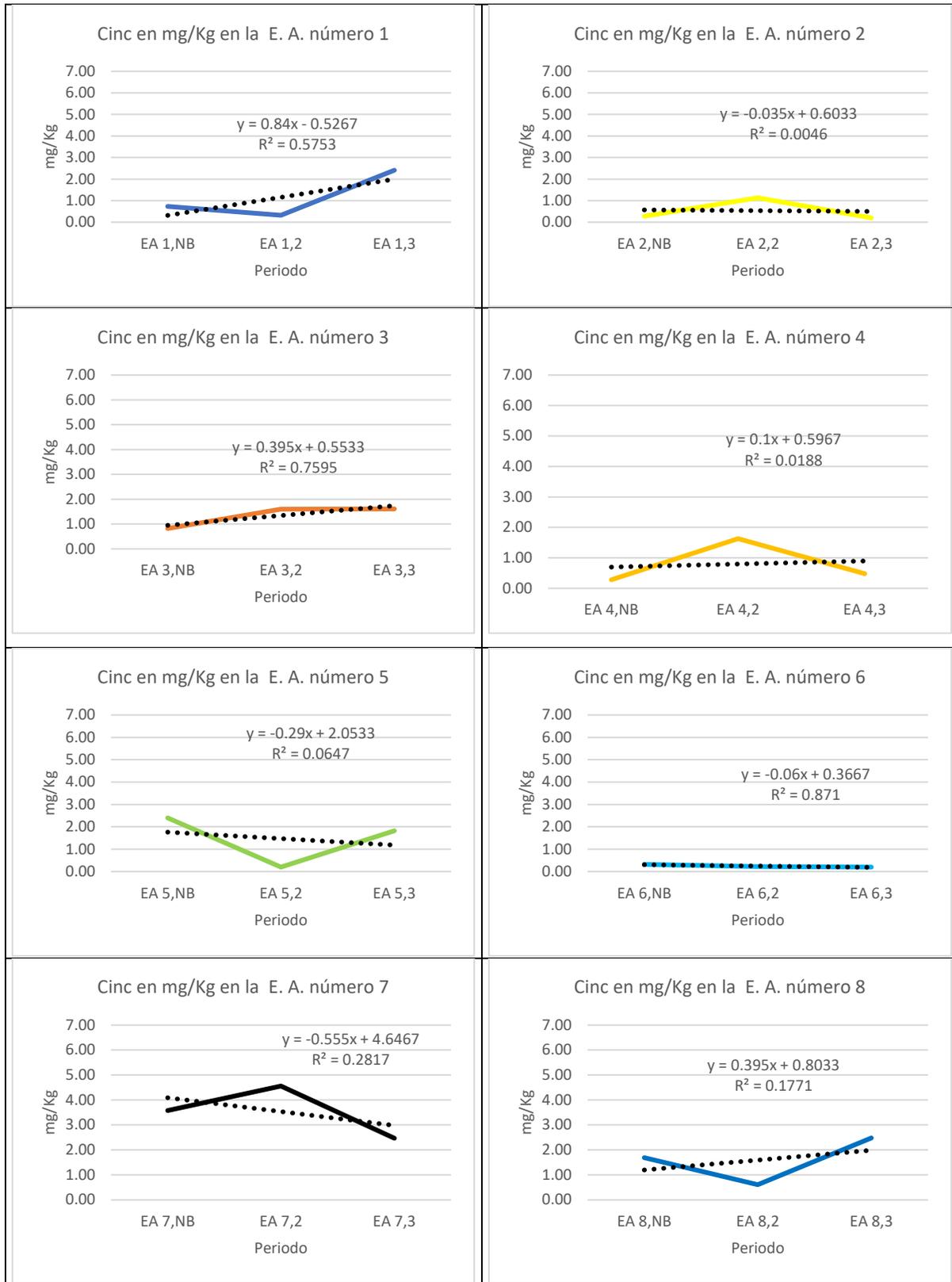


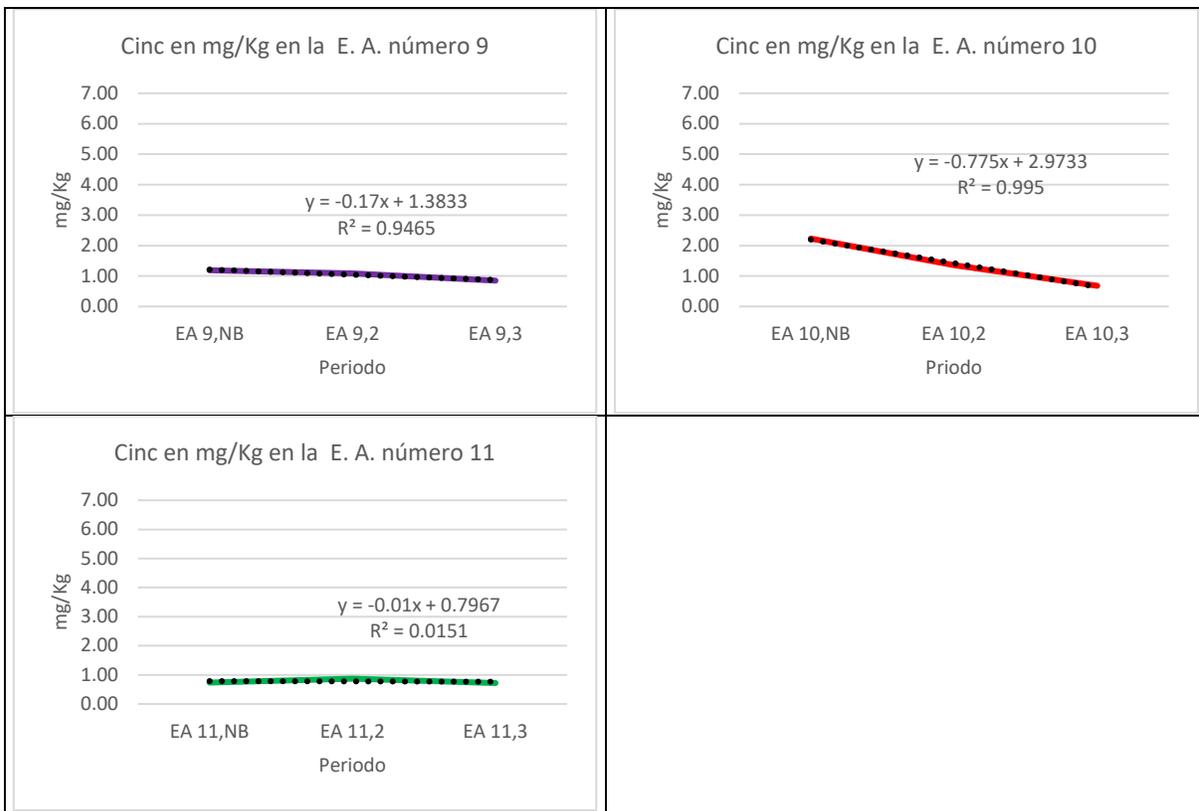


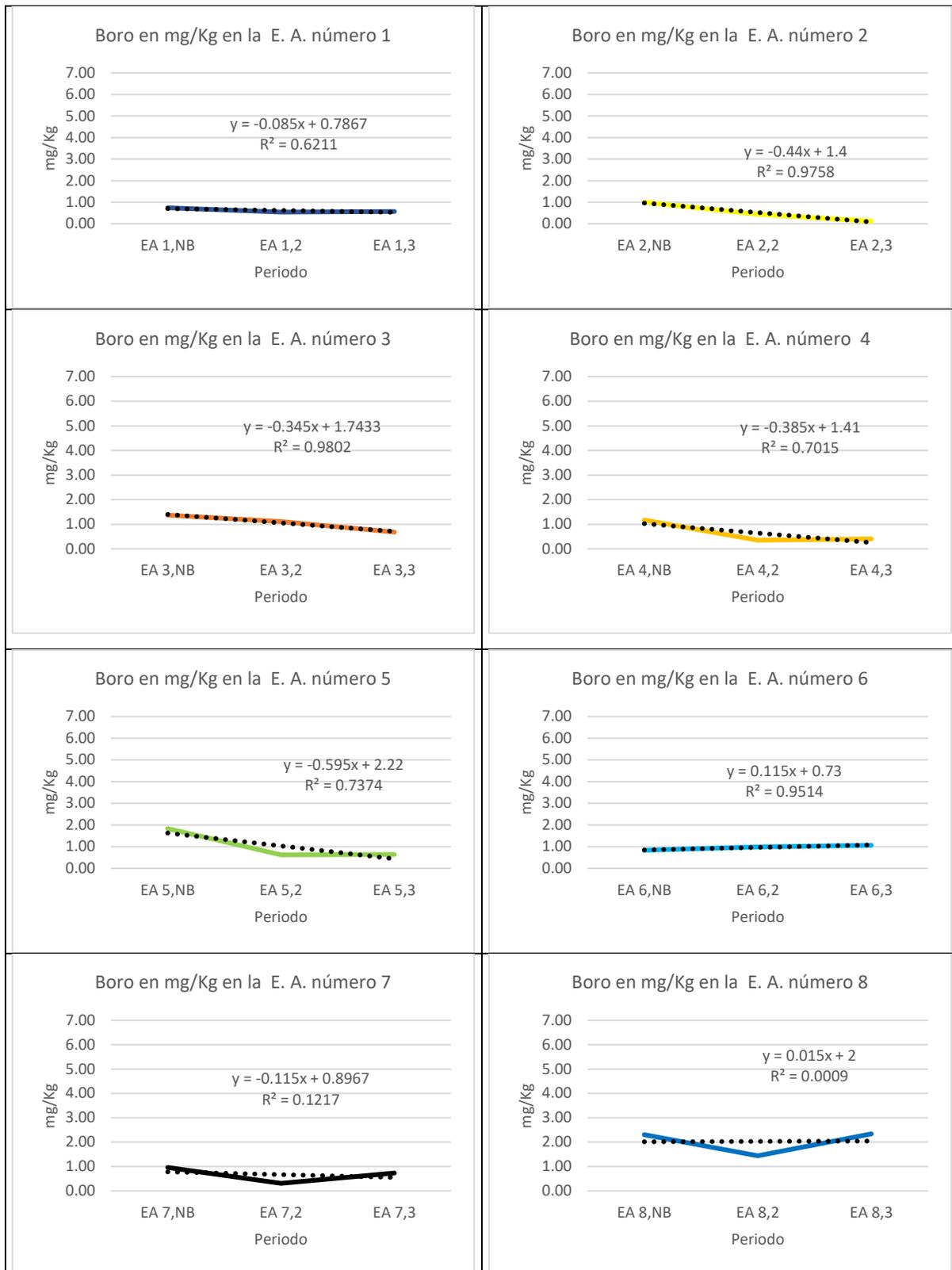


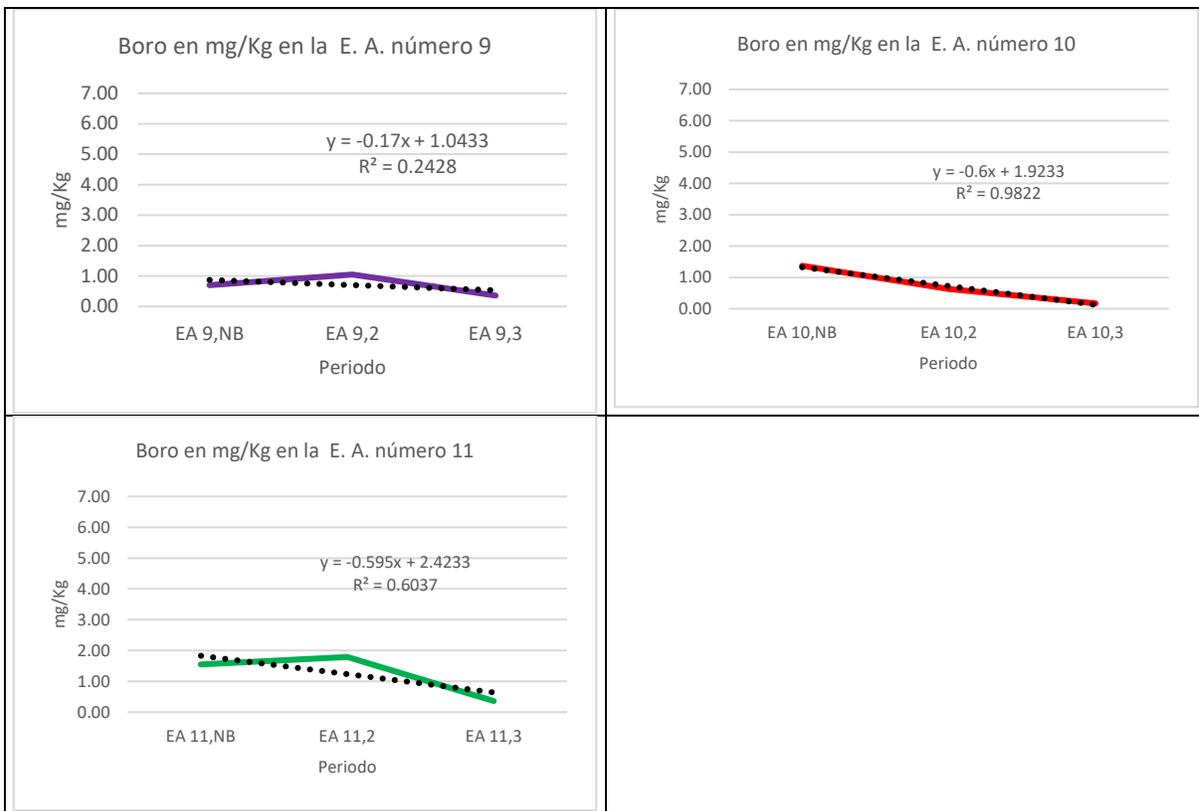




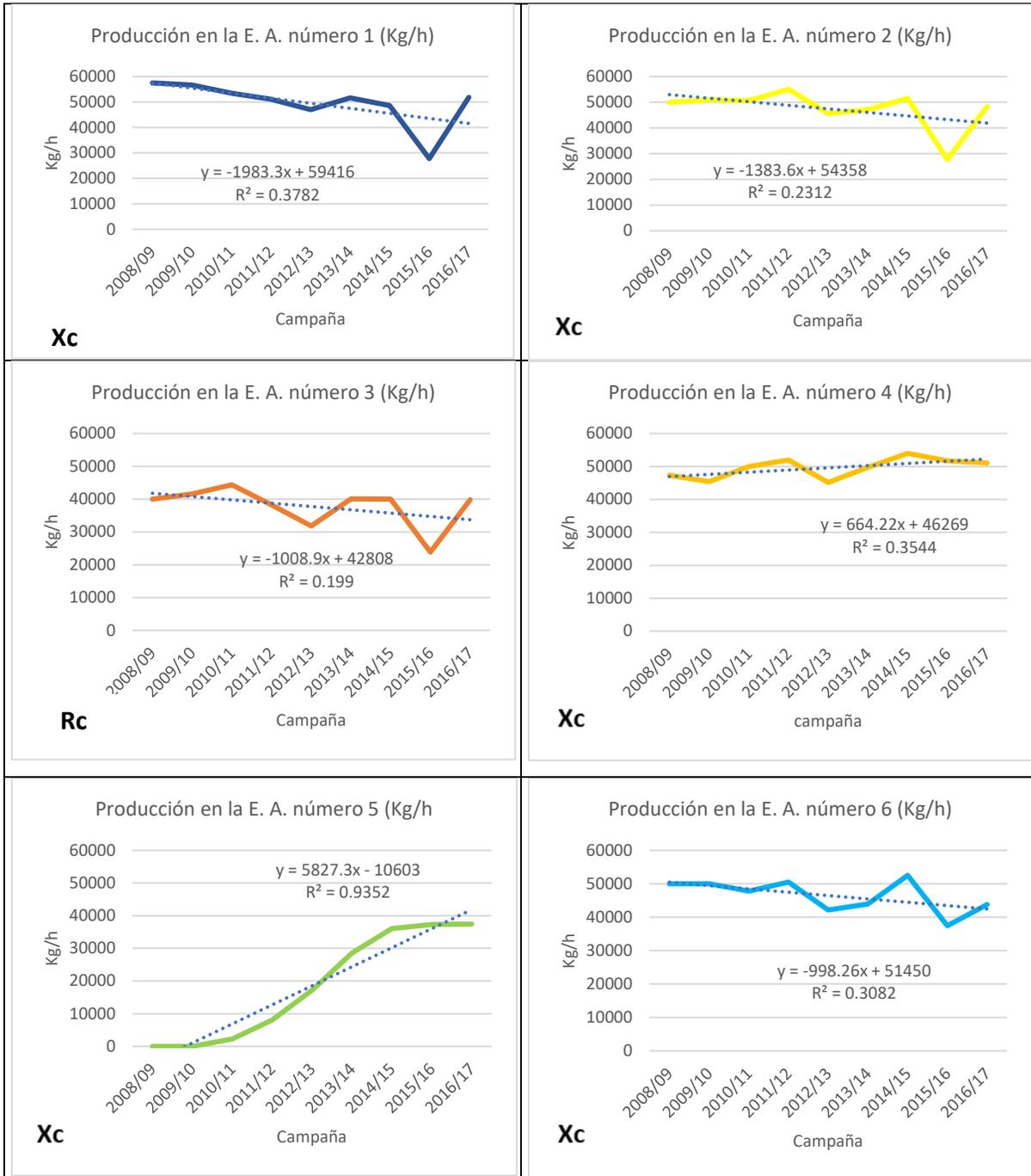


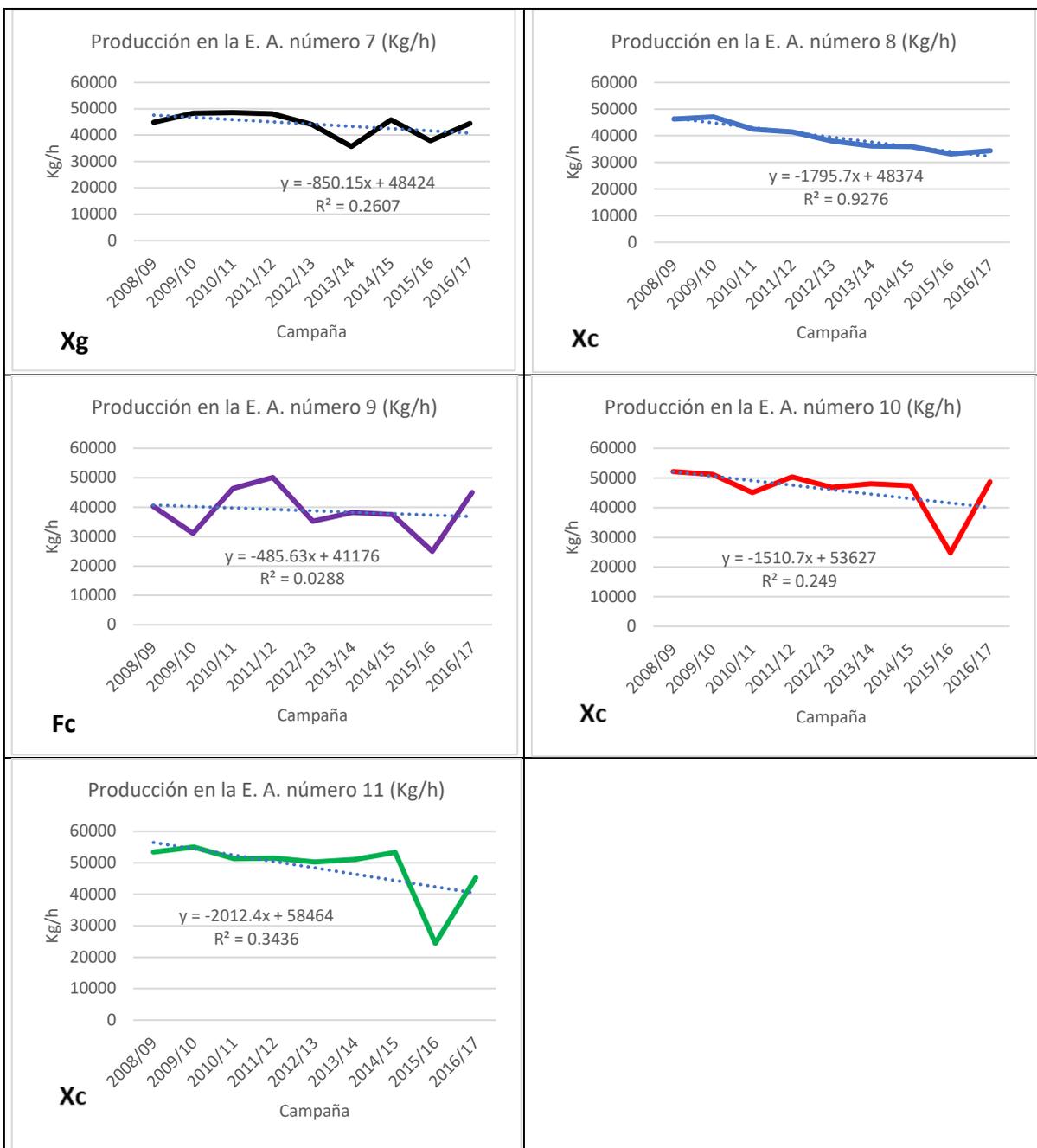






Diagnóstico de la desertificación, la producción como indicador socioeconómico





ANEXO III

Ecuaciones de tendencia de macronutrientes y micronutrientes para estimación de objetivos de ODS y LDN

Nitrógeno

Clase 1: EA.1, EA.3, EA.6, EA.7, EA.8 y EA.11

Clase 3: EA.2, EA.4, EA.5, EA.9 y EA.10

Añadir materia orgánica

	Ecuación	Valor de R ²	2030	2050
EA.1	$y = 0,015x + 0,07$	0,7500	0.15	0.22
EA.2	$y = -0,055x + 0,19$	0,9758	0	0
EA.3	$y = 0,015x + 0,0867$	0,3553	0.17	0.24
EA.4	$y = -0,015x + 0,1067$	0,1378	0.02	0
EA.5	$y = -0,08x + 0,3133$	0,3992	0.14	0
EA.6	$y = 0,02x + 0,0333$	0,7500	0.14	0.23
EA.7	$y = 0,01x + 0,0767$	0,4286	0.13	0.18
EA.8	$y = 0,035x + 0,0867$	0,5485	0.09	0.43
EA.9	$y = -0,02x + 0,1333$	0,9231	0.02	0
EA.10	$y = -0,045x + 0,21$	0,9643	0	0
EA.11	$y = 0,1$	0,0000	0.10	0.10

P

Añadir ácido fosfórico y mejora también el pH

Clase1: EA.1, EA.3, EA.4, EA.6, EA.8, EA.9, EA.11

Clase 3: EA2, EA.5, EA.7 y EA.10

	Ecuación	Valor de R ²	2030	2050
EA.1	$y = 1,165x + 10,413$	0,1748	16.81	22.06
EA.2	$y = -1,865x + 14,443$	0,8275	4.18	0
EA.3	$y = 1,96x + 65,207$	0,8823	75.98	84.62
EA.4	$y = 1,585x + 9,1733$	0,4928	17.88	25.02
EA.5	$y = -16,09x + 53,81$	0,7084	0	0
EA.6	$y = 1,23x + 7,9033$	0,8428	14.66	19.39
EA.7	$y = -1,45x + 13,413$	0,8950	5.44	0
EA.8	$y = 2,54x + 5,33$	0,9139	19.3	30.73
EA.9	$y = 2,27x + 25,653$	0,9001	38.14	48.35
EA.10	$y = -3,01x + 19,773$	0,8523	3.22	0
EA.11	$y = -1,055x + 27,447$	0,0863	21.63	16.90

K

Clase 1: EA.3, EA.4, EA6, EA.7, EA.8 Y EA.9

Clase 2: EA.1

Clase 3: EA.2, EA.5, EA.10 y EA.11

Plan de acción añadir sales potásicas. Ricos las margas (ilita), pobre la 11 por caolinita

	Ecuación	Valor de R ²	2030	2050
EA.1	$y = -15,64x + 243,72$	0,0168	157.70	87.32
EA.2	$y = -138,81x + 607,35$	0,9003	0	0
EA.3	$y = 82,11x + 844,56$	0,0112	1.296,16	1.665,66
EA.4	$y = -3,91x + 409,25$	0,0002	387.75	370.15
EA.5	$y = -44,965x + 454,86$	0,0309	207.55	5.21
EA.6	$y = 175,95x + 24,763$	0,9729	992.48	1.784,26
EA.7	$y = 240,47x - 140,76$	0,8046	1.181,83	2.266,44
EA.8	$y = 125,12x - 54,74$	0,9318	633.42	1.196,46
EA.9	$y = 105,57x + 168,13$	0,8322	748.77	1.223,82
EA.10	$y = -109,48x + 484,84$	0,9849	0	0
EA.11	$y = -84,065x + 495,27$	0,5527	32.91	0

Fe

Clase 1: 18%

Clase 3: 82%

	Ecuación	Valor de R ²	2030	2050
EA.1	$y = -1,205x + 5,54$	0,3663	0	0
EA.2	$y = -1,345x + 4,76$	0,9853	0	0
EA.3	$y = -1,435x + 6,25$	0,9741	0	0
EA.4	$y = -0,195x + 3,0433$	0,0195	0	0
EA.5	$y = -1,54x + 5,3333$	0,8057	0	0
EA.6	$y = -1,36x + 4,73$	0,9994	0	0
EA.7	$y = -1,345x + 4,6$	0,9225	0	0
EA.8	$y = 0,85x + 0,4433$	0,4840	5.12	8.94
EA.9	$y = 1,365x + 2,2933$	0,6421	9.80	15.94
EA.10	$y = -0,56x + 3,4267$	0,8547	0.35	0
EA.11	$y = -0,395x + 1,78$	0,9881	0	0

Cu

Clase 1; 54%

Clase 2; 9%

Clase 3: 37%

	Ecuación	Valor de R ²	2030	2050
EA.1	$y = -0,1x + 0,96$	0,0769	0.41	0
EA.2	$y = -0,57x + 2,0733$	0.8152	0	0
EA.3	$y = 0,14x + 0,75$	0,3952	1.52	2.15
EA.4	$y = -0,04x + 0,83$	0,0132	0.61	0.43
EA.5	$y = -0,2x + 1,29$	0,1647	0.19	0
EA.6	$y = -0,005x + 1,0667$	0,7500	1.04	1.02
EA.7	$y = 0,375x + 0,06$	0,6611	2.12	3.81
EA.8	$y = 0,38x + 1,4733$	0,2016	3.56	5.27
EA.9	$y = 0,485x + 0,1033$	0,9899	2.77	4.95
EA.10	$y = -0,335x + 1,54$	0,9940	0	0
EA.11	$y = 0,375x - 0,28$	0,8386	1.78	3.47

Mn

Clase 1: 54%

Clase 3: 46%

	Ecuación	Valor de R ²	2030	2050
EA.1	$y = 0,905x + 0,2767$	0,3524	5.25	9.33
EA.2	$y = -1,08x + 4,5933$	0,5775	0	0
EA.3	$y = 0,185x + 0,9033$	0,5938	1.92	2.75
EA.4	$y = -0,525x + 2,9$	0,7500	0.01	0
EA.5	$y = 0,385x + 3,0467$	0,3570	5.16	6.90
EA.6	$y = 0,63x + 1,5533$	0,2158	5.02	7.85
EA.7	$y = -0,43x + 2,6533$	0,0577	0.29	0
EA.8	$y = 0,57x + 1,2167$	0,3259	4.35	6.92
EA.9	$y = 0,505x + 2,4867$	0,8916	5.26	7.54
EA.10	$y = -0,575x + 4,32$	0,9514	1.16	0
EA.11	$y = -0,2x + 1,0333$	0,1923	0	0

Zn

Clase 1: EA.1, EA.3, EA.4, EA.8 y EA.11 45%

Clase 2: EA.2 9%

Clase 3: EA.5, EA.6, EA7, EA9 y EA10 45%

	Ecuación	Valor de R ²	2030	2050
EA.1	$y = 0,84x - 0,5267$	0,5753	4.09	7.87
EA.2	$y = -0,035x + 0,6033$	0,0046	0.41	0.25
EA.3	$y = 0,395x + 0,5533$	0,7595	2.73	4.50
EA.4	$y = 0,1x + 0,5967$	0,0188	1.15	1.60
EA.5	$y = -0,29x + 2,0533$	0,0647	0.46	0
EA.6	$y = -0,06x + 0,3667$	0,8710	0.04	0
EA.7	$y = -0,555x + 4,6467$	0,2817	1.59	0
EA.8	$y = 0,395x + 0,8033$	0,1771	2.98	4.75
EA.9	$y = -0,17x + 1,3833$	0,9465	0.45	0
EA.10	$y = -0,775x + 2,9733$	0,9950	0	0

EA.11	$y = -0,01x + 0,7967$	0,0151	0.74	0.70
-------	-----------------------	--------	------	------

B

Clase1: 18%

Clase 3: 82%

	Ecuación	Valor de R ²	2030	2050
EA.1	$y = -0,085x + 0,7867$	0,6211	0.32	0
EA.2	$y = -0,44x + 1,4$	0,9758	0	0
EA.3	$y = -0,345x + 1,7433$	0,9802	0	0
EA.4	$y = -0,385x + 1,41$	0,7015	0	0
EA.5	$y = -0,595x + 2,22$	0,7374	0	0
EA.6	$y = 0,115x + 0,73$	0,9514	1.36	1.88
EA.7	$y = -0,115x + 0,8967$	0,1217	0.26	0
EA.8	$y = 0,015x + 2$	0,0009	2.08	2.15
EA.9	$y = -0,17x + 1,0433$	0,2428	0.11	0
EA.10	$y = -0,6x + 1,9233$	0,9822	0	0
EA.11	$y = -0,595x + 2,4233$	0,6037	0	0