

Restauración de suelos agrícolas y forestales en diferentes ambientes climáticos.



El reto de combinar ciencia, educación y transferencia

Agustín Merino

Universidad de Santiago de Compostela

Indice

- Funciones del suelo
- Alcance de la degradación del suelo y tipos de degradación del suelo
- Restauración y conservación de suelos para recuperar las funciones del suelo
- Estudio de casos
 - Suelos agrícolas intensivos en el Chaco de Paraguay
 - Renaturalización de los suelos de la estepa Siberiana
 - Recuperación de turberas degradadas por actividades agrícolas en Noruega
 - Conservación de suelos después de incendio en España
- Educar y formar para conservar el suelo

Funciones del suelo



El suelo es un componente natural que es vital para el desarrollo de la vida en el planeta y el bienestar de la sociedad

Fuentes:

Anglés, M. et. al. (2021). Por una gestión sostenible del suelo que promueva su reconocimiento, recuperación, preservación y gobernanza. Disponible en https://sdsnmexico.mx/wp-content/uploads/2021/05/Booklet_P2_Suelo_08-Una-pagina.pdf
FAO. (2015) Funciones de los suelos. Disponible en <https://www.fao.org/3/ax374s/ax374s.pdf>

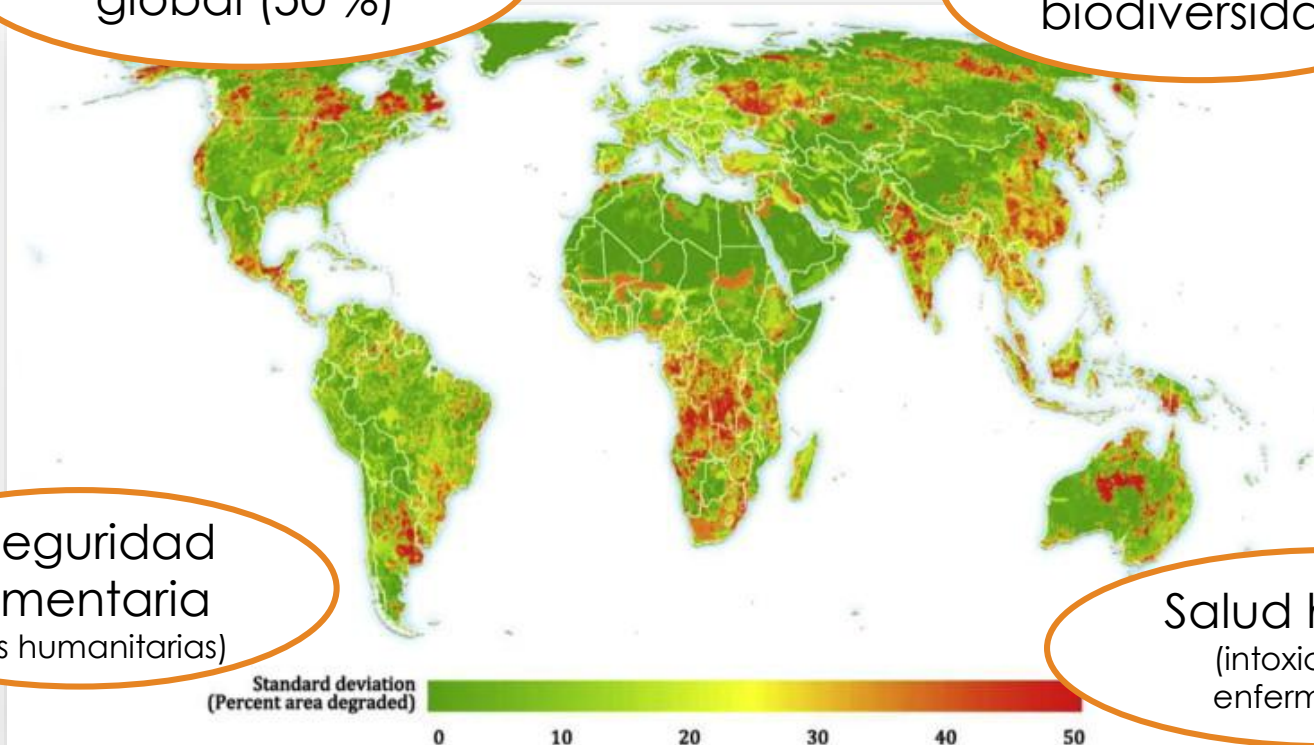
Desde mediados del siglo XX se ha degradado 22.5 % de la superficie

Calentamiento
global (50 %)

Pérdida de
biodiversidad

Inseguridad
alimentaria
(crisis humanitarias)

Salud humana
(intoxicaciones,
enfermedades)



Gibbs, H. K., & Salmon, J. M. (2015). Mapping the world's degraded lands. *Applied geography*, 57, 12-21.

Perturbaciones de origen humano



Transformación de suelos forestales a cultivos intensivos



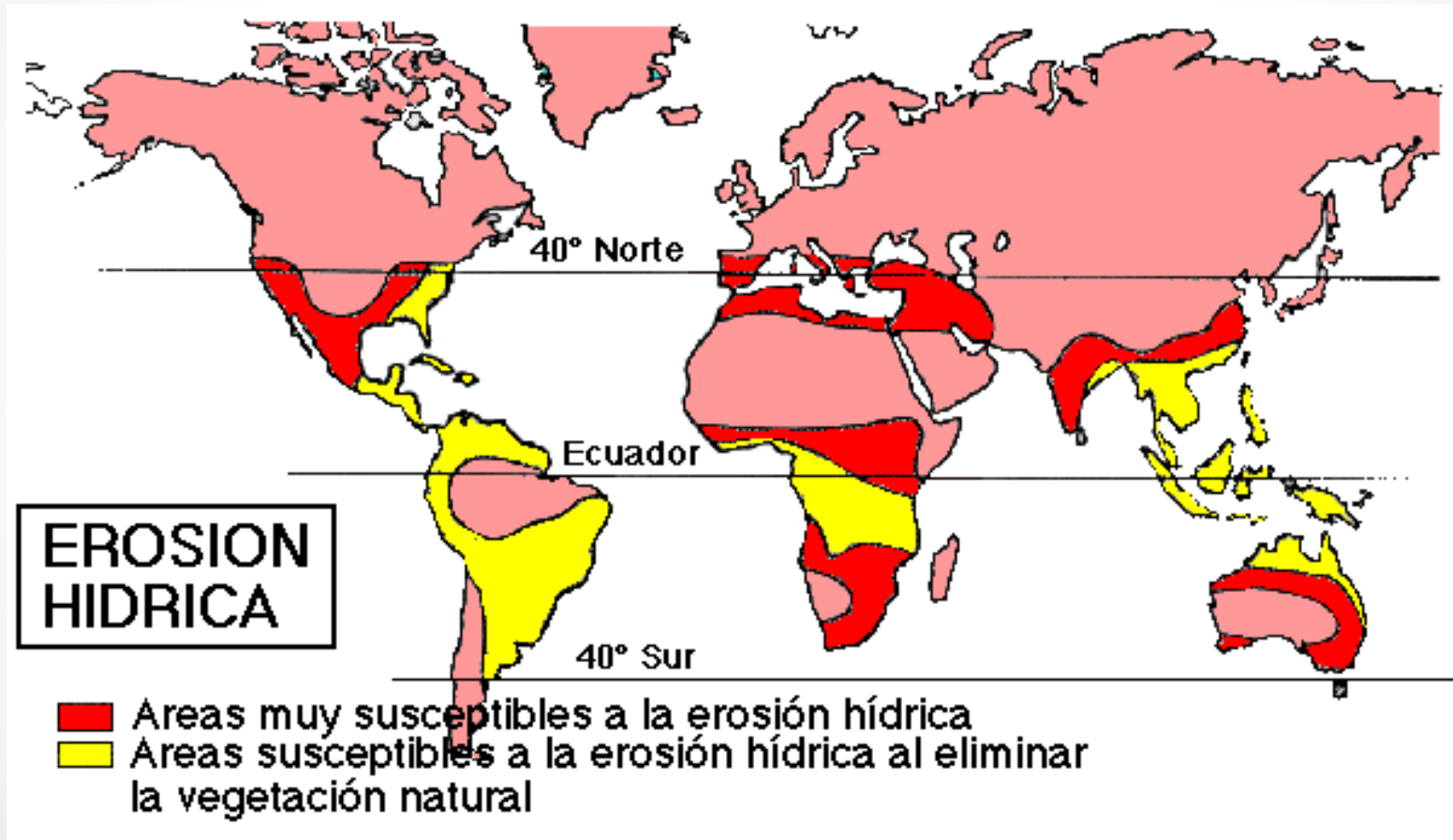
Drenaje de humedad

Incendios forestales



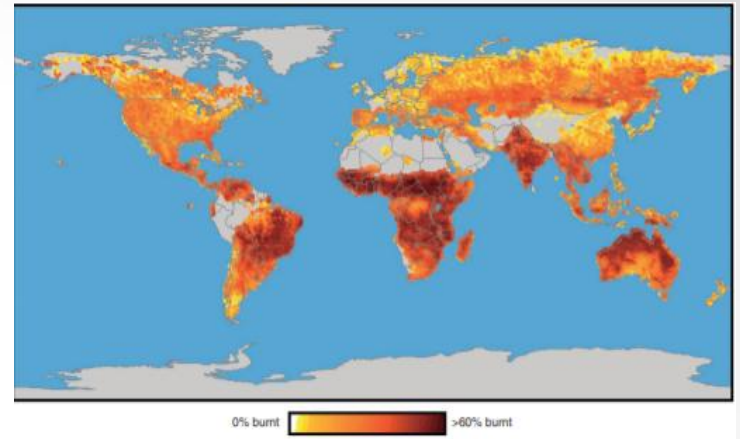
- *Smith et al. (2016). Global change biology, 22(3), 1008-1028.*

1. Erosión hídrica









WILDFIRES

4 million km² burned each year

**About half the
size of the US**



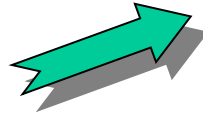
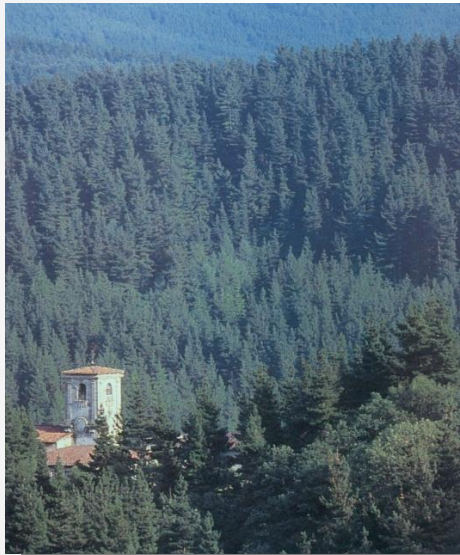
**Larger than the
area of India**



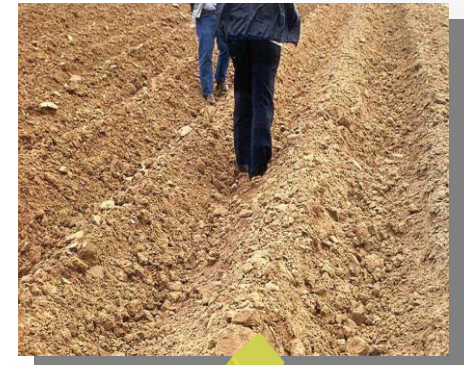
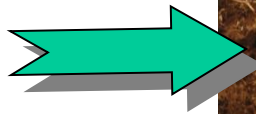
**About four times
the size of Nigeria**



2. Pérdida de materia orgánica del suelo



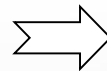
CO₂



Higher temperatura (lack of shadow)

Higher aeration (ploughing)

More available nutrients for microorganisms (fertilization)

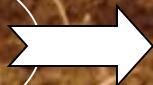


Loss of Organic matter

>>> CO₂ release



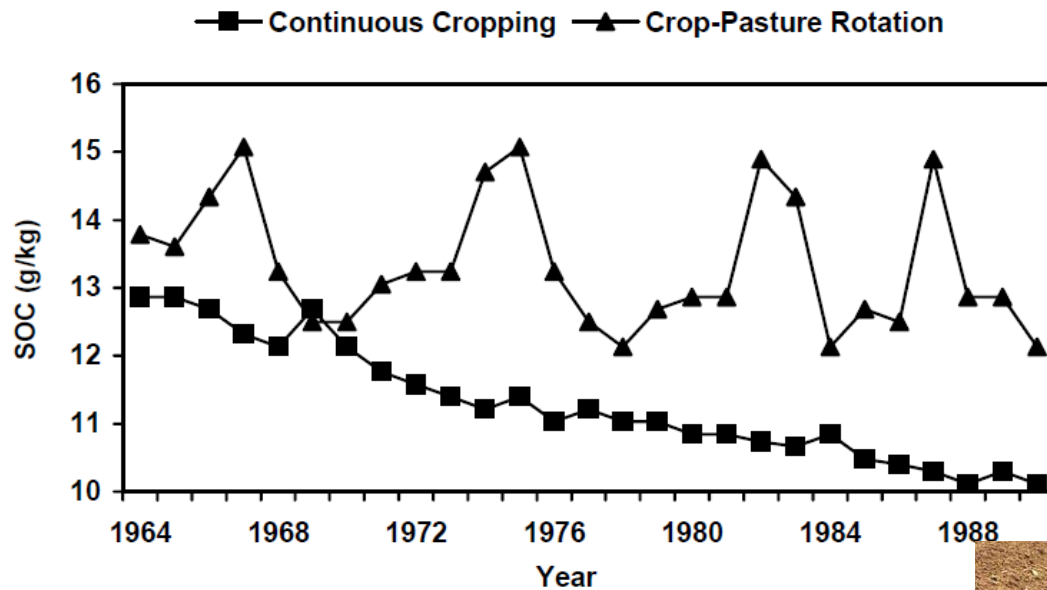
Temperatura
Laboreo
Fertilización



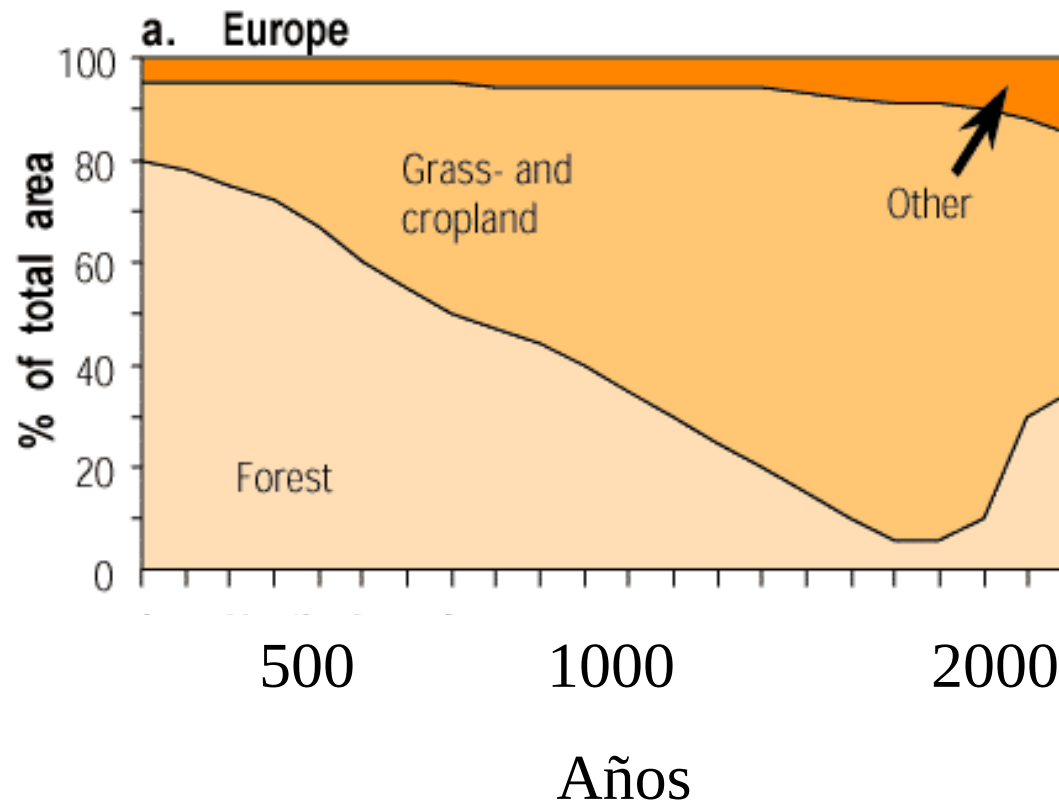
Materia orgánica >>> CO₂



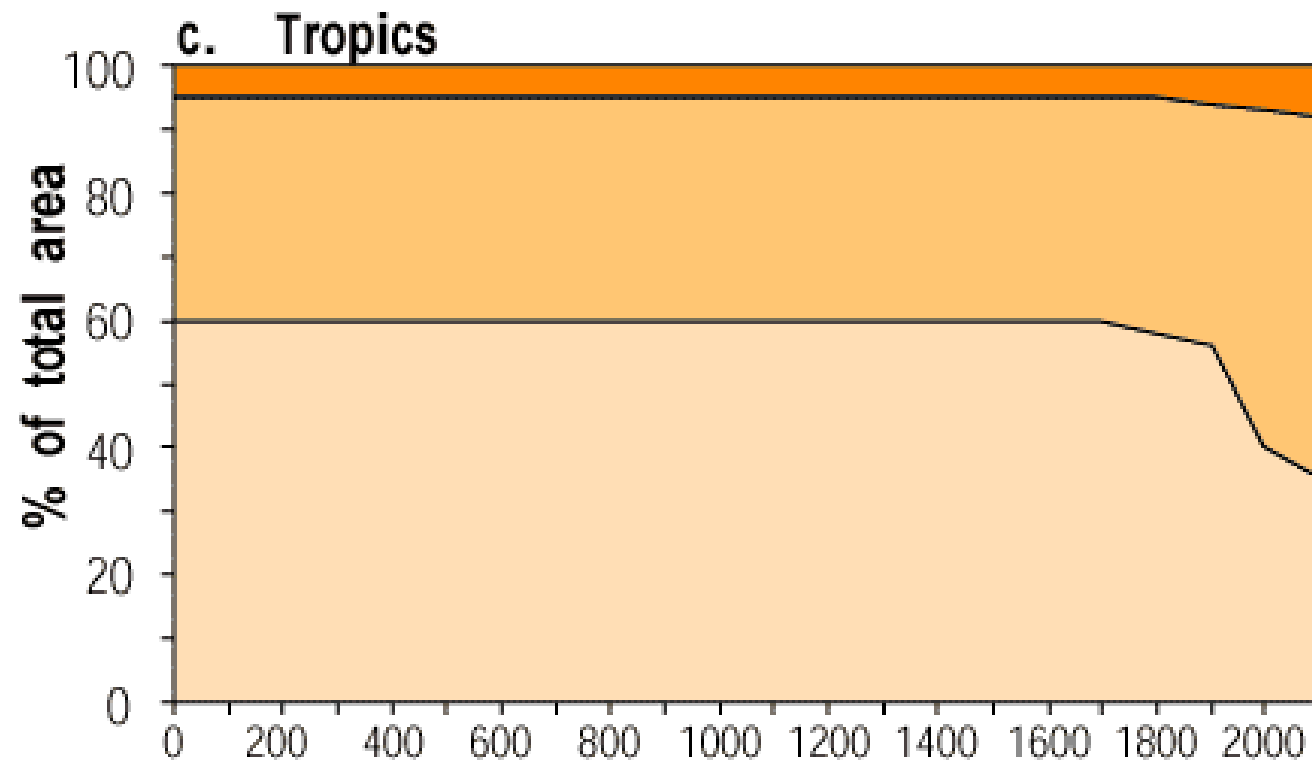
Transformación de suelos forestales a agrícolas



Cambios de uso del suelo



Años



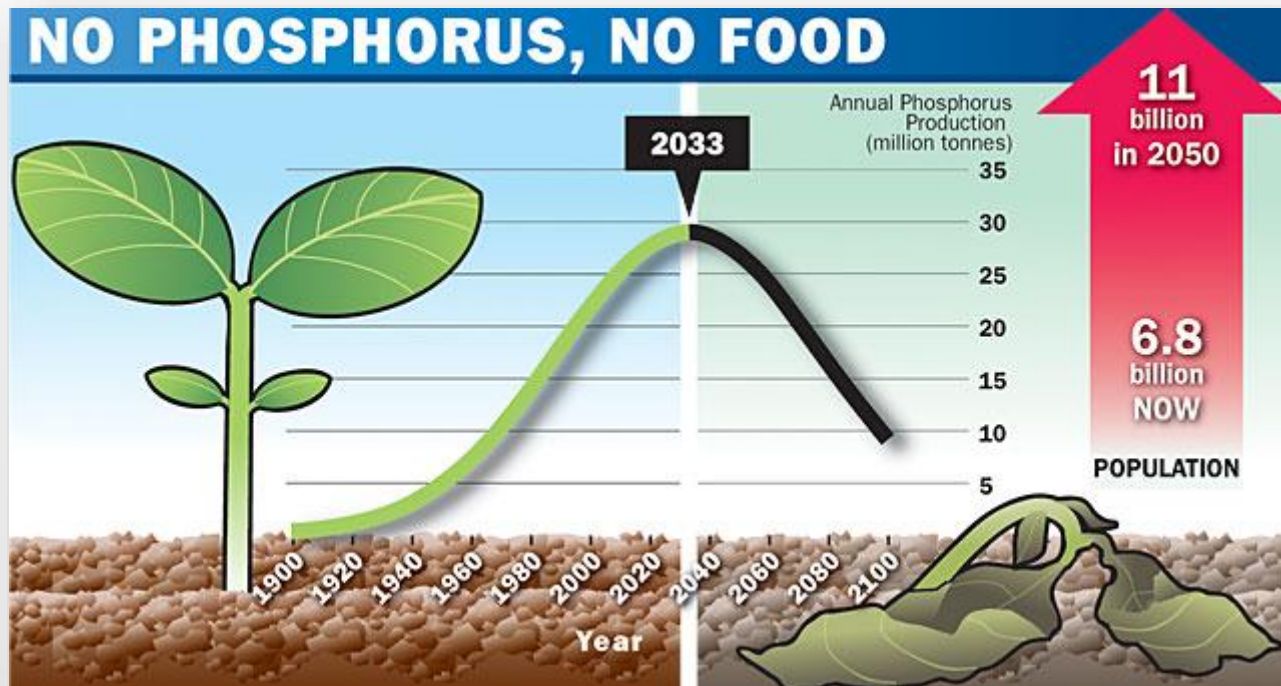
3. Pérdida de nutrientes



- **Cultivo sobre suelos pobres con insuficiente cantidad de fertilizantes**

La reducción de fertilizantes de P amenaza seguridad alimentaria global

Necesidad de optimizar el P del suelo



Agotamiento de los yacimientos en EEUU, China y Marruecos

Koppelaar and Weikard (2013). Global Environmental Change, 23, 1454-1466

Reconocimiento político

La Restauración Ambiental es una urgente necesidad para la seguridad alimentaria y cambio climático

Mayo 2020



Green Deal / Estrategia de la UE sobre la Biodiversidad 2030 /

Marzo 2020

Década para la Restauración de los Ecosistema (2021-2030)



2015



2016



En qué parte de Panamá encontramos estos problemas?



Transformación de suelos forestales a cultivos intensivos



Drenaje de humedad

Incendios forestales



- *Smith et al. (2016). Global change biology, 22(3), 1008-1028.*

REPUBLICA DE PANAMA

Mapa de fertilidad basado en análisis de muestras de suelos
Fósforo (P)

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

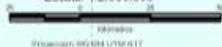


Mar Caribe

Golfo de Panamá

Océano Pacífico

Escala: 1:2,000,000



Leyenda

Niveles críticos

- Bajo
- Medio
- Alto



Proyecto de determinación
de la viabilidad del agronegocio
en las principales cuencas
hidrográficas de Panamá.

Elaborado en base a 19,183 muestras de suelos
provenientes del Laboratorio de Suelos del IDAP.
Se agradece el apoyo del Centro Internacional de
la Papa y la Contraloría General de la República.



Preguntar al Asistente de IA

Resume este documento



...

7383

REPUBLICA DE PANAMA

Mapa de fertilidad basado en análisis de muestras de suelos
Materia Orgánica

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ



Mar Caribe

Golfo de Panamá

Océano Pacífico

Escala: 1:2,000,000
100 Kilómetros
Proyección: WGS84 UTM N17T

Leyenda Niveles críticos



Proyecto de determinación
de la viabilidad del agronegocio
en las principales cuencas
hidrográficas de Panamá.

Elaborado en base a 19,195 muestras de suelos
provenientes del Laboratorio de Suelos del IDAP.
Se agradece el apoyo del Centro Internacional de
la Papa y la Contraloría General de la República.

346324

446324

546324

646324

746324

846324

1049667

949667

849667

749667

Aprendizaje Servicio en restauración de áreas degradadas



2016-2018



2020-2023



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

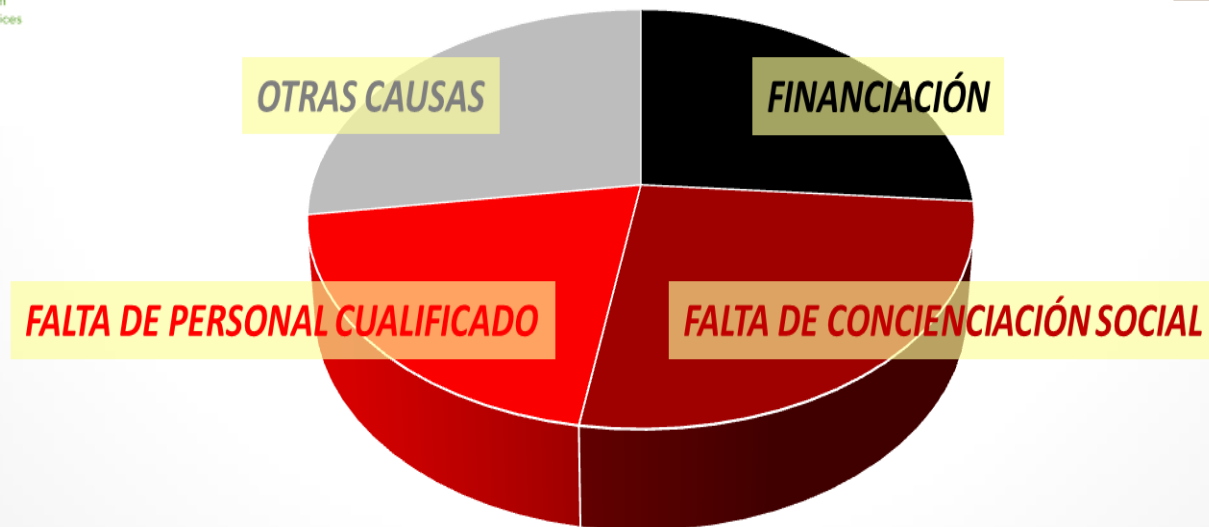
Aprendizaje Servicio en restauración de áreas degradadas para la mejorar la formación e implicación social



Menos del 1% de los terrenos degradados se restaura



¿Por qué se restaura tan poco terreno a pesar de su importancia?



ApS

Implicando a la comunidad en la restauración a través de los estudiantes y de la población joven

Aprendizaje-Servicio

Periodísta

Estudiante de Agronomía

Agente agrario

Propietario

ONG
(WWF)



Planificación y dirección de la restauración



Dinamización de la comunidad



Formación de la población



Actividades de educación



Campañas de sensibilización

Redes sociales

Buscar



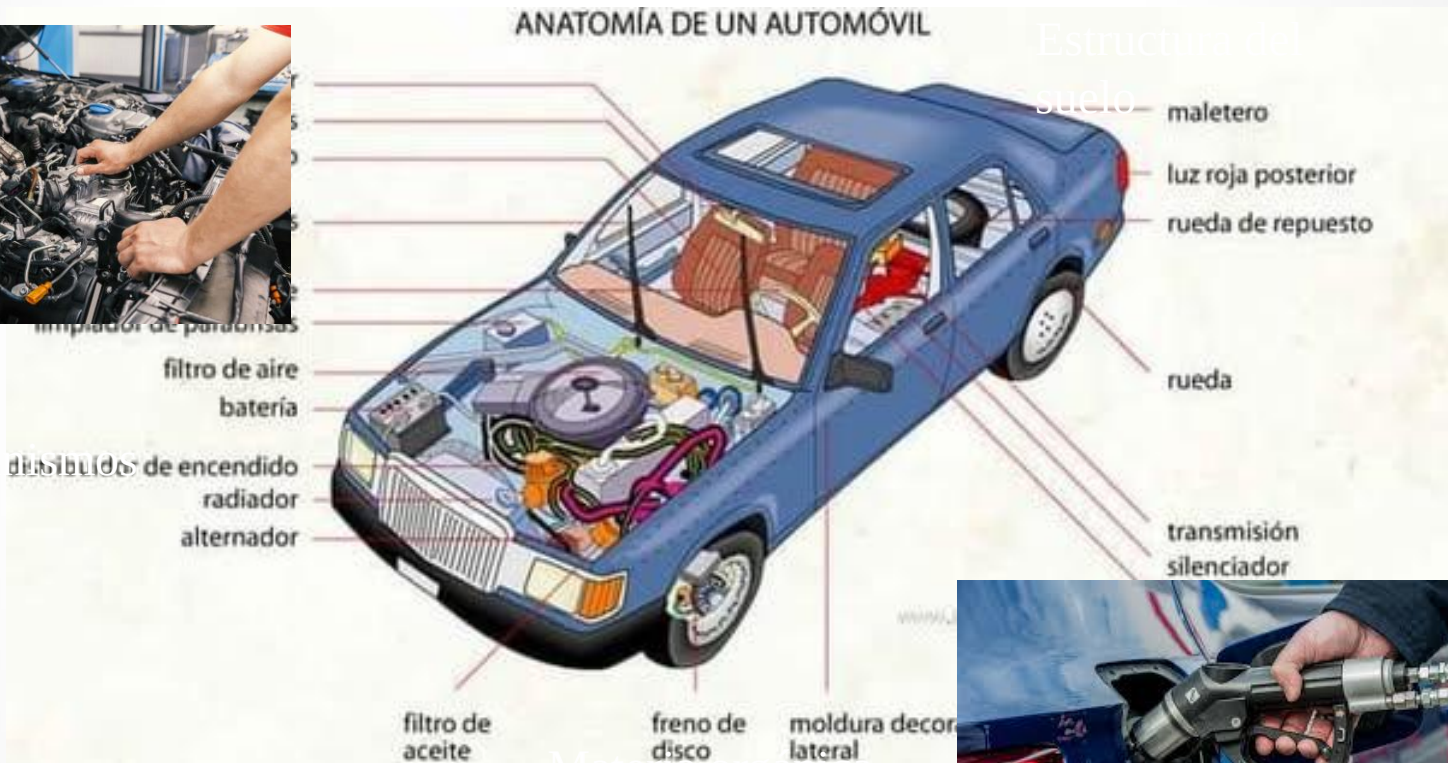
Comunidad implicada



ESTO ES UN SUELO



Esto es un suelo



Microorg.
del suelo

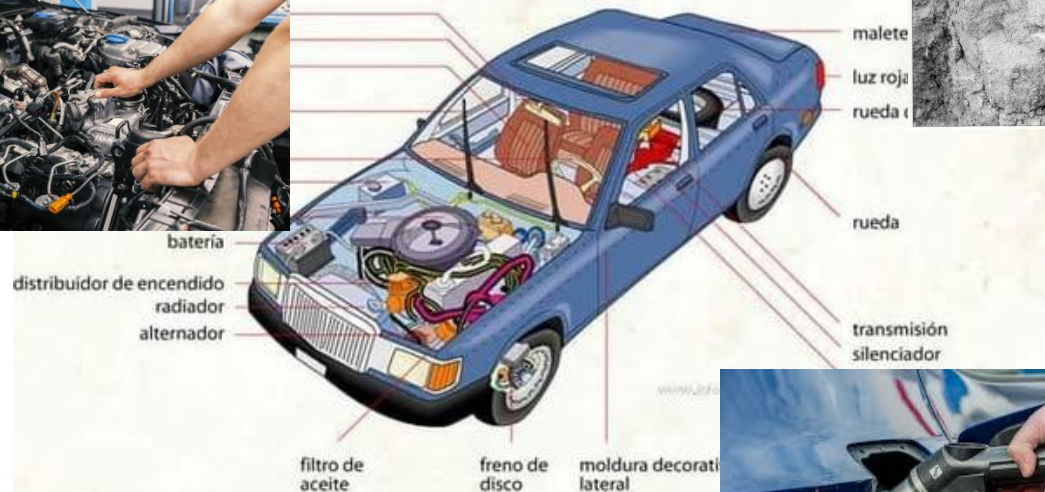


ASÍ FUNCIONA UN SUELO

Modelo



ANATOMÍA DE UN AUTOMÓVIL



Microorganismos
del suelo



Con qué tipos de suelo, con diferente espacio poroso, se pueden relacionar la carrocería de estos autos

Coche con poco espacio. Pocas personas, incomodo



Suelo arcilloso, solo tiene microporos: pocas raíces, mala aireación, fácil encharcamiento

Coche demasiado espacio grande: la mercancía se puede perder



Suelo arenoso, solo tiene macroporos: el agua se pierde con facilidad, se seca rápido.

Coche cómodo para pasajeros, con espacio y buen maletero—y rápido

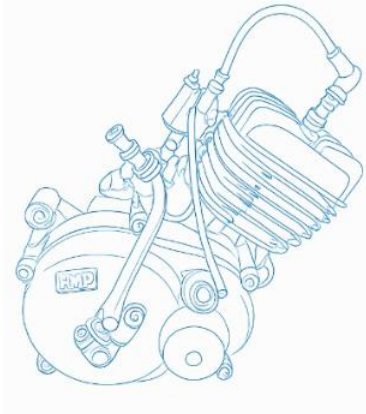


Suelo de estructura equilibrada: con microporos (retiene agua) y macroporos (circula el aire). Buena producción

Diferente contenido de MOS



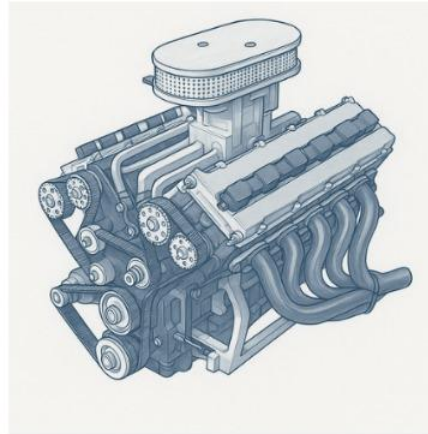
Diferencia de potencia en los motores



Motor 50cc
-Pocos caballos
-Baja cilindrada



Suelo degradado
-Escasa biomasa microbiana
-Biomasa muy homogéneas



Motor V12
-Muchos Caballos
-Gran cilindrada



Suelo de bosque
-Mucha biomasa microbiana
-Biomasa microbiana diversa

CASO ESTUDIO 1:
SUELOS AFECTADOS POR INCENDIOS EN NW ESPAÑA

Esto es un suelo quemado





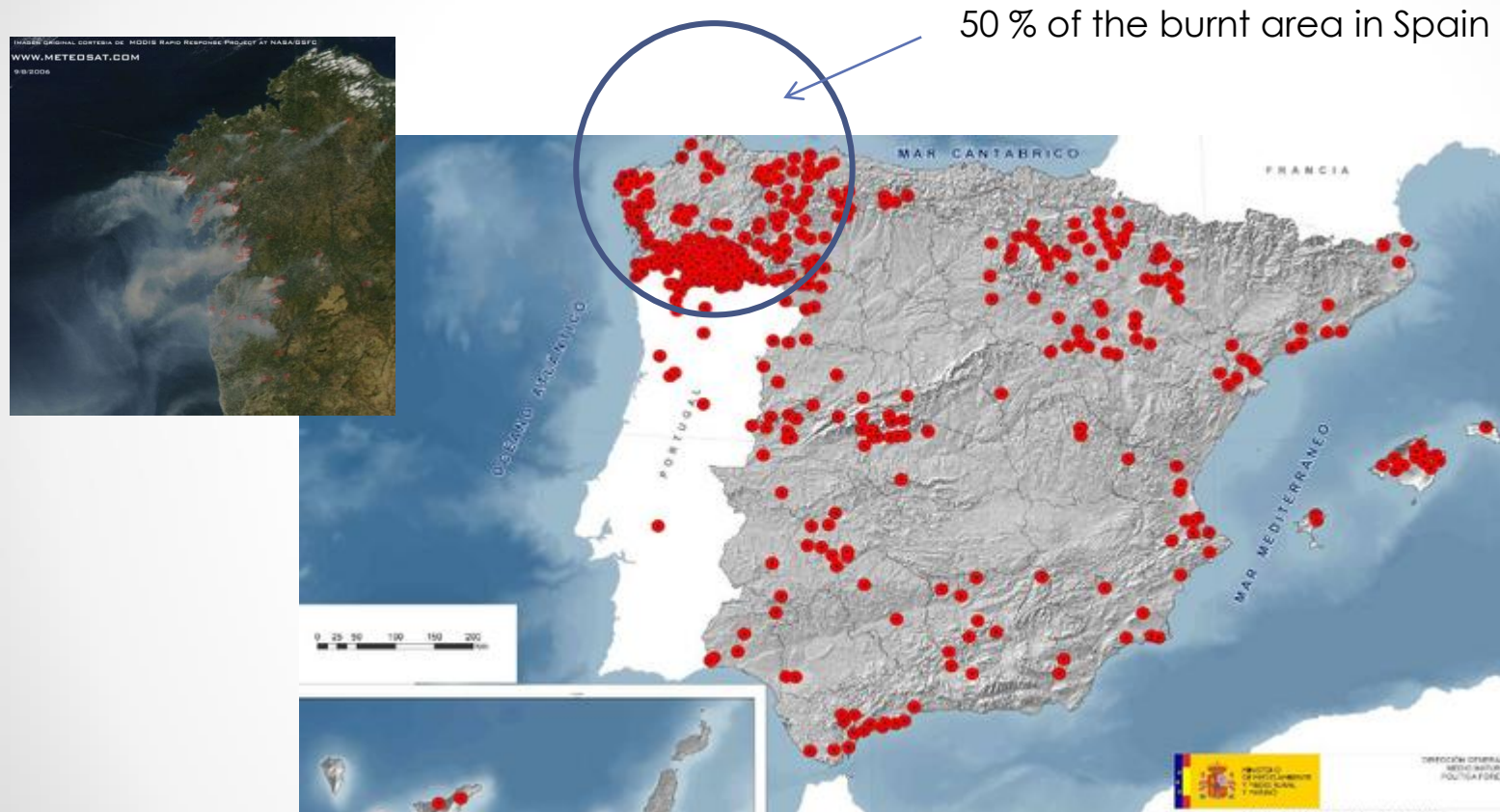


¿En qué regiones de Panamá los incendios forestales y las quemas agrícolas son más frecuentes, y qué tipos de suelos son los más afectados por estas prácticas?

- **Áreas críticas:** Los Santos, Herrera, Veraguas, Coclé, Chiriquí, Herrera, Colón,
- **Suelos vulnerables:**
- **Causas principales:** temas culturales, incendios forestales, clima temporadas secas atípicas, descargas eléctricas, negligencias por basuras y descuidos.

Interés del estudio

La región más afectada por los incendios



Objetivo

Definir la resiliencia del suelo al impacto del fuego



Zona de severidad alta
Mantillo totalmente quemado
Suelo mineral > 200 ° C
Fuerte erosión
Lenta revegetación



Zona de severidad baja
Mantillo parcialmente quemado
Suelo mineral < 100 ° C

Jiménez-González et. (2016). Science of the total environment, 572, 1414-1421.
Vega et al. (2013). Plant and Soil, 369, 73-91

Diferentes severidades de quema de suelo

Zonas de severidad baja



t= 0



t= 2 meses



T > 7 años

quemada de suelo



Severidad alta

$t = 0$



$t = 2$ meses

$T > 7$ años



Protección urgente de terrenos incendiados en España





Foto: Agustín Merino

Restauración de zonas quemadas e implicación popular





Restauración de zonas incendiadas



Colaborar en Actividades de Educación

CURSO DE VERANO

1 crédito ECTS

Santiago
de Compostela
Facultad de Biología, USC
12, 13, 14 de julio, 2023

EDUCAR PARA CONVIVIR CON EL FUEGO

EDUCAR PARA CONVIVIR CO LUME
EDUCATION TO LIVE WITH FIRE



70€ TASA GENERAL
Público general

40€ TASA ESTUDIANTEL
Estudiantes universitarios, de
bachillerato o FP, pensionistas,
desempleados, socios de la asociación
de Antiguos Alumnos de la USC,
PDI y PAS de la USC.



UNIVERSIDADE
DE VERÁN 2023



Coordinado por:



PLANTANDO
CARA AL FUEGO



FACING
FIRE

Con apoyo de:



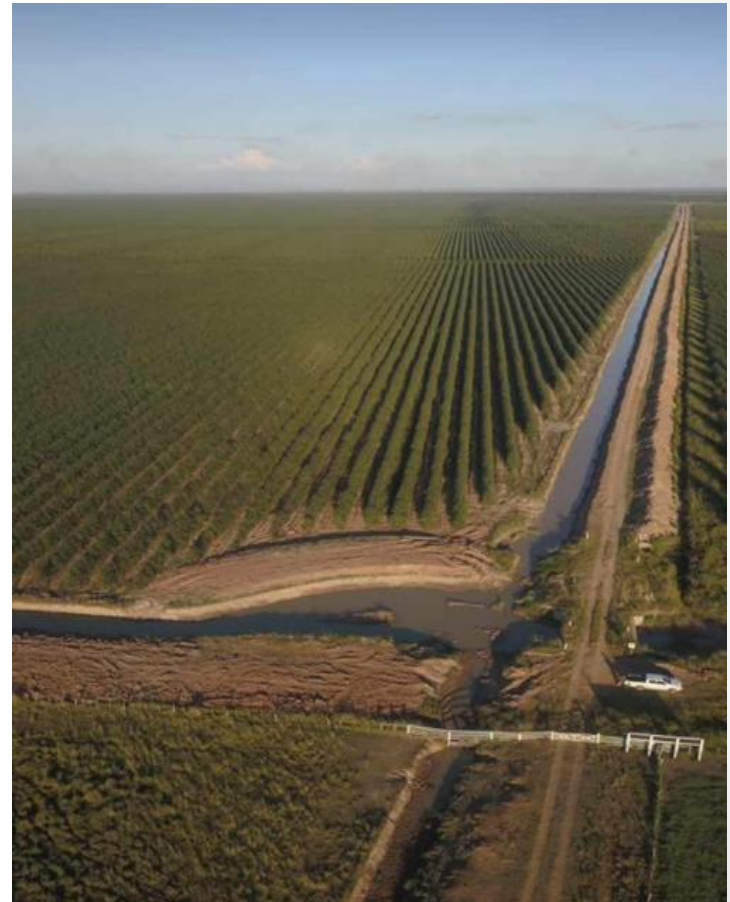
REGISTRO



- Presentaciones por los estudiantes
- Talleres de formación
- Prácticas de campo
- Mesa redonda

Caso de estudio 2: Restauración de terrenos agrícolas en Paraguay



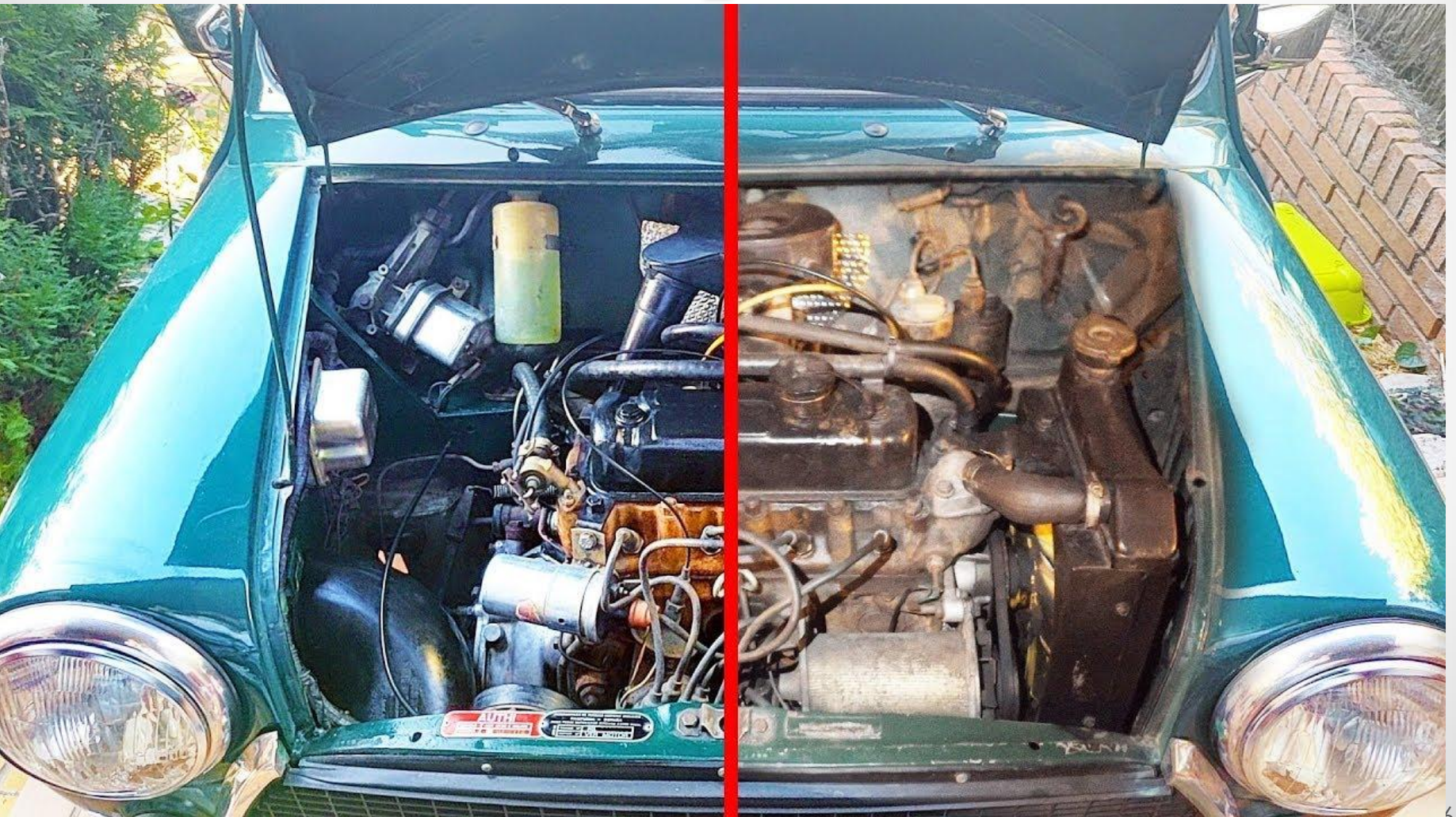


Un suelo del trópico



Motor 50cc
-Pocos caballos
-Baja cilindrada

Un suelo degradado del trópico





Soil conservation
practices
(keeping crop
residues and
reducing ploughing)



Reforestation
(higher inputs
of residues and lower
microbial
activity)



Conversion to
grasslands

Agricultura de conservación



Mucuna



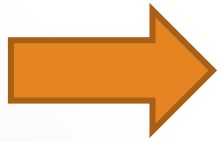
Nabos

La implantación de Sistemas silvopastorales ayuda a restaurar los suelos

Suelo degradado



0.5 % C



1.2 % C

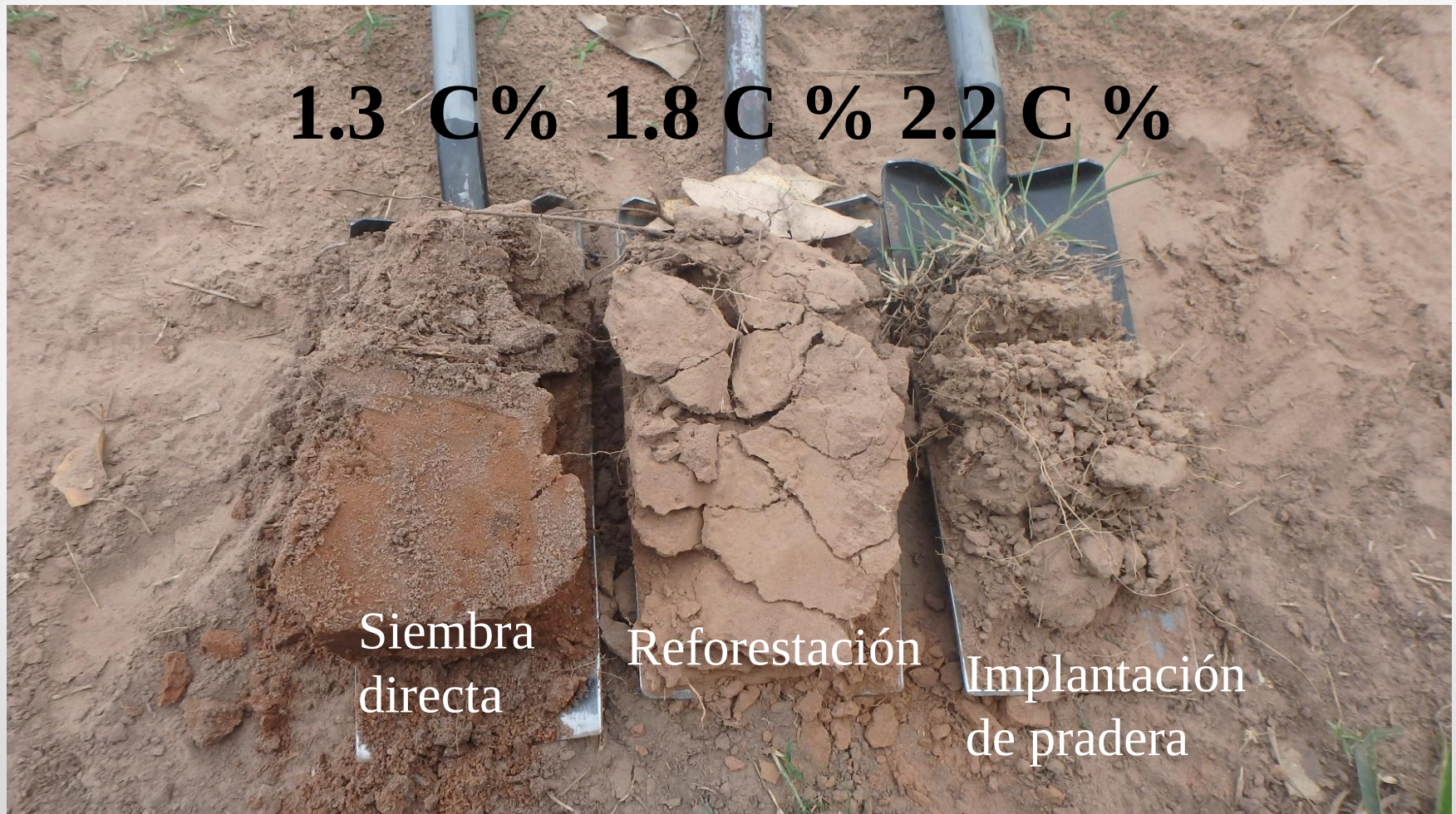
Curuguaty, Paraguay (2019)



1. ¿Cómo el laboreo intensivo (arado, monocultivos, uso de maquinaria) ha contribuido a la degradación de suelos en Panamá, y en qué regiones es más crítico este problema?

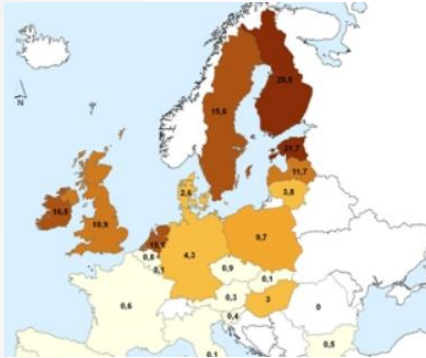
- Ejemplos concretos: pérdida de estructura del suelo, compactación, disminución de materia orgánica.
- Regiones afectadas (p.ej., áreas de cultivo de caña de azúcar, arroz o maíz en Chiriquí, Azuero o Darién).
- Comparación entre pequeña agricultura (uso manual) y agroindustria (maquinaria pesada).

Captura de C y agricultura sostenible en Paraguay



CASO ESTUDIO 2: Recuperación de Histosoles en Noruega



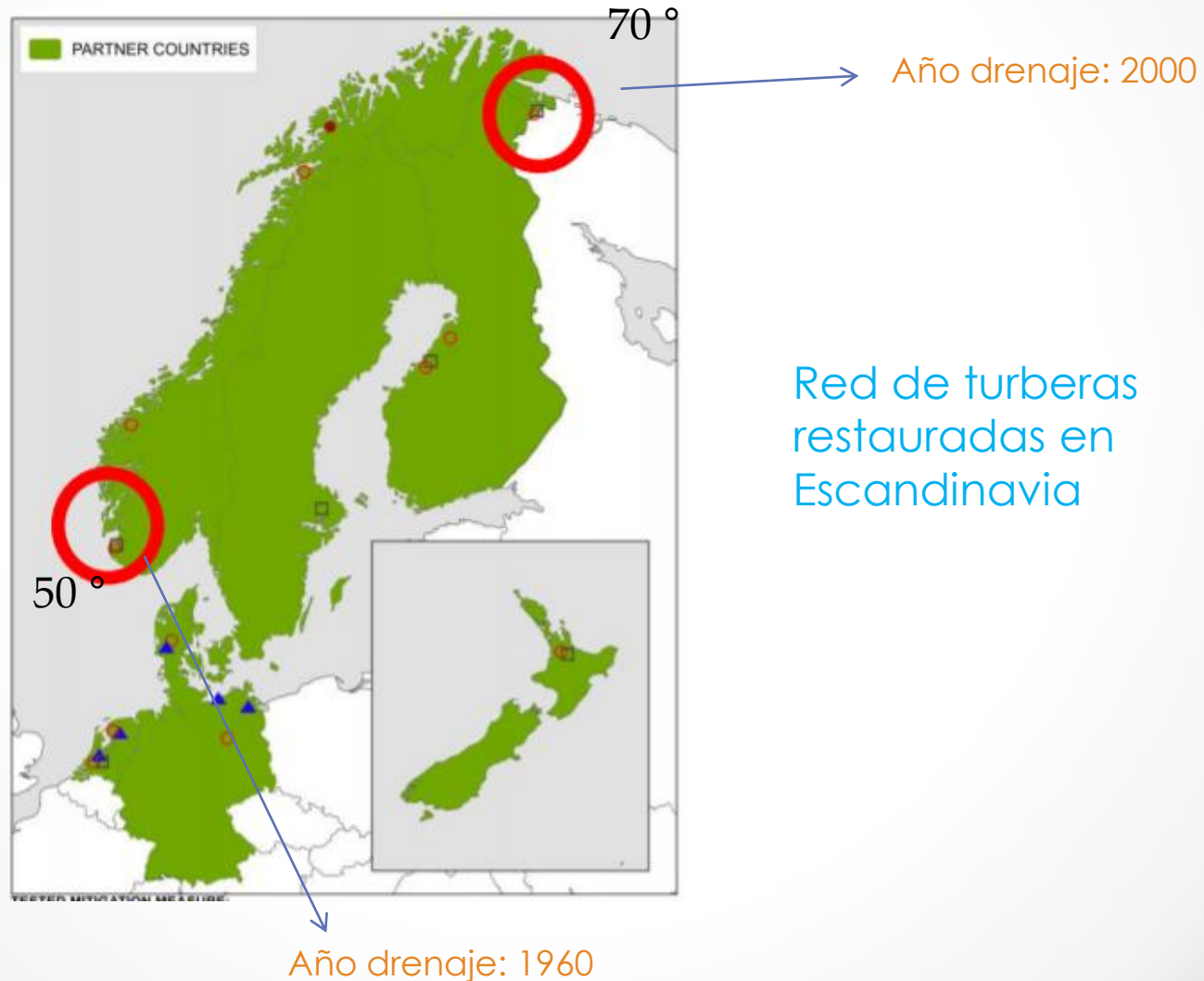


Turbera drenada

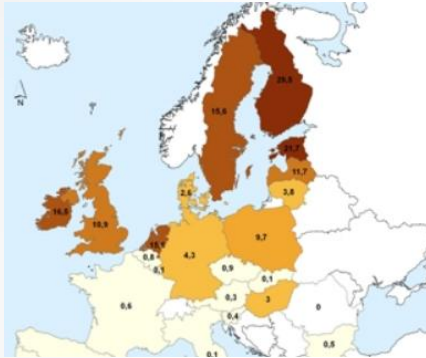


Diseño experimental

Localización de los sitios de estudio



Interés del estudio



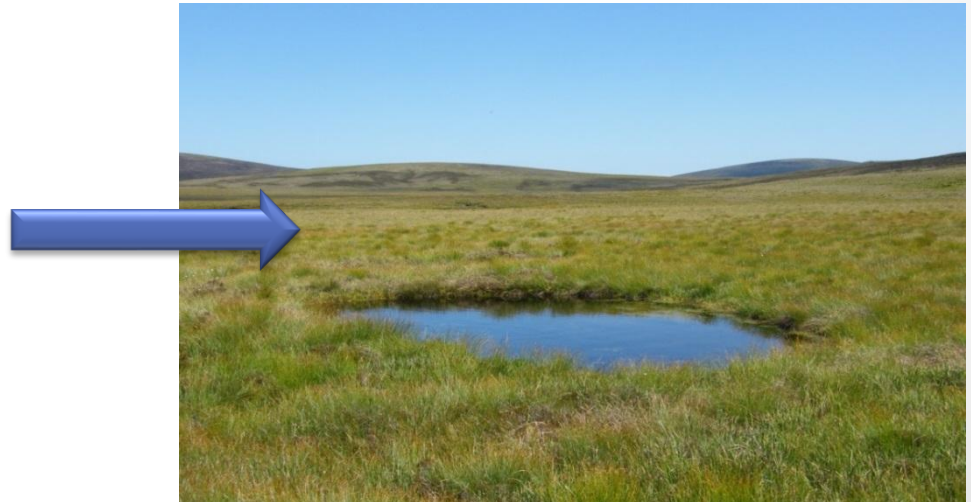
15- 60 % de las
emisiones de GEI

*Sjögersten et al. (2016). Soil Biology and
Biochemistry, 98, 42-53.*

Turbera drenada



Turbera recuperada

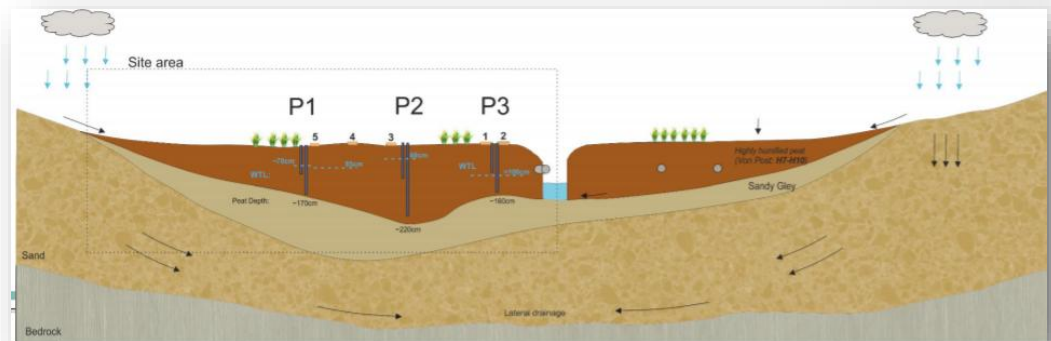


Diseño experimental

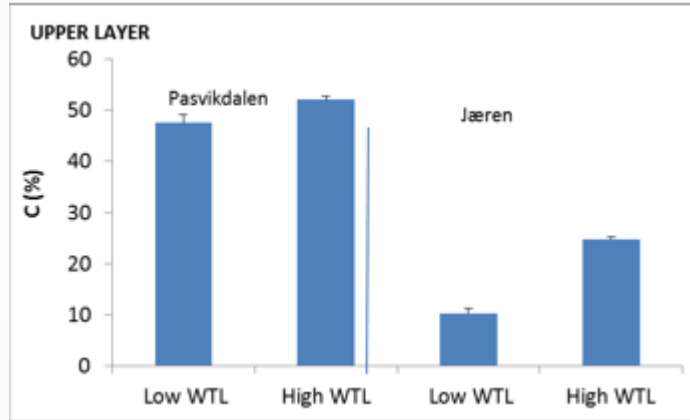
Toma de muestras



- Desde 0 a 120 cm
- A diferentes localizaciones / nivel freático



Recuperación de turberas drenadas



1. ¿En qué regiones de Panamá se han implementado sistemas de drenaje agrícola a gran escala y cuáles han sido sus principales impactos en los suelos y ecosistemas asociados?^o

- Ejemplos: áreas arroceras de **Tonosí (Azüero)**, **Chiriquí** o **Darién**; proyectos bananeros en **Bocas del Toro**.
- Impactos positivos (control de inundaciones, habilitación de tierras) vs. negativos (salinización, pérdida de humedales, acidificación).
- Relación con problemas actuales como intrusión salina en costas o pérdida de biodiversidad.

Indique las **DOS** principales causas que, en su opinión, limitan la restauración de terrenos degradados

¿¿Por qué estamos fallando en la restauración?



- ☐ Existe un desconocimiento sobre las técnicas de restauración
- ☐ Falta de personal cualificado (transferencia no adecuada)
- ☐ Falta de recursos para ejecutar la restauración
- ☐ Falta de interés por los interesados
- ☐ Normalmente es un labor demasiado compleja
- ☐ Falta de comunicación entre los diferentes actores implicados
- ☐ Falta de sensibilización social capaz de demandar a los políticos

LINK DE LA ENCUESTA, EN EL CHAT

Qué prácticas tradicionales o innovadoras de manejo de suelos podrían escalarse en Panamá para promover la restauración?

- Ejemplos: sistemas agroforestales, abonos verdes, terrazas, rotación de cultivos.
- ¿Cómo integrar conocimientos locales (p.ej., de comunidades indígenas) con técnicas modernas?
- Barreras para su adopción (costos, capacitación, políticas públicas).

3. ¿Qué actores clave (gobierno, sector privado, ONGs, comunidades) deben involucrarse en la restauración de suelos en Panamá y qué rol debería tener cada uno?

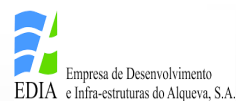
- Mencionar iniciativas existentes (p.ej., programas del MIDA o MiAmbiente).
- El papel de los productores locales vs. grandes empresas (ganadería, agroexportación).
- ¿Cómo garantizar participación equitativa y beneficios compartidos?

LAND DEGRADATION AND REHABILITATION IN MEDITERRANEAN ENVIRONMENTS



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

2016-2018



Consorcio LANDCARE

4 universidades
2 empresas
1 ONG
1 administración



Manuales sobre restauración



Training on land restoration: Impact analysis on "green employment"

Monografias do IBADER - Serie Território

Agustín Merino	Patricia González
Patricia M. Rodríguez-González	Grazia Masciandaro
Helena Barbosa	Anastasia Miliou
Gloria Cruz	Beatriz Omil
Serena Doni	Luisa Pinto
Niki Evelpidou	Jose A. Rebolo
Teresa Ferreira	José Antonio Vega
Felipe García-Oliva	Giorgio Virgili



USC
IBADER
Instituto de Biodiversidade
Agrária e Desenvolvimento Rural

Best Practices in Evaluation and Restoration of Degraded Mediterranean Environments

Monografias do IBADER - Serie Território

Agustín Merino
Serena Doni
Niki Evelpidou
Teresa Ferreira
Ana I. García-Arias
Grazia Masciandaro
Patricia M. Rodríguez-González
(Editors)



USC
IBADER
Instituto de Biodiversidade
Agrária e Desenvolvimento Rural

Desarrollo de habilidades transversales



Comunicación

- Implicación de los actores
- Apoyo de la sociedad



Empleabilidad/emprendimiento

- Proyectos viables
- Oportunidad para el desarrollo

Cursos intensivos internacionales



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



- España
- Grecia
- Italia

Actividades formativas para profesores



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



- Clases
- E-Learning
- Manuales
- Salidas al campo

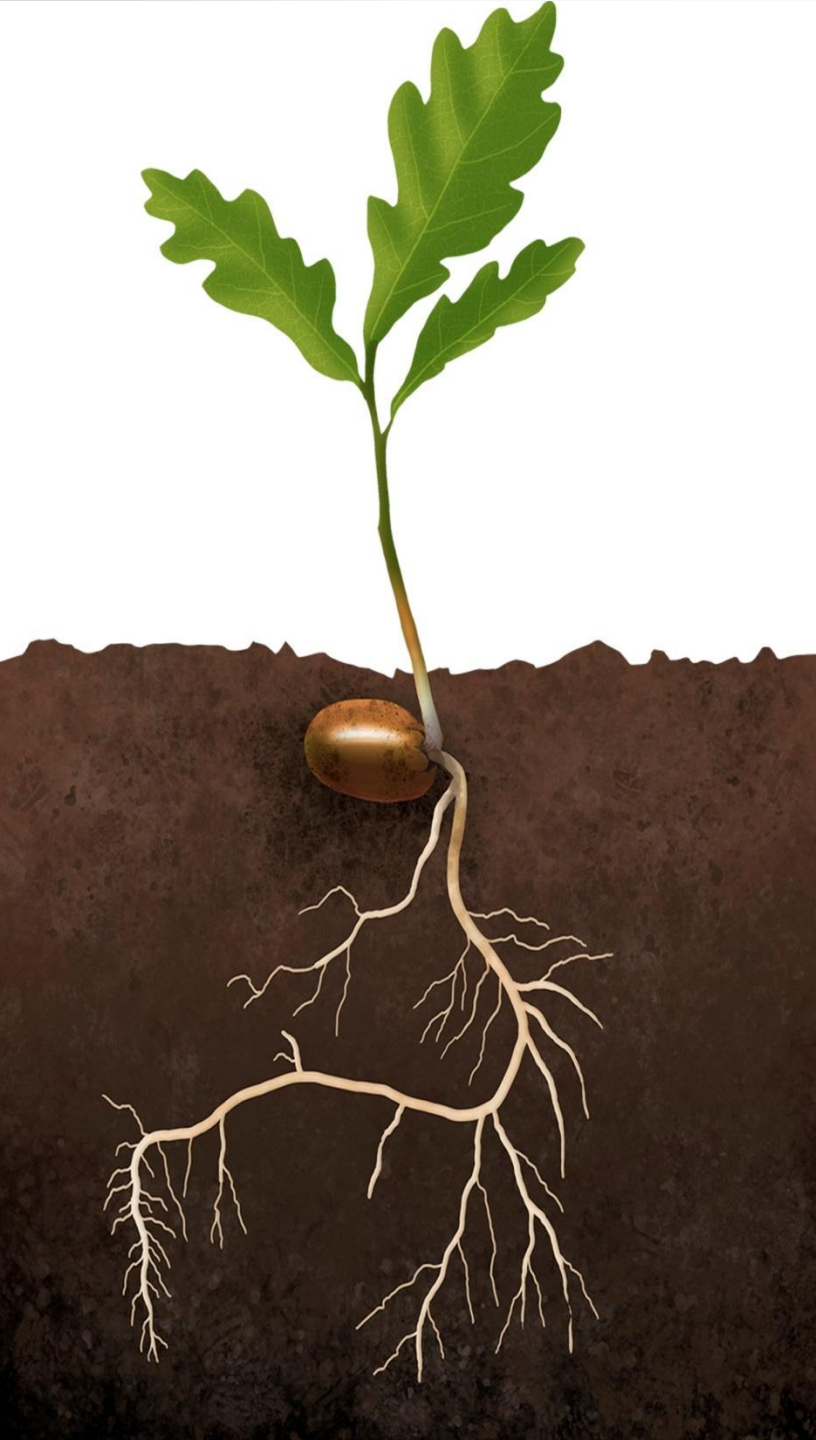
Congreso LANDCARE FOR THE FUTURE

USC (2018)

Traslando la responsabilidad
a los actuales estudiantes

Formar a la generación de
estudiantes

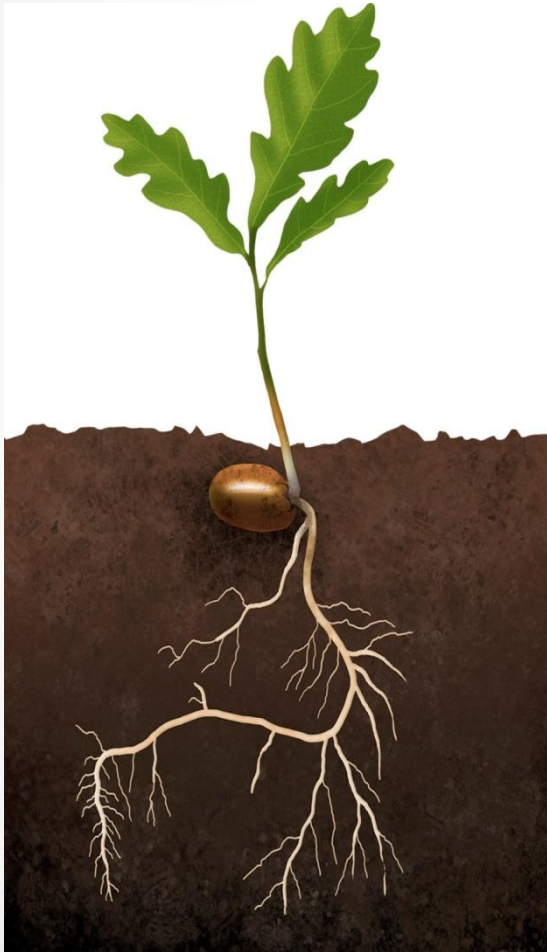




La educación es el eslabón y principio que puede permitir la construcción de una nueva forma de vivir en y con el planeta

*Prof. Dra. Laura B. Reyes
Presidenta de la IUSS / Profesora de la UNAM*

Muchas gracias



TIEMPO PARA
DISCUTIR

TENEMOS
SÓLIDAS BASES
TÉCNICAS PARA
ACOMETER LA
RESTAURACIÓN



...pero la superficie restaurada muy baja

Target 2 :“para 2020, la restauración será de, al menos el 15% de los ecosistemas degradados.”



Convention on
Biological Diversity

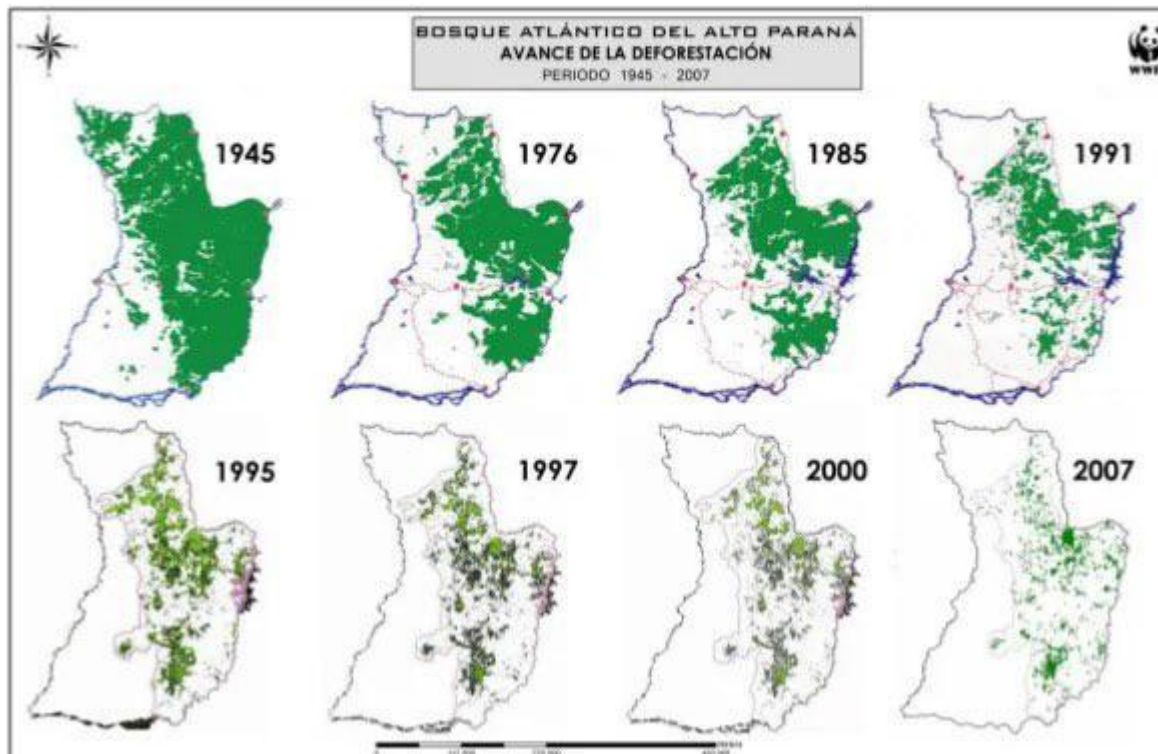




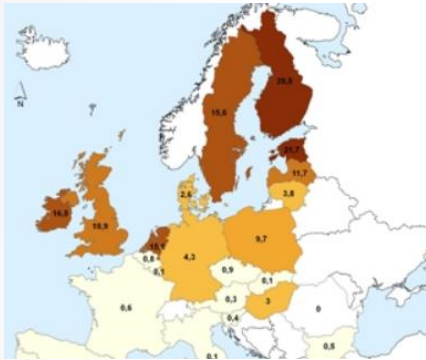
<https://youtu.be/j15cE8q2y0s>



Avance de la deforestación



Reducción de enormes emisiones de GEI



15- 60 % de las
emisiones de GEI

Sjögersten et al. (2016). Soil Biology and Biochemistry, 98, 42-53.

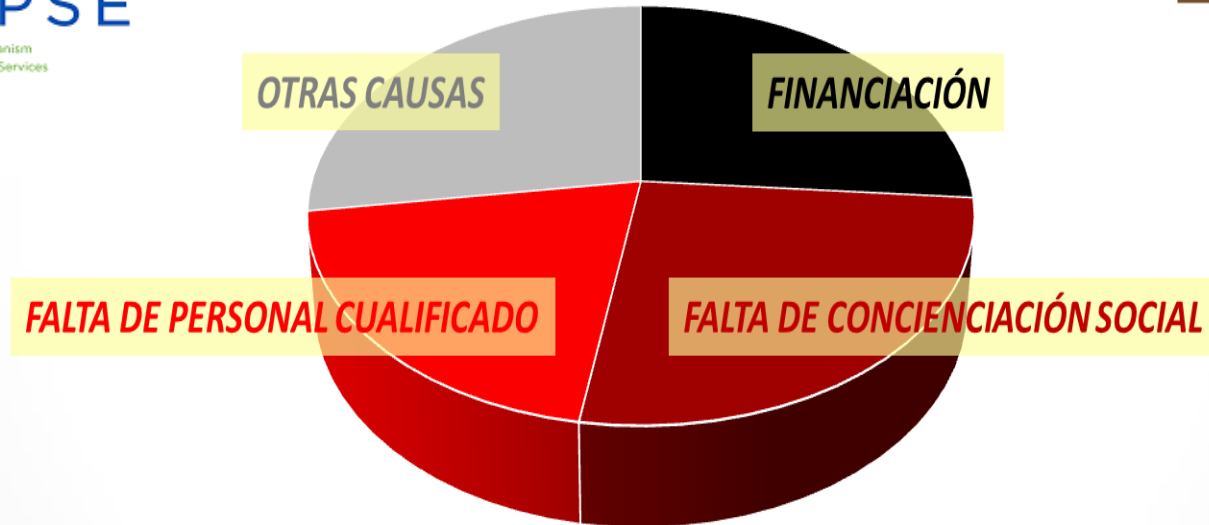


● Turbera drenada



Turbera recuperada

¿El problema es sólo técnico?



Transferencia de conocimiento

Sensibilización

El refuerzo de la educación puede ser la clave...

Transferencia



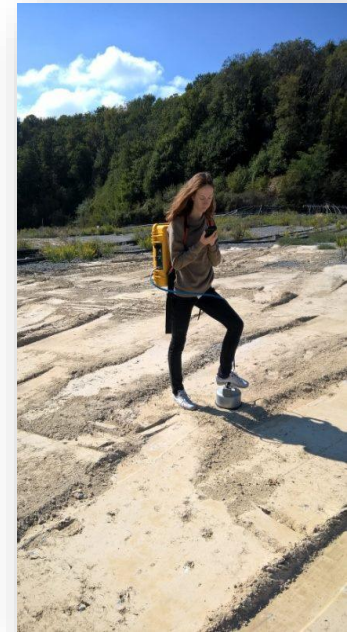
Estudiantes

Sensibilización
social



- ❖ Propietarios
- ❖ ONG
- ❖ Colegios e Institutos
- ❖ Gestores

Implicación de las empresas y otros actores en la formación



36 prácticas de 1 mes

Indique cuál las **DOS** limitaciones principales que, según usted, deben superarse para ofrecer una educación de mejor calidad en restauración de terrenos degradados

¿¿Nuestros estudiantes están realmente preparados??

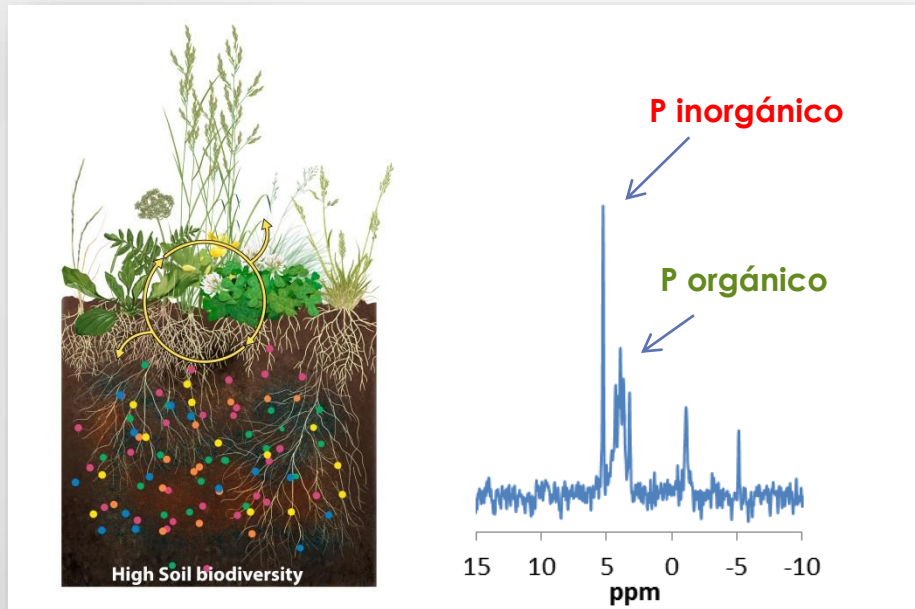


- ☐ Plan de estudio deficiente
- ☐ No existen manuales o materiales adecuados
- ☐ No existen suficientes prácticas o éstas no son adecuadas
- ☐ Falta formación transversal
- ☐ No conozco técnicas de innovación docente
- ☐ Añadir opción o [añadir respuesta "Otro"](#)

**MUCHAS GRACIAS POR
COLABORAR**

Pérdida de MOS

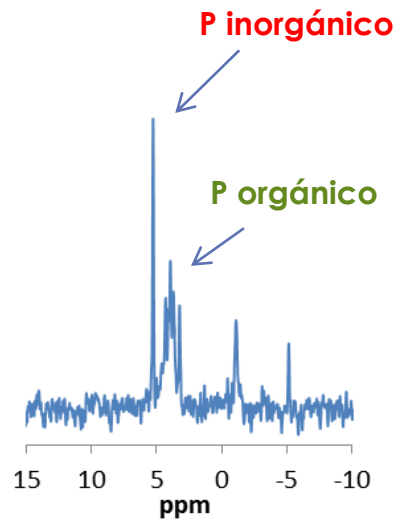
Alteración de ciclo del P



Suelo rico en MOS >> P orgánico

Pérdida de MOS

Alteración de ciclo del P



Suelo rico en MOS >> P orgánico

El ahorro flexible

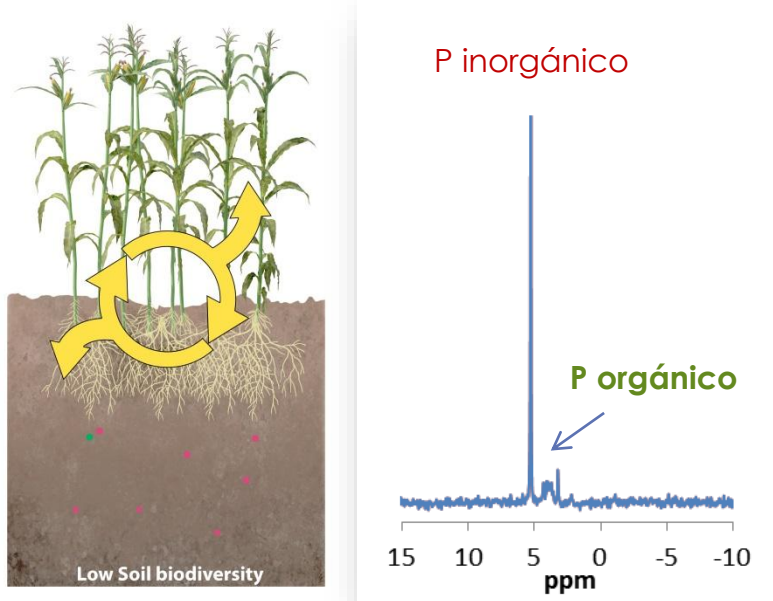


El P orgánico contribuye a la seguridad alimentaria

Pérdida de MOS del suelo

Alteración del ciclo del P

Suelo
Degradado

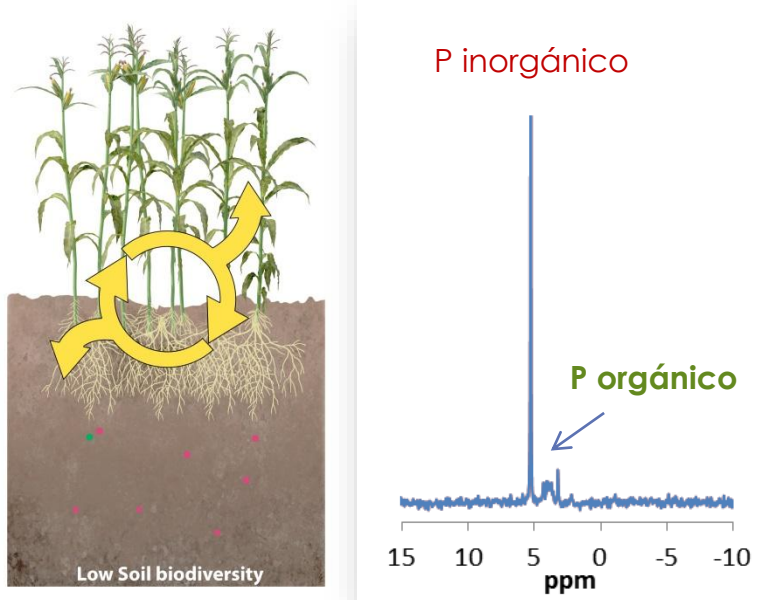


Suelo pobre en MOS >> P inorgánico

Pérdida de MOS del suelo

Alteración del ciclo del P

Suelo
Degradado



Suelo pobre en MOS >> P inorgánico

Derroche >>>

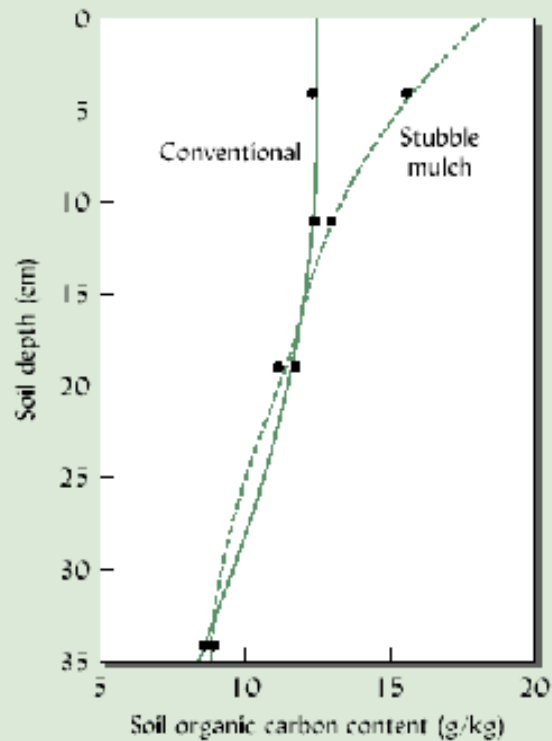
Fijación química
irreversible del P



La pérdida de P orgánico
supone un riesgo para la
seguridad alimentaria

SOM reclamation: Soil conservation practices

EFFECTS OF TWO CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS ON SOIL ORGANIC CARBON CONTENT



(a) Stubble mulch tillage in Oregon



LABOREO Y ROTACIONES DE CULTIVO



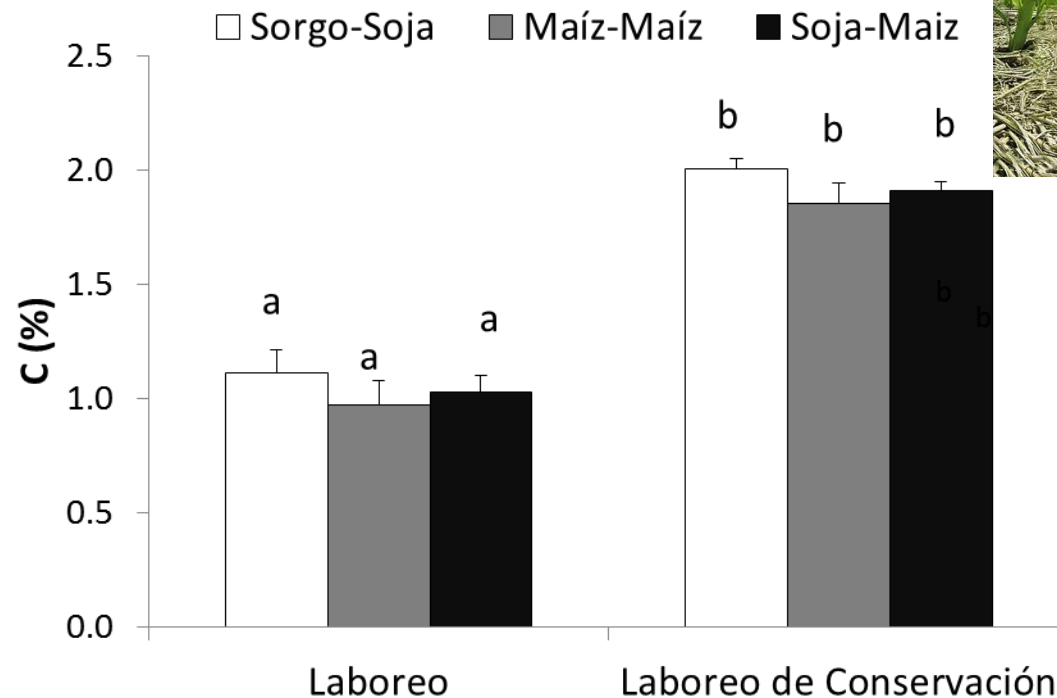
A que tipo de suelos, por su tipo de MO, corresponden estos combustibles

	Regular	Premium
	87	91
Costo	Más barata	Más costosa
Aditivos y formulación	Contiene aditivos básicos para mantener limpio el motor	Contiene una mayor cantidad de aditivos detergentes y mejoradores del rendimiento
Aplicaciones	Para la mayoría de los vehículos con motores de compresión estandar	Para vehículos con motores de alto rendimiento, alta compresión o turboalimentados
Desgaste del motor	El uso adecuado no provoca desgaste anormal en motores estándar	Evita el desgaste prematuro en motores de alto rendimiento

Turberas
Humedales

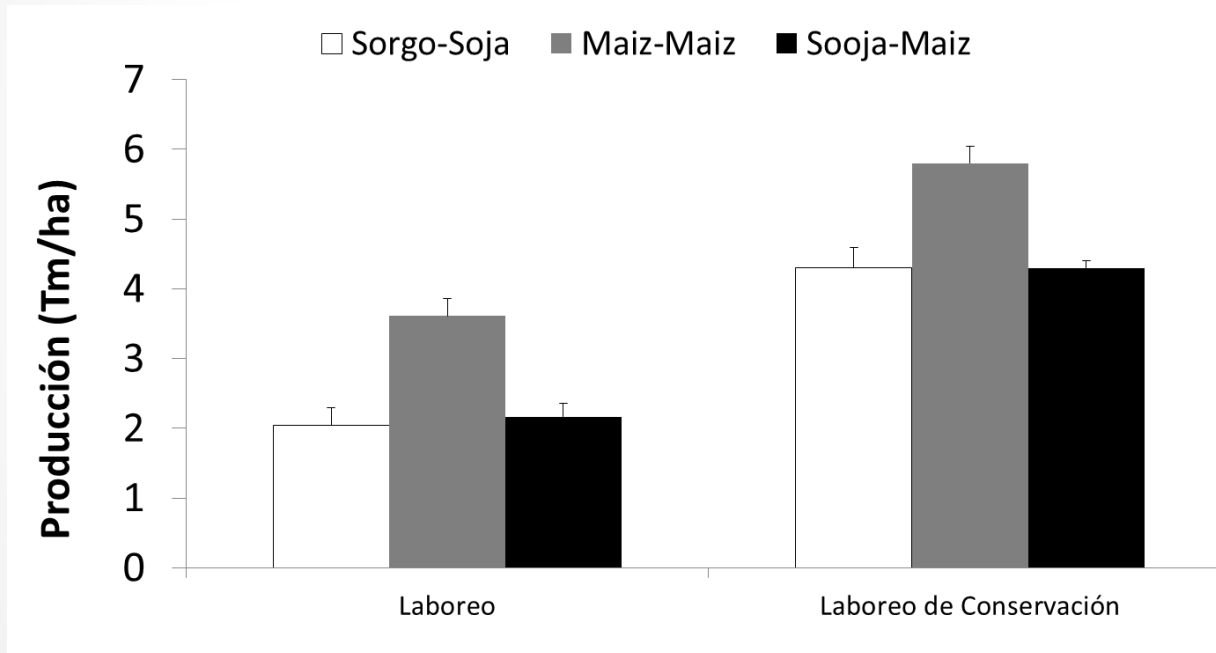
Laboreo y rotaciones

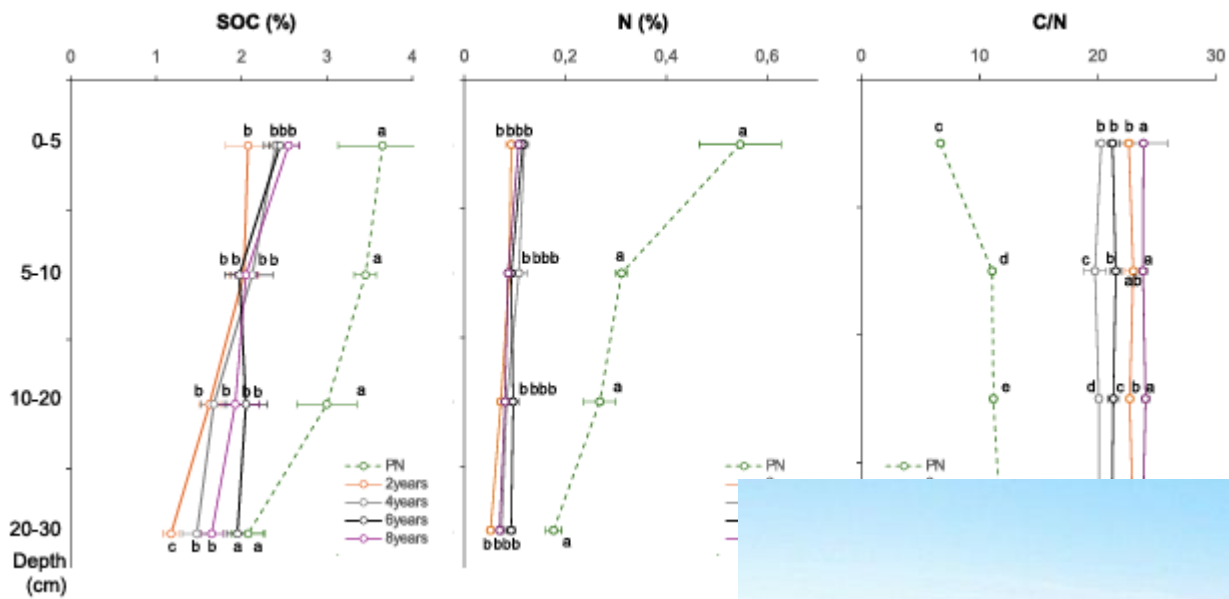
Después
de 60 días



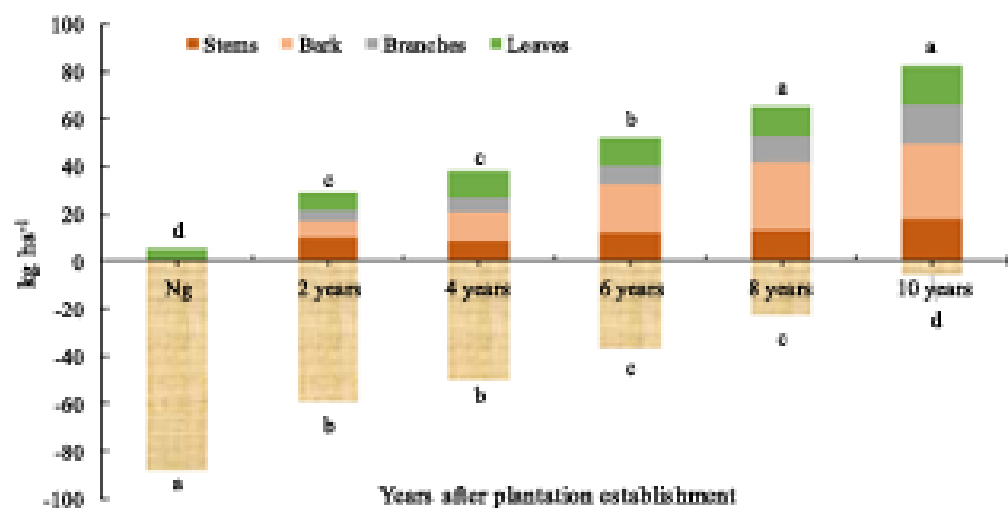
Laboreo y rotaciones

Producción





4. Phosphorus



EXPERIMENTAL DESIGN

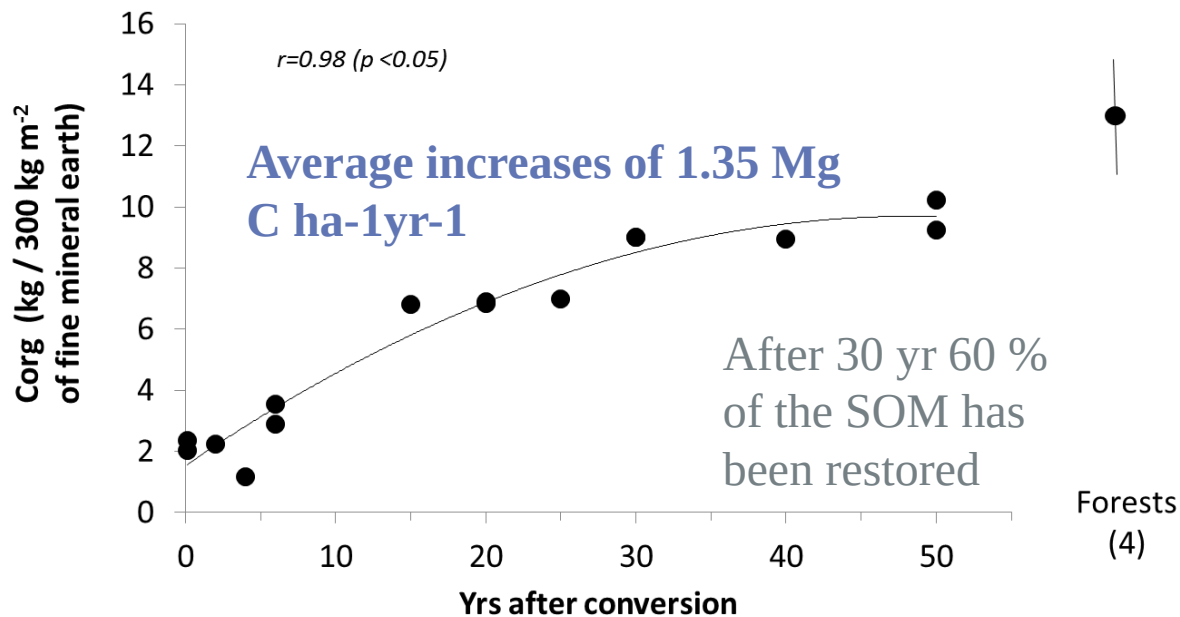


Current croplands
(n=4)



Chronosequence of new grasslands (n=12). From 2 to 45 yr

Question 1: Soil C gain rates in new grasslands



One of the greatest C gain rates!!!



SERVICE-LEARNING TO IMPROVE TRAINING AND EMPLOYABILITY IN WILDFIRE MANAGEMENT

2020-2023



EDUCATION FOR
FIGHTING WILDFIRES



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



universidade
de aveiro



XUNTA
DE GALICIA



HELLENIC MINISTRY OF
RURAL DEVELOPMENT & FOOD
HELLENIC AGRICULTURAL
ORGANISATION 'DEMETER'



Regione Toscana



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



forestis



National and Kapodistrian
UNIVERSITY OF ATHENS



IES
LUGO
LUGO

Consorcio

EDUCATIONAL CENTRES

Santiago de C. (USC)
Lucus Augusti (IES_LA)
Aveiro (UAVR)
Firenze (UNIFI)
Athens (UoA)

FOREST SERVICES

Xunta de Galicia (ES)
Regione Toscana (IT)

FOREST OWNERS

FORESTIS (PT)

RESEARCH CENTRE-FOREST SERVICE

DEMETER (GR)



Aprendizaje-Servicio



- Implicando estudiantes en proyectos de interés para la sociedad
- Encaje en su curriculum

Multidisciplinaridad

Qué
estudia
usted?

Economía??

Medioambiente?

Periodismo??

Educación??

Informática?

Queda
reclutado!



+ implicación de actores

*Teacher of
economics*

Forestry Student

*Education
student*

NGO

*Forest
owner*





Qué tipos de proyectos ApS se pueden desarrollar

Sensibilización



Restauración



Prevención

Generando una red



Desde 2016



Desde 2020



Desde 2021



Renaturalización de suelos en la estepa Siberiana



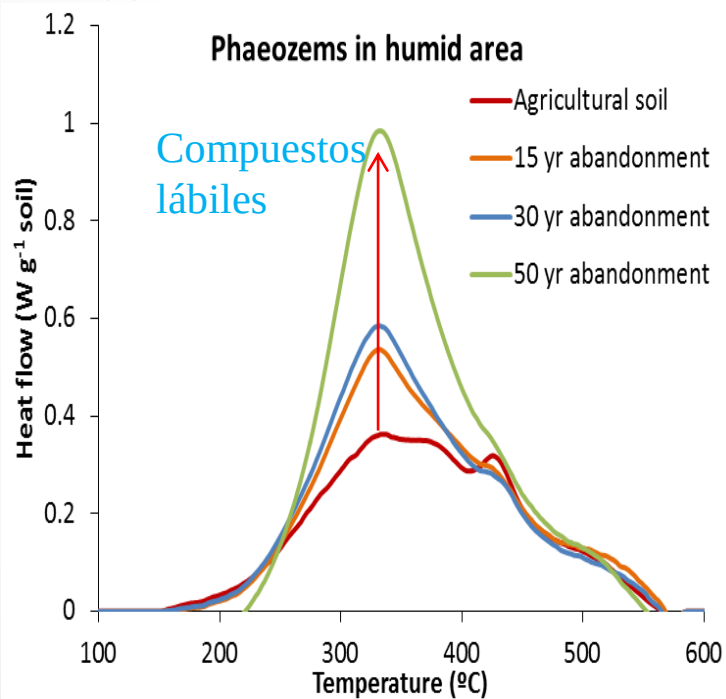


50 millones de ha de uso agrícola en proceso de renaturalización

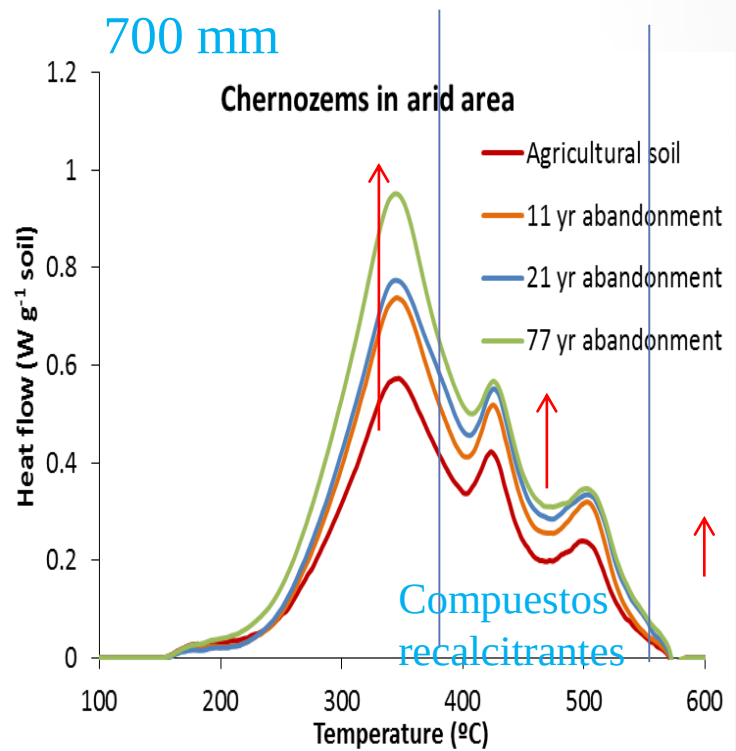


Wertebach et al. (2017). *Global change biology*, 23, 3729-3741.
Kurganova et al (2019). *Geoderma*, 354, 113882.

1200 mm



700 mm



Cuantificando el mayor sumidero de C inducido por el hombre

Suelo agrícola



20 años desde el abandono

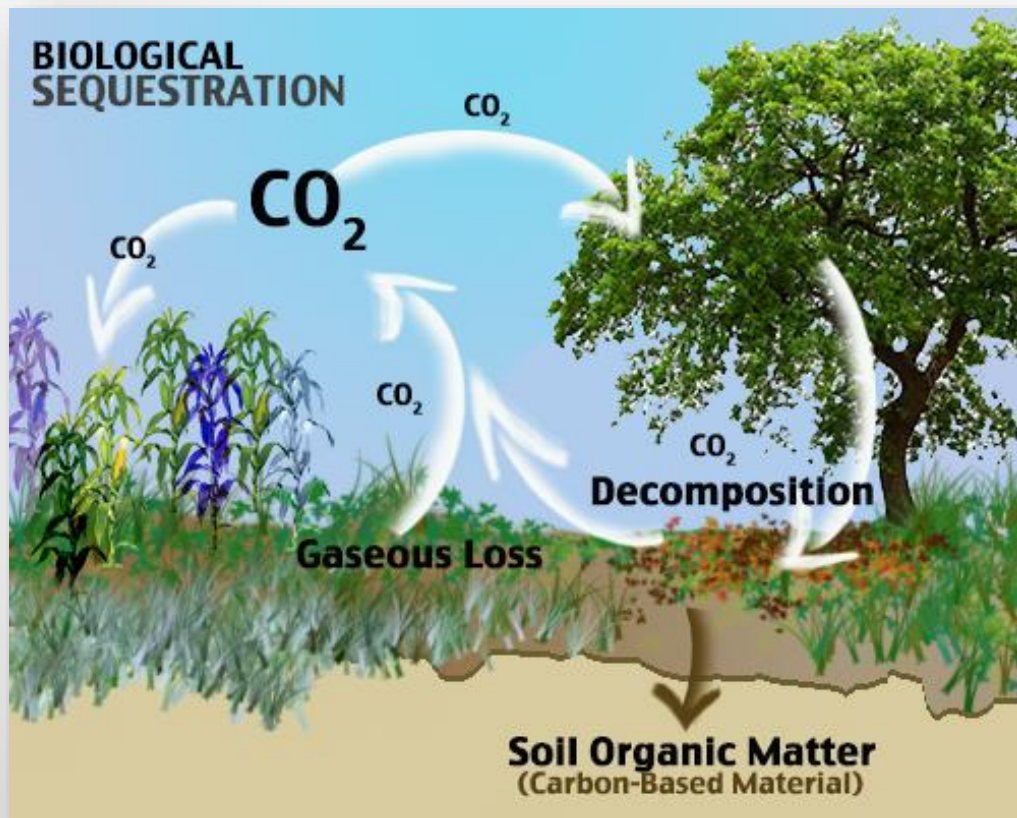


70 años desde el abandono



Restauración >> Ganancia de C

Captura de CO₂ en biomasa

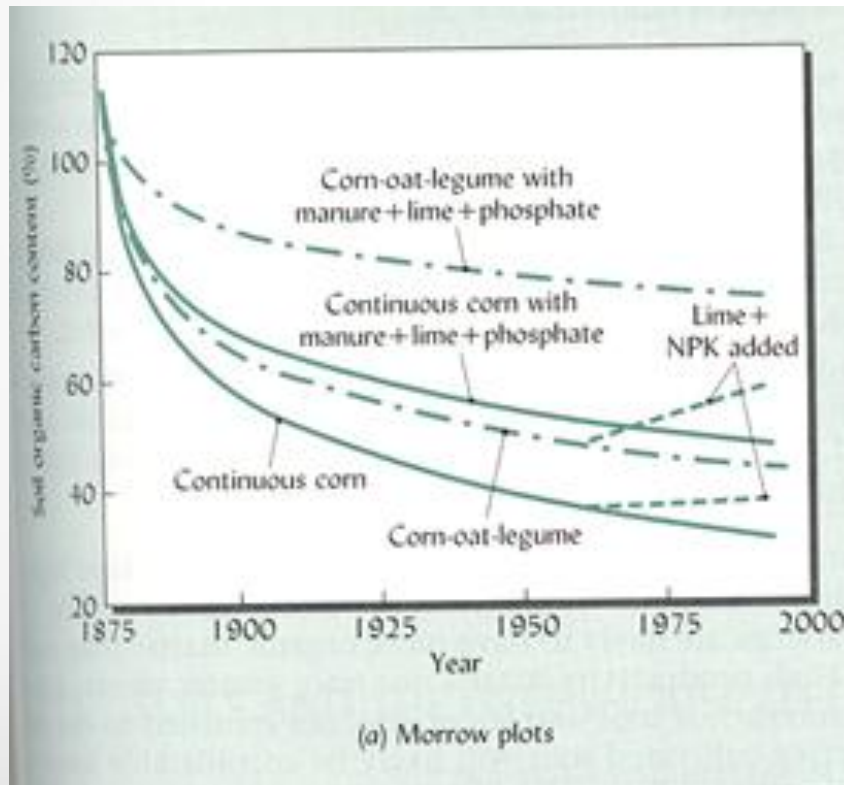


Formación de MOS
(COS Y POS)



The influence of soil management

- Transformation of a forest soil to a crop soil brings about a rapid loss of SOM



4. Salinización



- Deshidratación de la planta
- Causas naturales (baja precipitación, material geológico)
- Riego con aguas salinas, intrusión de agua marina, aplicaciones excesivas de fert



5. Acidificación



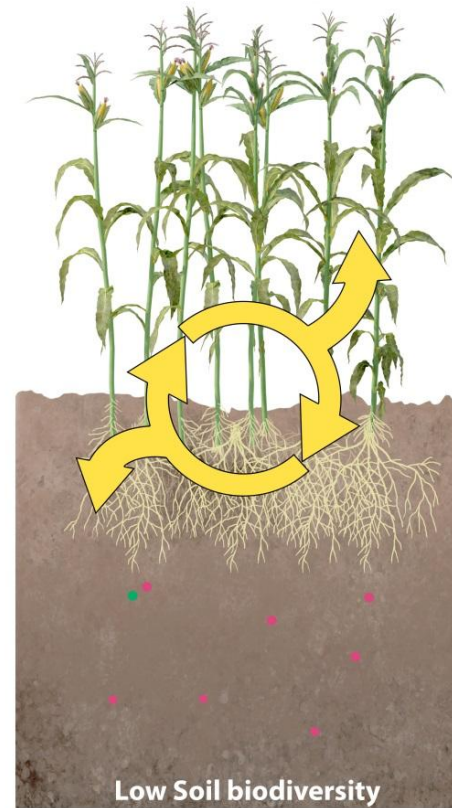
- Causas naturales: lavado de cationes, asimilación de nutrientes por la vegetación
- Prácticas agrícolas: aporte de abonos acidificantes
- Contaminación exterior: lluvia ácida





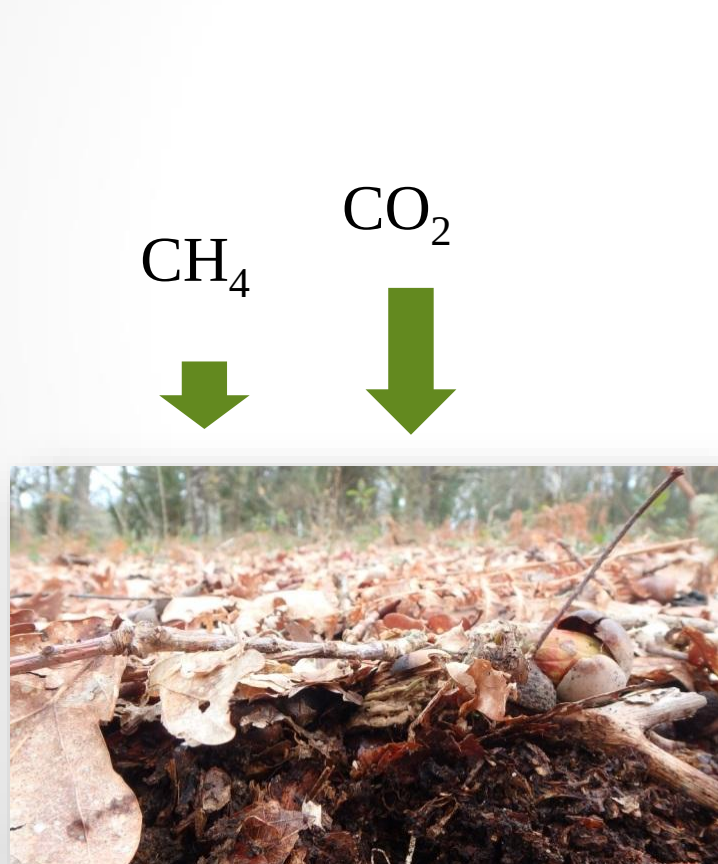
Pérdida de MOS del suelo

- >> simplificación de la microbiología del suelo
- >> Incremento de los Flujos GEI >> Alteración de la Dinámica de nutrientes



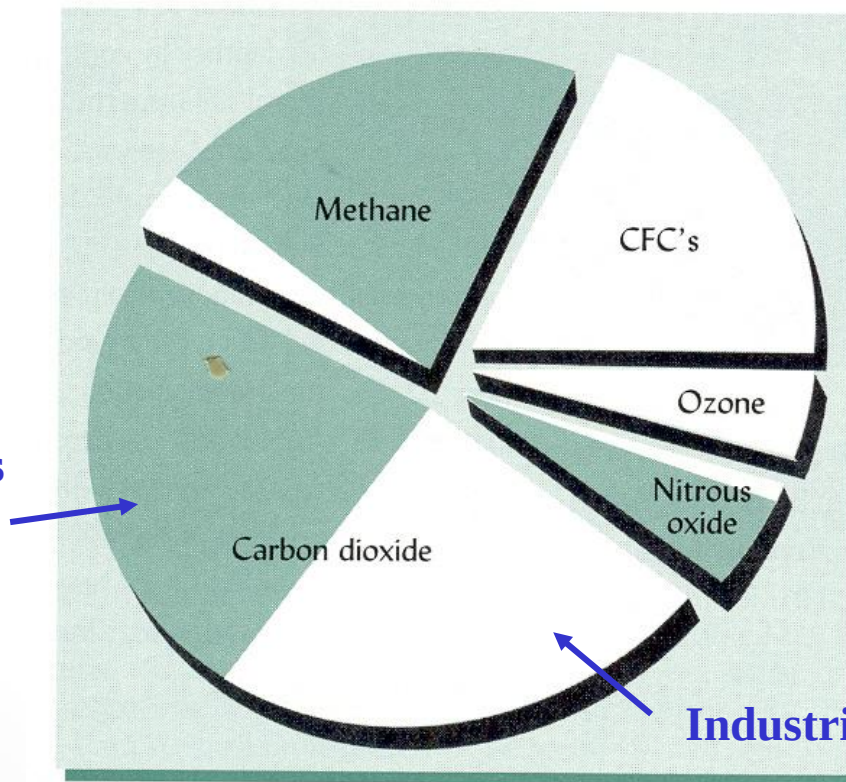
Pérdida de MOS del suelo

Incremento de los Flujos GEI hacia la atmósfera



La gestión agrícola y forestal tiene un importante papel en el cambio climático

Ecosistemas terrestres



Industrial y urbano

REPUBLICA DE PANAMA

Mapa de fertilidad basado en análisis de muestras de suelos
pH

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

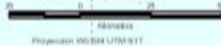


Mar Caribe

*Golfo de
Panamá*

Océano Pacífico

Escala: 1:2,000,000



Proyecto de determinación
de la viabilidad del agronegocio
en las principales cuencas
hidrográficas de Panamá.

Leyenda

Niveles Críticos

- Extremadamente Ácido
- Muy Ácido
- Ácido
- Levemente Ácido
- Poco Ácido
- Neutro
- Más Alcalino

Elaborado en base a 15,193 muestras de suelos
provenientes del Laboratorio de Suelos del IDIAP.
Se agradece el apoyo del Centro Interinstitucional de
la Paga y la Contraloría General de la República.

¿Cuáles son los principales desafíos para la restauración de suelos en Panamá y cómo se relacionan con las propiedades de los suelos, las condiciones de geográficas, climáticas y socioeconómicas del país?

- Considerar factores como la degradación por agricultura intensiva, deforestación o minería.
- Analizar el impacto de las lluvias torrenciales (pérdida de suelo por erosión) y las sequías en algunas regiones.
- Reflexionar sobre el acceso a tecnologías, financiamiento y educación en zonas rurales.