

# **El Programa de Ciencia Ciudadana de Conservación de Suelos de Vitoria-Gasteiz: análisis de los resultados 2018-2020**

**Trabajo de Fin de Grado 2020-2021**

**Autora:**  
Ane Felipe Inza

**Tutora:**  
Raquel Esteban Terradillos

**Cotutor:**  
Juan Vilela Lozano

Ciencias Ambientales  
28 de mayo de 2021

La metodología de muestreo de suelos y los datos recogidos en dichos muestreos utilizados en este trabajo forman parte del Programa de Ciencia Ciudadana de Conservación de Suelos de Vitoria-Gasteiz para el periodo de 2018-2020, y han sido empleados con autorización del CEA (Centro de Estudios Ambientales).

# Índice

Resumen.....	2
1. Introducción.....	3
2. Objetivos.....	5
3. Desarrollo .....	6
3.1. Área de estudio .....	6
3.2. Estrategia de muestreo.....	7
3.3. Variables indicadoras de la salud del suelo.....	8
3.3.1. Estado físico del suelo .....	8
3.3.2. Estado químico del suelo .....	9
3.3.3. Biodiversidad.....	9
3.3.4. Sistema de producción .....	10
3.3.5. Producción.....	10
3.4. Análisis gráfico y estadístico .....	11
3.5. Resultados y discusión .....	12
3.5.1. Salud del suelo.....	12
3.5.2. Participación ciudadana .....	19
4. Conclusiones .....	21
5. Bibliografía .....	21
6. Anexos .....	27

## Resumen

La ciencia ciudadana es una herramienta que está en auge y que hoy en día resulta de gran utilidad en estudios ambientales. En la ciudad de Vitoria-Gasteiz se comenzó con esta iniciativa en 2013, contando actualmente con 7 programas de conservación. En este trabajo se presentarán las fortalezas y debilidades de la ciencia ciudadana, así como los resultados obtenidos para el 'Programa de Conservación de Suelos' de Vitoria-Gasteiz desde 2018, con el objetivo de conocer la salud y evolución de los suelos de la ciudad. Se analizaron principalmente las variables de pH, materia orgánica, número de lombrices, tiempo de infiltración y penetrabilidad de diferentes parcelas pertenecientes a diferentes usos de suelo y los parámetros ambientales (temperatura y precipitaciones). Entre las 5 variables principales, las que presentaron mayor relación entre sí fueron el número de lombrices y el tiempo de infiltración ( $r=0,269$ ;  $p<0,05$ ). La fecha de muestreo resultó ser un factor clave ( $p<0,01$ ) debido a la constante evolución a la que está sometido el suelo. Resultaría de gran interés continuar con el seguimiento de la salud de estos suelos en los próximos años, para poder llevar a cabo una evolución temporal a largo plazo. Asimismo, se consideró la ciencia ciudadana una herramienta de gran valor para poder obtener una gran cantidad de datos en grandes espacios y para contribuir en la sensibilización ambiental de la sociedad.

## 1. Introducción

A medida que las poblaciones humanas se expanden, las actividades humanas, como la minería, la silvicultura y la agricultura, llegan a influir altamente o incluso a dominar los sistemas naturales y sus procesos, debido al uso y manipulación de los recursos ambientales (Vitousek et al. 1997; Alberti et al., 2003; Cooper et al., 2007). Los suelos son un ejemplo de ello; están siendo degradados, contaminados con diferentes materiales tóxicos y volviéndose estériles (Oldeman, 1992). El suelo es una mezcla compleja de material biótico y abiótico, producto de la meteorización de las rocas y de la actuación de los seres vivos que forma un ecosistema esencial para la vida en los ecosistemas terrestres y en gran parte de los ecosistemas acuáticos continentales (Dajoz, 2002; Smith y Smith; 2001). Su formación está influenciada por la interacción a largo plazo del clima, tiempo, material mineral parental, topografía y organismos, por lo que se encuentra en constante evolución (Jenny, 1980; Augusto et al., 2002; Molles, 2016). Este recurso y su salud son de gran importancia, tanto ambientalmente, como socioeconómicamente; las especies que habitan en él y sus interacciones pueden influir en diversos procesos ecosistémicos (Wall y Moore, 1999). En él se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica y se encuentran los nutrientes minerales, utilizados para diversos procesos biogeoquímicos, así como para la fotosíntesis y productividad vegetal (Smith y Smith, 2001). Además, actúa como regulador climático y aporta recursos sociales como alimentos, piensos, fibra y combustibles (Blume et al., 2016).

La salud del suelo se presenta como una propiedad integradora que hace referencia a las características biológicas, químicas y físicas necesarias tanto para una productividad agrícola sostenible a largo plazo, con el menor impacto ambiental posible, como para la provisión de otros servicios ecosistémicos. La salud del suelo es un claro indicador de la funcionalidad de estos; los suelos sanos contienen una gran cantidad de organismos que ayudan a controlar plagas y enfermedades de las plantas, facilitan las relaciones simbióticas con las raíces, ayudan a reciclar nutrientes y mejoran tanto la estructura del suelo como su producción. El principal desafío dentro de la gestión sostenible del suelo es conservar la prestación de servicios de los ecosistemas al tiempo que se optimizan los rendimientos agrícolas (Arias et al., 2005; Kibblewhite et al., 2007). En ello pueden contribuir las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), las cuales deben realizarse teniendo en cuenta la labranza, la fertilidad edáfica, la producción pecuaria y el control de plagas. Algunos ejemplos de BPA son la rotación de cultivos, del pastoreo y de herbicidas (prevenir resistencias), el uso de insecticidas de baja toxicidad, el uso de leguminosas para aumentar el contenido de

nitrógeno, la labranza mínima o siembra directa y la planificación de la cadena forrajera, reservas y suplementación (Loewy et al., 2015).

La correcta utilización del suelo, así como su adecuada conservación se consideran esenciales a día de hoy tanto en zonas silvestres como en espacios urbanos y suburbanos; aunque el análisis y gestión de estos últimos como ecosistema no fueron reconocidos cruciales para la conservación de la biodiversidad hasta 1973, con el programa 'Man and Biosphere' de la UNESCO (Cooper et al., 2007).

Para llevar a cabo investigaciones a gran escala, tanto en la naturaleza agreste, como en paisajes residenciales, es necesario recopilar una gran cantidad de datos en ciertos lugares y hábitats, durante largos periodos de tiempo. Una manera de obtener estos resultados es mediante la ciencia ciudadana (Cohn, 2008; Bonney et al., 2009), práctica antigua, pero término relativamente nuevo (Silvertown, 2009) que hace referencia a la implicación activa de voluntarios de público general en investigaciones científicas como recolectores y/o analistas de datos que, mediante la educación no formal, aprenden sobre los procesos que se llevan a cabo en diferentes investigaciones científicas, así como sobre los diferentes organismos que observan (Brossard et al., 2005; Cohn, 2008; Bonney et al., 2009; Gordienko, 2013). Con ello se pretende ampliar el alcance de los proyectos e investigaciones y mejorar la capacidad de recogida de datos (Bonney et al., 2009), desarrollando a su vez la alfabetización ecológica de la sociedad (Mueller y Tippins, 2015). La ciencia ciudadana está en auge, sobre todo en el ámbito de la ecología y las ciencias ambientales, y es una herramienta necesaria y fundamental para el desarrollo de la I+D+I y de la cultura democrática y participativa (Silvertown, 2009; Sanz et al., 2020). Los proyectos de este ámbito tienen gran relevancia en el avance de conocimientos científicos (Bonney et al., 2009). Pero no solo se trata de trascendencia científica, sino también social, ambiental, económica y a su vez, política (Sanz et al., 2020).

El primer ejemplo de lo que hoy en día se conoce como ciencia ciudadana se dio a mediados del siglo XIX en Norteamérica. El ornitólogo Wells Woodbridge Cooke con la finalidad de estudiar la fenología de las aves creó una red de observadores voluntarios distribuida por la mitad norte del continente americano (CEA, 2020c). De hecho, cabe destacar el crucial papel de este tipo de proyectos en la obtención de una gran cantidad de datos en cuanto a presencia y distribución de especies a nivel global (Bonney et al., 2009).

En el marco europeo, se puso en marcha en 2013 la Asociación Europea de Ciencia Ciudadana (ECSA), surgiendo de una red informal de investigadores y comunicadores interesados en la materia en Europa. Se estableció con la finalidad de fomentar el crecimiento de la ciencia ciudadana en el continente y apoyar la participación del público

general en procesos de investigación en diversas materias, las artes, las humanidades, las ciencias sociales y la ciencia (<https://ecsa.citizen-science.net/>). A su vez existe una plataforma virtual, EU-Citizen.Science, formada por 14 socios principales y 9 terceros de 14 estados miembros europeos. Su finalidad es ayudar a popularizar la ciencia ciudadana y canalizar el impacto ascendente de esta, compartiendo herramientas, formación, conocimientos y recursos pertenecientes al ámbito (<https://eu-citizen.science/about/>).

A nivel nacional fue desarrollado en 2015 y dado a conocer en 2016 el Observatorio de la Ciencia Ciudadana, un proyecto de la Fundación Ibercivis llevado a cabo con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia Y la Tecnología (FECYT) perteneciente al Ministerio de Ciencia e Innovación, para visibilizar, reconocer y promocionar las tareas necesarias respecto a este ámbito. En España la red de ciencia ciudadana no está aún constituida jurídicamente, pero su configuración está siendo posible gracias al trabajo de miles de personas (grupos de investigación, científicos ciudadanos y agentes sociales de todas las áreas) en proyectos de esta materia (Sanz et al., 2020).

En Vitoria-Gasteiz se creó en 2013 la "Red de Participación en Ciencia Ciudadana", impulsada por el Centro de Estudios Ambientales (CEA), en colaboración con la Unidad de Anillo Verde y Biodiversidad del Departamento de Medio Ambiente y Espacio Público del Ayuntamiento. Hoy en día esta red cuenta con 7 programas de conservación, los cuales analizan diversos ámbitos del municipio; estos son las orquídeas, odonatos, mariposas diurnas y nocturnas, aves urbanas, aves rapaces nocturnas y suelos (CEA, 2020a). Este último se lleva a cabo con la finalidad de conocer el estado de salud de diferentes suelos del municipio, así como observar la evolución que se va dando en ellos y el impacto que pueden causar las actividades agrarias en ellos. Con este proyecto además de conocer el estado de salud de los suelos, se pretenden fomentar las buenas prácticas agrícolas que resulten más sostenibles tanto socioeconómicamente como medioambientalmente, implicando a la sociedad agraria en acciones de conservación y protección de suelos, a la vez que dar a conocer posibles problemas y soluciones en cuanto a la salud de los suelos (CEA, 2020b).

## **2. Objetivos**

Los objetivos del presente trabajo fueron: i) Conocer el estado de salud y evolución de los suelos de Vitoria-Gasteiz sometidos a diferentes usos, en el periodo 2018-2020. ii) A su vez, se pretendió demostrar la eficacia y limitaciones de la ciencia ciudadana en este tipo de proyectos. Visto estos objetivos, nuestras hipótesis de trabajo fueron i) la salud de los suelos mejoró desde 2018 a 2020, ya que se está intentando mejorar la calidad las parcelas estudiadas, mediante el uso de pesticidas ecológicos, o con ausencia de los mismos, así

como sembrando o plantando cultivos en algunas de las parcelas para contribuir a la descontaminación de estas ii) la ciencia ciudadana es una herramienta útil en investigación, sobre todo en la recogida de datos, aunque poco rigurosa científicamente, debido a la participación tan variada de colaboradores y su posible falta de especialización o experiencia en la materia.

### **3. Desarrollo**

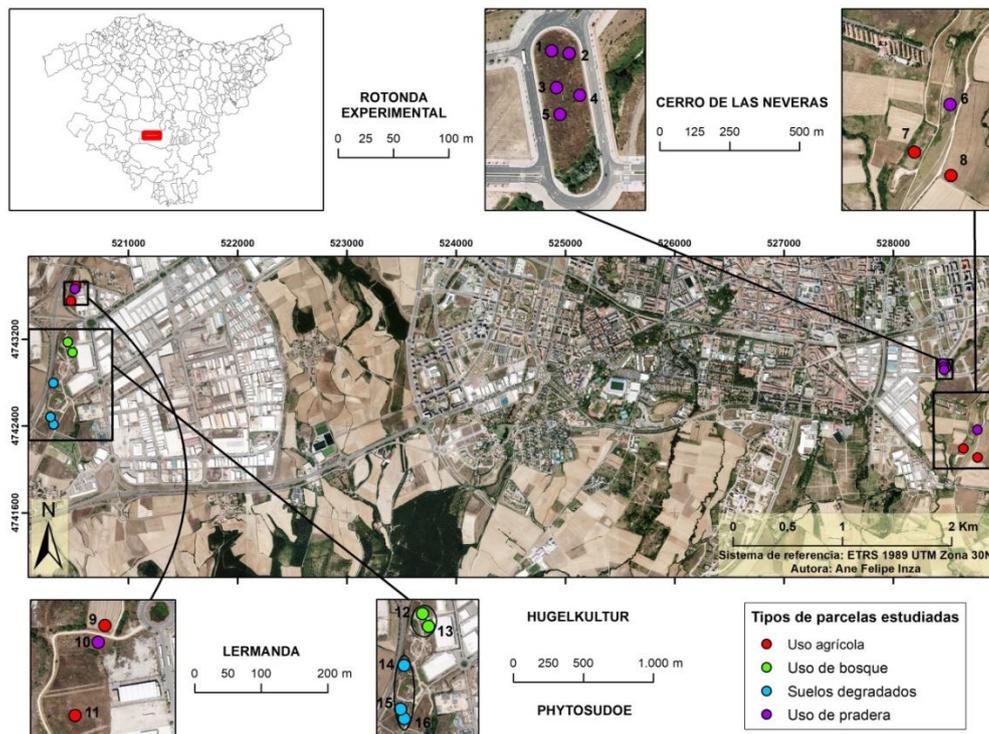
#### **3.1. Área de estudio**

La localización del área de estudio fue Vitoria-Gasteiz (X: 526744,140; Y: 4744207,489 UTM 30N) ciudad perteneciente a la Comunidad Autónoma de País Vasco, delimitada al norte con Zuia, Zigoitia y Arzua-Ubarrundia, al este con Elburgo e Iruraiz-Gauna, al sur con el condado de Treviño y al oeste con Parzonería Badaia e Iruña de Oca. La hidrografía de la zona está compuesta principalmente por el río Zadorra y sus afluentes (GeoEuskadi, s.f).

El área de estudio se encuentra en una zona de transición entre el clima mediterráneo y el clima oceánico. Teniendo en cuenta la clasificación bioclimática, el área de estudio se sitúa en la variante submediterránea perteneciente al bioclima oceánico que a su vez se ubica en el macroclima templado. En relación a los pisos bioclimáticos, la zona abarca los termotipos mesotemplado y supratemplado (con una temperatura media de 11,5°C) y los ombrotipos húmedo y subhúmedo (con precipitaciones anuales medias de 877 mm) (Loidi et al., 2011).

En cuanto a la distribución biogeográfica, la zona se encuentra dividida en el sistema castellano-cantábrico perteneciente a la región mediterránea y en el distrito navarro-alavés ubicado en el sistema cántabro-vascónico de la región eurosiberiana (Berastegi et al., 1997).

En este trabajo se presenta el estudio llevado a cabo de 16 de parcelas municipales incluidas en el Programa de Conservación de suelos de Vitoria-Gasteiz (Figura 1), las cuales se distribuyen en 4 categorías diferentes dependiendo de las características de cada una; los usos de suelo agrario, de pradera y de bosque y los suelos degradados (ver detalles a continuación).



**Figura 1.** Ortofotografía de la ciudad de Vitoria-Gasteiz en la que se puede observar la ubicación de las parcelas municipales estudiadas pertenecientes al Programa de Conservación de Suelos de Ciencia Ciudadana de Vitoria-Gasteiz. Las áreas donde se encuentran las parcelas aparecen aumentadas junto con el nombre que recibe la zona donde estas se encuentran. El mapa presenta una caracterización coroplética representando los diferentes usos de suelo de las parcelas. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de GeoEuskadi (s.f).

El uso agrícola hace referencia a parcelas en las cuales se cultivan cosechas agrícolas o árboles frutales. En las zonas de pradera se encuentra vegetación de pequeño tamaño, principalmente herbácea, aunque también se puede observar una mínima parte arbustiva, predominan los cultivos rastreros. En cambio, las áreas de bosque hacen referencia a aquellas zonas verdes públicas consolidadas, plantadas con árboles y/o arbustos autóctonos. Finalmente, en las áreas degradadas, se ubican aquellas parcelas que se encuentran contaminadas y en las cuales se está llevando a cabo un proyecto europeo denominado PhytoSUDOE, con el cual se pretende realizar una descontaminación con intención de mejorar las propiedades del suelo, mediante la siembra y plantación de cultivos como son la colza, el habín, el girasol, el chopo y el sauce, los cuales luego se utilizarán como aprovechamiento energético (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, s.f).

### 3.2. Estrategia de muestreo

Los muestreos de las parcelas ubicadas dentro del Programa de Conservación de Suelos de Vitoria-Gasteiz se llevaron a cabo cada año desde 2018, realizándose dos muestreos anuales, uno en primavera (mayo) y otro en otoño (octubre). En estas épocas es cuando se

encuentra un clima y un terreno más estable. La recogida de datos se realizó con ayuda de las 'Tarjetas de Salud de los Ecosistemas Agrícolas' (TSEA). Estas tarjetas son manuales prácticos para diagnosticar el estado de salud de un agroecosistema, permitiéndonos valorar la evolución de las tierras y el impacto de la práctica agraria en las mismas (CEA, s.f). Dicho programa de ciencia ciudadana ha contado con una colaboración en 2018, 2019 y 2020 de 13, 28 y 12 participantes respectivamente (CEA, 2020a).

### **3.3. Variables indicadoras de la salud del suelo**

En cada parcela se midieron parámetros físicos, químicos y biológicos utilizando sencillos métodos al alcance de los recursos y conocimientos de la ciudadanía general que se enumeran a continuación. En detalle:

#### **3.3.1. Estado físico del suelo**

##### ***3.3.1.1. Temperatura del ambiente y del suelo***

La temperatura del ambiente y del suelo se midieron con un termómetro Sonda Ventix 5989 (ST-9265A) (España). Para medir la temperatura del suelo se introdujo a unos 30 centímetros de profundidad y se esperó hasta que se estabilizase la medida (CEA, s.f).

##### ***3.3.1.2. Tiempo de infiltración del suelo***

Con ayuda de un martillo y un cilindro metálico de 10 centímetros de diámetro, se midió el tiempo de infiltración del suelo. Para ello, se introdujo el cilindro a unos 2 centímetros de profundidad en el suelo con ayuda del martillo. Esto se llevó a cabo en un terreno lo más homogéneo posible, evitando piedras, palos, grietas etc. Se vertieron 235 mL de agua en el cilindro y se esperó a que se absorbieran. Una vez el suelo hubo absorbido este volumen, se vertieron otros 235 mL y esta vez se anotó el tiempo que transcurrió hasta que el agua desapareció. Este procedimiento se llevó a cabo en tres puntos diferentes de la parcela y se calculó la media (CEA, s.f).

##### ***3.3.1.3. Compactación del suelo***

Para finalizar con el estado físico del suelo, se midió la compactación de este. Para ello, se introdujo una varilla en el suelo lo máximo posible y con la ayuda de un flexómetro MEDID Star 9002 de 2 metros (España) se midió la longitud de varilla que había sido introducida en la tierra, midiendo así la penetrabilidad. Esta medida se llevó a cabo tres veces, en diferentes puntos del terreno y se calculó la media (CEA, s.f).

### **3.3.2. Estado químico del suelo**

#### **3.3.2.1. pH**

En cuanto al estado químico de los suelos estudiados, se encuentra en primer lugar el pH; para determinarlo se cogió una muestra de suelo seco de 10 gramos (báscula versa 13022076 (China)) y se le añadieron 25 mL de agua (2,5 veces el volumen de muestra). Se removió y se dejó reposar durante 10 minutos para que sedimentase. Una vez transcurrido ese tiempo, se introdujo en la solución una tira de color indicadora de pH PanReac AppliChem 524164.1826 (Alemania) y dependiendo del color en el cual esta tornase, se pudo determinar la acidez/basicidad del suelo, mediante el valor de pH (CEA, s.f).

#### **3.3.2.2. Pesticidas**

En cuanto al uso de pesticidas, para evaluar su impacto, se partió de una puntuación total de 10 puntos y se fue restando un punto por cada pesticida ecológico utilizado y dos puntos por cada uno no ecológico. Los productos caseros, como puede ser el purín de ortigas, ni suman ni restan puntos. Para saber si un pesticida es ecológico o no, se debe observar si el etiquetado del producto contiene el sello europeo que acredita las normas de producción, transformación, envasado, etiquetado y comercialización ecológicas, según el Reglamento (CE) 834/2007 (CEA, s.f).

#### **3.3.2.3. Materia orgánica**

Finalmente, para determinar la materia orgánica del suelo, se midió la reacción de unos 10 gramos de tierra de la parcela (báscula versa 13022076 (China)) con un par de gotas de agua oxigenada Agua Oxigenada Foret 30% 110 vols. 500mL (España) y se tuvo en cuenta si la reacción resultó débil, moderada o fuerte. Además, se debió tener en cuenta si la tierra era de color pálido, oscuro o algo intermedio (CEA, s.f).

### **3.3.3. Biodiversidad**

#### **3.3.3.1. Diversidad vegetal**

En cuanto a la biodiversidad, se tuvo en cuenta por un lado la diversidad vegetal adyacente de cada parcela, anotando el número de estratos (herbáceo, arbustivo y/o arbóreo) que se encontraban alrededor de esta (CEA, s.f).

### 3.3.3.2. Diversidad de macrofauna

Respecto a la diversidad de macrofauna, se anotó la cantidad de taxones de macrofauna encontrados en cada parcela (CEA, s.f).

### 3.3.3.3. Diversidad de cultivos

La diversidad de cultivos se obtuvo anotando el número de especies de cultivos diferentes que se encontraron en cada parcela (CEA, s.f).

### 3.3.4. Sistema de producción

Para analizar el sistema de producción, se estudió si el sistema ganaba o perdía carbono, lo cual pudo verse afectado por diversos factores. Por ejemplo, arando la tierra se destruye la estructura edáfica y se pierde la vegetación, por lo que tanto en parcelas que se llevó a cabo laboreo, como en aquellas que contaron con suelo desnudo, se aumentó la emisión de carbono a la atmósfera. A su vez, el uso de pesticidas y/o herbicidas también supone emisión de CO<sub>2</sub> debido al gasto de combustible generado tanto en la aplicación de estos como en su fabricación. Otro factor que contribuye en el alto consumo de combustibles es el transporte de la cosecha. Por último, si en lugar de abonos sintéticos, se hizo uso de abonos orgánicos como el estiércol o el compost, así como restos del cultivo anterior, se habría estado contribuyendo a introducir carbono al sistema. La nota de este indicador se midió por tanto partiendo de un valor inicial de 5 y sumándole o restándole un punto, o manteniéndole el valor, dependiendo de las prácticas agrarias que se llevaron a cabo en esa parcela. A continuación se presenta una tabla resumen de gran utilidad para ayudar a puntuar este indicador (Tabla 1) (CEA, s.f).

**Tabla 1.** Tabla resumen de puntuaciones a dar dependiendo de las prácticas agrarias llevadas a cabo en cada parcela. **Fuente:** CEA (s.f).

PUNTUACIÓN	-1 (PIERDE C)	0	+1 (GANA C)
Laboreo	Frecuente. Vertedera o rotocultivador	Mínimo (1-2 veces/año). Chisel o cultivador	No-laboreo. Sembradora directa
Abonado	Mineral de síntesis o nada	Purín o lodo	Estiércol o compost
Restos cosecha	Quema	Retirada total	Incorporación al suelo
Suelo desnudo	Todo el año	Parte del año	Nunca (abono verde)
Destino cosecha	Otro país	Otra región	Consumo local

### 3.3.5. Producción

En caso de que hubiese cosecha plantada, se debió tener en cuenta la masa de cosecha por cada planta (g/planta), a la vez que el porcentaje de plantas sanas de la parcela, es decir, plantas que no parezcan estar afectadas por plagas (CEA, s.f).

Los resultados que se fueron obteniendo, se anotaron en la ficha de campo que se puede encontrar en el Anexo I.

### **3.4. Análisis gráfico y estadístico**

Se evaluaron únicamente los parámetros ubicados dentro del apartado de suelo (Anexo I). Para ello, se graficó la evolución temporal mediante Microsoft Excel 2010 y se realizaron algunos cálculos estadísticos con ayuda de IBM SPSS Statistics 21.0 y el software R (R Core Team, 2020).

Las diferencias entre las parcelas estudiadas se evaluaron con ANOVA de dos vías considerando el tipo de parcela (degradada, uso agrícola, pradera y bosque) y la fecha de muestreo como factores fijos. Previamente, todas las variables fueron testadas para determinar la normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnof) y la homogeneidad de las varianzas (test de Levene). Cuando los valores no cumplieron con los supuestos del ANOVA, se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kurskal-Wallis. Para obtener los resultados de entre qué grupos (diferentes fechas y usos) existen diferencias significativas y entre cuales no, se realizaron pruebas post hoc, test S-N-K (si se cumplían los supuestos de ANOVA). Si por el contrario, se trataba de las variables que no presentaban normalidad y/o varianzas homogéneas (pH, número de lombrices y tiempo de infiltración), se realizaba la prueba post hoc T3-Dunnelt.

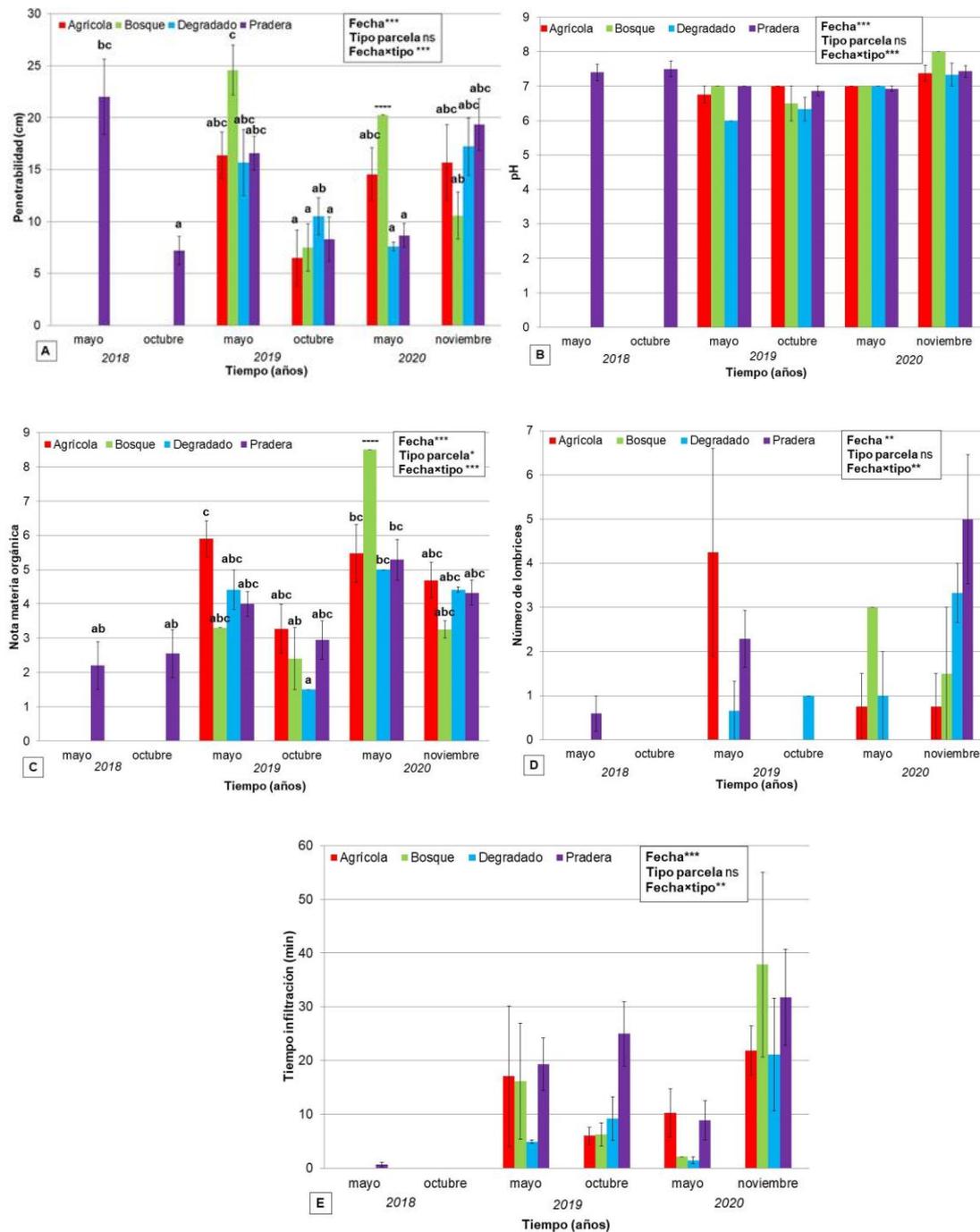
Posteriormente se realizaron correlaciones de Pearson entre las variables paramétricas (compactación y materia orgánica) y correlaciones de Spearman entre el resto de parámetros, para saber si existían relaciones significativas entre las diferentes variables. Asimismo, se llevaron a cabo correlaciones Spearman de las 5 variables edáficas con los días transcurridos desde la última lluvia, la temperatura de suelo y aire, número de especies de macrofauna, número de especies vegetales y el estado de carbono del suelo.

Por último, se realizó un análisis multivariable de los parámetros fisicoquímicos y biológicos edáficos (pH, compactación, infiltración, materia orgánica y número de lombrices) en los diferentes usos de suelo para establecer la salud del mismo. Esta técnica se utiliza para encontrar las causas de variabilidad en un conjunto de datos y ordenarlas por importancia (Camelo-Méndez et al., 2013).

Los valores p resultantes se consideraron estadísticamente significativos en  $p < 0,05$ . Los asteriscos indican las diferencias significativas: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

## 3.5. Resultados y discusión

### 3.5.1. Salud del suelo



**Figura 2.** Gráficos representativos de la evolución de las variables penetrabilidad (A), pH (B), materia orgánica (C), número de lombrices (D) y tiempo de infiltración (E). Representan las medias de 2-7 parcelas  $\pm$  error estándar (ES) para los años 2018-2020. A su vez se representa la ANOVA de 2 vías para las variables edáficas mencionadas, con los factores de tipo parcela y fecha de muestreo, así como de la interacción de ambos para evaluar la significancia estadística de las diferentes medias de muestra. Por otra parte, las diferentes letras denotan las diferencias significativas entre los diferentes grupos calculado mediante la prueba post hoc S-N-K. Se representa de la siguiente manera: \*  $\rightarrow p < 0,05$ ; \*\*  $\rightarrow p < 0,01$ ; \*\*\*  $\rightarrow p < 0,001$ ; ns  $\rightarrow$  no significativo.

Los resultados mostraron (Figura 2) que el uso de suelo no presentó diferencias significativas para ninguno de los parámetros, salvo para la materia orgánica ( $p < 0,05$ ). La fecha en cambio, resultó altamente significativa para todas las variables ( $p < 0,01$  para el número de lombrices y de  $p < 0,001$  para el resto de parámetros). Esto se debe a que el suelo se encuentra sometido a un constante cambio estacional (Hillel, 1998). Por otro lado, la combinación de los factores fecha y uso, también resultaron significativos ( $p < 0,01$  para la infiltración y el número de lombrices y  $p < 0,001$  para la materia orgánica, el pH y la penetrabilidad).

En cuanto a la compactación del suelo (Figura 2A), se pudo observar una gran variabilidad de datos. Se pudieron apreciar diferencias significativas en el uso de pradera entre los muestreos de primavera y otoño de 2018, afirmando el hecho de que la fecha es un factor relevante, no siendo así el uso de suelo. Asimismo se pudo observar que los suelos actuales de uso agrícola y pradera, así como los suelos degradados presentan mayor similitud con los mismos de la primavera de 2019, que con los de otoño de 2019 y primavera de 2020, aunque no existieran diferencias significativas entre ellos. A su vez, se apreció una tendencia en el uso de bosque a que hubiera mayor penetrabilidad en primavera que en otoño, existiendo diferencias significativas entre ambas épocas para este tipo de parcelas.

Cuanta mayor penetrabilidad se encuentre, menor será la compactación, es decir, un suelo se considera compacto cuando la porosidad total es lo suficientemente baja como para restringir la aireación, así como cuando el suelo se encuentra muy comprimido y los poros son muy pequeños como para permitir la penetración de las raíces. Los suelos pueden resultar compactos naturalmente debido a su composición textural, así como a su manera de formación. Asimismo pueden empujarse a la compactación debido a la presión que se pueda ejercer sobre ellos con ganado o con maquinaria (Hillel, 1998). Por todo ello, se podría concluir que en los meses de otoño podría existir una mayor presión sobre los suelos de uso de bosque, que en primavera, o que debido, quizás, a la menor actividad de lombrices (Figura 2D), existan menos macroporos edáficos y por lo tanto mayor compactación, aunque esto no se puede asegurar debido a que no resulta significativo.

En lo que respecta al pH (Figura 2B), se pudo observar que este parámetro se mantuvo bastante estable a lo largo del tiempo y con una muy mínima desviación estándar. En los usos de suelo agrícola y degradado se pudo observar la tendencia a neutralizarse o incluso basificarse, habiendo partido de unos parámetros iniciales ligeramente ácidos, pero no existen diferencias significativas.

Esta variable influye en el crecimiento de las plantas debido principalmente al su efecto sobre la solubilidad/disponibilidad de productos químicos, incluidos los nutrientes. La

disponibilidad de nutrientes máxima para las plantas, así como la toxicidad mínima se encuentran en un valor de pH de 6,5 (Harris et al., 1996), por lo que se estaría ante suelos de una alta calidad en cuanto a este aspecto.

Cabe destacar que para llevar a cabo esta medición lo idóneo sería poner la tierra en solución con agua destilada, y no con agua del grifo como se hace en este caso. Esta también puede ser una razón por la que los valores se encuentran siempre en torno al valor neutro, ya que el agua de Vitoria-Gasteiz ronda unos valores de entre 6,5 y 9,5 (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz y AMVISA, 2010).

En cuanto a la materia orgánica (Figura 2C), se pudo apreciar la tendencia de una mayor nota en los meses de primavera, existiendo una diferencia significativa tanto en lo que respecta al uso de suelo ( $p < 0,05$ ) como a la fecha de muestreo ( $p < 0,001$ ), siendo esta última más significativa, hecho que puede verse reflejado en los resultados de 2020, que aun no presentando diferencias significativas entre sí, se puede observar una mayor relación entre los diferentes usos en las mismas fechas, que entre los mismos usos en distintas épocas del año. A su vez se puede apreciar una diferencia significativa en los suelos degradados entre los muestreos de octubre de 2019 y los de mayo de 2020, volviendo en noviembre de 2020 a tener características más similares a los suelos de mayo de 2019.

La materia orgánica es un importante compuesto del suelo, que se encuentra principalmente en las capas más superficiales. Esta puede actuar como agente cementante, uniendo y estabilizando y por tanto mejorando, la estructura edáfica (Hillel, 1998).

En relación al número de lombrices (Figura 2D), se encontró una gran variabilidad de datos y se pudo considerar que no existían diferencias significativas, aunque se pudo observar la tendencia a la alza de número de lombrices en el uso de suelo de pradera, así como en los suelos degradados, y en cambio, a la baja en usos de bosque y agrícola.

Las lombrices de tierra son un gran indicador de la fertilidad de los suelos, resultan esenciales para la bioturbación edáfica. El aporte excesivo de fertilizantes químicos, pesticidas y/o herbicidas resultan tóxicos para las lombrices y afecta altamente a las poblaciones de estas, que están disminuyendo alarmantemente en los sistemas de producción agrícola. Tampoco les resulta nada beneficioso el cultivo continuo ni la maquinaria de labranza pesada (Chatterjee et al., 2020).

Finalmente, en lo que respecta al tiempo de infiltración (Figura 2E), en suelos degradados y de pradera se apreció la tendencia de que en otoño se daba un tiempo de infiltración mayor, pero no existían diferencias significativas, por lo que se podría concluir que este parámetro se mantuvo en valores estables.

La infiltración hace referencia a la entrada de agua en el suelo, generalmente por flujo ahogado, a través de toda o parte de la superficie del suelo. Teniendo en cuenta la cantidad de agua absorbida por el suelo y el aporte recibido, se podrá determinar cuánta agua penetrará en el suelo hacia las capas más profundas y cuánta se perderá. Si se da mucho aporte de agua, el suelo tarde o temprano acabará saturándose y el agua quedará en la superficie o se perderá por escorrentía. Tanto la infiltrabilidad, como el tiempo de infiltración del suelo dependerán de la humedad inicial de este y la succión, así como de la textura, estructura y uniformidad del perfil edáfico (Hillel, 1998).

Tras realizar las correlaciones de las 5 variables principales entre sí, así como de estas con parámetros fisicoquímicos y biológicos como son la temperatura tanto del suelo como del aire, el número de especies de macrofauna y cultivos, los días transcurridos desde la última lluvia significativa y el carbono del sistema de producción, se pudieron determinar las relaciones significativas que se daban entre todos ellos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tabla resumen de los resultados significativos de los coeficientes de correlación (r) y de la significancia (p), resultado de las correlaciones de Spearman y Pearson para los diferentes parámetros estudiados. Solo se muestran las correlaciones significativas.

Coeficiente de correlación (r) Significancia (p)	Lombrices	Infiltración	Penetrabilidad	Materia orgánica
Infiltración	0,269* 0,021	---	---	---
Penetrabilidad	0,402** 0,000	---	---	---
Días transcurridos desde última lluvia	-0,315** 0,009	---	-0,431** 0,000	-0,527** 0,000
Tª suelo	-0,305* 0,010	-0,379** 0,001	---	---
Tª aire	---	-0,265* 0,027	---	---
Número de especies de macrofauna	0,423** 0,000	---	0,392** 0,001	0,295* 0,011
Número especies cultivos	0,305* 0,014	-0,31* 0,013	0,330** 0,008	-0,251* 0,045
Carbono	---	---	---	-0,323** 0,005

La temperatura del aire resultó significativa ( $p < 0,05$ ) para la infiltración (Tabla 2), aunque no se han encontrado evidencias bibliográficas de que este parámetro pueda llegar a afectar de manera notoria.

En cambio, la temperatura del suelo resultó significativa para el número de lombrices ( $p < 0,05$ ) y la infiltración ( $p < 0,01$ ) (Tabla 2). La temperatura edáfica afecta a la evaporación y aireación, así como a las reacciones químicas que tienen lugar en el suelo. Esta también tiene una gran influencia en procesos biológicos, como en la germinación de semillas, emergencia y crecimiento de plántulas, desarrollo de raíces y actividad edafofaunística (Hillel, 1998). La edafofauna, como por ejemplo las lombrices, prefieren ambientes con

cobertura vegetal debido a que la misma atempera los efectos de la temperatura y determina una mejor calidad y mayor cantidad de alimento disponible (Falco y Momo, 2010). A su vez, la temperatura del suelo mantiene una relación inversa con el tiempo de infiltración ( $r=-0,379$ ), ya que si el suelo está lo suficientemente frío como para que se dé la congelación del agua que haya penetrado en el suelo, esto impedirá o dificultará la infiltración del agua (Hillel, 1998).

El número de especies de macrofauna influyó significativamente en la materia orgánica ( $p<0,05$ ), la penetrabilidad y el número de lombrices ( $p<0,01$ ). A su vez, estas últimas mantuvieron correlación significativa con la infiltración ( $p<0,05$ ), la penetrabilidad ( $p<0,01$ ), los días transcurridos desde la última lluvia ( $p<0,01$ ) y el número de cultivos ( $p<0,05$ ). Por otro lado, resultó que el número de cultivos presentaba una correlación significativa positiva con la penetrabilidad ( $p<0,01$ ;  $r=0,402$ ) y una correlación negativa significativa ( $p<0,05$ ) con la infiltración ( $r=-0,31$ ) y la materia orgánica ( $r=-0,251$ ) (Tabla 2).

La macrofauna edáfica está compuesta en gran medida por lombrices (Velásquez et al., 2012), por lo que es lógico que exista una correlación positiva entre ambas variables ( $r=0,426$ ). Así pues, los macroinvertebrados del suelo procesan grandes volúmenes de suelo e influyen en la descomposición, disponibilidad de nutrientes, agregación, aireación y propiedades hidráulicas del suelo (Lavelle et al., 1997). Los agregados biogénicos producidos por estos animales suelen estar enriquecidos en C y nutrientes, resultando importantes para la renovación de la materia orgánica del suelo y el ciclo de los nutrientes, contribuyendo a su vez a la estabilización de la materia orgánica del suelo (Guggenberger et al., 1996; Blanchart et al., 1999; Martin, 1991; Wolters, 2000; Bossuyt et al., 2005). Asimismo, las estructuras edáficas creadas por la macrofauna influyen en la porosidad del suelo (Shipitalo y Le Bayon, 2004), lo que conlleva una influencia positiva en la penetrabilidad (Velásquez et al., 2012).

Los macroporos creados por las lombrices de tierra (*Lumbricus terrestris*), siempre que estén conectados con la superficie, contribuirán en el aumento de la infiltración y reducción de la escorrentía, aumentando la disponibilidad hídrica del suelo. A su vez, facilitan la penetración más profunda de las raíces de las plantas en suelos duros, por lo que a priori indicaría un mayor crecimiento de cultivo, a no ser que las lombrices incorporen cal, fertilizantes y/o residuos superficiales. Además, al ayudar a aumentar la infiltración y reducir la escorrentía, aumenta la disponibilidad del agua, así como la percolación profunda que ayuda a mantener un estado hídrico favorable para el crecimiento de los cultivos (Hillel, 1998). Asimismo, las lombrices pueden compensar los efectos negativos de las lluvias intensas sobre las plantas mediante la formación de madrigueras, ya que mejoran el drenaje

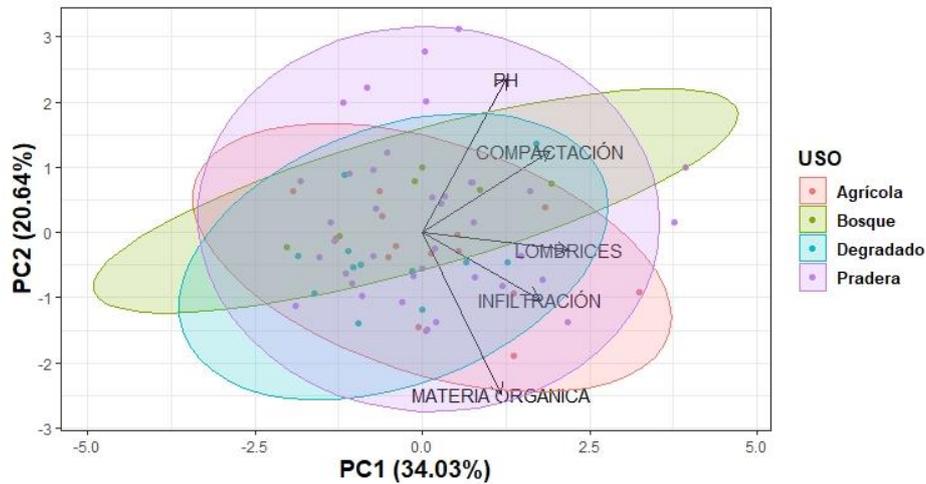
del agua, cuyo flujo es más rápido en los macroporos que en la matriz edáfica, gracias a lo cual ayudan a disminuir la humedad de los suelos y a evitar las inundaciones. Por otra parte, pueden llegar a evitar anoxias en las rizosferas cuando hay grandes precipitaciones, debido a que la presencia de estos animales ayuda a evitar el anegamiento. Además, las lombrices pueden mejorar la disponibilidad de N para las plantas, incorporando estiércol a la rizosfera o liberando este elemento a través de mucosidad y excrementos (Andriuzzi et al., 2015).

A su vez, los días de lluvia resultaron altamente significativos ( $p < 0,001$ ) para la materia orgánica y la penetrabilidad (Tabla 2). El agua de lluvia que se infiltra en el suelo está estrechamente relacionada con la intensidad de la lluvia y la cantidad de materia orgánica del suelo, ya que esta última posee una gran capacidad de absorción, pudiendo llegar a absorber hasta 20 veces su peso en agua (Shaxson y Barber, 2015).

En cuanto a la penetrabilidad, cuanto menor sea esta, mayor será la compactación. La compactación del suelo, producida por el pisoteo de ganado, por el transporte de maquinaria o similares, afecta de manera negativa a la actividad de las lombrices, ya que debido a esa presión los canales pueden ser fragmentados, colapsados o destruidos. Esto les ocurre sobre todo a los canales horizontales y/o a los más cercanos a la superficie (Jégou et al., 2002). Asimismo, con el aumento de compactación los cultivos tienden a reducir el tamaño de las raíces, a la vez que se da una penetración retardada de estas y una menor profundidad de enraizamiento. La disminución del tamaño radicular hace que haya mayor distancia entre las raíces vecinas y afecta negativamente a la absorción de agua y nutrientes y, en consecuencia, al rendimiento de cultivos (Lipiec y Hatano, 2003).

El sistema radicular de las plantas es esencial para el aporte de materia orgánica a los suelos, ya que generan, por ejemplo, nitrógeno y fósforo. Pero en zonas de cultivo, esto no compensa la exportación de nutrientes por cosecha, por lo que se suelen dar suelos pobres en materia orgánica (Hernández et al., 1995). Esta última, acorde con los resultados, estaba correlacionada negativamente con el sistema de carbono edáfico ( $p < 0,01$ ;  $r = -0,323$ ), pero, debería a priori ser una correlación positiva esencialmente debido a que el carbono orgánico del suelo es el componente principal de la materia orgánica edáfica (Martínez et al., 2008).

En los resultados se dio también una correlación negativa entre el número de cultivos y el tiempo de infiltración del suelo ( $p < 0,05$ ;  $r = -0,31$ ). Lo que se puede asegurar es que un suelo con mayor vegetación tiene una menor conductividad hidráulica y tasa de infiltración, es decir, mayor tiempo de infiltración (Leung et al., 2015). Pero, como el hecho de que se encuentren mayor número de especies, no significa necesariamente una mayor cantidad de vegetación, no se puede concluir nada en cuanto a esta correlación.



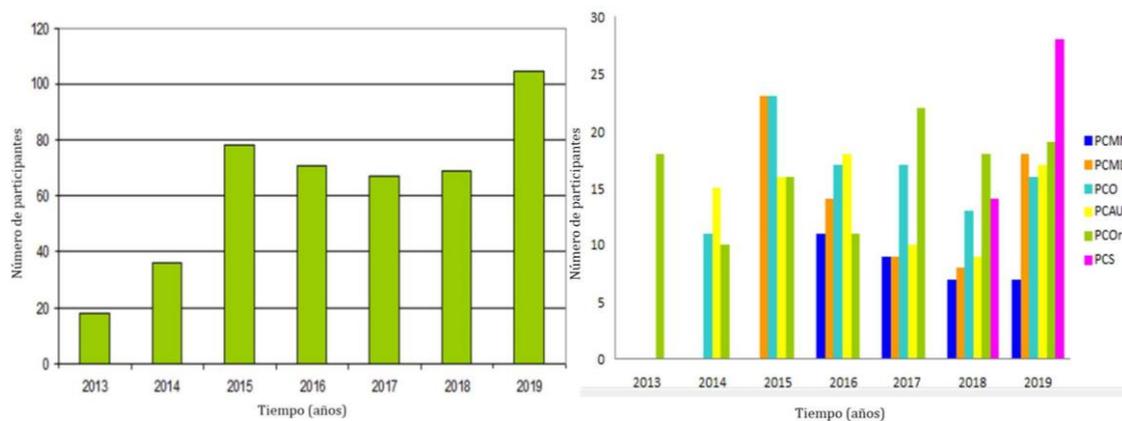
**Figura 3.** Análisis de componentes principales (PCA) de 5 variables de características edáficas bajo uso de suelo agrícola (rojo), uso de bosque (verde), suelos degradados (azul) y uso de pradera (morado). Las flechas representan las variables, mientras que su longitud se basa en la contribución de cada variable.

El PCA llevado a cabo reveló que el PC1 representó el 34,03% de la varianza, mientras que el PC2 explicó el 20,64% (Figura 3), sumando el 54,67% del modelo de variación total.

Las variables del número de lombrices y la infiltración sufrieron una mayor variabilidad bajo PC1, mientras que la materia orgánica y el pH lo hicieron bajo PC2. La variable de compactación fue la que sufrió una menor variación.

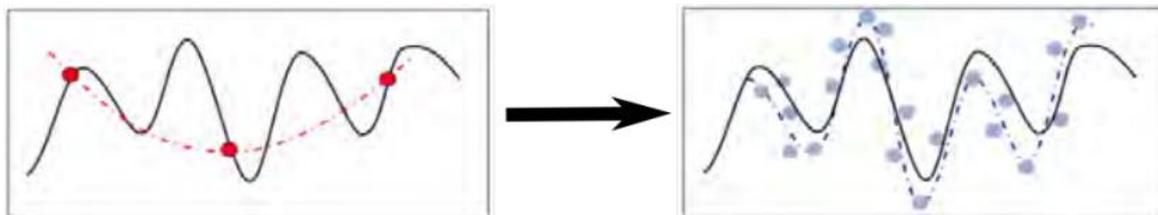
Como se puede observar en el análisis de componentes principales, las variables que se encontraron más relacionadas entre sí fueron el número de lombrices y la infiltración, afirmando la correlación significativa ( $p=0,021$ ) (Tabla 2) comentada anteriormente, así como la compactación y el pH. Por otra parte, el pH se consideró un parámetro independiente tanto de la infiltración como del número de lombrices.

### 3.5.2. Participación ciudadana



**Figura 4.** Grado de participación en los programas de ciencia ciudadana de la ciudad de Vitoria-Gasteiz. A la izquierda participación total y a la derecha participación repartida entre los diferentes programas de conservación que se encuentran en la ciudad. En azul oscuro el ‘Programa de Conservación de las Mariposas Nocturnas’ (PCMN), en naranja el ‘P. C. de Mariposas Diurnas’, en azul claro el ‘P. C. de Odonatos’, en amarillo el ‘P. C. de las Aves Urbanas’, en verde el ‘P. C. de Orquídeas’ y en rosa el ‘P. C. de Suelos’. **Fuente:** CEA (2020b).

Como se puede observar en la figura 4 hay una tendencia a la alza en la participación de la ciudadanía en este tipo de proyectos en la ciudad de Vitoria-Gasteiz, lo que facilita que la ciudad pueda abarcar un mayor número de programas de conservación, por lo que se contribuye a su vez a una mayor sensibilización y concienciación de la ciudadanía con la naturaleza. La fidelidad de los colaboradores en 2019 fue del 93,75% (CEA, 2020a).



**Figura 5.** Representación de la abundancia y exactitud de la recogida de datos. A la izquierda por expertos en la materia y a la derecha por la ciencia ciudadana. **Fuente:** Claramunt et al. (2016).

En la figura 5 se puede observar como la recogida de datos de personas entendidas en la materia es más exacta, pero cuenta con un menor número de datos, por lo que el resultado final puede desviarse más del tramo real de información. Mientras que la recogida de datos mediante ciencia ciudadana, recoge datos menos exactos pero en gran cantidad, lo que permite trazar un recorrido, aunque no exacto, muy similar al real. La no exactitud de estos últimos puede deberse a la dificultad de identificar y localizar, así como de monitorear ciertos organismos o a algún fallo en el seguimiento del protocolo (Tabla 3).

A continuación se recogen las fortalezas y debilidades, así como las amenazas y oportunidades de la ciencia ciudadana en forma de matriz DAFO (Tabla 3).

Los puntos fuertes de la ciencia ciudadana radican en que es una herramienta poco costosa económicamente que permite obtener una gran cantidad de datos en grandes espacios y durante largos periodos de tiempo gracias a la colaboración de cientos de ciudadanos. A su vez y con ayuda de las tecnologías, se permite compartir esta información de manera sencilla y rápida para que esté al alcance de todo el que la pueda necesitar. Con todo ello, se consiguen forjar lazos estrechos entre la sociedad y la ciencia, así como incluso la política, generando una concienciación mayor para con el medio ambiente, a su vez que los participantes consiguen adquirir nuevos conocimientos respecto al tema (Tabla 3).

En cuanto a las limitaciones que presenta la ciencia ciudadana, se encuentran las dificultades que se pueden dar a la hora de identificar o localizar algunos organismos, así como a la hora de monitorearlos. También se pueden crear conflictos en cuanto a especies protegidas y/o amenazadas a causa de no ser identificadas como tal (Tabla 3).

**Tabla 3.** Matriz DAFO que recoge las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la ciencia ciudadana. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Bota et al. (2016).

Análisis interno	Análisis externo
<p><u>DEBILIDADES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se necesitan protocolos sencillos de recogida y validación de datos.</li> <li>- Conflictos para especies protegidas y/o amenazadas.</li> <li>- Adaptar las preguntas a la información que se necesita.</li> <li>- Dificultad para monitorear organismos y/o variables que requieren sensores complejos.</li> <li>- Dificultades de identificación y/o localización de los organismos.</li> </ul>	<p><u>AMENAZAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fragilidad de las iniciativas procedentes de la sociedad civil.</li> <li>- Desmotivación de los participantes al no ser reconocida su labor.</li> <li>- Se necesita información elaborada y no solo datos.</li> </ul>
<p><u>FORTALEZAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena relación coste/beneficio.</li> <li>- Gran capacidad de recoger datos en grandes espacios y largos periodos de tiempo.</li> <li>- Tecnología permite almacenar, ordenar y/o utilizar la información en tiempo real en la red de manera transdisciplinar y abierta.</li> <li>- Corresponsabilidad de la sociedad en toma de decisiones ambientales y mayor percepción de objetividad de decisiones.</li> </ul>	<p><u>OPORTUNIDADES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nuevas tecnologías al alcance de todos.</li> <li>- Mejorar conexiones entre ciencia, política y sociedad.</li> <li>- Socialización y globalización de los datos.</li> <li>- Generación de nuevos conocimientos.</li> </ul>

## 4. Conclusiones

Con todo ello, se concluye que la fecha de muestreo es relevante ( $p < 0,01$ ) para la recogida de datos ya que el suelo se encuentra en constante cambio y se deben escoger meses en los que este se encuentre lo más estable posible.

Entre las 5 variables principales estudiadas el número de lombrices y la infiltración son las que tienen una relación más estrecha entre sí ( $r = 0,269$ ;  $p = 0,021$ ).

A su vez cabe destacar la gran labor de las lombrices terrestres en la salud de los suelos, siendo indicadoras de un suelo de calidad y con nutrientes, resultando su actividad beneficiosa para el suelo. Por ello, se trata de un parámetro significativo ( $p < 0,05$ ) para todas las variables estudiadas, exceptuando la temperatura del aire y el carbono.

Finalmente, en cuanto a la ciencia ciudadana, es de comentar que en la ciudad de Vitoria-Gasteiz se cuenta cada vez con un mayor número de programas de conservación, así como con un mayor número de participantes en estas iniciativas. Aunque también cuenta con alguna debilidad, esta herramienta está resultando de gran utilidad en diversos estudios a nivel global. Con ella, a su vez, se contribuye a la necesaria sensibilización de la ciudadanía con el medio ambiente de una manera práctica y divertida, haciendo a la gente participe de estudios ambientales.

## 5. Bibliografía

Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C. y Zumbrunnen, C. (2003). Integrating humans in to ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *Bioscience*, 53 (12), 1169–1179. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/232688062\\_Integrating\\_Humans\\_Into\\_Ecology\\_Opportunities\\_and\\_Challenges\\_for\\_Studying\\_Urban\\_Ecosystems](https://www.researchgate.net/publication/232688062_Integrating_Humans_Into_Ecology_Opportunities_and_Challenges_for_Studying_Urban_Ecosystems)

Andriuzzi, W. S., Pulleman, M. M., Schmidt, O., Faber, J. H. y Brussaard, L. (2015). Anecic earthworms (*Lumbricus terrestris*) alleviate negative effects of extreme rainfall events on soil and plants in field mesocosms. *Plant soil*, 397, 103-113.

Arias, M. E., González-Pérez, J. A., González-Vila, F. J. y Ball, A. S. (2005). Soil health-a new challenge for microbiologists and chemists. *International microbiology*, 8 (1), 13-21.

Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D., & Rothe, A. (2002). Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, 59 (3), 233-253.

Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz (s.f). *Proyecto PhytoSUDOE 2016-2018*. Recuperado el 10 de mayo de 2021 de [https://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/was/contenidoAction.do?idioma=es&uid=u\\_24e9bad9\\_159affddf2b\\_7f35](https://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/was/contenidoAction.do?idioma=es&uid=u_24e9bad9_159affddf2b_7f35)

Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz y Aguas Municipales de Vitoria-Gasteiz (2010). *Memoria 10. Aguas Municipales de Vitoria-Gasteiz, S.A.U.* Recuperado de <https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/es/18/16/41816.pdf>

Berastegi, A., Darquistade, A. y García-Mijangos, I. (1997). Biogeografía de la España centro-septentrional. *Itinera Geobotánica*, 10, 149-182.

Blanchart, E., Albrecht, A., Alegre, J., Duboiset, A., Gilot, C., Pashnasi, B., Lavelle, P. y Brussard, L. (1999). Effects of Earthworms on Soil Structure and Physical Properties. En: Lavelle, P., Brussaard, L. y Hendrix, P. (Eds), *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems* (149-172). Wallingford, Reino Unido: CAB International. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/39848561.pdf#page=161>

Blume, H. P., Brümmer, G. W., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K. y Wilke, B. M. (2016). *Soil Science*. Heidelberg, Alemania: Springer 630 pp. Recuperado de <https://link-springer-com.ehu.idm.oclc.org/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-30942-7.pdf>

Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V. y Shirk, J. (2009). Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *BioScience*, 59 (11), 977–984. Recuperado de <https://academic.oup.com/bioscience/article/59/11/977/251421>

Bossuyt, H., Sixb, J. y Hendriz, P. F. (2005). Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology & Biochemistry*, 37, 251–258.

Bota, G., Brotons, L., Pou, N. y Villero, D. (2016). VIII Jornadas sobre Información de Biodiversidad y Administraciones Ambientales. Recuperado de <https://www.gbif.es/wp-content/uploads/2018/04/01.GBIF-y-CC.pdf>

Brossard, D., Lewenstein, B. y Bonney, R. (2005). Scientific knowledge and attitude change: The impact of a citizen science project. *International Journal of Science Education*, 27 (9), 1099–1121. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/228673219\\_Scientific\\_Knowledge\\_and\\_Attitude\\_Change\\_The\\_Impact\\_of\\_a\\_Citizen\\_Science\\_Project](https://www.researchgate.net/publication/228673219_Scientific_Knowledge_and_Attitude_Change_The_Impact_of_a_Citizen_Science_Project)

Camelo-Méndez, G. A., Ragazzo-Sánchez J. A., Jiménez-Aparicio, A. R., Vanegas-Espinoza, P. E., Paredes-López, O. y Del Villar-Martínez, A. A. (2013). Comparative Study of

Anthocyanin and Volatile Compounds Content of Four Varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) by Multivariable Analysis. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68. 229-234. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11130-013-0360-2.pdf>

CEA (2020a). Ataria - Ciencia Ciudadana. Recuperado el 10 de abril de 2021 de [https://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/was/contenidoAction.do?idioma=es&uid=u25e08f9d\\_14a56aaea69\\_7f88](https://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/was/contenidoAction.do?idioma=es&uid=u25e08f9d_14a56aaea69_7f88)

CEA (2020b). Ciencia Ciudadana - Programas de Conservación – Suelos. Recuperado el 10 de abril de 2021 de [https://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/was/contenidoAction.do?idioma=es&uid=u\\_2498e010\\_162d6fd8d27\\_7e82#:~:text=%20Ciencia%20Ciudadana%20-%20Programas%20de%20Conservaci%C3%B3n%20-Programa%20de%20Conservaci%C3%B3n%20de%20Suelos%20viene...%20More%20](https://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/was/contenidoAction.do?idioma=es&uid=u_2498e010_162d6fd8d27_7e82#:~:text=%20Ciencia%20Ciudadana%20-%20Programas%20de%20Conservaci%C3%B3n%20-Programa%20de%20Conservaci%C3%B3n%20de%20Suelos%20viene...%20More%20)

CEA (2020c). La ciencia ciudadana, un poco de historia. Recuperado el 21 de marzo de 2021 de <https://blogs.vitoria-gasteiz.org/ataria/2020/02/29/la-ciencia-ciudadana-un-poco-de-historia/>

CEA (s.f). Tarjetas de Salud de los Ecosistemas Agrícola. Programa de Conservación de Suelos. 8pp. Recuperado de <https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/es/24/24/82424.pdf>

Chatterjee, R., Debnath, A. y Mishra, S. (2020). Vermicompost and soil health. En: B. Giri y A. Varma (Eds.), *Soil health*, 59 (pp. 69-88). Delhi, India: Springer. Recuperado de <https://link-springer-com.ehu.idm.oclc.org/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-44364-1.pdf>

Claramunt, B., Villaverde, C., Piera, J., Escobar, A. y Vilanova, A. (2016). *El papel de las plataformas de ciencia ciudadana en la toma de decisiones sobre la gestión de la biodiversidad. La aproximación Natusfera*. VII Jornadas sobre Información de Biodiversidad y Administraciones Ambientales. Recuperado de [https://www.gbif.es/wp-content/uploads/2016/07/BernatClaramunt\\_Barcelona2.pdf](https://www.gbif.es/wp-content/uploads/2016/07/BernatClaramunt_Barcelona2.pdf)

Cohn, J. P. (2008) Citizen science: Can volunteers do real research? *BioScience*, 58 (3), 192–197. Recuperado de <https://academic.oup.com/bioscience/article/58/3/192/230689?login=true>

Cooper, C. B., Dickinson, J., Phillips, T. y Bonney, R. (2007). Citizen science as a tool for conservation in residential ecosystems. *Ecology and Society* 12(2): 11. Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art11/>

- Dajoz, R. (2002). *Tratado de ecología*. Madrid, España: Ediciones Mundi- Prensa. 600 pp.
- EU-Citizen.Science (s.f). Recuperado de <https://eu-citizen.science/about/>
- European Citizen Science Association (s.f). Recuperado de <https://ecsa.citizen-science.net/>
- Falco, L. B. y Momo, F. (2010). Selección de hábitat: efecto de la cobertura y tipo de suelo en lombrices de tierra. *Acta Zoológica Mexicana*, 26 (2), 179-187. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0065-17372010000500013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000500013)
- GeoEuskadi (s.f). Servicio de descargas. Recuperado el 2 de mayo de 2021 de <https://www.geo.euskadi.eus/s69-geoser/es/contenidos/informacion/servicio ftp/es 80/servicio ftp.html>
- Gordienko, Y. G. (2013). *Green paper on citizen science*. 55 pp. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/259230549\\_Green\\_Paper\\_on\\_Citizen\\_Science](https://www.researchgate.net/publication/259230549_Green_Paper_on_Citizen_Science)
- Guggenberger, G., Thomas, R. J. y Zech, W. (1996). Soil organic matter within earthworm casts of an anecic-endogeic tropical pasture community, Colombia. *Applied Soil Ecology*, 3 (3), 263-274.
- Harris, J. A., Birch, P. y Palmer, J. P. (1996). *Land restoration and reclamation: principles and practice*. Londres, Reino Unido: Longman. 248 pp.
- Hernández, I., Medina, E. y López, D. (1995). Respiración edáfica y aportes de materia orgánica por las raíces y la hojarasca en un cultivo de caña de azúcar. *Agronomía tropical*, 45 (1), 121-142.
- Hillel, D. (1998). *Environmental soil physics*. San Diego, Estados Unidos: Academic Press. 771 pp.
- Jégou, D., Brunotte, J., Rogasik, H. y Capowiez, X. (2002). Impact of soil compaction on earthworm burrow systems using X-ray computed tomography: Preliminary study. *European Journal of Soil Biology*, 38(3), 329-336.
- Jenny, H. (1980). *The soil resource*. Nueva York, Estados Unidos: Cambridge Springer-Verlag. 368 pp.
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K. y Swift, M. J. (2007). Soil health in agricultural systems. *The Royal Society*, 363 (1492). Recuperado de <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2178>
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W. y Dhillon, S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers.

*European Journal of Soil Biology*, 33 (4), 159-193. Recuperado de [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/b\\_fdi\\_51-52/010015216.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_51-52/010015216.pdf)

Leung, A. K., Garg, A., Coo, J. L., Ng, C. W. W. y Hau, B. C. H. (2015). Effects of the roots of *Cynodon dactylon* and *Schefflera heptaphylla* on water infiltration rate and soil hydraulic conductivity. *Hydrological Processes*, 29 (15), 3342-3354. Recuperado de [https://onlinelibrary.wiley.com/hydrological\\_processes](https://onlinelibrary.wiley.com/hydrological_processes)

Lipiec, J. y Hatano, R. (2003). Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*, 116 (1-2), 107-136. Recuperado de [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706103000971?casa\\_token=7AfDCDY6e\\_MAAAAA:sbKoGU79Mfy7zCERkRpyvTCWE3oo28U9re91Za-MyNOL1aSQ7Mk6oJCgdTKJKApOpMSdq1qvBYA](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706103000971?casa_token=7AfDCDY6e_MAAAAA:sbKoGU79Mfy7zCERkRpyvTCWE3oo28U9re91Za-MyNOL1aSQ7Mk6oJCgdTKJKApOpMSdq1qvBYA)

Loewy, T., Milano, F. A., Ángeles, G. R., Saldungaray, M. C., Campaña, D. H. y Álamo, M. A. (2015). *Buenas prácticas agrícolas con desarrollo local para el sudoeste bonaerense*. Buenos Aires, Argentina: Bahía Blanca. 105 pp.

Loidi, J., Biurrun, I., Campos, J.A., García-Mijangos, I. y Herrera, M. (2011). *La vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Leyenda del mapa de series de vegetación a escala 1:50.000*. Bilbao, España: Universidad del País Vasco. 197 pp. Recuperado de <https://web-argitalpena.adm.ehu.es/pdf/UWLGBl7314.pdf>

Martín, A. (1991). Short- and long-term effects of the endogeic earthworm *Millsonia anomala* (Omodeo) (Megascolecidae, Oligochaeta) of tropical savannas. *Biology and Fertility of Soils*, 11, 234-238. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00335774.pdf>

Martínez, E., Fuentes, J. P. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8 (1), 68-96. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912008000100006](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006)

Molles, M. C. (2016). *Ecology concepts and applications*. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education. 567pp.

Mueller, M. P. y Tippins, D. J. (2015). *EcoJustice, Citizen Science and Youth Activism*. Springer. 459 pp. Recuperado de <https://link.springer.com.ehu.idm.oclc.org/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-11608-2.pdf>

Oldeman, L. R. (1992). Global Extent of Soil Degradation. *ISRIC*. 19-36. Recuperado de <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/299739>

R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. Comput Vienna, Austria.

Sanz, F., Pelacho, M., Clemente, J., Ibáñez, M. C., Guardia, L., Lisbona, D., Val, V., Embid, A., Castelo, V., Arias, R., Salas, N., Ruiz, Gonzalo, Tarancón, A., Ferrer, A., Cuartielles, D., García, C., Perla, P., Barral, M., Gavete, B., Perelló, J., Pacheco, P., Pueyo, O. y Sevilla-Callejo, M. (2020). *Informe del Observatorio de la Ciencia Ciudadana 2019/2020*. 131 pp. Recuperado de [https://ciencia-ciudadana.es/wp-content/uploads/2021/01/informe-observatorio\\_2020.pdf](https://ciencia-ciudadana.es/wp-content/uploads/2021/01/informe-observatorio_2020.pdf)

Shaxson, F. y Barber, R. (2015). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. *Boletín de suelos de la FAO*, 79. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=K-JwJZw1hMwC&oi=fnd&pg=PP10&dq=Optimizaci%C3%B3n+de+la+humedad+del+suelo+para+la+producci%C3%B3n+vegetal.+&ots=qisOaayn3N&sig=qNp4plaulgEBtp5SqmMKSolZPiQ#v=onepage&q=Optimizaci%C3%B3n%20de%20la%20humedad%20del%20suelo%20para%20la%20producci%C3%B3n%20vegetal.&f=false>

Shipitalo, M. J. y Le Bayon, R. C. (2004). Quantifying the effects of earthworms on soil aggregation and porosity. En: Edwards, C. A. (Eds.), *Earthworm Ecology* (183-200). Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado de <https://books.google.es/earthwormecology>

Silvertown, J. (2009). A new dawn for citizen science. *Trends in ecology & evolution*, 24 (9), 467-471. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016953470900175X>

Smith, R. y Smith, T. (2001). *Ecología*. Madrid, España: Pearson Educación. 664 pp.

Velásquez, E., Fonte, S. J., Barot, S., Grimaldi, M., Desjardins, T. y Lavelle, P. (2012). Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. *Applied Soil Ecology*, 56, 43-50. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com.ehu.idm.oclc.org/science/article/pii/S0929139312000200>

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. y Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277 (5325): 494–499. Recuperado de <https://science.sciencemag.org/content/sci/277/5325/494.full.pdf>

Wall, D. H. y Moore, J. C. (1999). Interactions Underground: Soil biodiversity, mutualism, and ecosystem processes. *BioScience*, 49 (2), 109–117.

Wolters, V. (2000). Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils*, 31, 1-19. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s003740050618>

## 6. Anexos

**ANEXO I.** Ficha de campo que recoge las mediciones necesarias para registrar los datos obtenidos de cada parámetro para cada parcela perteneciente al 'Programa de Conservación de Suelos de Vitoria-Gasteiz'. **Fuente:** CEA (s.f).

### FICHA DE CAMPO

Nombre de la parcela:  
Coordenadas (latitud/longitud):  
Fecha:

Temperatura del suelo a 10 cm de profundidad:  
Temperatura ambiente:  
Días desde la última lluvia significativa:

Servicio	Indicador	Resultado	Mal 0 - 3	Regular 3 - 7	Bien > 7 - 10	Nota indicador (0 - 10)	Nota servicio (0 - 10)	
1. Producción	1.1. Cosecha (g/planta)		Ver pág. 6	Ver pág. 6	Ver pág. 6	M.:		
	1.2. Plagas (% plantas sanas)		0 - 45	45 - 85	85 - 100			
2. Biodiversidad	2.1. Diversidad de cultivos (nº especies)		0 - 3	3 - 7	>7			
	2.2. Diversidad vegetal adyacente (nº estratos)		1 estrato 1'5 puntos	2 estratos 5 puntos	3 estratos 8'5 puntos			
	2.3. Diversidad de macrofauna (nº tipos)		0 - 6	6 - 14	14 - 20			
3. Suelo	3.1. Lombrices (nº)		0 - 3 o > 20	3 - 7 o 20 - 15	7 - 10 o 15 - 10			
	3.2. Infiltración (min)		60 - 30	30 - 10	10 - 0	M.:		
	3.3. Compactación (cm)		0 - 10	10 - 20	20 - 40	M.:		
	3.4. Acidez (pH)		< 4'5 o > 9	4'5 - 5'5 o 9 - 8	5'5 - 7 o 8 - 7			
	3.5. Pesticidas (uso)	Ecológico		Ver pág. 4	Ver pág. 4	Ver pág. 4		
		No-ecológico						
3.6. Materia orgánica	Reacción		Débil	Moderado	Fuerte		M.:	
	Color		Pálido	Medio	Oscuro			
4. Cambio climático	4.1. Materia orgánica	Misma nota que en 3.6.						
	4.2. Sistema de producción (¿gana o pierde carbono?)	Inicial	5					
		Laboreo						
		Abonado						
		Restos cosecha						
		Suelo desnudo						
Destino cosecha								
	Final							
<p>* Aclaraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se entiende que en la columna "Regular" los valores que determinan el rango también se incluyen dentro. Por ejemplo, en el indicador 1.2., si obtienes un resultado de 45, deberás considerarlo como un resultado "Regular" y no "Malo".</li> <li>- En 1.1., apunta en la columna de "Indicador" qué cultivos has medido, y en la columna de "Resultado" los gramos de peso respectivos. Ejemplo: Guisante   26 g.</li> <li>- En 3.2. y 3.3., apunta las tres medidas en "Resultado".</li> <li>- En 3.5., apunta la cantidad de de pesticidas que utilizas según su tipo.</li> <li>- En 3.6., apunta si la reacción es "Débil", "Moderado" o "Fuerte", y en color si es "Pálido", "Medio" o "Oscuro".</li> <li>- En 4.2., se indican los 5 puntos iniciales con los que partes, y seguidamente se distinguen cada práctica en las que debes apuntar "+1", "0" o "-1". Calcula el resultado de la suma/resta en la fila "Final".</li> <li>- En algunos casos la columna "Nota indicador" aparece dividida para anotar la nota de cada medición así como la media de éstas.</li> </ul>							NOTA FINAL	

- TSEA -