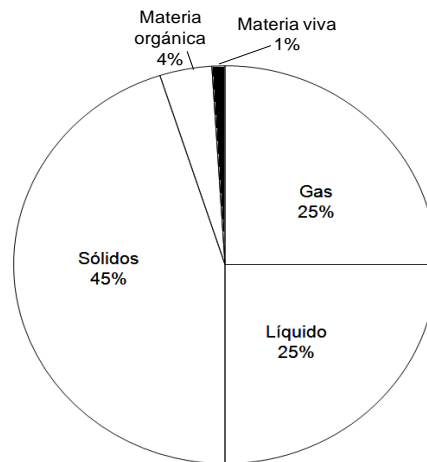


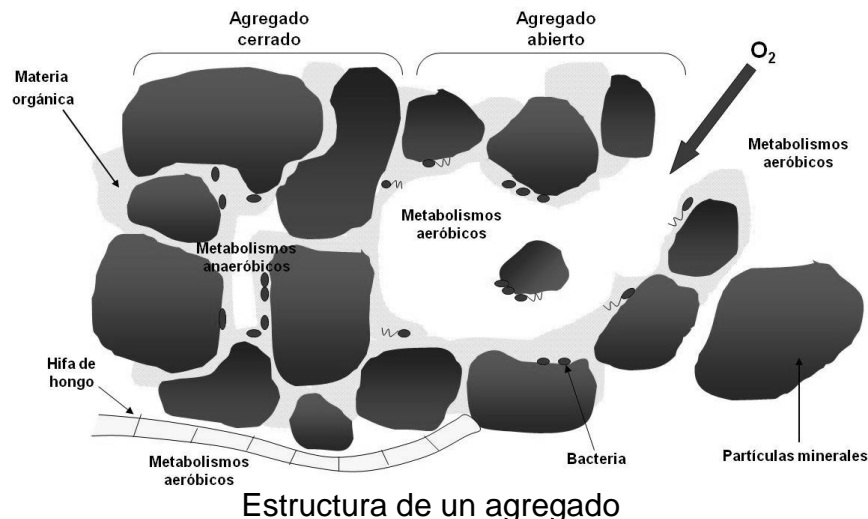
UNIDAD IV: ECOLOGIA MICROBIANA

La ecología microbiana trata sobre la relación de los microorganismos con el ambiente donde habitan. El suelo superficial (0-20cm) es el ambiente donde ocurren la mayoría de los procesos microbianos que influyen sobre la nutrición de los cultivos, de los cuales se ocupa la Microbiología Agrícola. Desde un punto de vista ecológico, un ambiente está constituido por: 1) una fracción abiótica (el hábitat), y 2) una fracción biótica (los componentes vivos). La fracción abiótica del suelo incluye: a) partículas minerales de diferente tamaño y composición química, b) agua y solutos, c) gases y d) compuestos orgánicos; mientras que la fracción biótica incluye: a) raíces vivas de plantas, b) fauna (detritívoros) y c) microorganismos (descomponedores).



Constituyentes de la fracción abiótica del suelo

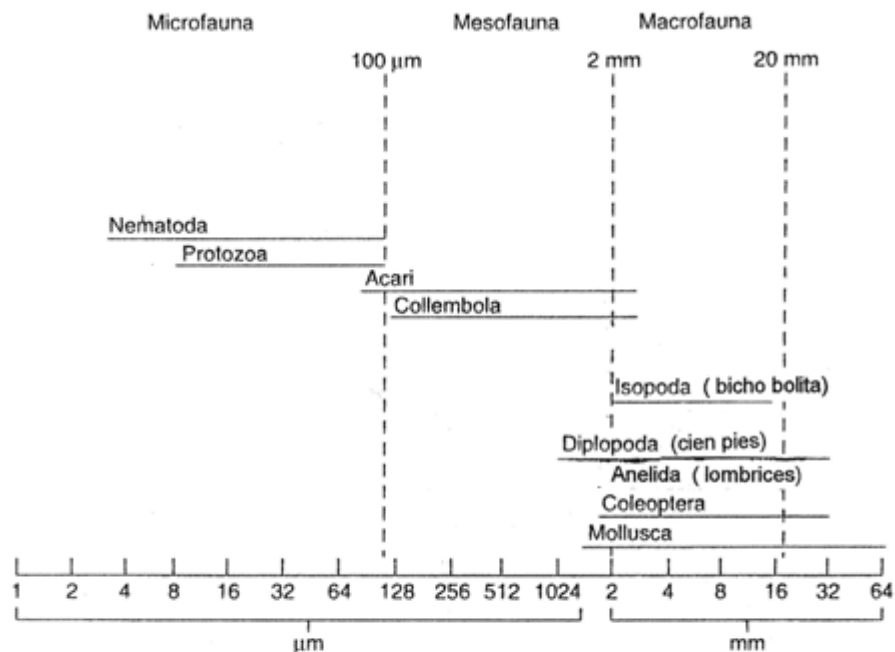
Los diferentes componentes del suelo no forman una masa homogénea sino que están asociados otorgando una estructura particular. La base de la estructura del suelo la constituyen los llamados agregados. Un agregado es un conjunto de partículas minerales ligadas por compuestos orgánicos y organismos vivos. El tamaño de cada agregado es de aproximadamente 2 mm. El espacio que queda entre los agregados son los poros del suelo, donde circulan el aire y la solución del suelo.



Estructura de un agregado

Componentes vivos del suelo

- a) raíces de las plantas: es un componente muy importante en los suelos agrícolas y constituyen el nexo entre el suelo y la planta. Las raíces vivas modifican el ambiente edáfico porque absorben nutrientes y agua de la solución del suelo, respiran e incorporan CO₂ a la atmósfera del suelo, aportan restos orgánicos por exudación y descamación de células epidérmicas, contribuyen a la agregación de partículas minerales, etc.
- b) fauna: se considera fauna del suelo a aquellos animales que se alimentan de los restos orgánicos existentes en el suelo. La fauna suele conformar cerca del 15% de la biomasa total del suelo, pero es muy variable dependiendo de las condiciones climáticas y de manejo de cada suelo. La fauna es considerada detritívora, ya que consume restos orgánicos y los metaboliza mediante respiración aeróbica (producen CO₂ y H₂O). Por lo tanto, a diferencia de los microorganismos, la fauna no posee metabolismos especiales que les permitan liberar nutrientes inorgánicos, vivir en anaerobiosis, degradar moléculas recalcitrantes, etc. La fauna del suelo suele clasificarse según el tamaño de los organismos en: micro, meso y macro fauna.



- c) microorganismos: son los verdaderos descomponedores de restos orgánicos transformándolos en compuestos inorgánicos, cerrando el ciclo de los elementos. Constituyen cerca del 85% de la fracción viva del suelo. Debido a que son microscópicos muchas veces es difícil de estimar la significancia del peso absoluto de microorganismos en un suelo. A modo de ejemplo, se puede hacer un cálculo muy general que ayuda a visualizar

que, si bien la biomasa individual es muy pequeña, la gran cantidad de individuos hace que la biomasa absoluta sea muy grande.

Biomasa microbiana del suelo

Biomasa de bacterias

Peso de una bacteria = Volumen x Densidad = $10^{-12} \text{ cm}^3 \times 1.5 \text{ g/cm}^3 = 1.5 \times 10^{-12} \text{ g}$

Bacterias/g suelo = 10^9

Biomasa de bacterias/g suelo = $10^9 \times 1.5 \times 10^{-12} \text{ g} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ g}$

Biomasa por ha

Peso de 1 ha = Volumen x Densidad

Volumen = $10.000 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m} = 2.000 \text{ m}^3$

Densidad del suelo = 1 g/cm^3

P = $2.000 \text{ m}^3 \times 1.000 \text{ kg/m}^3 = 2 \times 10^6 \text{ kg}$

Biomasa de bacterias por ha = $2 \times 10^6 \text{ kg} \times 1.5 \times 10^{-3} \text{ kg} = \mathbf{3.000 \text{ kg/ha}}$

Este ejemplo sólo se refiere a la biomasa de bacterias, sin considerar el resto de los microorganismos de importancia en el suelo como los hongos y actinomicetes.

Distribución de los microorganismos en el suelo

De manera general se puede afirmar que los microorganismos se distribuyen según las condiciones ambientales y la disponibilidad de alimento. Por ej., en los primeros centímetros del suelo existe mayor cantidad de restos orgánicos y O_2 , por lo que allí se dispone la mayor cantidad de organismos con metabolismos aeróbicos. A mayor profundidad los microorganismos aeróbicos se localizan donde se conjugan condiciones óptimas de humedad y aireación. Exceso de humedad satura los poros y se crean condiciones de falta de O_2 . En las capas más profundas del suelo superficial existe mayor cantidad de microorganismos tolerantes a la falta de O_2 y/o anaeróbicos que degradan compuestos derivados de la actividad de los microorganismos más superficiales.

Distribución de grupos microbianos en el perfil del suelo

Horizonte	cm	Bacterias aeróbicas	Bacterias anaeróbicas	Actinomicetes	Hongos	Algas	Protozoos
A ₀	0-10	1.116.915	1.000	11.335	303.000	500	640
A ₁	10-12	1.111.000	70.000	16.000	165.000	5.000	320
A ₂	12-20	317.640	181.000	11.950	77.500	100	40
B	20-40	19.750	700.000	7.250	14.740	100	10
C	50-100	463	10.000	197	1.850	0	0

Humedad del suelo y número de bacterias

Humedad (%)	% de la capacidad de campo	Bacterias totales (miles/g)	% relativo a la microflora total
6.5	30	9.980	33
10.0	50	11.890	40
16.1	65	16.140	55
17.4	70	29.960	100
21.7	100	25.280	84

Efecto de la materia orgánica sobre las bacterias

Horizonte	cm	Materia orgánica (%)	Bacterias aeróbicas ($10^6/g$)	Bacterias anaeróbicas ($10^6/g$)
A ₀	0-6	8.00	149.2	1.0
A ₁	6-12	3.11	131.8	1.8
B ₁	12-24	2.41	108.3	10.0
B ₂	28-48	1.70	45.3	1.0
C	48-80	0.80	6.0	0.01

Hay otros factores de importancia que definen la distribución y presencia de microorganismos en el suelo. Uno de ellos es el pH. Es bien conocido que en ambientes ácidos predominan los hongos sobre las bacterias y contrariamente en ambientes alcalinos predominan los actinomicetes. Las bacterias en general están asociadas a suelos neutros.

Influencia del tipo de suelo y el número de microorganismos

Suelo	pH	Bacterias	Actinomicetes	Hongos
Gris margoso	7.8	18.209	2.230.250	36.000
Pardo arcilloso	7.6	2.230.000	1.700.000	59.000
Arcilloso rojo	6.4	1.650.000	245.000	74.500
Suelo tropical	4.4	127.000	75.000	245.000
Podzol arenoso	3.8	16.000	22.000	125.000

Sin embargo, todos estos patrones generales de distribución son muy rígidos porque en el suelo la distribución de los microorganismos es muy heterogénea debido a la interacción de un sinnúmero de factores bióticos y abióticos y a las prácticas de manejo. Las principales situaciones que definen la distribución de microorganismos son:

- 1) presencia de raíces: es bien conocido que la cantidad de bacterias aumenta exponencialmente en las cercanías de las raíces vivas de las plantas. Este efecto denominado "rizosférico" se debe a que las condiciones edáficas creadas por las raíces favorecen la disponibilidad de alimentos para las bacterias (exudados, descamaciones, etc.) y condiciones ambientales más adecuadas (protección, retención de agua, etc.).

Influencia de la proximidad a las raíces sobre la abundancia de bacterias

Descripción de la muestra	Bacterias (millones/g)
Suelo distante 15 cm	14.2
Suelo distante 0-15 cm	25.4
Suelo junto a raíces	122.0
Material superficial de la raíz	1315.6

- 2) estructura de agregación: La agregación de partículas define diversos microambientes internos y externos al agregado que poseen características muy diferentes para el desarrollo de los microorganismos. Si un agregado es totalmente cerrado, en su interior se crean condiciones de anoxia, por lo que allí se localizan bacterias anaerobias inmóviles que se fijan sobre la materia orgánica que liga las partículas inorgánicas. Contrariamente, en la superficie exterior de los agregados se asientan organismos aeróbicos móviles en contacto con la solución y la atmósfera del suelo.
- 3) prácticas de manejo agrícola: toda práctica agrícola conlleva grandes cambios en las condiciones del suelo que afectan la vida y distribución de los microorganismos. Por ej., el laboreo del suelo favorece la trituración, mezcla e incorporación de los rastrojos superficiales a la vez que aumenta la aireación del suelo. Estos factores determinan un crecimiento exponencial de los microorganismos, especialmente de los aeróbicos. En los últimos años la adopción de la siembra directa (SD) modificó sustancialmente el funcionamiento del suelo agrícola, acercándolo más a las condiciones no disturbadas. Bajo SD los restos vegetales están localizados superficialmente y van siendo degradados gradualmente por los microorganismos que no sufren un aumento exponencial de su población.

Influencia de las prácticas de manejo sobre la abundancia de los grupos funcionales

Grupo funcional	Relación siembra directa/laboreo convencional	
	0-7.5 cm	7.5-15 cm
Aeróbicos	1.41	0.68
Anaeróbicos facultativos	1.57	1.23
Actinomycetes	1.14	0.98
Nitritadores	1.25	0.55
Nitratadores	1.58	0.75
Hongos	1.57	1.23

Asimismo, debe tenerse en cuenta que el suelo está fuertemente afectado por la heterogeneidad de la vegetación que soporta y por las variaciones estacionales. Ambas situaciones modifican las características del suelo espacial y temporalmente, afectando la distribución de microorganismos.

Interacciones biológicas de los microorganismos

Los microorganismos del suelo no actúan de manera aislada, sino que establecen relaciones tróficas y ambientales con el resto de la vida del suelo. Desde un punto de vista ecológico, las interacciones pueden ser de carácter positivo (sinergismos) o negativo (antagonismos), según si los componentes de la relación se benefician o perjudican mutuamente.

Interacciones entre microorganismos

Sinergismos

- 1- Comensalismo: se denomina comensalismo a la interacción en la cual un individuo se beneficia mientras que el otro no es afectado por la relación, por ej. bacterias que utilizan como alimento compuestos producidos mediante el metabolismo de otras. También se considera comensalismo cuando la actividad metabólica de un individuo elimina sustancias inhibitorias (remoción de sustratos), produce factores de crecimiento específicos o cambia las condiciones ambientales, favoreciendo el crecimiento de otros microorganismos.
- 2- Mutualismo: es la interacción entre individuos en la cual ambos aportan un factor que beneficia al otro. Se establece una relación de costo-beneficio que perdura mientras sea conveniente para ambos. Hay muchos ejemplos de relaciones mutualistas entre microorganismos, el más notable es la degradación de la pared celular de los restos vegetales donde actúan

simultáneamente microorganismos que rompen enlaces químicos diferentes de las grandes moléculas y ambos se benefician con la liberación de los monómeros.

- 3- Simbiosis: a diferencia del mutualismo, esta interacción no es casual sino que perdura en el tiempo y generalmente posee especificidad entre los miembros. El ejemplo más claro de simbiosis entre microorganismos lo constituyen los líquenes, que es una simbiosis entre un hongo y un alga (o cianobacteria) en un grado de estrechez tan estricto que suele considerárselos como un solo organismo.

Antagonismos

- 1- Competencia: es la interacción mediante la cual un individuo se beneficia en desmedro de otro. En esta interacción se engloban muchos mecanismos que utilizan los microorganismos para acceder al alimento y a mejores condiciones de vida. Se considera que los microorganismos mejor adaptados para competir son aquellos que presentan alta tasa reproductiva, mayor tolerancia a factores abióticos, bajos requerimientos nutritivos, capacidad de almacenar reservas y capacidad de movilizarse.
- 2- Amensalismo: muchos lo consideran un tipo especial de comensalismo debido a que un organismo perjudica a otro mediante la eliminación de sustancias tóxicas biocidas. Las sustancias biocidas más comunes sintetizadas por los microorganismos son tanto inorgánicas (H_2O_2 , NH_4^+ , NO_2^- , etc.) como orgánicas. Dentro de estas últimas se incluyen los ácidos y alcoholes producidos en las fermentaciones (biocidas débiles) y los antibióticos de alta toxicidad. Muchos hongos y actinomicetes producen antibióticos que controlan las poblaciones bacterianas, lo cual favorece el avance de otros organismos de menor tasa reproductiva y escasa eficiencia metabólica.
- 3- Parasitismo: es la interacción entre dos organismos en los cuales uno utiliza el material vivo del otro por largos periodos de tiempo, llevándolo en algunos casos a la muerte. El ejemplo más significativo de parasitismo entre microorganismos lo constituyen los virus, que necesitan bacterias vivas para reproducirse (bacteriófagos).
- 4- Predación: consiste en que un organismo se alimenta de otro organismo vivo. En el ecosistema suelo, la predación más importante es la de los protozoarios sobre las bacterias. Esta interacción está regulada por el número de presas (bacterias) y el costo de energía para su captura. Es decir que la predación cesa cuando el predador gasta más energía en buscar y capturar una presa que la que gana por ingerirla.

Interacciones microorganismo-planta (efecto rizosférico)

Las plantas y los microorganismos del suelo establecen casi las mismas interacciones ecológicas que los microorganismos entre si.

Sinergismos:

- 1- Comensalismo: es la interacción más conocida en la cual los microorganismos se benefician con: a) los productos de exudación y descamación de las raíces (aminoácidos, polisacáridos, etc.) y b) la regulación de las condiciones ambientales alrededor de la raíz (pH, humedad, relación CO₂/O₂, etc.).
- 2- Mutualismo: es la situación más común en la zona rizosférica, debido a que si bien los microorganismos se benefician con la presencia de la raíz, las plantas se benefician con la actividad microbiana de la rizosfera. Muchos microorganismos rizosféricos fijan N₂, producen fitohormonas que favorecen el crecimiento vegetal, producen antibióticos que controlan organismos fitopatógenos, degradan fitotoxinas, solubilizan nutrientes, etc.
- 3- Simbiosis: es una interacción muy estrecha en la cual los microorganismos viven dentro de la raíz a expensas del aporte de fotosintatos de la planta, produciendo un beneficio que justifica la relación costo-beneficio. Los ejemplos más conocidos son: a) las micorrizas, donde el hongo que vive dentro de la raíz contribuye al crecimiento vegetal mediante la solubilización, absorción y concentración de nutrientes (particularmente P), y b) la simbiosis rizobium-leguminosa, donde la bacteria alojada en un nódulo radicular aporta N atmosférico en forma utilizable por la planta.

Antagonismos:

Muchas de las relaciones sinérgicas de la rizosfera pueden transformarse en antagónicas cuando las condiciones ambientales se vuelven limitantes. Bajo condiciones de estrés, la planta compite con los microorganismos por agua y nutrientes y en algunos casos los microorganismos producen fitotoxinas (amensalismo) para disminuir el crecimiento vegetal.