

## RESUMEN

La colonización de otros planetas está cada vez más cerca, pero la consecución de asentamientos permanentes en lugares como la Luna o Marte, pasará por solucionar el problema de la producción de alimentos como cereales, hortalizas y verduras en la superficie de estos lugares. Los suelos explorados de nuestro satélite y de nuestro planeta vecino no disponen de materia orgánica ni de microbiota, por lo que para su utilización se debería contar con una regeneración biológica con adición de compuestos orgánicos y de microorganismos capaces de descomponerlos.

En este propósito se pretende evaluar la calidad de los suelos naturales de las Merindades y otros lugares de España y el mundo (pH, radioactividad, materia orgánica, microbiota edáfica, actividad catalásica) antes y después de subirlos a la estratosfera a través del proyecto SERVET X donde sufrirán cambios de presión, temperatura y radiación durante el viaje, e intentar restaurar un suelo inerte de composición similar al de la Luna o Marte con la microbiota resultante del experimento, comprobando su salud y fertilidad y su adecuación para ser cultivado.

Para ello han diseñado una cápsula basada en satélites y origami que posibilita la exposición necesaria para observar cambios.

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un ente complejo, cambiante. Está compuesto por una matriz mineral en cuyos huecos se albergan fluidos, gases y seres vivos. Por desgracia, es el gran olvidado de los recursos naturales.

La calidad y salud de los suelos es un concepto que se lleva estudiando varias décadas con el fin de definir y evaluar en él aquellos parámetros que son indispensables para un desarrollo vegetal más productivo y más sostenible.

Factores como la cantidad de materia orgánica o una microbiota edáfica variada, garantizan el intercambio y reciclaje de nutrientes en el suelo, favorecen la resiliencia edáfica y reducen el riesgo de plagas y enfermedades.

La exploración espacial y la consecución de asentamientos permanentes en lugares como la Luna o Marte, pasará por solucionar el problema de la producción de alimentos como cereales, hortalizas y verduras en la superficie de estos planetas.

Los suelos explorados de nuestro satélite y de nuestro planeta vecino están exentos de todo resto de materia orgánica y de microbiota, por lo que una primera fase de esta posible utilización de los suelos lunares o marcianos debería contar con una regeneración biológica con adición de compuestos orgánicos como ácidos húmicos y fúlvicos y de microorganismos capaces de descomponerlos y colonizar los nichos que ocupan en los suelos terrestres.

Los microorganismos y sustancias orgánicas que se utilizarían en esta misión deberán ser capaces de resistir cambios de temperatura muy bruscos, así como una elevada radiación y estrés hídrico.

Así bien, este mismo concepto podría aplicarse a la recuperación de suelos degradados en incendios, contaminados o empobrecidos (biorremediación).

Nuestro proyecto ha contado con la supervisión y colaboración de las áreas de Edafología y Química Agrícola y Microbiología, de la mano de los investigadores Dr. Daniel Pérez Alonso, Dr. Carlos Rad y Dr. Gonzalo Sacristán, pioneros en temas de calidad del suelo, así como con la experiencia en registros marcianos y lunares de la Dra. Jennifer Huidobro de la UPV y la NASA, vecina de las Merindades.

## METODOLOGÍA

### 1.- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS:

Nuestra propuesta pasa por evaluar la calidad de los suelos naturales de las Merindades y otras localizaciones, antes y después de subirlos a la estratosfera (sufrirán cambios de presión, temperatura y radiación durante el viaje) e intentar restaurar un suelo inerte de composición similar al de la Luna o Marte con la microbiota resultante del experimento.

1.1.- Elegimos siete suelos naturales de las Merindades y de diferentes procedencias (bosque, prado, huerta) y evaluamos su salud y calidad midiendo diferentes parámetros físico-químicos y biológicos (pH, granulometría, materia orgánica, biodiversidad de la mesofauna, actividad catalásica, radioactividad). Utilizamos arena de obra esterilizada con etanol y sometida a 220°C como suelo estéril.

PRUEBA ANÁLITICA	METODOLOGÍA
pH	Disolución de 5 ml de suelo en 50 ml de agua destilada, agitación, filtrado y medida con pHmetro.
Radioactividad	Medida de cantidad de partículas alfa por minuto con contador Geiger de elaboración propia (Arduino).
Granulometría	Disolución de 100 g de suelo en una probeta con 250ml de agua, agitación hasta suspensión. Dejar reposar durante 48h y cuantificar el % de arenas, limos y arcillas.
Materia orgánica	Pesado de 1g de suelo seco y tamizado a 2mm, dentro de papel de aluminio en un recipiente cerámico y flameado a llama del soplete durante 15 s. Estimación de la cantidad de MO calcinada por diferencia de peso.
Mesofauna edáfica	Embudo Berlesse: 500 g de suelo húmedo sobre rejilla de 2mm y embudo, sometido al sol. Recogida de la mesofauna bajo el embudo en vaso con alcohol.
Microorganismos (hongos y bacterias)	Dilución de 1g de suelo en 100 ml de agua (1:100), filtrado y sembrado del filtrado con asa de siembra en placas de Petri sobre Agar PCA. Incubado durante 48 h a 36°C.
Actividad catalásica	1 g de suelo seco, en placa de Petri, se le adicionan 5ml de agua oxigenada comercial y se observa la cantidad de burbujeo. Se valora entre 0 y 5.

### Los suelos seleccionados fueron los siguientes:

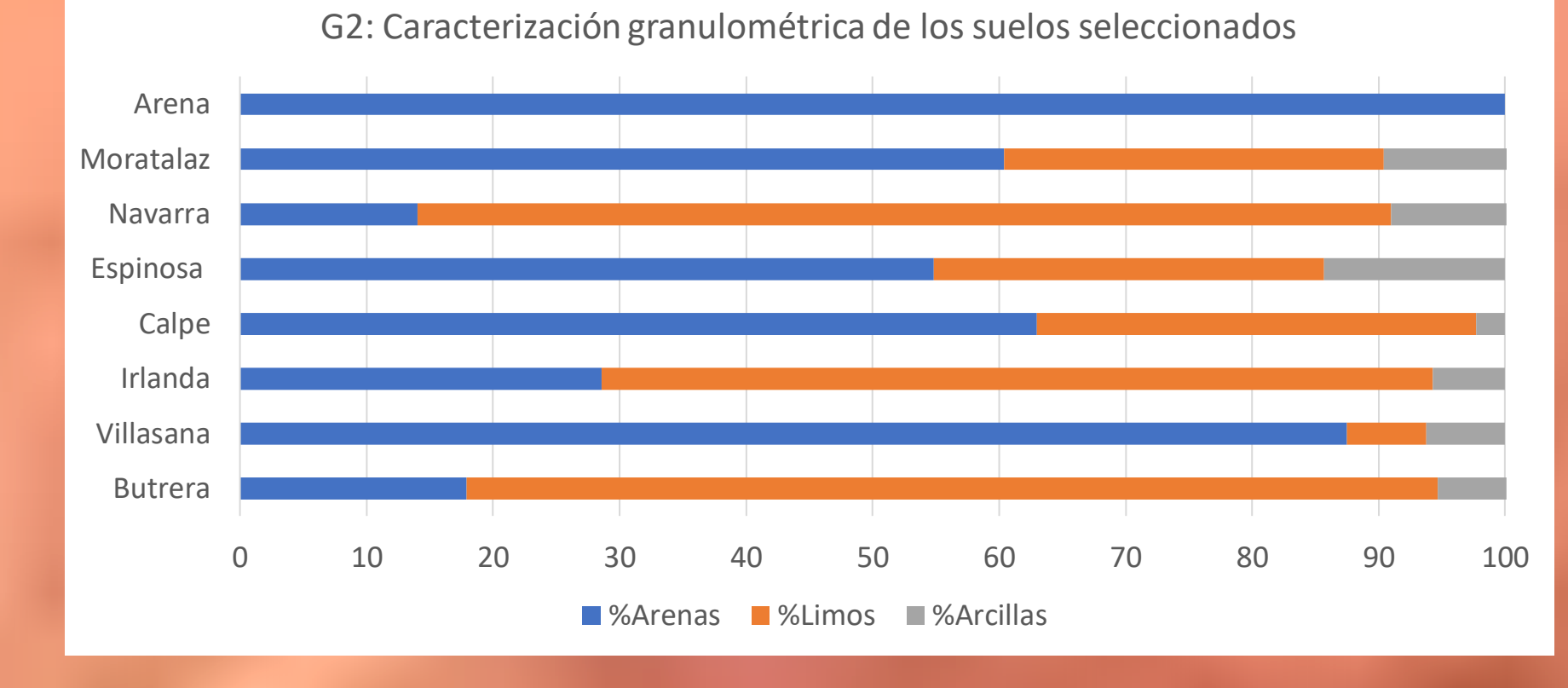
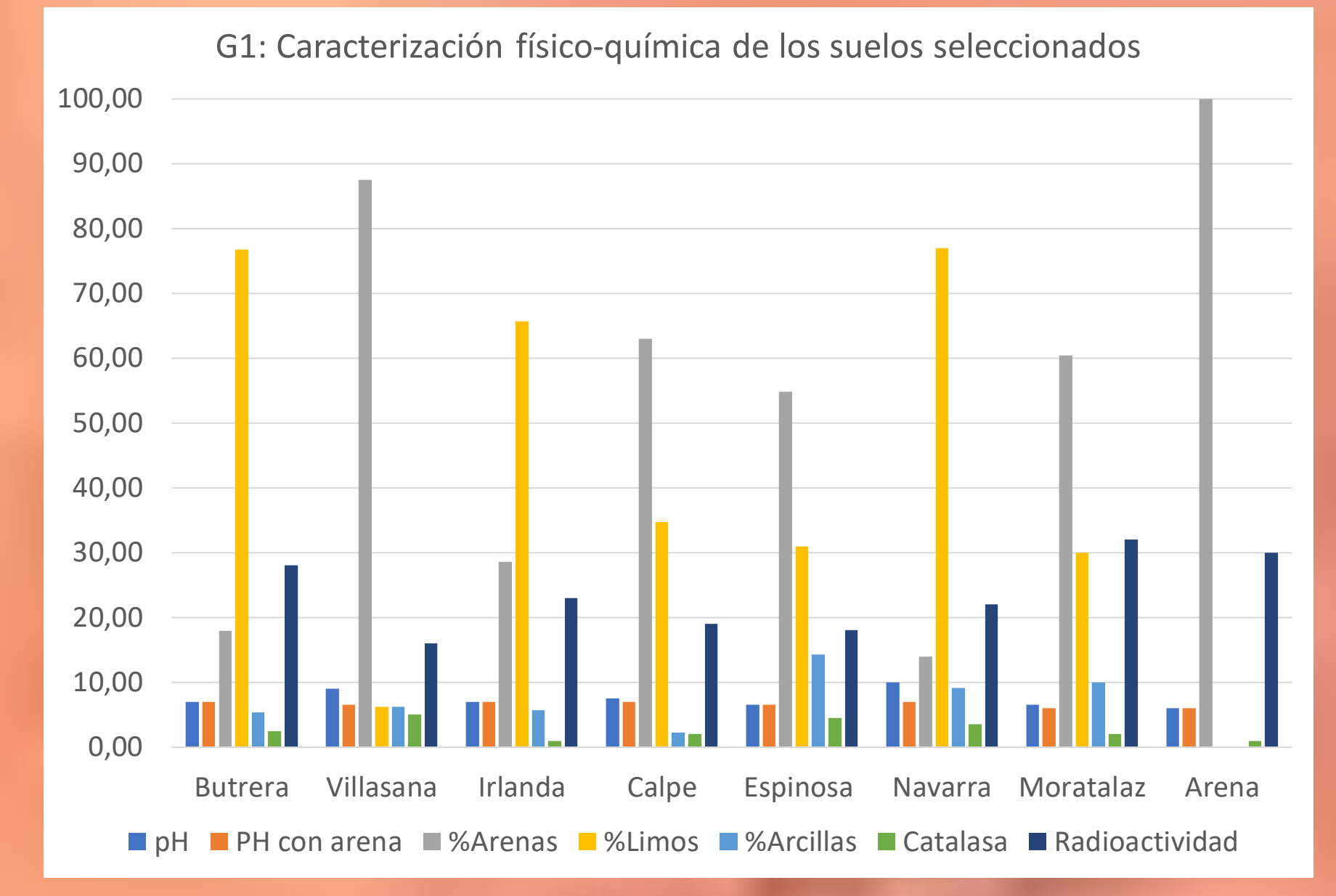
- Merindades: Espinosa de los Monteros, Villasana de Mena, Butrera de Montija.
- Otros lugares de España: Calpe (Alicante), Moratalaz (Madrid), Goñi (Navarra).
- Otros lugares de Europa: Inmediaciones de Dublín (Irlanda).



## RESULTADOS

La mesofauna encontrada fue diversa e interesante, notándose relación directa con la cantidad de materia orgánica del suelo, así como con la actividad catalásica

MUESTRA DE SUELO	MESOFAUNA EDÁFICA (BERLESSE)
Arena estéril	No encontrada
Espinosa de los Monteros	Ácaros, colémbolos, sínfilos, hormigas, lombrices, cochinillas, miriápodos, moluscos (caracollillos y babosas), nematodos.
Villasana de Mena	Colémbolos, miriápodos, hormigas negras y rojas, ácaros rojos, cochinillas.
Butrera de Montija	Ácaros, pequeñas arañas, hormigas, sínfilos
Calpe	Pequeños anélidos (gusanos), nematodos, hormigas.
Moratalaz	Ácaros, nematodos, colémbolos
Goñi	Ácaros, nematodos, colémbolos, pequeños anélidos, nematodos, hormigas.
Dublín	Ácaros, colémbolos, sínfilos, hormigas, lombrices, cochinillas, miriápodos, moluscos (caracollillos y babosas), nematodos.



1.2.- Realizamos diluciones de los suelos con el fin de extraer y describir la microbiota edáfica, sembrando en placas de Petri con agar PCA, propio para el crecimiento de hongos y bacterias. Las imágenes de las placas iniciales (previas al vuelo) se pueden observar en la imagen 1.

Tomando como indicadores de la calidad del suelo la MO, la actividad catalásica, la diversidad en la mesofauna y en la microbiota, consideramos que los suelos con mejor calidad fueron los de Espinosa de los Monteros y Villasana, posibles candidatos para ser los encargados de "revivir" el suelo estéril.

### 2.- DISEÑO DE LA CÁPSULA Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS:

Siguiendo las indicaciones de peso (350 g máxima) y de anclaje que nos marcaba la organización del proyecto Servet X, diseñamos una cápsula con las siguientes características:

ESPECIFICACIONES Y NECESIDADES	SOLUCIÓN
Peso máximo 350 g	Material ligero: Poliestireno expandido de alta densidad
Resistencia a los golpes tanto en el despegue como el aterrizaje	Material resistente: Poliestireno expandido de alta densidad
Diseño ergonómico e innovador: similar a un satélite de comunicaciones poliédrico.	Material deformable y flexible: Poliestireno expandido de alta densidad
Parte cerrada para mantener las muestras protegidas de la radiación y parte abierta para que algunas muestras quedaran expuestas a la radiación.	Forma de submarino: en la bodega de inmersión irán las muestras protegidas (dentro de una botella presurizada) y en la parte alta, se construyó una zona con ventanas triangulares similares a las de la ISS, cubiertas con plástico duro y transparente por el cual podría entrar la radiación solar.
Sellado cuasi hermético para evitar que explote	Pequeños orificios de seguridad, cinta americana y silicona termosellable.
Fácilmente identificable	Colores muy vivos (rojo, amarillo y azul)
Numerosas muestras	Bolsas de zip etiquetadas y con pequeños poros de seguridad
Control de temperatura	Termómetro electrónico similar al que tienen los camiones frigoríficos.
Anclaje y recordado	Debía ser de las primeras en la línea de recordado para asegurar el sol en la parte alta. Piezas de anclaje del cordón nuevas e impresas en 3D con PLA.

Los suelos se introdujeron en bolsas zip etiquetadas (20 g en total de cada uno): una para estar en contacto con la radiación, otra para estar a oscuras y dos vacías como control y se metieron en la cápsula, que se cerró y selló. Después se encordó y se unió a la línea con las demás cápsulas.

También incluimos unas muestras de cultivo de ácaros de la harina

### 3.- VUELO Y RECEPCIÓN DE LA CÁPSULA:

En esta ocasión se eligió la localidad de Calamocha (Teruel) para el despegue de los globos de helio que subirían las 16 cápsulas hasta la estratosfera. Participamos centros de todas partes de España y alguno francés. Había viento sur suave en el suelo pero realmente fuertes en las capas altas de la atmósfera.

Nuestro globo (2) salió de la base a las 11:15h y aterrizó a las 12:53 h en la sierra cercana a Fuentes de Ebro, a unos 180 Km hacia el NE del despegue. Alcanzó los 32275m de altura y lo -58°C en el exterior de la cápsula y los -21°C en el interior de la misma. Las presiones llegaron hasta los 69 mB, cercanas al vacío.

La cápsula llegó intacta al suelo y fue recuperada por miembros de la organización y depositada en las instalaciones de Etiopía en Zaragoza, donde la recogimos y repetimos las analíticas con los suelos.

### 5.- SIGUIENTES PASOS:

Actualmente nos encontramos avanzando en los siguientes focos de la investigación:

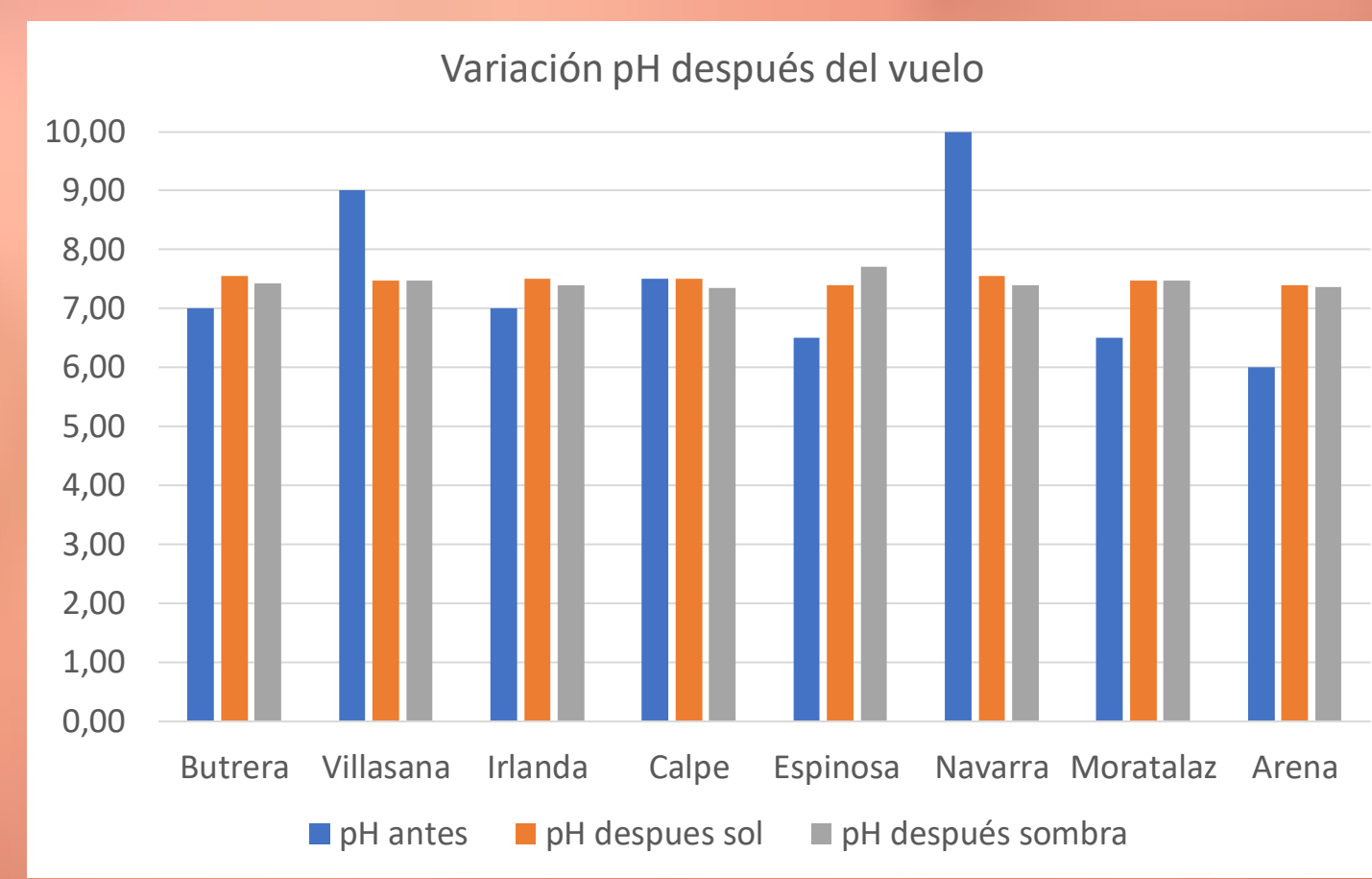
- Análisis genético de las colonias microbianas existentes en el suelo después del vuelo.
- Reconstitución de un suelo estéril a partir de extractos de los suelos con mejores índices de calidad del suelo después del vuelo por la estratosfera: Espinosa y Villasana.

### 4.1.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS:

Los resultados de los parámetros determinados después del vuelo, pueden verse en las gráficas siguientes:

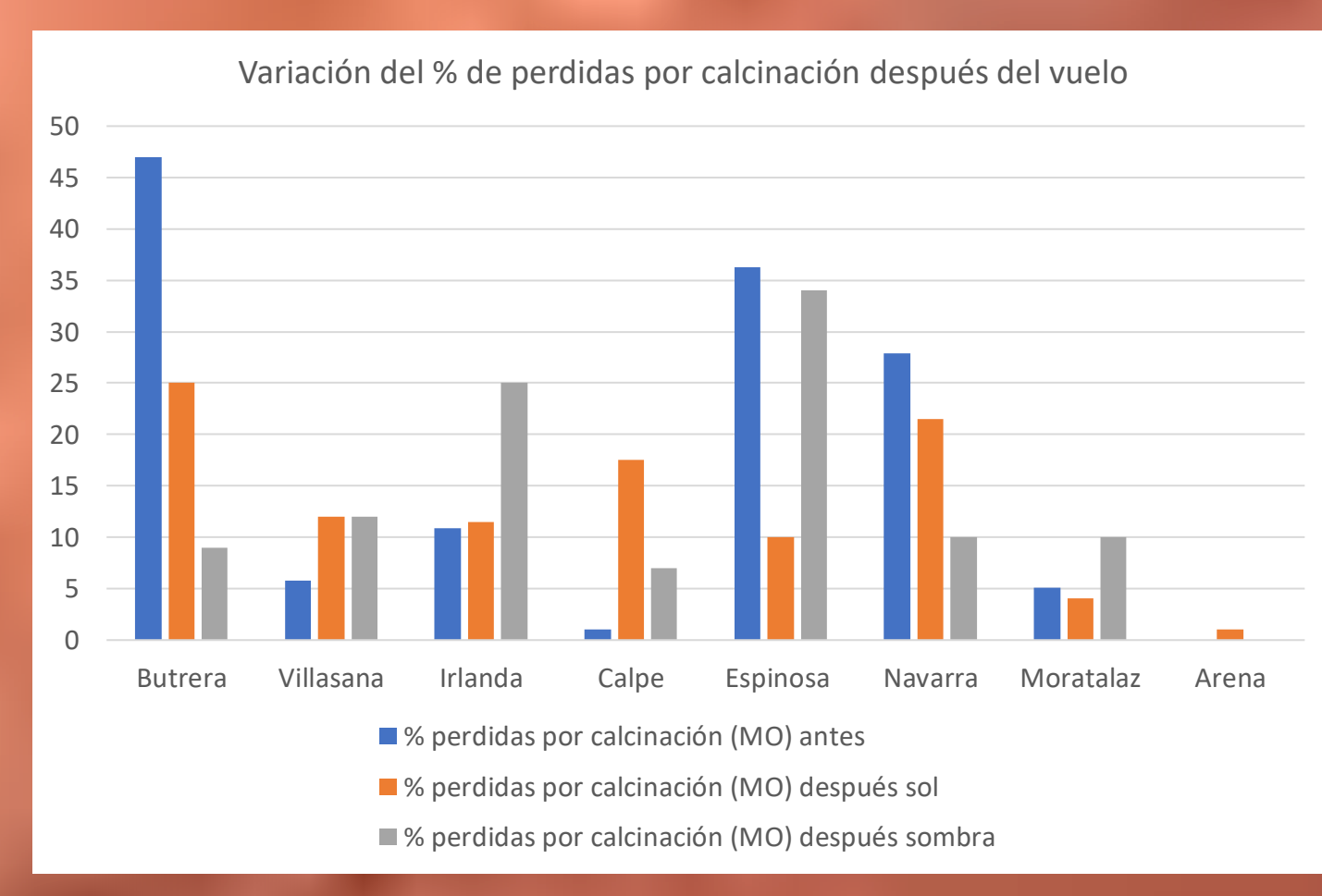
a.- pH.- Las muestras sufrieron unas variaciones leves de pH, pero similar en todas ellas. Parece que existe una tendencia taponante, una estabilización en torno al valor de 7.5. No encontramos una explicación a este proceso ya que, si hubiera habido una degradación de la materia orgánica, el suelo se habría acidificado y por el contrario, en la mayoría de los casos, el pH ha subido.

Se nos ocurre que haya sido problema del agua de disolución, aguas destiladas diferentes con pHs ligeramente diferentes, que hayan sesgado las medidas.



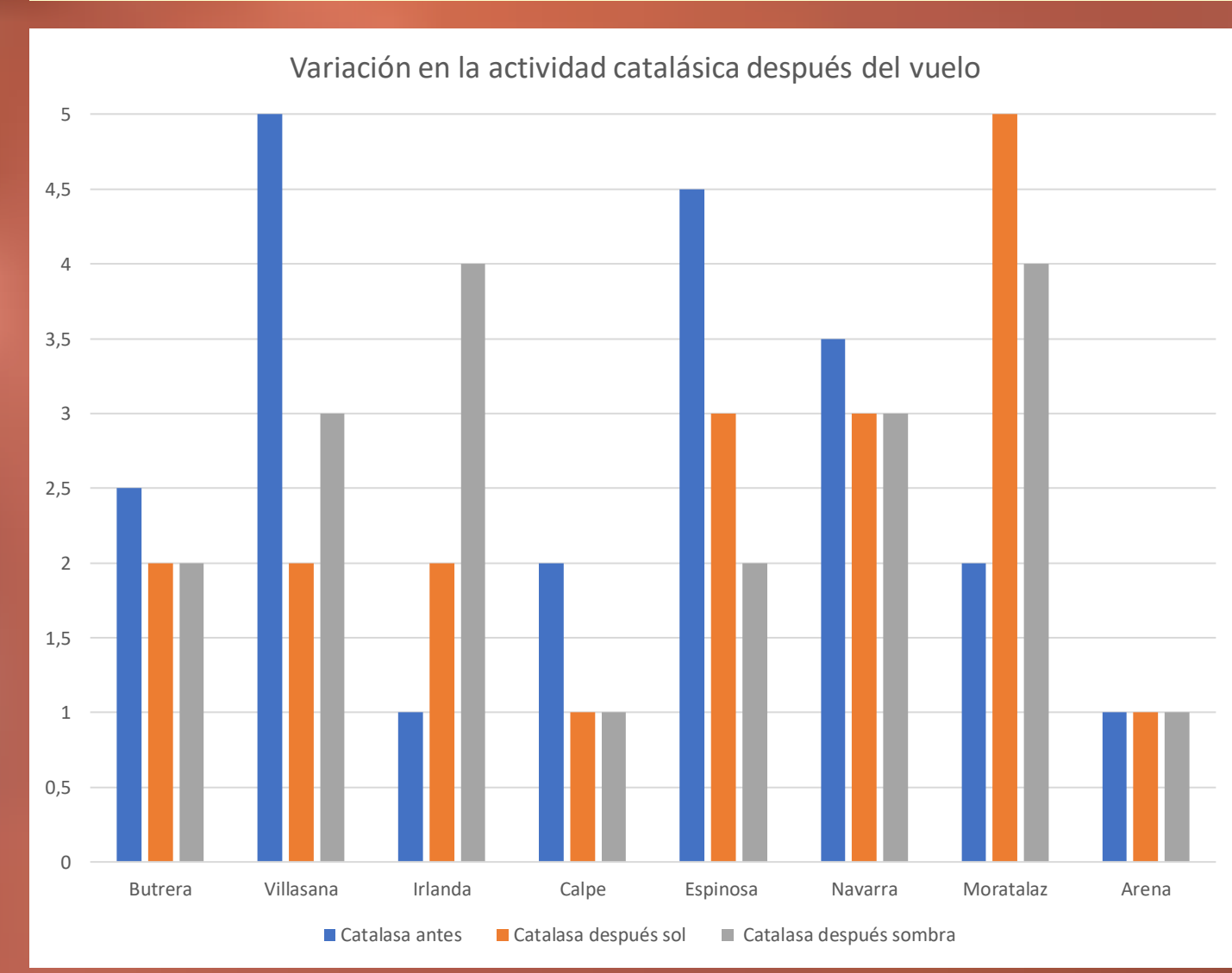
### b.- MATERIA ORGÁNICA.-

se observa una variación del % de pérdidas por calcinación pero no una tendencia clara, casi en cada suelo el patrón es diferente, como si cada uno de ellos se comportara de diferente manera respecto de este parámetro. Quizás la granulometría tenga algo que ver, la meteorización de los componentes minerales debido a la radiación sea diferente en suelos francos que en arenosos o limosos y por ello se observe unas pérdidas tan grandes en MO. El caso del suelo de Irlanda es diferente. Nos planteamos repetir este análisis.



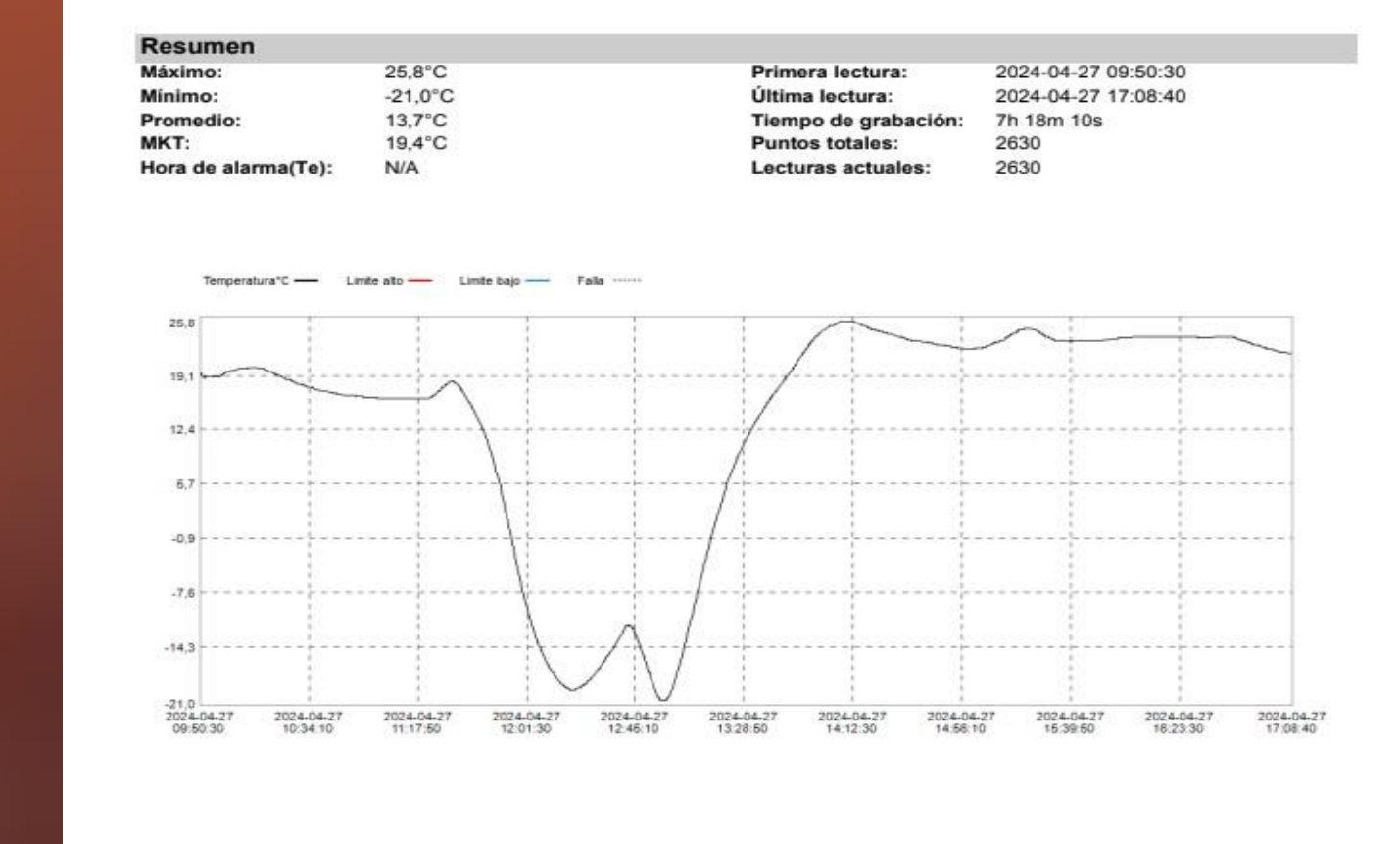
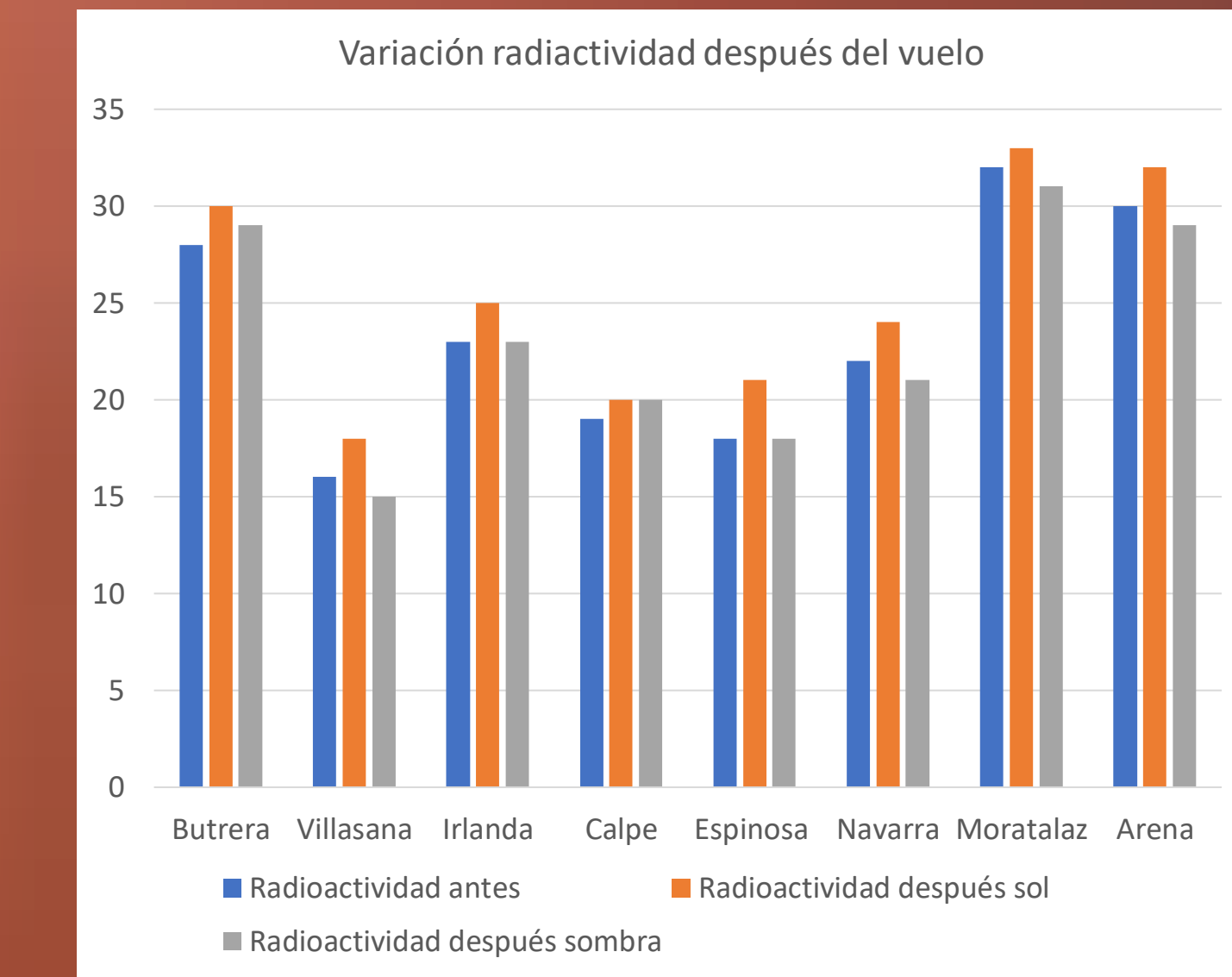
### c.- CATALASA.-

Si bien la tendencia es clara, la actividad catalásica se reduce después del vuelo, debido a la muerte de microorganismos por el frío, las bajas presiones o la radiación, los suelos de Irlanda y Moratalaz se comportan de diferente manera. Quizás pueda deberse a que, al romperse las membranas celulares de los microorganismos, se haya producido una liberación de catalasa exógena que es la que ha hecho incrementar estos valores.



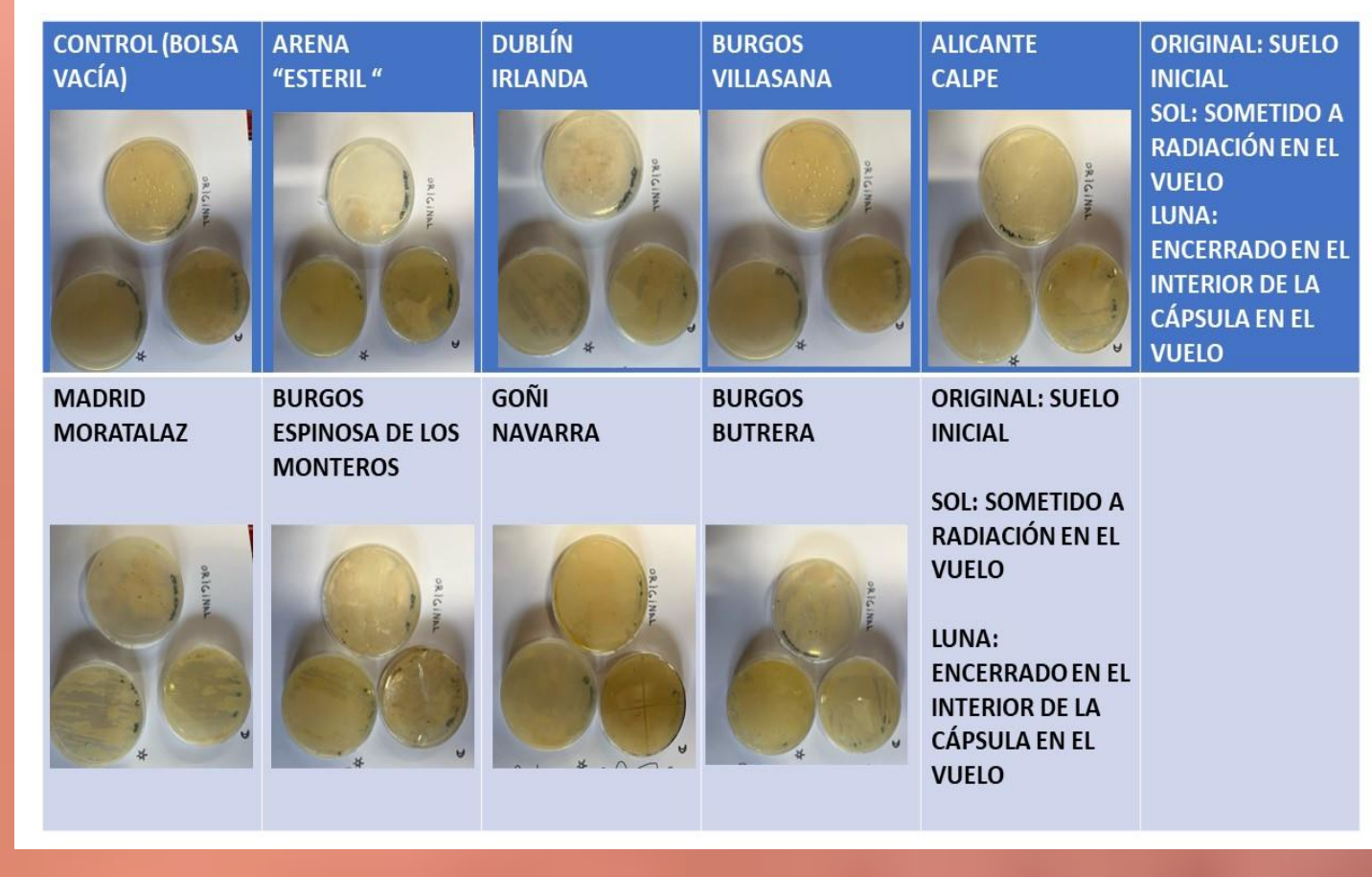
### d.- RADIATIVIDAD.-

Aquí la variación es evidente, la radioactividad se incrementa con el vuelo, siendo mayores los valores en las muestras expuestas a la radiación en todos los casos.



### 4.2.- MICROBIOTA.-

En las imágenes se puede ver claramente, como el efecto de la radiación es evidente en el número de microorganismos viables que quedan en cada suelo después del vuelo: las placas sembradas con suelos expuestos al sol presentan menos desarrollo microbiano que en aquellas placas que han estado a la sombra y que en las muestras originales. Los suelos que tenían más microorganismos al inicio de la experiencia, siguen siéndolo al final: Espinosa de los Monteros y Villasana de Mena.



### 4.3.- ÁCAROS: aquellos que estuvieron dentro de la botella presurizada sin exposición directa a la radiación, presentaban algo de actividad, alguno sobrevivió. No sucedió lo mismo con los que estaban en el exterior. Ninguno estaba vivo.

## CONCLUSIONES

- La acción de las bajas temperaturas y presiones y el incremento de la radiactividad han modificado tanto los parámetros físico-químicos del suelo como los microbiológicos del suelo, afectando al desarrollo microbiano y a la calidad del suelo.
- Pese a los cambios sufridos, los suelos con valores de índice de calidad del suelo mayores antes del vuelo, lo continúan siendo después de este: Espinosa y Villasana. Estos suelos serán los elegidos para intentar recolonizar un suelo estéril.
- El análisis genético de las colonias microbianas nos daría mucha información sobre las mutaciones sufridas por los microorganismos de cara a prever cómo serían los microorganismos que pudieran sobrevivir en condiciones similares a las de la Luna o Marte.



## BIBLIOGRAFÍA

- <https://www.foo.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/evaluacion-de-los-indicadores-globales-de-la-salud-del-suelo/es/>
- <https://www.revistecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1598>
- [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=50378-7818209000300003](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=50378-7818209000300003)
- [https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2012/02/147068main\\_Making\\_Regolith\\_Student\\_sp.pdf](https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2012/02/147068main_Making_Regolith_Student_sp.pdf)
- <https://www.xataka.com/espacio/esa-quiere-converter-suelo-lunar-fuente-exigeno-metales-utiles-para-conquistar-espacio>
- <https://vigilantesdelsuelo.es/>