

Grupos funcionales microbianos en agroecosistemas dedicados al cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia

Microbial functional groups of potato (*Solanum tuberosum* L.) agroecosystems in Bolivia

Marcia MEDINA*, Ana VELAZCO*†, Javier FRANCO**, Juan F. LEY-RIVAS* y Ricardo HERRERA-Peraza*†

RESUMEN. Se realizó la determinación de las poblaciones de microorganismos heterótrofos totales, hongos totales, diazótrofos totales, actinomicetos, solubilizadores de fósforo y celulolíticos aerobios totales, en suelos de agroecosistemas paperos pertenecientes a las localidades de Tiraque y Lope Mendoza en Bolivia. Se determinó la influencia de factores físicos y químicos en las poblaciones de microorganismos. Los datos fueron analizados por un ANOVA bi-factorial. En las muestras de suelo boliviano se determinaron: pH, materia orgánica (OM, %), nitrógeno total (N, %), fósforo disponible (P, ppm) y potasio intercambiable (K, eq/100g). Las variables físicas y químicas del suelo más importantes para los microorganismos fueron la materia orgánica y el fósforo disponible. Los diazótrofos y los solubilizadores de fósforo no mostraron diferencias significativas. La población bacteriana mostró los mayores valores en las localidades de Tiraque altos insumos (T-H) y Lope Mendoza pajonal (M-P) esta conducta puede estar en correspondencia con los mayores contenidos de materia orgánica y los incrementos de la fertilización en los suelos de Lope Mendoza. Tiraque pajonal (T-P) y Lope Mendoza pajonal (M-P) mostraron mayores poblaciones de hongos que la localidad de Lope Mendoza altos insumos quien mostró la menor población fúngica. los actinomicetos mostraron altos valores en Lope Mendoza pajonal, este resultado pudo deberse a los altos contenidos de materia orgánica, a su importante papel en el balance microbiano en el suelo y a su capacidad de producir antibióticos. Los celulolíticos mostraron mayores poblaciones en la localidad de Tiraque lo que puede estar asociado con los menores niveles de pH y de humedad del suelo.

PALABRAS CLAVE. Ecosistemas Andinos, Cultivo de Papa, Grupo Fisiológico de Microorganismos.

ABSTRACT. The determination of physiological groups of microorganisms was made for heterotrophic bacteria, fungi, cellulolytic, diazotroph and solubilizing bacteria population, in six potato agroecosystems soils to localities from Tiraque and Lope Mendoza, Bolivia. It was determined the influence of chemical and physical factors in the microorganisms population. The data was analysed by a bi-factorial ANOVA. In Bolivian soil samples, pH, organic matter (OM, %), total nitrogen (N, %), available phosphorus (P, ppm) and changeable potassium (K, eq/100g) were determined. The most important physical and chemical variables to microorganisms were the organic matter (OM, %) and available phosphorus (P, ppm). The diazotroph and solubilizing bacteria did not showed significant differences. The bacteria were the highest values in Tiraque high input (T-H) and Lope Mendoza grassy paramo, this behavior should be in correspondence to the higher contents of organic matter and the increments of fertilization in Lope Mendoza soils. The Tiraque grassy (T-P) and Lope Mendoza grassy (M-P) were higher than Lope Mendoza high inputs who showed the least fungi population. The actinomyces showed high values in Lope Mendoza grassy, this result may be due to highest contents of organic matter, their important roll in soil microbial balance and their capacity to produce antibiotics. The cellulolytics presented bigger populations in Tiraque locality that can be associated to the smallest pH values and the humidity of soil.

KEY WORDS. Andean Ecosystems, Potatoes Culture, Physiological Groups of Microorganisms.

INTRODUCCION

El suelo representa un hábitat favorable para los microorganismos entre los que se incluyen: bacterias, hongos, actinomicetos y algas. Estos microorganismos junto a los componentes de la microfauna (amebas, artrópodos, flagelados, nemátodos y otros) forman la microbiota del suelo. Aunque se estima que existen 30 000 especies de bacterias y 1 500 000 de hongos, sólo se ha identificado 8% y 1% de estos grupos respectivamente. La actividad y diversidad de la microbiota, no sólo condiciona la fertilidad del suelo, sino además determina la estabilidad y funcionamiento de ecosistemas naturales y de los agroecosistemas (Lynch, 1990).

La diversidad microbiana es esencial para garantizar los ciclos de los nutrientes y los procesos de descomposición del material vegetal en cualquier ecosistema terrestre (Fernández y Novo, 1988). Usualmente entre uno y diez millones de microorganismos están presentes por gramo de suelo siendo las bacterias y hongos los predominantes.

Se han realizado investigaciones para cuantificar las relaciones beneficiosas entre la diversidad microbiana, el

funcionamiento de los suelos, la calidad de las plantas y la sostenibilidad de los ecosistemas. El funcionamiento de los ecosistemas es gobernado grandemente por la dinámica microbiana, la cual está influida directamente por los parámetros físicos y químicos del suelo (Kennedy y Smith, 1995).

Las tierras altas bolivianas, conocidas como altiplano, se caracterizan por presentar, de manera general una topografía homogénea. En general los suelos de las laderas son muy superficiales, poco fértiles, de alta pedregosidad y con bajo contenido de materia orgánica, los de las llanuras son profundas y tienden a una textura muy fina. Por la textura del suelo y como consecuencia del sobrepastoreo muchas áreas se encuentran degradadas y erosionadas.

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) se encuentra ampliamente extendido por los países andinos, en el caso de Bolivia ocupa 54% de la superficie cultivable, y aporta 57% del volumen total producido (16.000 de las 28.000 TM). En las regiones estudiadas de Tiraque y Lope Mendoza los cultivos más explotados son: Cebada (*Hordeum vulgare*), avena (*Avena aestivum*), maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum*

Manuscrito recibido: 15 de Julio de 2010

Manuscrito aprobado: 13 de Septiembre de 2010

*Instituto de Ecología y Sistemática, C. P. 11900, La Habana 19, Cuba.

**Fundación para la Promoción de Investigación de Productos Andinos (PROINPA). Perú.

aestivum), papa (*Solanum tuberosum*), haba (*Vicia faba*), arveja (*Pisum sativum*), cebolla (*Allium cepa* L.), quinoa (*Quenopodium quinoa*), Tarwi (*Lupinus mutabilis*) y oca (*Oxalis tuberosa*) (COSUDE, 1999).

Los objetivos del presente trabajo fueron: (I) determinar la presencia de las poblaciones totales de bacterias heterótrofas, hongos, actinomicetos, microorganismos solubilizadores de fósforo, celulolíticos aerobios y diazótrofes en suelos de ecosistemas papeiros de las localidades de Tiraque y Lope Mendoza de Bolivia, (II) evaluar cómo influyen los agroecosistemas anteriores en el comportamiento poblacional de los grupos funcionales de microorganismos estudiados, teniendo en cuenta las características físicas y químicas de los suelos en ambas localidades.

MATERIALES Y METODOS

Áreas estudiadas. El área de estudio se encuentra en la provincia Tiraque, geográficamente localizada en el entorno Punata-Arani del Valle Alto, el área que comprende la microregión abarca 68 800 ha y las condiciones climáticas principales son: Temperatura media anual de 10° C, humedad relativa de 35% pero con periodos muy secos. Precipitación de 1000 mm anuales en las zonas de cuencas y cordillera, mientras que en la zona de riego hasta 558 mm anuales, medidos en Toralapa y hasta 506 mm anuales en el abanico de Tiraque. El periodo lluvioso se inicia en noviembre y concluye en marzo, lapso en el que ocurren 85% de las precipitaciones. Los suelos son aluviales, moderadamente profundos a profundos en la zona plana y media y superficiales hasta afloración rocosa en la zona alta, con un contenido de materia orgánica moderadamente bajo. La topografía es bastante irregular: Terrenos planos, ondulados y quebradas.

La localidad de Lope Mendoza se encuentra en la provincia Carrasco, situada a 104 km de la Ciudad de Cochabamba, Carrasco se encuentra a una altitud de 2.400 a 2.800 m snm, geográficamente está situada a los 17° 37' de latitud sur y 65°22' de longitud oeste, presenta en su generalidad pasajes sinuosos y montañosos con valles de laderas escarpadas. El clima en general es templado y semiárido. La mayor precipitación pluvial anual se presenta en primavera y verano en los meses de noviembre a marzo, llamado periodo lluvioso. En el resto del año la precipitación es escasa e irregular y el periodo seco coincide con las estaciones de otoño e invierno. La temperatura media anual es de 12°C presentando la mínima extrema -5°C en junio y julio y la máxima extrema (30°C) en los meses de octubre y noviembre. La humedad relativa del ambiente fluctúa entre 39% y 66 %. Los suelos son francos a franco arcilloso en ambas localidades (COSUDE, 1999).

En relación a las tierras cultivadas, se pueden distinguir tres bloques de cultivos en conjunto:

- ◆ Bloque 1: papa, haba y cebada que ocupan 68% de la tierra, que se desglosa en papa con 28% y haba y cebada con 20% cada uno.
- ◆ Bloque 2: arveja, avena, maíz y trigo que ocupan 26% de la tierra, a razón de 5% a 9% de la tierra para cada cultivo.
- ◆ Bloque 3: otros cuatro cultivos (cebolla, quinoa, oca y

tarwi) que ocupan en conjunto 6% restante de la tierra, (COSUDE, 1999).

Muestreo de suelo y diseño experimental. Se tomaron al azar y a 20 cm de profundidad, cinco submuestras de suelo por cada muestra, las cuales fueron conservadas en condiciones de refrigeración a 4°C para la caracterización de los principales grupos funcionales de microorganismos de suelo y la determinación de la humedad relativa del suelo en base seca (CRH).

Con el objetivo de conocer cómo el funcionamiento de los principales grupos funcionales de microorganismos del suelo es afectado por los sistemas agrícolas peri-urbanos, el diseño experimental utilizado consistió de dos factores con cuatro tratamientos basados en:

- ◆ Factor 1 (basado en el tipo de sistema agrícola peri-urbano establecido): H, campos de papa de altos insumos (basado en altos contenidos de fósforo en el suelo); L, campos de papa de bajos insumos (bajos contenidos de fósforo en el suelo); BH, bordes de los campos de papa de altos insumos con presencia de gramíneas; y P, "pajonal" andino (páramo cubierto de gramíneas).
- ◆ Factor 2 (basado en la región donde se desarrollaron los experimentos): T, Tiraque; y M, Lope Mendoza, zonas relativamente cercanas a la ciudad de Cochabamba.

En este sentido, los tratamientos resultantes de acuerdo a la combinación de los factores anteriores son los siguientes: T -H, M-H, T-L, M-L, T-BH, M-BH, T-P y M-P. Se procesaron 3 réplicas de cada muestra para cada tratamiento.

Caracterización de los grupos funcionales de microorganismos. Se realizaron diluciones seriadas cuantitativas para cada muestra de suelo entre 10⁻¹ y 10⁻¹⁰, para ello, 10 g de suelo se diluyeron en 90 ml de agua destilada estéril. Las siembras se efectuaron a profundidad utilizando los medios de cultivo selectivos que se presentan en la Tabla 1, al igual que los grupos fisiológicos microbianos.

Para la determinación de los heterótrofos totales se contaron las colonias emergentes, en la de los hongos totales se contaron las colonias con las características culturales macroscópicas de este grupo. La determinación de los actinomicetos totales se realizó mediante el conteo de las colonias características de estas bacterias edáficas, así como para la evaluación de los microorganismos celulolíticos aerobios totales se contaron las colonias que presentaron un halo producto de la hidrólisis de la celulosa. Los microorganismos solubilizadores de fósforo se determinaron mediante el conteo de las colonias que presentaron un halo evidente de solubilización en el medio de cultivo y los microorganismos diazótrofes totales se evidenciaron por el halo característico de crecimiento según las necesidades de oxígeno de cada género de microorganismo.

En el caso de los medios sólidos, se utilizó 1 ml de cada dilución, mientras que en el caso de los semi-sólidos se utilizaron 0.3 ml. La cuantificación de las poblaciones en los medios sólidos se llevó a cabo por el Método de Conteo de Viales. Mientras que para los medios semi-sólidos se utilizó el Método del Número Más Probable según Frobisher, y la lectura se realizó mediante la Tabla de Mc Grady (1918).

Tabla 1. Medios de cultivo utilizados para la evaluación de los grupos fisiológicos de microorganismos.

Grupo Fisiológico	Actividad selectiva	Medio de Cultivo	Temperatura de incubación (°C)	Tiempo de incubación (horas)
Bacterias heterótrofas totales (HTB)	Heterotrofia	Agar nutritivo ⁽¹⁾	37	48
Hongos totales (FUNG)	Heterotrofia	Agar Rosa Bengala ⁽¹⁾	37	72
Actinomicetos totales (ACTIN)	Heterotrofia	Agar Caseína-Almidón ⁽²⁾	37	72
Bacterias diazótropas (DIAZ)	Diazotrofia (fijadores de nitrógeno)	Watanabe ⁽³⁾	37	168
Microorganismos celulolíticos aerobios totales (CEL)	Celulolisis	Agar Carboximetil Celulosa ⁽²⁾	30	96- 240
Microorganismos total solubilizadores de fósforo (PSOL)	Solubilizadores de fósforo	Ramos y Callao ⁽⁴⁾	30	72

(1) Girard y Rougieux (1964) (2) Watanabe y Barraquío (1979) (3) Pochón y Tardieux (1962) (4) Ramos y Callao (1967)

Análisis físico-químico de los suelos. Se evaluó un grupo de variables físicas y químicas de interés para el desarrollo microbiano, tales como densidad aparente (Tabla 2).

Cuantificación de la densidad aparente del suelo (ABD). Se tomó un peso conocido de suelo previamente tamizado por un tamiz de 2 mm, se midió el volumen que ocupa en una probeta de cristal y se colocó en un cilindro de cristal el que se presionó cuidadosamente y constantemente con la mano hasta obtener un volumen de suelo lo más reducido posible.

Tabla 2. Variables químicas y físicas de suelo consideradas y metodologías utilizadas

Variables	Metodología utilizada
pH	Método potenciométrico *
Potasio intercambiable (K, cmolkg ⁻¹)	Método de Schaschabel *
Materia Orgánica (OM, %)	Método Walkey-Black *
Fósforo disponible (P, ug/g ⁻¹)	Método Olsen*
Nitrógeno (N, %)	Kjeldahl (Tiuring y Kononova, 1984)

* (Jackson, 1982)

Análisis estadístico. Los datos fueron transformados para su análisis estadístico de la siguiente forma: El contenido de materia orgánica (OM), nitrógeno (N), fósforo asimilable (P) y potasio intercambiable (K) mediante el log x+1; debido a que los mismos no presentaban una distribución normal, mientras que los datos de los conteos totales de microorganismos: Heterótrofos, Actinomicetos, Hongos, Celulolíticos, Diazótrofos y Solubilizadores de Fósforo (HET, ACTIN, FUNG, CELL, DIAZ y PSOL) fueron transformados utilizando log x.

Los datos se analizaron mediante ANOVA de Clasificación Simple, utilizando como factores: las diferencias debidas a los sistemas agrícolas establecidos (H, L, BH y P, que se corresponden con áreas de altos insumos, áreas de bajos insumos, bordes de áreas de altos insumos cubiertas de gramíneas y páramo andino); las diferencias debidas a las regiones (T, Tiraque y M, Lope Mendoza); y las diferencias debidas a las combinaciones de ambos factores 4 x 2, (T-H, M-H, T-L, M-L, T-BH, M-BH, T-P y M-P). Las diferencias entre los valores de medias se determinaron utilizando la prueba de Newman-Keuls para un nivel de significación del

5%, los cálculos se realizaron mediante el programa Graphpad Prism versión 3 (1999). Se realizaron Análisis de Correspondencia mediante el paquete de programas NTSYS-pc Version 2.1j, y las contribuciones de las variables de cada análisis (Tabla 5) se utilizaron para determinar su contribución a los resultados, descartándose aquellas variables que presentaron las menores influencias sobre los mismos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variables de suelo. Se detectaron diferencias significativas entre las localidades y las variables evaluadas excepto para el contenido de fósforo. La localidad de Tiraque presentó valores significativamente mayores para la densidad aparente aproximada y el pH, mientras que los suelos de Lope Mendoza presentaron los mayores valores de contenido de materia orgánica, nitrógeno y potasio (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de los análisis de varianza realizados a las variables físicas y químicas de los suelos en las localidades estudiadas. H- sistema agrícola de altos insumos; L- sistema agrícola de bajos insumos; BH- borde de altos insumos cubierto de gramíneas ; P - vegetación original de páramo; T- Tiraque; M- López Mendoza; .ABD- densidad aparente aproximada; OM- materia orgánica; N- nitrógeno; P- fósforo; K- potasio. Ecosist.-Ecosistemas. Medias con letras distintas difieren significativamente para p < 0.05.

Ecosist.	ABD	pH	OM	N	P	K
T	1.29a	5.49a	3.27b	0.15b	19.7a	0.36b
M	1.15b	5.02b	6.61a	0.25a	28.9a	0.85a
T-H	1.27a	5.73a	3.20b	0.17b	30.4abc	0.69ab
M-H	1.16ab	5.13ab	4.59b	0.21b	40.9ab	1.15a
T-L	1.36a	5.43a	2.06b	0.10b	27.8abc	0.23ab
M-L	1.23ab	4.60b	4.65b	0.21b	59.1a	0.95ab
T-BH	1.22ab	5.73a	3.87b	0.17b	13.3cd	0.46ab
M-BH	1.17ab	5.33ab	4.29b	0.20b	14.2cd	0.90ab
T-P	1.30ab	5.07ab	3.93b	0.16b	7.3d	0.05b
M-P	1.03b	5.00ab	12.91a	0.37a	1.4e	0.40ab

Los valores mayores de pH detectados en la localidad de Tiraque y en los ecosistemas evaluados en la misma Tabla (3) pueden deberse a la presencia de componentes calcáreos en sus suelos debido al particular origen geológico de las sierras sub-andinas (Mingramm *et al.*, 1979).

En el caso de la materia orgánica, los valores significativamente mayores presentes en el pajonal andino de la localidad de Lope Mendoza (M-P), puede relacionarse con el hecho de que en los sistemas productivos se afecta la reserva de materia orgánica del suelo (Buyanosky *et al.*, 1987). Otro aspecto que puede haber determinado la mayor tasa de materia orgánica en el pastizal andino son los cambios en la vegetación entre los sistemas naturales (M-P) y los agroecosistemas, ya que estos últimos son generalmente explotados mediante monocultivo, lo que afecta el tipo de materia orgánica, la cantidad de residuos, la cobertura y la captación de nutrientes (Abril, 2002).

El nitrógeno presentó diferencias significativas sólo entre los sitios de pajonal andino de Lope Mendoza (M - P) y el resto de los sitios estudiados, correspondiendo los valores más elevados a la localidad de Lope Mendoza y a su pajonal (M - P). Este resultado puede estar relacionado con los mayores contenidos de materia orgánica encontrados en este ecosistema, en este sentido se conoce que los compuestos orgánicos del suelo en los ecosistemas naturales son más estables que en los agroecosistemas (Ortega, F. 1982).

En cuanto al contenido de potasio, se detectaron diferencias significativas a nivel de localidad (Tabla 3), los mayores valores se presentaron en la localidad de Lope Mendoza Altos Insumos (M-H), este resultado puede estar en correspondencia con los mayores niveles de materia orgánica en esta localidad, lo que trae como consecuencia una menor descomposición de la misma y por ende mayor retención de los nutrientes en el suelo (Paul y Clark, 1996).

Se encontraron diferencias significativas entre los ecosistemas estudiados en el contenido de fósforo del suelo, los mayores valores los presentaron las localidades de Lope Mendoza Altos y Bajos Insumos y los menores se encontraron en las localidades de Tiraque Pajonal (T- P) y Lope Mendoza Pajonal (M-P). Este resultado puede estar en concordancia con los altos niveles de fósforo existentes en estos ecosistemas producto de la fertilización del suelo, lo que no sucede con los ecosistemas de Tiraque Pajonal (T- P) y Lope Mendoza Pajonal (M-P), que son ecosistemas naturales libres de fertilización, lo cual coincide con lo indicado por Abril (2001).

Grupos funcionales presentes en los ecosistemas. Los resultados de los análisis de varianza realizados para los grupos funcionales se presentan en la Tabla 4. No se detectaron diferencias significativas para los microorganismos diazotrofos y solubilizadores de fósforo. En cuanto a los diazotrofos totales, a pesar de no detectarse diferencias significativas se constató una tendencia al aumento de la población de este grupo en todas las variantes estudiadas en la localidad de Tiraque. Este resultado puede estar vinculado a los menores valores de nitrógeno en el suelo de esta localidad (Tabla 3), pues se conoce la incidencia negativa que presenta este elemento en la actividad de este grupo fisiológico ya que la enzima nitrogenasa responsable de la Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN), se inhibe al aumentar la concentración de nitrógeno y amonio en el suelo (Fani *et al.*, 1989, Eady, 1992, Halbleib, 2000 y Alden *et al.*, 2001).

Adicionalmente, Abril *et al.*, (1999a), compararon la población de microorganismos fijadores de nitrógeno en un

bosque original, un sitio altamente degradado por sobre pastoreo y uno en etapa de restauración de la vegetación y observaron mayor fijación de nitrógeno en el sitio en restauración cuando el suelo va recuperando la materia orgánica, pero aún presenta déficit de nitrógeno; este aspecto es de suma importancia para el manejo de la fijación de nitrógeno en sistemas productivos sustentables.

Otro aspecto que puede haber determinado en la disminución de los microorganismos diazotrofos en los ecosistemas estudiados es el efecto de la fertilización en los mismos, lo que ha sido referido por varios autores (Buyanosky *et al.*, 1987; Paul y Clark, 1996; Abril *et al.*, 2001) que plantearon que los suelos con cultivos fertilizados de manera permanente, van perdiendo la reserva de materia orgánica y por consiguiente afectan la actividad de los microorganismos.

Tabla 4. Resultados de los análisis de varianza realizados para los grupos funcionales de microorganismos en los sistemas peri-urbanos productores de papa y pajonal andino en Bolivia. H- sistema agrícola de altos insumos; L- sistema agrícola de bajos insumos; BH- borde de campos de altos insumos cubierto con gramínea; P- vegetación original de pajonal andino; T- Tiraque; M- Lópe Mendoza; HET- bacterias heterotrofas totales; FUNG- hongos; ACTIN- actinomicetos; CELL- microorganismos celulolíticos; DIAZ- bacterias diazotrofas; PSOL- microorganismos solubilizadores de fósforo. Ecosist.-Ecosistemas. Medias con letras diferentes difieren significativamente para $p < 0.5$.

Ecosist.	HET	HONGOS	ACTIN	CELL	DIAZ	PSOL
T-H	6.68a	4.47abc	4.81b	6.21a	5.49	5.75
M-H	5.95ab	3.71c	5.40ab	5.32b	4.65	4.65
T-L	6.30ab	4.09bc	4.72b	5.96a	5.05	5.54
M-L	6.45ab	4.51abc	5.41ab	4.78b	4.12	4.84
T-BH	6.21ab	4.68abc	4.58b	5.84a	5.92	5.52
M-BH	5.71b	4.46abc	5.30ab	5.20b	4.54	5.11
T-P	5.74b	5.33a	4.68b	6.01a	5.64	5.35
M-P	6.66a	5.04ab	5.90a	5.00b	4.61	4.98

En el caso de los microorganismos solubilizadores de fósforo se observa una tendencia al incremento de sus poblaciones, en los sitios de la localidad de Tiraque en comparación con los sitios de Lope Mendoza. Este resultado está en concordancia con los menores tenores de fósforo inorgánico en los sitios de Tiraque, ya que se ha comprobado que existe una relación negativa entre las concentraciones de fósforo en el suelo y las poblaciones de microorganismos solubilizadores de fósforo, así como la de hongos micorrizógenos arbusculares (HMVA), este resultado coincide con los estimados reportados por Azcón *et al.*, 1976, para este grupo fisiológico.

Se conoce que la dinámica de la biomasa microbiana en el suelo es el factor clave para entender la dinámica a corto plazo del fósforo orgánico entre los diferentes ecosistemas (Tiessen *et al.*, 1984; Perrot *et al.*, 1990 y Tate *et al.*, 1991). Debido a la diversidad metabólica de los microorganismos responsables de la movilización-inmovilización del fósforo (bacterias, hongos y actinomicetos), en los diferentes ecosistemas estudiados los tenores de fósforo (Tabla 3) pueden variar de forma tal que la población de microorganismos solubilizadores y su actividad enzimática inducible no presenten diferencias significativas, lo que puede

haber influido en la densidad poblacional de estos microorganismos, resultados similares fueron reportados por Medina (2004).

La población bacteriana total no mostró diferencias significativas en los ecosistemas estudiados (Tabla 4), valores significativamente mayores sólo se presentaron en las localidades de Tiraque altos insumos (T-H) y Lope Mendoza pajonal (M-P) con respecto a los sitios M-BH y T-P. Este comportamiento puede estar dado, en el caso de M-P, por la mayor tasa de materia orgánica en sus suelos (Tabla 3), lo que coincide con lo planteado por Frioni (1990), quien indicó que la materia orgánica es uno de los factores que más influyen en la distribución de las bacterias heterótrofas.

La tendencia general al aumento de la población bacteriana en la localidad T-H puede ser resultado del incremento de la fertilización del suelo, lo que se corrobora con los estudios realizados por Velazco *et al.*, 1985, en el cultivo del café, donde se evidenció un incremento de los grupos funcionales microbianos a los 30 días de aplicado el fertilizante nitrogenado.

La población de Hongos totales se muestran en la Tabla 4 donde se destaca una mayor variabilidad de las medias con respecto a la población de la biota bacteriana. Se encontraron diferencias significativas en las poblaciones de este grupo funcional en los ecosistemas de T-P y M-P con respecto a M-H, el cual presentó la menor población fúngica, no se presentaron diferencias significativas entre los demás ecosistemas estudiados. Este resultado, puede relacionarse con la mayor tasa de materia orgánica del suelo detectada en el M-P, lo cual puede haber propiciado un incremento de la población de este grupo funcional, ya que debido a sus características heterotróficas presentan mayor dependencia metabólica con la misma (Medina, 2004).

Por otra parte en los sitios de pajonal los niveles de fósforo disminuyen (Tabla 3), lo que puede traer como consecuencia un aumento de la microbiota fúngica, resultado que coincide con lo planteado por Wright y Reddy (2001) quienes destacan que la actividad microbiana heterotrófica se incrementaba en áreas con menores contenidos de este elemento lo cual coincide con los sitios de pajonal.

La población bacteriana total se comportó con dos órdenes poblacionales de diferencia con respecto a la población de hongos totales, lo que coincide con lo indicado internacionalmente para suelos cultivados, la población bacteriana total se comportó en el orden de 10^6 UFC/ g de suelo seco, mientras que los hongos presentaron una densidad poblacional del orden de 10^4 UFC/ g de suelo seco (datos no mostrados). En este sentido Sessysch *et al.*, (2001), señalaron que la biomasa fúngica está en menor proporción con respecto a la biomasa bacteriana en los suelos, lo que se corresponde con los resultados alcanzados en este trabajo.

En cuanto a los actinomicetos totales, se constató que M-P y las localidades de Lope Mendoza presentaron poblaciones significativamente mayores con relación a los sitios de Tiraque, resultado que puede estar asociado a los mayores niveles de materia orgánica en el suelo de M-P. En este sentido, Frioni, (1990), indicó la abundancia de estas bacterias en los suelos donde la descomposición de la materia orgánica es muy activa. En el presente trabajo se evidenció una alta proporción de este grupo funcional con respecto a las

bacterias totales y en ocasiones se encuentra en proporción superior a la indicada por los autores (Martínez, 1983, Velazco *et al.*, 1985), quienes describieron poblaciones de actinomicetos de 3 a 15 veces inferiores a las de bacterias.

Asimismo, se conoce que debido a las características de lento crecimiento, los actinomicetos juegan un papel protagónico en los estadios iniciales de la degradación de los residuos. La alta población de este grupo funcional detectada en el presente trabajo, puede estar asociado a su papel de regulador del suelo, debido a su alto poder de antagonismo microbiano, dado por la capacidad de producir antibióticos. Este resultado se corresponde con lo descrito por Pereira (2001), quien planteó que la influencia de los factores antibióticos de este grupo funcional, sobre el balance microbiológico del suelo, está condicionada a la actividad de los microorganismos antagonistas y a la acción de los antibióticos sobre las poblaciones sensibles.

En cuanto a los microorganismos celulolíticos aerobios totales, se observaron diferencias significativas entre los ecosistemas, la población de este grupo varió de 10^4 - 10^6 UFC/ g de suelo seco. Las localidades de Tiraque presentaron una población significativamente mayor que las de Lope Mendoza, a pesar de presentar menores contenidos de materia orgánica del suelo. Este resultado puede estar en relación con los valores de pH del suelo significativamente más altos en los sitios de la localidad de Tiraque en comparación con los de Lope Mendoza ya que el pH óptimo para el crecimiento de este grupo es de 6 - 6.5. Sin embargo en diferentes ecosistemas de Ecuador se encontraron valores menores de este grupo, su población fue de 4.8 – 5.9 UFC/g suelo seco, en tanto el contenido de materia orgánica varió de 5.4 a 24.7% y el pH se comportó entre valores de 4.8 a 6.8 (García *et al.*, inédito).

Por otra parte la localidad de Lope Mendoza presenta un contenido relativo de humedad del suelo mayor que la localidad de Tiraque (datos no mostrados), lo que pudo determinar la mayor población de este grupo de microorganismos en esta última, ya que se conoce que el proceso de celulólisis (altamente energético), puede realizarse en condiciones aerobias y anaerobias, pero es más eficiente en las primeras condiciones (Frioni, 1990). Sobre esta base el mayor nivel de humedad en la localidad de Lope Mendoza pudo ser la causa de la disminución de la población de celulolíticos debido a una mayor frecuencia de condiciones anaerobias lo que provoca que los procesos de celulólisis sean más lentos.

Relación entre los grupos funcionales y las variables físicas y químicas en los ecosistemas. Los resultados del análisis factorial de correspondencias realizado considerando a los grupos funcionales de microorganismos como individuos y a las características físicas y químicas de los ecosistemas de Tiraque y Lope Mendoza estudiados como variables, se presentan en la Tabla 5. En el eje 1 la mayor contribución a la variabilidad la realizan el contenido de fósforo inorgánico (P) y el contenido de potasio (K), mientras que el eje 2 es el contenido de potasio (K), en el tercer eje es el contenido de materia orgánica (OM) la de mayor peso en la diferenciación (Tabla 5).

Tabla 5. Contribución absoluta de las variables a los ejes del Análisis de Correspondencias realizado entre los grupos funcionales de microorganismos y las variables físicas y químicas evaluadas en campos de papa peri-urbanos de Bolivia. K, OM, P, pH, N, ADB: contenido de potasio, materia orgánica, fósforo, nitrógeno y densidad aparente aproximada, respectivamente. FUNG, CELL, DIAZ, PSOL, ACTIN Y HET: poblaciones de hongos, microorganismos celulolíticos, bacterias diazotófas, microorganismos solubilizadores de fósforo, actinomicetos y bacterias heterótrofas totales respectivamente.

Contribución Absoluta de las Variables				
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Total
K	20.64	64.52	1.81	86.96
OM	0.11	1.06	82.40	83.57
P	58.56	4.14	1.28	63.97
FUNG	3.04	8.30	0.65	12.00
pH	2.52	4.46	4.77	11.75
CELL	2.56	7.57	0.31	10.44
DIAZ	3.83	1.94	2.84	8.60
PSOL	2.68	0.02	5.06	7.76
ACTIN	2.56	4.99	0.02	7.57
HET	2.77	0.78	0.26	3.81
N	0.38	1.48	0.25	2.10
ABD	0.35	0.76	0.36	1.46
	100.00	100.00	100.00	

En la Fig.1 se muestra la representación plana de los dos primeros ejes del análisis de correspondencias realizado. A la derecha del eje 1 se ubican los sitios de altos y bajos insumos de Lope Mendoza (M-H y M-L) caracterizados por presentar los mayores valores del contenido de fósforo inorgánico y de potasio intercambiable.

En el cuadrante superior derecho se localiza el sitio de Tiraque altos insumos (T-H) caracterizado por presentar los mayores valores de microorganismos solubilizadores de fósforo (PSOL), este resultado puede estar en correspondencia con los mayores niveles de fertilización en este sitio (Paul y Clark, 1996), ya que la misma provoca un aumento en las poblaciones de microorganismos.

En el cuadrante inferior izquierdo se localiza el sitio de Lope Mendoza pajonal (M-P) caracterizado por presentar los mayores valores en cuanto a contenido de materia orgánica (OM) y de nitrógeno (N). Por último en el cuadrante superior izquierdo se localizan los sitios de Tiraque de bajos insumos (T-L), pajonal (T-P), borde de altos insumos (T-BH) de conjunto con el borde de altos insumos de Lope Mendoza (M-BH), los cuales se caracterizan por presentar los menores valores de microorganismos heterótrofos (HET) y actinomicetos (ACT) y los mayores valores de microorganismos celulolíticos (CELL) y diazotófos (DIAZ) excepto T-BH. En correspondencia con su agrupamiento este grupo de ecosistemas se caracteriza además por presentar suelos con los valores más elevados de densidad aparente (ABD) y mayores valores de pH.

En el caso de los microorganismos heterótrofos y actinomicetos, la disminución de sus poblaciones en estos sitios puede ser debido a los menores niveles de materia orgánica del suelo en la localidad de Tiraque, este resultado coincide con lo indicado por los autores (Frioni, 1990, Abril, 1992), quienes plantearon una mayor distribución de estos

grupos funcionales, donde existen altas tasas de materia orgánica en el suelo.

La mayor densidad poblacional de los celulolíticos puede ser consecuencia de los mayores valores de pH del suelo, ya que este grupo presenta su mayor actividad metabólica a pH de 6 a 6.5 (Medina, 2004). El comportamiento del aumento de las mayores poblaciones de diazotófos puede estar dado por los menores niveles de nitrógeno en estos sitios, debido a una mayor actividad de la enzima Nitrogenasa ya que esta se inhibe en presencia de altos contenidos de nitrógeno en el suelo (Velasco, 1997).

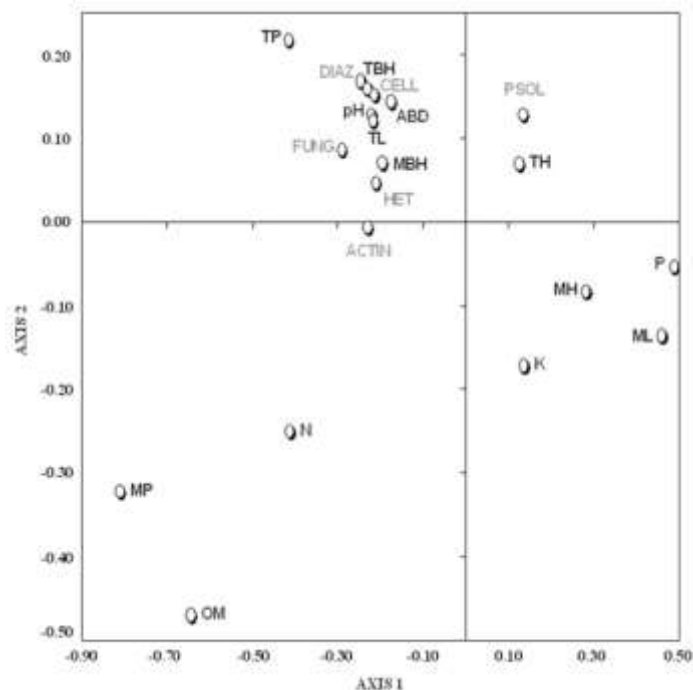


Fig. 1. Análisis de Correspondencia realizado entre los grupos fisiológicos de microorganismos y las variables físico-químicas de suelo en los campos peri-urbanos de papa en Bolivia. Para este análisis, el tratamiento M-P (Pajonal de Lope Mendoza) no se consideró con el objetivo de disminuir la influencia de sus niveles extremadamente elevados de materia orgánica.

CONCLUSIONES

- ◆ La mayor población de heterótrofos totales se encontró en las localidades de Tiraque altos insumos y Lope Mendoza pajonal y la mayor densidad poblacional de los hongos totales en los sitios de Tiraque Pajonal y Lope Mendoza Pajonal.
- ◆ La mayor densidad poblacional de los actinomicetos se evidenció en la localidad de Lope Mendoza y la de los celulolíticos en la localidad de Tiraque.
- ◆ Las poblaciones de microorganismos diazotófos y solubilizadores de fósforo se comportaron de manera homogénea para los sitios estudiados.
- ◆ Los factores abióticos que más influyeron en el aumento poblacional de los grupos funcionales estudiados fueron, los altos niveles de materia orgánica en el suelo en los ecosistemas naturales y los mayores contenidos de fósforo empleados en ecosistemas cultivados.

RECOMENDACIONES

- ◆ Ampliar estos estudios a otros ecosistemas naturales y cultivados para comparar el comportamiento poblacional con los grupos funcionales microbianos estudiados.
- ◆ Sustituir el empleo de fertilizantes químicos por el de biofertilizantes para evitar variaciones en la microbiota del suelo y en la rizosfera de los cultivos.
- ◆ Evaluar las comunidades de microorganismos en la rizosfera donde existe mayor actividad microbiana.

REFERENCIAS

- Azcón R., J. M. Barea y D. S. Hayman. 1976. Utilization of rock phosphate in alkaline soils by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria. *Soil Biol. Biochem.* (8): 135-138.
- Abril, A. 2002. *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*, S. J Sarandón Editor, Ediciones Científicas Americanas (E.C.A). La Plata 2002.
- Abril A y Bucher EH. 1999. "The effects of overgrazing on soil microbial community and fertility in the dry savannas of Argentina". *Applied Soil Ecology* 12:159-167.
- Abril A, Bucher EH. 2001. "Overgrazing and soil carbon dynamics in the Western Chaco of Argentina". *Applied Soil Ecology* 16:243-249.
- Aldén I, F. Demoling y E. Baath. 2001. Rapid Method of Determining Factors Limiting Bacterial Growth in Soil. *Applied of Environmental Microbiology*, vol 67, No 4 1830-1838.
- Buyanosky G A, D L Cucera, G H Wagner. 1987. Comparative analices of carbon dynamics in native and cultivated ecosystems. *Ecology* 68: 2023-2031.
- COSUDE, 1999. Centro de información para el Desarrollo /CID. Bolivia un mundo de potencialidades. Atlas estadístico de Municipios INE/MDSP.
- Eady, R.R. 1992. The dinitrogen-fixing bacteria. En: *The Prokaryotes* I. Edt. Balow A.; H. Trüper, M. Dworkin, W. Harder y K. H. Schleifer. Springer-Verlag. New York. Web.umc.edu/microbio/Bio221/E – cerrodens.html.
- Fani R., G. Allota, M. Bazzicalupo, F. Ricci, C. Schipani y M. Polsinelli. 1989. Nucleotide sequence of the gene encoding the nitrogenase iron protein (nif H) of *Azospirillum* brasilense and identification of a region controlling nif H transcription. *Mol. Gen. Genet.* 220:81-87.
- Fernández, C. y R. Novo. 1988. El suelo como sustrato para la vida microbiana. En: *Vida microbiana en el suelo*. C. Fernández y R. Novo (eds.). Cap. 1. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba. p. 7-49.
- Frión L. 1990. *Ecología microbiana del Suelo*. Edt. Colección Reencuentro/8. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay
- Frobisher, M. 1969. *Microbiología*. Editorial Academia León. España.
- Mc Grady M. H. 1918. Tables for rapid interpretation of fermentation tubes results. *Can. Pub. Health. J.* (9): 275-286.
- Girard H. y R. Rougieux. 1964. *Técnicas de microbiología Agrícola*. Editorial Acribia, Zaragoza, España, www.lyesa.com/consultas/consultas/Acribia/Sublistas/Acribia2.html.
- Hableib C. M y P. W. Ludden. 2000. Regulation of Biological Nitrogen Fixation. *Recent Advances in Nutritional Sciences:* 1081-1084
- Jackson M.L. 1982. *Análisis químico de suelo*. Ediciones Omega, Barcelona (4ta Edición). España, pp. 662.
- Kennedy A.C. y K.L. Smith. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil* 170: 75-86.
- Lynch J.M. 1988. Microorganisms in their natural environments: the terrestrial environment, In. J. M. Lynch and J. E. Hobbie (ed), *Microorganisms in action: concepts and applications in microbial ecology*. Blackwell Scientific Publications, London, England. pp.113. www.um.es/biología/lic-biología
- Lynch J.M. 1990. *The rhizosphere*. John Wiley & Sons, Chichester, England. pp.120. www.ecescience.utoledo.edu/Faculty/Weher.
- Mingramm A, A. Russo, A. Pozzo, L. Cazau. 1979. Sierras Subandinas. En: *Geología Regional Argentina*. Córdoba. Academia Nacional de Ciencias. pp. 95-137.
- Medina M.E. 2004. Grupos funcionales microbianos en ecosistemas de Bosque y Pastizal de Cuba y Venezuela [inédito]. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología y Sistemática. Cuba.
- Paul EA & FE Clark 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academy Press, Inc. San Diego, California. 340pp.
- Pereira C.J. 2002. Poblaciones de Actinomicetos como componentes de comunidades bacterianas nos solos. *Actinomicetes–Streptomyces Internet Resources Center*, Brazil.
- Perrot K. W., S.U. Saratcchandra y J.E. Walter. 1990 Seasonal storage and release of phosphorus and potassium by organic matter and the microbial biomass in a high – producing pastoral soil. *Aust. J. Soil Res.* Vol 28 p. 593-608.
- Pochón J. y P. Tardeaux. 1962. Techniques en microbiologie du sol. En: *Tourelle* (ed.).
- Ramos A. y V. Callao. 1967. El empleo de la solubilización de fosfatos en placas como teoría diferencial bacteriana. *Microbiol. Española*, 20(1):10-15.
- Sessysch A., A. Weilharter, M.H. Gerzabek, H. Kirchmann y E. Kandeler. 2001. Microbial Population Structures in Soil Particle Size Fractions. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 67, No. 9, p. 4215-4224
- Tate K. R., D. J. Ross, A. J. Ramsay y K.N. Whale. 1991. Microbial biomass and bacteria in two pastures soils: An assessments procedures, temporal variations and the influence of P fertility status. *Plant Soil*: 132-241.
- Tate R.L. 1995. *Soil microbiology (symbiotic nitrogen fixation)*, p. 307-333. John Wiley & Sons, Inc, New York, N.Y. www.bibli.cirm.univ-mrs.fr/Reference.htm
- Tiessen, H., J.W.B. Stewart y C. V Cole, 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol 48 p.. 853-858.
- Tiurin I.V. y M.M. Kononova. 1984. *Método de determinación de nitrógeno total. Práctica de edafología*, I.S. Kauricher. Editorial MIR, Moscú, p. 161-163.
- Velazco A., M. Martínez y V.M. Paneque. 1985. Efecto del encalado sobre la microflora de un suelo ferralítico amarillento. I. Caña Planta. *Rev. Cultivos Tropicales*, vol. 9, No. 1, 80-84.
- Velazco A. 1997. *Azospirillum* sp., como diazótrofo predominante en los cultivos de caña de azúcar y arroz. Tesis para optar por el grado científico de Maestro en Ciencias. Universidad de la Habana. Cuba, 1997.
- Watanabe I. y W. L. Barraquio. 1979. Low levels of fixed nitrogen required for isolation of free living organism from rice roots. *Nature* (227): 565-566.

Marcia Medina. Master en Ecología y Sistemática Aplicada. Especialista en Microbiología del suelo. División Micología. Instituto de Ecología y Sistemática.
✉ marcia@ecologia.cu