

Microbiological activity as a quality indicator in sandy soils on beaches in Puerto Cabello municipality, Carabobo state

Joselin Albuja^{*a} , Arnaldo Armado^b 

^a Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente (LIBSA). Centro de Investigación y Extensión en Ambiente, Biología y Química (AMBIOQUIM), Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

^b Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente (LIBSA). Centro de Investigación y Extensión en Ambiente, Biología y Química (AMBIOQUIM), Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.



<https://doi.org/10.54139/revinguc.v29i2.177>

Abstract.- Coastal ecosystems are affected by degradation processes due to various anthropogenic activities. It is necessary to evaluate these degradation processes to establish cause-effect relationships that allow the development of methods for restoration, maintenance and improvement of soil quality in these ecosystems. Microbiological activity is one of the parameters most affected by anthropogenic activity. For this reason, the objective was to evaluate the microbiological activity and microbial biomass, as well as physicochemical parameters in soils from El Palito, Waikiki and Blanca beaches from the Puerto Cabello municipality, Carabobo state. Microbiological activity was estimated through the determination of basal respiration (RB) and biomass carbon (Cbiomass) by the fumigation-incubation method. The microbiological parameters were sensitive to seasonal changes and constitute the two variables that define the system, with 99 % variance, according to the principal component analysis. Both RB and Cbiomass were negatively correlated with pH, while Cbiomass was positively correlated with organic matter and RB. Finally, it is concluded that the evaluated indicators are sensitive to changes in the dynamics of sandy soils in the study area.

Keywords: environmental pollution; microbial biomass; respiration; sandy soils.

Actividad microbiológica como indicador de calidad en suelos arenosos de playas del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo

Resumen.- Los ecosistemas costeros son afectados por procesos de degradación debido a diversas actividades antropogénicas. Se hace necesario evaluar estos procesos degradativos para establecer relaciones causa-efecto que permitan desarrollar métodos de restauración, mantenimiento y mejora de la calidad del suelo en dichos ecosistemas. La actividad microbiológica es uno de los parámetros más afectados por la actividad antropogénica. Por esta razón, se planteó como objetivo evaluar la actividad microbiológica y biomasa microbiana, además de parámetros fisicoquímicos en suelos de las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo. La actividad microbiológica se estimó a través de la determinación de la respiración basal (RB) y el carbono de la biomasa (Cbiomasa) por el método de fumigación-incubación. Los parámetros microbiológicos resultaron sensibles a los cambios estacionales y constituyen las dos variables que definen el sistema, con un 99 % de varianza, según el análisis de componentes principales. Tanto la RB como el Cbiomasa se correlacionaron negativamente con el pH, mientras que el Cbiomasa se correlacionó positivamente con la materia orgánica y la RB. Finalmente, se concluye que los indicadores evaluados son sensibles a los cambios en la dinámica de los suelos arenosos en el área de estudio.

Palabras clave: contaminación ambiental; biomasa microbiana; respiración; ecosistemas costeros.

Recibido: 13 de septiembre, 2022.

Aceptado: 31 de octubre, 2022.

1. Introducción

La zona costera se considera una región amplia y heterogénea que mantienen interacciones físicas, químicas y biológicas, donde ocurren intercambios dinámicos de energía y materiales entre ecosistemas terrestres, marinos y la atmósfera. Por tanto, la conservación de los elementos bióticos y abióticos

* Autor para correspondencia:

Correo-e: jalbuja@uc.edu.ve (J. Albuja)

es un aspecto fundamental para la continuidad de los servicios ecosistémicos que proporcionan estos ambientes [1]. Dentro de estos servicios se tienen los de provisión de insumos alimenticios, los servicios de regulación, ayudando a mantener el equilibrio ecológico perseverando la calidad del agua y el secuestro de carbono y los de apoyo que incluyen procesos como los ciclos de nutrientes, entre otros [2].

La mayoría de estos procesos se desarrollan en los suelos de estos ecosistemas y al igual que con suelos destinados a usos agrícolas, están experimentando una presión antropogénica muy grande; sin embargo, los arenales, que son un orden de suelo característico de los ecosistemas de playas y dunas costeras, han sido poco estudiados [3]. Estas zonas reciben cada vez más, una variedad de impactos negativos como la contaminación producto de actividades industriales, explotación de especies costeras y actividades turísticas y recreativas, por lo que es necesario evaluar su calidad ambiental.

La calidad de un suelo incluye componentes intrínsecos, determinados por las propiedades físicas, químicas y biológicas dentro de los límites establecidos por el clima y los ecosistemas; asimismo, está condicionada por un componente externo de índole antrópico [4]. Este constructo tiene un carácter funcional e incluye variables, conocidas como indicadores de calidad del suelo, que ofrecen información sobre las propiedades, procesos y características del suelo así como también sobre su funcionalidad con respecto al ambiente. Estas variables son consideradas herramientas de medición que indican si la calidad de un suelo mejora, permanece constante o disminuye [5]. Actualmente, se han dirigido esfuerzos hacia la búsqueda de indicadores adecuados para funciones diferentes a la productividad agrícola; dentro de este grupo, los parámetros de tipo biológico, representan una gran ventaja, debido a que ofrecen señales tempranas de los cambios que sufren los suelos por la intervención antrópica [6].

En este sentido, se considera a las propiedades bioquímicas del suelo indicadores de cambios en los procesos edáficos, debido a su sensibilidad y su relación con la actividad microbiana y los

procesos de mineralización de la materia orgánica [7]. La actividad microbiana se desarrolla según factores intrínsecos y extrínsecos al suelo, por lo que constituye un indicador de las condiciones fisicoquímicas que permiten el desarrollo de los procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y actinomicetos y su acción sobre los sustratos [5].

Algunos de los indicadores de uso frecuente son la respiración y el carbono de la biomasa microbiana. La respiración, evaluada a través de la producción de CO_2 , refleja directamente la actividad microbiana e indirectamente la disponibilidad de sustrato. En el caso del carbono de la biomasa microbiana, este se considera relevante debido a que constituye una fracción del carbono total, es reservorio de nutrientes y es más lábil que la materia orgánica [8]. La respiración microbiana refleja las pérdidas de carbono del suelo por acción de la biota edáfica [9], cuando estas pérdidas son excesivas pueden generar reducciones en la biomasa microbiana y en la materia orgánica del suelo. La biomasa microbiana cuantifica la cantidad global de microorganismos presentes en un suelo [10]. Se considera la parte de la materia orgánica del suelo que constituye microorganismos vivos menores de $5\text{-}10\text{ m}^3$ [11].

En el caso específico del municipio Puerto Cabello, en el estado Carabobo se encuentran industrias como refinerías cercanas a playas arenosas que impactan de manera negativa, tanto el ecosistema marino, como el terrestre. El incremento de estas actividades pueden modificar los procesos bioquímicos naturales y el funcionamiento de ecosistemas muy productivos, debido a que sus residuos pueden contener gran cantidad de metales y otras sustancias contaminantes que ocasionarían cambios notables en la calidad del sedimento superficial [12]. Dependiendo de las condiciones hidrodinámicas de las playas arenosas, este tipo de contaminantes puede tener un gran impacto en los organismos acuáticos, ya que tienden a bioacumularse a través de las cadenas tróficas. Estas especies tienden a disminuir la biomasa microbiana en el suelo, ya que propician condiciones de estrés en los microorganismos lo que implica un gasto energético adicional que involucra disminución del sustrato disponible,

afectando las funciones y estructura del suelo y los ciclos de nutrientes [13].

En tal sentido, se hace necesaria la evaluación de los procesos de degradación a los que están siendo sometidos estos ecosistemas a fin de establecer las relaciones causa-efecto que permitan desarrollar métodos para la restauración, mantenimiento e incremento de la calidad del suelo. Esto es de particular relevancia para los objetivos del desarrollo sostenible que la comunidad internacional se ha comprometido a alcanzar y que solo es posible si los recursos naturales, como el suelo, son gestionados de forma razonable [14]. Por todo lo antes expuesto, es de gran importancia el estudio de parámetros que puedan ser utilizados como indicadores ambientales en la determinación de la calidad de suelos arenosos característicos de ecosistemas costeros. En esta investigación se planteó el estudio de la actividad microbiológica en suelos arenosos del municipio Puerto Cabello del estado Carabobo como posible indicador ambiental. Resultados parciales de esta investigación fueron presentados en la Conferencia LatinXChem 2021 [15].

2. Metodología

Se seleccionaron tres playas para el estudio: Playa El Palito (EP), Playa Waikiki (W) y Playa Blanca (PB), ubicadas en el municipio Puerto Cabello, estado Carabobo (Figura 1).

En cada playa se tomaron cuatro unidades de muestreo, distribuidas en función de las zonas de la playa. Dos unidades en el área correspondiente a la duna, denominada zona seca (S) y dos en la intermareal, señalada como zona húmeda (H). En cada unidad de muestreo se tomaron 10 submuestras simples superficiales (0-20 cm) y 10 submuestras subsuperficiales (20-40 cm) para obtener las muestras compuestas. Las muestras se tomaron en julio 2019 en la estación lluviosa y en marzo 2020 en estación seca. Las coordenadas de las unidades de muestreo se presentan en la Tabla 1.

Se tomó una alícuota de 500 g de cada muestra y se almacenaron en bolsas plásticas a 4 °C para la evaluación de las propiedades microbiológicas. El resto de las muestras fueron

secadas al aire a temperatura ambiente para los análisis de parámetros fisicoquímicos. La textura se estimó a través del método descrito por Bouyoucos [16], el pH y la conductividad se determinaron en un extracto acuoso en proporción 1:2 (m/v), la retención y el contenido de humedad se estimaron gravimétricamente. La materia orgánica se determinó por el método escrito por Cargua [17] y el carbono orgánico total (COT) se determinó mediante oxidación húmeda con H₂SO₄ concentrado y K₂Cr₂O₇ 2N y el Cr (III) se midió espectrofotométricamente a 600 nm. La respiración basal se determinó utilizando el método de incubaciones estáticas, referenciado por Pardo [18] y la biomasa microbiana se evaluó empleando la metodología de fumigación con cloroformo y posterior incubación, propuesta por Brookes [19].

Para el análisis estadístico se utilizó el software libre PAST 3.24 donde se verificaron los supuestos de normalidad y se realizó una comparación de medias a través del estadístico prueba Tukey, con un nivel de confianza del 95 %, entre las unidades de muestreo evaluadas. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para establecer las variables representativas en las zonas estudiadas y un análisis de correlaciones de Pearson a fin de estudiar las relaciones entre los indicadores seleccionados para el estudio.

3. Análisis y Discusión de Resultados

En las Tablas 2 y 3 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos determinados para los suelos en estudio.

En los resultados obtenidos se refleja que el porcentaje de arena varía entre 89 y 91 %; mientras que el de arcilla varía entre 8,7 y 10 % (Tabla 2 y Tabla 3). Esto permite clasificar los suelos como Arenosoles [20]. La variación textural a lo largo de todas las zonas señala una ligera tendencia a disminuir el tamaño de grano desde la playa (zona seca) hacia la zona intermareal, tal como lo describe Bunicontro [21]. Esta diversificación en los tamaños influye en gran medida en las propiedades fisicoquímicas de estos suelos como aireación, movimiento del agua,

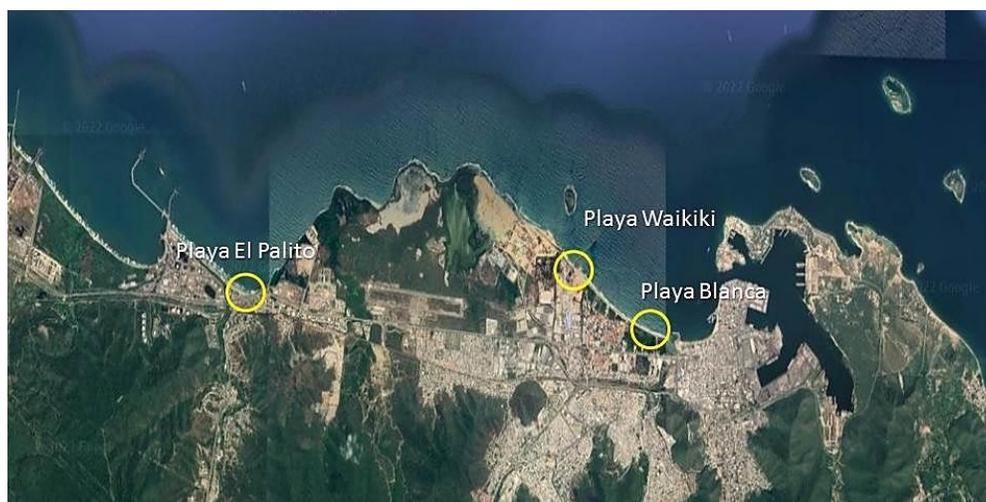


Figura 1: Ubicación de las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo. Fuente: Google Maps.

Tabla 1: Ubicación de unidades de muestreo en las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo

Unidad de muestreo	Coordenadas	
	Estación lluviosa	Estación seca
EPS	Lat 10,480057 N 10°28'48,204.12"	Lat 10,480100 N 10°28'48,36"
	Long -68,106778 W 68°6'24,401.88"	Long -68,107373 W 68°6'26,291.88"
EPH	Lat 10,481915 N 10°28'54,894"	Lat 10,482212 N 10°28'55,962.12"
	Long -68,111495 W 68°6'41,382"	Long -68,112018 W 68°6'43,265.88"
WS	Lat 10,480179 N 10°28'24,877.9"	Lat 10,480276 N 10°28'48,991.8"
	Long -68,106853 W 68°6'24,823.8"	Long -68,107255 W 68°6'26,118"
WH	Lat 10,482082 N 10°28'55,491.2"	Lat 10,482207 N 10°28'55,944.12"
	Long -68,111370 W 68°6'40,932"	Long -68,111647 W 68°6'41,928.12"
PBS	Lat 10,482413 N 10°28'56,687.88"	Lat 10,482021 N 10°28'55,276.68"
	Long -68,038520 W 68°2'18,672"	Long -68,037872 W 68°2'16,337.76"
PBH	Lat 10,483362 N 10°29'0,102.12"	Lat 10,483530 N 10°29'0,708"
	Long -68,039805 W 68°2'23,297.64"	Long -68,039895 W 68°2'23,622"
PBS	Lat 10,482387 N 10°28'56,592.12"	Lat 10,482053 N 10°28'55,391.88"
	Long -68,038443 W 68°2'18,395.88"	Long -68,037822 W 68°2'16,158.12"
PBH	Lat 10,483477 N 10°29'0,516.12"	Lat 10,483550 N 10°29'0,78"
	Long -68,039822 W 68°2'23,358.12"	Long -68,040028 W 68°2'24,101.88"
PBS	Lat 10,473664 N 10°28'25,189.32"	Lat 10,477441 N 10°28'38,788.68"
	Long -68,017637 W 68°1'3,494.64"	Long -68,010303 W 68°0'37,091.88"
PBH	Lat 10,473838 N 10°28'25,817.8"	Lat 10,473891 N 10°28'26,006.52"
	Long -68,017490 W 68°1'2,964"	Long -68,018205 W 68°1'5,538.72"

retención de humedad, retención y liberación de iones, disponibilidad de nutrientes y productividad.

Los valores de pH obtenidos varían en un rango entre 7,5 y 8,9; lo cual indica que los suelos evaluados se clasifican como alcalinos. La alcalinidad de suelos con las características de las playas arenosas puede atribuirse a factores como una evotranspiración potencial mayor que la precipitación lo que genera un déficit de agua que disminuye la remoción de bases; de igual

forma, a fuentes antropogénicas de contaminantes inorgánicos, entre otros.

En cuanto a la conductividad, su determinación en extractos de suelos permite estimar su contenido de sales, observándose una variación desde 0,2 hasta 7,4 mS. La salinidad, entre otros factores, hacen que el suelo pueda resultar un medio desfavorable para la mayoría de los microorganismos, especialmente, los nitrificadores [22]. Este parámetro influye en parámetros

Tabla 2: Parámetros fisicoquímicos de suelos arenosos de las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo, estación lluviosa

	Zona seca			Zona húmeda		
	EP	W	PB	EP	W	PB
A (%)	91,28 ± 0,10	89,90 ± 0,00	90,00 ± 0,47	91,20 ± 0,83	90,90 ± 0,87	89,95 ± 0,21
Ar (%)	8,73 ± 0,10	10,20 ± 0,00	10,0 ± 0,47	8,83 ± 0,82	8,73 ± 0,10	10,05 ± 0,21
pH	8,49 ^a ± 0,17	8,94 ^b ± 0,19	7,58 ^c ± 0,02	8,38 ^a ± 0,27	7,96 ^a ± 0,32	8,27 ^a ± 0,21
Cond (mS)	0,92 ^a ± 0,80	0,30 ^a ± 0,18	0,26 ^a ± 0,10	7,47 ^b ± 0,78	4,99 ^b ± 3,28	6,66 ^b ± 0,45
RH (%)	29,16 ^a ± 1,51	22,77 ^b ± 1,80	24,78 ^a ± 0,23	26,85 ^a ± 1,16	26,29 ^a ± 0,42	25,15 ^a ± 0,08
CH (%)	3,76 ^a ± 1,69	2,90 ^a ± 0,93	2,10 ^a ± 2,02	22,23 ^b ± 1,41	13,69 ^c ± 7,65	17,50 ^b ± 1,34
MO (%)	0,18 ^a ± 0,03	0,17 ^a ± 0,09	0,09 ± 0,03	0,25 ^a ± 0,02	0,15 ^a ± 0,02	0,23 ^a ± 0,08
COT (gC/kg ss)	0,83 ± 0,73	0,31 ± 0,06	0,37 ± 0,26	0,39 ± 0,19	0,55 ± 0,13	0,67 ± 0,07

EP: Playa El Palito; W: Playa Waikiki; PB: Playa Blanca; A: Arena; Ar: Arcilla; Cond: Conductividad; RH: Retención de humedad; CH: Contenido de humedad; MO: Materia orgánica; COT: Carbono orgánico total. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre los sistemas (Prueba Tukey, $P < 0,05$)

Tabla 3: Parámetros fisicoquímicos de suelos arenosos de las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo, estación seca

	Zona seca			Zona húmeda		
	EP	W	PB	EP	W	PB
A (%)	90,63 ± 0,96	90,08 ± 0,43	89,95 ± 0,07	90,48 ± 1,23	90,20 ± 0,82	90,0 ± 0,14
Ar (%)	9,38 ± 0,96	9,95 ± 0,38	10,05 ± 0,07	9,55 ± 1,18	9,03 ± 0,66	10,0 ± 0,14
pH	7,88 ^c ± 0,07	8,10 ^a ± 0,11	8,02 ^a ± 0,01	7,76 ^c ± 0,04	7,76 ^c ± 0,04	7,74 ^c ± 0,03
Cond (mS)	2,39 ^a ± 0,34	1,57 ^a ± 0,30	1,26 ^a ± 0,34	6,56 ^b ± 1,47	5,04 ^b ± 0,60	4,31 ^a ± 1,55
RH (%)	30,95 ^c ± 4,94	24,43 ^a ± 0,52	23,27 ^a ± 2,36	30,28 ^c ± 0,92	24,64 ^a ± 1,78	23,56 ^a ± 0,75
CH (%)	4,44 ^a ± 2,42	1,58 ^a ± 0,33	1,20 ^a ± 0,44	20,27 ^b ± 3,03	13,39 ^c ± 4,59	16,53 ^b ± 1,61
MO (%)	0,28 ^a ± 0,05	0,14 ^a ± 0,02	0,13 ^a ± 0,02	0,40 ^b ± 0,04	0,23 ^a ± 0,05	0,26 ^a ± 0,03
COT (gC/kg ss)	0,82 ± 0,29	0,29 ± 0,24	0,20 ± 0,01	0,77 ± 0,11	0,30 ± 0,15	0,56 ± 0,02

EP: Playa El Palito; W: Playa Waikiki; PB: Playa Blanca; A: Arena; Ar: Arcilla; Cond: Conductividad; RH: Retención de humedad; CH: Contenido de humedad; MO: Materia orgánica; COT: Carbono orgánico total. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre los sistemas (Prueba Tukey, $P < 0,05$)

biológicos como el carbono microbiano [23]. En el caso de estudio, se observó que la conductividad fue más alta en las zonas húmedas, donde la mayor contribución de sales proviene del agua de mar.

Los valores de retención de humedad evidencian variaciones desde 22,7 a 30,95 % (Tabla 2 y Tabla 3). La capacidad de retención de agua por el suelo depende de las fuerzas que se desarrollan en este y dependen de factores como el tamaño de las partículas y la porosidad. El tamaño de los poros está definido por la estructura y textura del suelo; poros grandes se asocian a texturas gruesas y los pequeños a texturas finas. A menor tamaño del poro, mayor es la fuerza con la que es retenida el agua. En este caso, la retención del agua es baja. Con respecto al contenido de humedad de los suelos estudiados, varía de 1,2 a 4,4 % en las zonas secas, mientras que en las húmedas va de 13,39 a 22,27 %. La cantidad de agua que posee el suelo está determinada por su textura, el contenido

de materia orgánica, la composición de la fracción mineral y la orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte natural (lluvia y mar) o artificialmente (riego) de ella, así como por el consumo causado por la evapotranspiración. En este caso, los valores obtenidos son bajos, lo que concuerda con las condiciones climáticas e hidrodinámicas características de las playas.

La materia orgánica es un parámetro que tiene efectos importantes sobre las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo. En los suelos evaluados se observó una variación de 0,09 a 0,4 %. En este tipo de suelos, el contenido de materia orgánica tiende a ser bajo, lo que es característico de suelos arenosos. La materia orgánica, en todas sus diferentes formas, tiene efectos marcados en casi todas las propiedades del suelo, regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y es el centro de todas las actividades biológicas, incluyendo las

de la microflora, las de la fauna y hasta las del sistema de raíces de plantas superiores. El carbono orgánico total varió de 0,2 a 0,8 gC/kgss. Estos resultados son bastante bajos, lo que indica que la disponibilidad de este elemento como nutriente está limitada.

4. Actividad microbiológica

La actividad microbiológica se determinó a través de la respiración basal (RB). De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 2), este parámetro varió de 33,63 a 125,60 mgC – CO₂/kg en la estación lluviosa y de 185,31 a 250,12 mg C – CO₂/kg en la estación seca. Se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los distintos puntos de muestreo entre playas en la estación lluviosa, mientras que en la estación seca no se observan diferencias significativas entre las zonas evaluadas. Al comparar la respiración basal en las estaciones en las que se realizó el muestreo, se observa que esta es mayor en la estación seca. Estos resultados concuerdan con lo descrito por Cui [24], que establece que la reducción del contenido de agua en el suelo, producto de sequías, aumenta el contenido de O₂ en el suelo, aumentando así la tasa de descomposición de la materia orgánica y la liberación de CO₂. Liu [25] también encontró una disminución en la respiración edáfica en los períodos lluviosos debido a la limitación de la aireación del suelo que conlleva a la reducción de la concentración del oxígeno disuelto. En la estación lluviosa, un suelo saturado puede producir condiciones anóxicas restringiendo la respiración del suelo [26].

Las diferencias observadas entre las zonas secas y húmedas se asocian a las condiciones a las que están sometidas cada una. En el caso de la zona intermareal, esta franja está expuesta a condiciones hidrodinámicas características de cada playa, lo que condiciona la biodiversidad allí existente, a diferencia de la zona seca (espacio hacia tierra), en la que la afectación es principalmente la actividad antropogénica de tipo turístico y las condiciones eólicas de la zona. Tanto en playa El Palito como en Waikiki no se observan diferencias significativas entre las zonas seca y húmeda, mientras que

en Playa Blanca se evidencia el comportamiento contrario. Esto puede asociarse a que la zona húmeda de esta playa en la estación lluviosa tiene un mayor contenido de materia orgánica con respecto a la zona seca, lo que promueve una mayor disponibilidad de sustrato para ser mineralizado.

5. Carbono de biomasa microbiana (C biomasa)

El carbono de la biomasa microbiana se cuantificó a través del método de fumigación-incubación. Este método se basa en la ruptura de la membrana celular por un biocida, siendo el cloroformo uno de los más utilizados debido a que no solubiliza la materia orgánica no microbiana del suelo y la vuelve susceptible a descomposición [27].

Los resultados obtenidos para el carbono de la biomasa microbiana (Figura 3) en la estación varían de 53,16 a 209,75 mgCbiomasa/kgss en la estación lluviosa, mientras que en la estación seca varía desde 546,42 hasta 818,53 mgCbiomasa/kgss. En este caso, no se observó diferencia significativa entre las distintas unidades de muestreo en la estación lluviosa; sin embargo, en la estación seca se observaron diferencias significativas entre las zonas intermareales de playa El Palito y Waikiki con respecto a las otras zonas evaluadas.

El comportamiento evidenciado es similar al de la actividad microbiológica, reflejándose valores más altos en la estación seca que en la lluviosa. Al disminuir las precipitaciones, también lo hace el arrastre de material al mar y hay mayor disponibilidad de sustrato para los microorganismos, lo que aumenta la biomasa microbiana presente en estos suelos. El crecimiento microbiano producto del acceso a compuestos orgánicos depende de la mayor disponibilidad de carbono en el suelo [28]. La disminución de la biomasa microbiana luego de períodos de lluvia está asociada a posibles limitaciones de sustrato disponible o a cambios en la estructura de las comunidades microbianas [29].

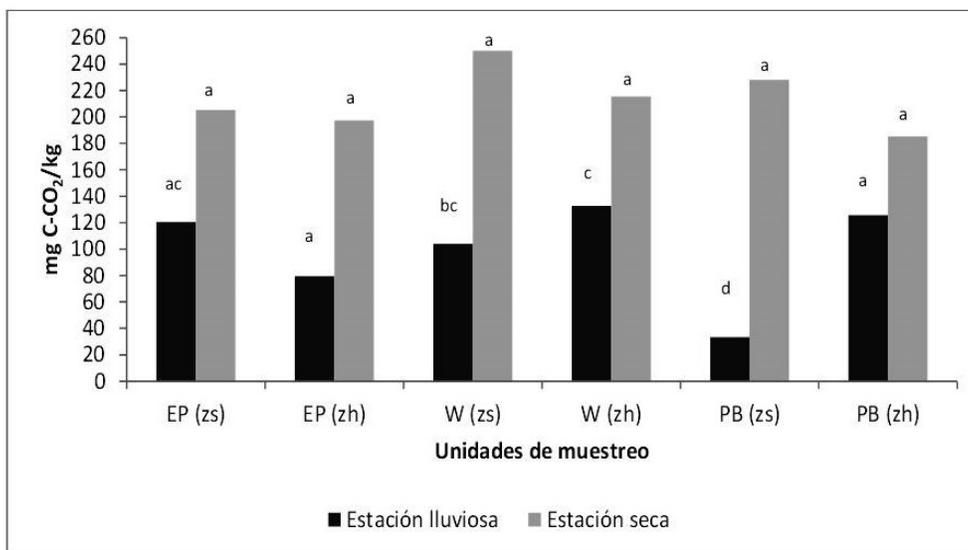


Figura 2: Respiración basal en las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo

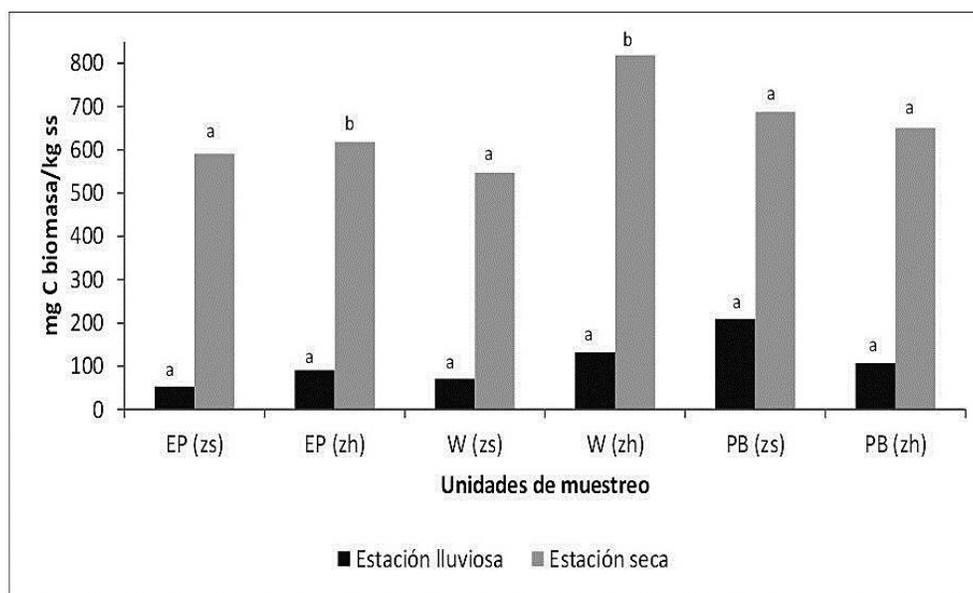


Figura 3: Biomasa microbiana determinada por el método de Fumigación-Incubación en las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo

6. Análisis de componentes principales (ACP)

Para disminuir la dimensionalidad de los datos, determinar si existen agrupamientos y encontrar variables que resuman la información [4] se realizó un análisis de componentes principales (Figura 4). De allí se obtuvieron dos componentes que representan más del 99 % de la varianza total de los datos. La contribución relativa de

cada parámetro (Tabla 4) evidencia valores muy bajos para las variables analizadas, excepto para el carbono de la biomasa microbiana en el CP1 (>0,9 %) y para la respiración del suelo en el CP2 (>0,9 %). Esto indica que los parámetros asociados a la actividad microbiológica pueden representar en gran medida la calidad de los suelos arenosos estudiados. La distribución mostrada en la Figura 4

refleja que las unidades de muestreo analizadas se diferencian según la estacionalidad, CP1 con la estación seca y CP2 con la lluviosa, y no según la playa, por lo que es posible inferir que las variables que describen los componentes principales 1 y 2 no tienen carácter de especificidad con respecto a las zonas evaluadas. Por tanto, pueden integrarse en un índice de calidad ambiental en suelos arenosos de modo general.

Tabla 4: Coeficientes asociados a los parámetros evaluados en el Análisis de Componentes Principales de las distintas unidades de muestreo de los suelos arenosos de las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo

Parámetro	CP1	CP2
A (%)	-0,00059955	0,0019534
Ar (%)	0,00051913	-0,0024418
pH	-0,00057608	-0,0014208
Conductividad (mS)	0,0016683	-0,0021728
RH (%)	0,0010711	0,0055766
CH (%)	0,0031004	-0,013664
MO (%)	0,000091557	0,00018252
COT (gC/kg ss)	-0,000013436	0,000040452
RB (mg C-CO ₂ /kg)	0,11205	0,99359
Cbiomasa (mg C biomasa/kg ss)	0,9937	-0,112

7. Correlación entre parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Con el fin de estudiar las relaciones entre las variables analizadas se realizó un análisis de correlación de Pearson (Tabla 5), donde se evidenció que tanto la respiración basal como el carbono de la biomasa se correlacionan de manera negativa con el pH del suelo. Es decir, que valores de pH altos disminuyen la respuesta de estos parámetros. En los suelos evaluados el pH es superior a 7,5 unidades, por lo que es posible indicar que a valores menores se favorecería la actividad microbiológica en las zonas de estudio, tomando en cuenta que el pH del suelo puede regular la actividad de las comunidades microbianas a través de la mineralización del carbono [30]. El pH del suelo también afecta la actividad de enzimas extracelulares, la reactividad de la materia orgánica

y la homeostasis del pH intracelular, por lo que las fluctuaciones de pH influyen significativamente en el crecimiento microbiano y la actividad metabólica [31]. También se evidencia una relación positiva entre el carbono de la biomasa microbiana y la materia orgánica, esto es debido a que la disponibilidad de carbono en el suelo estimula el crecimiento microbiano [28]. El carbono de la biomasa microbiana y la respiración basal son propiedades bioquímicas sensibles para monitorear la mineralización de la materia orgánica [7], por lo que es razonable la relación positiva entre la respiración del suelo y la biomasa microbiana. La actividad respiratoria en relación al tamaño de la población microbiana se considera un indicador de la energía requerida para el mantenimiento de los microorganismos y de eficiencia metabólica [4].

Tabla 5: Correlación de Pearson entre la RB y el C biomasa con los parámetros evaluados en los suelos arenosos de las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo ($P > 0,005$)

Parámetro	RB	Cbiomasa
A (%)	-0,0152	-0,2735
Ar (%)	-0,0382	0,2446
pH	-0,4545	-0,4975
Conductividad (mS)	0,0754	0,2148
RH (%)	0,1552	0,1161
CH (%)	-0,014	0,1364
MO (%)	0,3034	0,3598
COT (gC/kg ss)	-0,0011	-0,0145
RB (mg C-CO ₂ /kg)		0,5224

Con los resultados obtenidos se realizó un diagrama para evaluar las relaciones causa-efecto de las variaciones en los indicadores establecidos (Figura 5). En él se muestran al carbono de la biomasa microbiana y la actividad biológica como las causas de influencia directa en la disminución de la calidad del suelo arenoso, las cuales son producto de las variaciones en el contenido de materia orgánica y el pH del medio. En el caso del pH, el aporte de especies inorgánicas que generan modificaciones en la dinámica del intercambio de H⁺, es la principal causa de su variación; mientras que, el bajo contenido de materia orgánica, puede ser asociado a procesos condicionados por las características físicas del

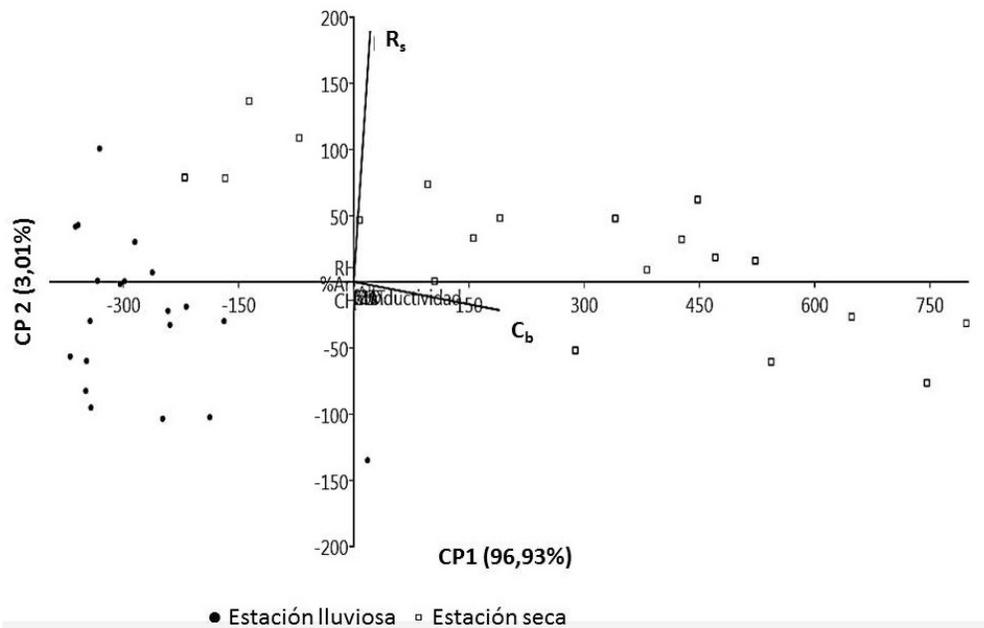


Figura 4: Análisis de componentes principales sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en las unidades de muestreo de las playas El Palito, Waikiki y Blanca del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo

medio. Las causas que generan estos impactos pueden atribuirse a las actividades antrópicas que se llevan a cabo en las zonas de estudio, principalmente las turísticas, descarga de residuos industriales provenientes de refinerías y transporte marítimo y, efluentes domésticos provenientes de los desarrollos urbanísticos de la zona. Todas estas actividades deben ser supervisadas y reglamentadas a fin de que generen el menor impacto posible en la calidad de los recursos que componen el ecosistema costero.

8. Conclusiones

Los suelos de las playas arenosas seleccionadas para el estudio tienen características fisicoquímicas propias asociadas a su textura, como son baja retención de humedad y contenido de materia orgánica, propiedades que condicionan el comportamiento de indicadores como la actividad microbiológica. La respiración y la biomasa microbiana del suelo varían con la estacionalidad en suelos arenosos de playas. Los parámetros estudiados como RB y Cbiomasa, se relacionan de manera directa con el pH y disponibilidad

de materia orgánica en los suelos arenosos de las playas analizadas del municipio Puerto Cabello. Estos parámetros pueden ser considerados indicadores de calidad de este tipo de suelos por tener un comportamiento más sensible ante impactos ambientales negativos producidos por las actividades turísticas e industriales que se desarrollan en las zonas en estudio. En base a los resultados obtenidos en este trabajo, se establece que las metodologías que se apliquen para el monitoreo, mantenimiento y mejoras de la calidad ambiental de este tipo de suelos, deben estar enfocadas en propiedades biológicas, tales como biomasa microbiana y la respiración edáfica, por ser los de mayor sensibilidad ante posibles impactos.

9. Referencias

- [1] R. Silva, M. Martínez, P. Moreno, E. Mendoza, J. López, D. Lithgow, G. Vásquez, R. Martínez, R. Monroy, J. Cáceres, A. Ramírez, and M. Boy, *Aspectos generales de la zona costera*. México: UNAM- INECOL, 2017.

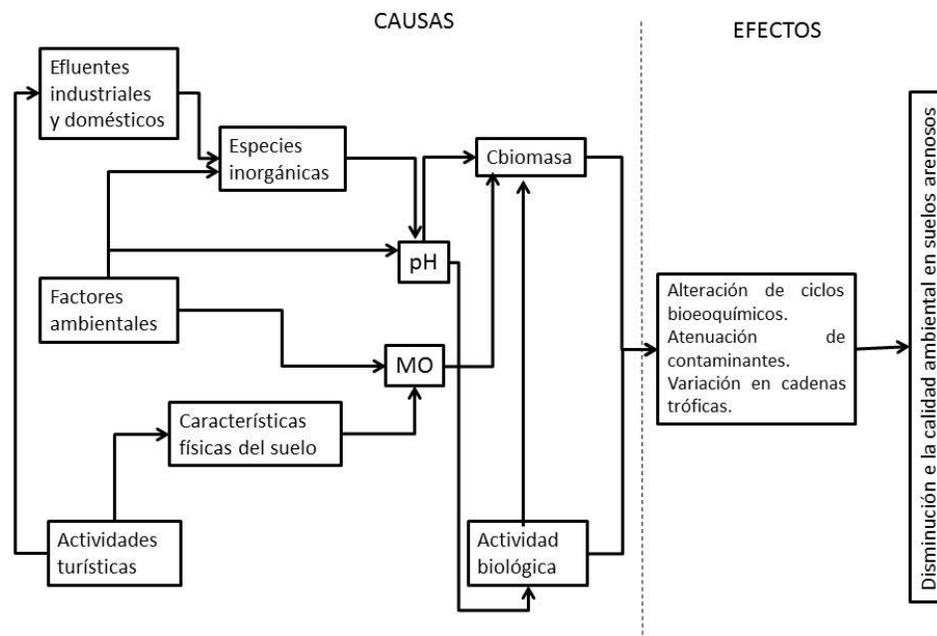


Figura 5: Diagrama causa-efecto de las alteraciones en la calidad ambiental de suelos arenosos de playas del municipio Puerto Cabello, estado Carabobo

- [2] V. F. . G.-G. R. Agardy, T., *Ecosistemas América Latina y el Sector de Ecoturismo en y el Caribe*. Caracas: CAF, 2019.
- [3] J. Yost, y A. Hartemink, "Soil organic carbon in sandy soils: A review," in *Advances in Agronomy*, D. L. Sparks, Ed. Academic Press, 2019, vol. 158, ch. 4, pp. 217–310. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.004>
- [4] S. F. V. . G. C. Ferreras, L.; Toresani, "Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina," *Spanish Journal of Soil Science*, vol. 5, no. 3, pp. 227–242, 2015. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2015.V5.N3.04>
- [5] H. González, A. González-Pedraza, J. Atencio, and A. Soto, "Evaluación de calidad de suelos plataneros a través de la actividad microbiana en el sur el lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela," *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, vol. 38, no. 1, pp. 1–25, 2021. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n1.03](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n1.03)
- [6] I. Hernández, "Impacto de actividades antrópicas sobre parámetros microbiológicos y bioquímicos del suelo: tres casos de estudio," *Acta Biológica Venezuelica*, vol. 39, no. 1, pp. 73–90, 2019.
- [7] N. De La Portilla, R. Vaca, P. D. Águila, L. Salinas, G. Yañez, and J. Lugo, "Carbono de la biomasa microbiana, respiración basal y cinética del carbono de dos suelos erosionados enmendados con biosólidos," *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 37, pp. 43–453, 2021. <https://doi.org/10.20937/RICA.53863>
- [8] R. Fernández, I. Frasier, M. Rorig, A. Quiroga, and E. Noellemeyer, "Evaluación de indicadores biológicos en suelos de la región semiárida pampeana central,," *Ecología Austral*, vol. 28, no. 1, pp. 145–156, 2018. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.555>
- [9] D. Jenkinson and D. Powlson, "The effect of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass," *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 8, no. 3, pp. 209–213, 1976. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5)
- [10] J. Paolini, "Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos," *Terra Latinoamericana*, vol. 36, no. 1, pp. 13–22, 2017. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>
- [11] K. Alef and P. Nannipieri, *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. London: Academic Press, 1995. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-513840-6.X5014-9>
- [12] M. Fuentes, "Metales pesados Cu, Cr, Ni, Zn, Pb y Cd en los sedimentos del muelle pesquero de Güiria, estado Sucre, Venezuela," *Tecnociencia*, vol. 10, no. 2, pp. 61–79, 2008.
- [13] C. Zhang, S. Nie, J. Liang, G. Zeng, H. Wu, S. Hua, J. Liu, Y. Yuan, H. Xiao, L. Deng, and H. Xiang,

- “Effects of heavy metals and soil physicochemical properties on wetland soil microbial biomass and bacterial community structure,” *Science of the Total Environment*, vol. 557–558, pp. 785–790, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.170>
- [14] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Estado mundial del recurso suelo,” FAO, Italia, Resumen Técnico, 2015.
- [15] J. Aljujar and A. Armado, “Estudio de parámetros fisicoquímicos y biológicos en suelos arenosos de playas del municipio puerto cabello, estado carabobo,” in *LatinXChem Conference*, 2021. <https://doi.org/10.26226/morressier.616e5c2462ba8657678b132b>
- [16] G. Bouyoucos, “Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method,” *Soil Science*, vol. 42, no. 3, pp. 225–228, 1936. <https://doi.org/10.1097/00010694-193609000-00007>
- [17] F. Cargua, M. Rodríguez, D. Damián, C. Recalde, and G. Santillán, “Comparación de dos métodos analíticos para la determinación de carbono orgánico del suelo de bosque andino, parque nacional Sangay-Ecuador,” *Acta agronómica. Funcionamiento biológico, químico y físico del suelo*, vol. 66, no. 39, pp. 408–413, 2017. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52467>
- [18] Y. Pardo, J. Paolini, and M. Cantero, “Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café,” *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 22, no. 1, 2019. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1144>
- [19] P. Brookes, D. Powlson, and D. Jenkinson, “Measurement of microbial biomass phosphorus in soil,” *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 14, no. 4, pp. 319–329, 1982. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(82\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0038-0717(82)90001-3)
- [20] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Guía para la descripción de los suelos,” FAO, Roma, Italia, Resumen técnico, 2009.
- [21] M. Bunicontro, S. Marcomini, N. Weiler, R. López, and S. Quenardelle, “Caracterización textural, composicional y análisis de procedencia de los sedimentos de playa del Golfo Nuevo, Provincia de Chubut,” *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol. 74, no. 2, pp. 207–222, 2017.
- [22] P. Chaveli, L. Font, B. Calero, A. Cervantes, P. López, R. Caballero, and M. Valenciano, “Uso de indicadores microbiológicos para la evaluación de la degradación de suelos oscuros plásticos arroceros de la provincia de Camagüey,” *Centro agrícola*, vol. 3, no. 3, pp. 61–66, 2003.
- [23] J. . R. J. Sánchez, L.; Paolini, “Dinámica de las propiedades del suelo en bosques de *Rhizophora mangle* L. (*Rhizophoraceae*) en Isla de Margarita, Venezuela,” *Revista de Biología Tropical*, vol. 58, no. 2, pp. 547–564, 2010.
- [24] H. Cui, J. Bai, S. Du, J. Wang, G. Nitta, W. Wang, G. Zhang, and J. Jia, “Interactive effects of groundwater level and salinity on soil respiration in coastal wetlands of a Chinese delta,” *Environmental Pollution*, vol. 286, no. 117400, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117400>
- [25] Y. Liu, C. Zhao, Q. Shang, and L. Wang, “Responses of soil respiration to spring drought and precipitation pulse in a temperate oak forest,” *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 268, pp. 289–298, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.029>
- [26] M. Zhao, S. Guo, and R. Wang, “Diverse soil respiration responses to extreme precipitation patterns in arid and semiarid ecosystems,” *Applied Soil Ecology*, vol. 163, no. 103928, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103928>
- [27] C. García, y J. Félix, *Técnicas de caracterización de suelos y abonos orgánicos*, 1era ed. Sinaloa, México: Fundación Produce Sinaloa A.C, 2014.
- [28] S. K. Y. . Z. B. Moghimian, N.; Mohsen, “Evaluating soil biochemical/microbial indices as ecological indicators of different land use/cover in Northern Iran,” *Acta Ecológica Sinica*, vol. 39, no. 4, pp. 328–333, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2019.05.006>
- [29] A. Shi and P. Marschner, “Soil respiration and microbial biomass in multiple drying and rewetting cycles-Effect of glucose addition,” *Geoderma*, vol. 305, pp. 219–227, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.010>
- [30] K. Zhang, L. Chen, Y. Li, P. Brookes, J. Xu, and Y. Luo, “Interactive effects of soil pH and substrate quality on microbial utilization,” *European Journal of Soil Biology*, vol. 96, no. 103151, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103151>
- [31] Y. Yang, Y. Shi, J. Fang, H. Chu, and J. Adams, “Soil Microbial Network Complexity Varies with pH as a Continuum, not a Threshold, across the North China Plain,” *Frontiers in Microbiology*, vol. 13, no. 895687, 2022. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.895687>