



**INFORME DEL JURADO NOMBRADO POR EL CONSEJO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES PARA CONSIDERAR EL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO DEL BACHILLER MORALES MARQUEZ JIMMY ANTONIO**

En Mérida a los 16 días del mes de noviembre de 2000, a las 10:00 AM se reunieron los Profesores: Lina Sarmiento, Samuel Segnini y Mario Fariñas de la Facultad de Ciencias, miembros del jurado nombrado por el Consejo de la Facultad de Ciencias, para revisar el Trabajo Especial de Grado que sobre el tema: "Macroinvertebrados Edáficos en una Sucesión Secundaria y su Relación con las Propiedades del Suelo y la Vegetación en el Páramo de Gavidia. Mérida Venezuela", presentado por el Bachiller Morales Márquez Jimmy Antonio. Titular de la Cédula de Identidad N° V-13229210, para optar al título de:

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

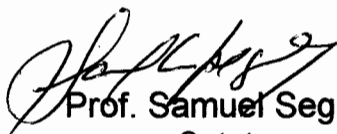
en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes. Acto seguido se procedió a oír la exposición que sobre el tema arriba mencionado realizó el Bachiller Morales Márquez Jimmy Antonio.

Después del correspondiente interrogatorio, el Jurado procedió a deliberar sobre la calificación del trabajo sometido a su consideración.

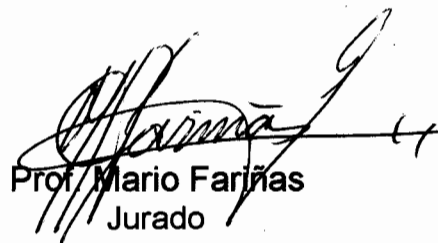
Finalmente el Jurado lo declaró aprobado con la Calificación de veinte (20) PUNTOS y recomendado para su publicación.



Prof. Lina Sarmiento  
Tutor



Prof. Samuel Segnini  
Cotutor



Prof. Mario Fariñas  
Jurado

República Bolivariana de Venezuela

Universidad de Los Andes – Facultad de Ciencias.

Departamento de Biología

Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas

**MACROINVERTEBRADOS EDÁFICOS EN UNA SUCESIÓN SECUNDARIA  
Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y LA  
VEGETACIÓN EN EL PÁRAMO DE GAVIDIA. MÉRIDA VENEZUELA.**

Br. Jimmy Morales

Tutores:

Dra. Lina Sarmiento

Dr. Samuel Segnini

Mérida, noviembre 2000.

## RESUMEN

Se investigaron algunos aspectos ecológicos de los macroinvertebrados edáficos, tanto del páramo no cultivado como de la sucesión secundaria, que tiene lugar a lo largo del descanso de las parcelas cultivadas en el Páramo de Gavidia. Se trabajó en 4 series de 4 parcelas cada una. Las parcelas de cada serie estaban ubicadas a igual altitud, exposición solar, pendiente y con similares características edafológicas, incluyendo páramo natural y tres períodos de descanso (inicio, temprano y tardío). La macrofauna se colectó manualmente en 6 monolitos de 25x25x30 cm por parcela. El muestreo de fauna fue complementado con censos de vegetación y análisis de suelo en cada parcela. Se partió de la hipótesis de que la densidad, riqueza y diversidad de macroinvertebrados edáficos aumentaría con el período de descanso, llegando al "máximo" en las áreas de páramo nunca antes cultivadas, asociándose con la recuperación de la vegetación y de las propiedades del suelo. Los resultados obtenidos muestran una alta heterogeneidad espacial en el valle, indicando que éste es un factor a tomar en cuenta para estudios en ambientes de montañas. Se encontró que la comunidad de macroinvertebrados edáficos está formada por 20 taxa pertenecientes a los *phyla* Nematoda, Mollusca, Annelida y Arthropoda, con una densidad promedio de 310 ind.m<sup>-2</sup>, una riqueza de 104 morfotipos y una diversidad de 14,3 morfotipos (según el N<sub>1</sub> de Hill). Dentro de estos taxa se encontró a Coleoptera como el más dominante, con 118 ind.m<sup>-2</sup> seguido de Diptera, con 99 ind.m<sup>-2</sup> y de Oligochaeta, con 36 ind.m<sup>-2</sup>. Los resultados revelan una relación positiva entre la densidad de esta comunidad y

algunas propiedades del suelo: capacidad de campo ( $r = 0,34$ ;  $p = 0,019$ .  $n = 48$ ), la materia orgánica ( $r = 0,36$ ;  $p = 0,011$ .  $n = 48$ ) y la relación carbono-nitrógeno ( $r = 0,43$ ;  $p = 0,002$ .  $n = 48$ ). Así mismo se encontró una relación positiva entre la riqueza de morfotipos animales y especies vegetales ( $r^2 = 0,53$ ;  $p = 0,007$ .  $n = 12$ ) y entre la diversidad de la macrofauna y de la vegetación ( $N_1$ :  $r^2 = 0,65$ ;  $p = 0,001$ ;  $N_2$ :  $r^2 = 0,75$ ;  $p < 0,001$ .  $n = 12$ ). Se verifica que la perturbación del páramo natural tiene efectos negativos sobre la comunidad de macroinvertebrados edáficos; reduce drásticamente los parámetros: densidad, riqueza de morfotipos y diversidad, de los cuales, solo la densidad se recupera totalmente a los 6 años de descanso. Así mismo, se evidencia un impacto negativo sobre la comunidad vegetal, cuyo biovolumen, riqueza de especies y diversidad, no llega a recuperarse a los 6 años de descanso. Además, el impacto también afecta al pH del suelo, encontrándose los valores más bajos en parcelas recién cosechadas. Se encontró que existen morfotipos animales característicos de cada etapa sucesional y del páramo no intervenido, por lo que se recomienda un estudio más profundo a fin de establecer posibles bioindicadores de calidad ambiental. Así mismo, se recomienda estudiar etapas sucesionales con descansos más largos a 6 años, para tratar de establecer cuantos años de descanso serán suficientes para que la comunidad biótica se recupere totalmente, en lo que a densidad, biovolumen, riqueza y diversidad se refiere; y trabajar con un mayor número de unidades de muestreo por parcela y de parcelas a fin de disminuir el efecto de la heterogeneidad espacial.

**Soil Macroinvertebrates in a Secondary Succession and its Relationship with Soil Properties and Vegetation in the Páramo de Gavidia. Mérida Venezuela.**

**ABSTRACT**

Soil macroinvertebrates were studied in natural paramo and in fallow fields in Páramo de Gavidia (Mérida-Venezuela). Four group (replicates) containing four plots were studied. The plots represent natural paramo, early, intermediate and late periods of fallow. Variables such as elevation, exposure, slope and soil characteristics were similar between the plots of each series. In each plot the macrofauna was collected manually in six 25 x 25 x 30 cm monoliths. Also the plant composition (biovolume per species) and physical and chemical properties of the soil were studied in each plot. The initial hypothesis was that density, richness and diversity of the soil macroinvertebrates would increase as the fallow length increases, reaching attaining a maximum in those sites, which had never been cultivated. The recovery of soil fauna is supposed to be associated to the restoration of vegetation and soil properties. The results show a high heterogeneity in the valley, which indicates that this factor must be taken in consideration in further mountain studies. It was found that the community of soil macroinvertebrates is composed of twenty taxa from the phyla Nematoda, Mollusca, Annelida and Arthropoda. The average density was 310 ind.m<sup>-2</sup>, the richness was 104 morphotypes and the diversity was 14,3 morphotypes, according to N<sub>t</sub> of Hill. Coleoptera, with 118 ind.m<sup>-2</sup>, was the dominant taxa followed by Diptera with 99 ind.m<sup>-2</sup> and Oligochaeta with 36 ind.m<sup>-2</sup>. The results show a positive

relationship between the density of soil macroinvertebrates and some soil properties as field capacity ( $r = 0,34$ ;  $p = 0,019$ ;  $n = 48$ ), organic matter ( $r = 0,36$ ;  $p = 0,011$ ;  $n = 48$ ) and the ratio carbon-nitrogen ( $r = 0,43$ ;  $p = 0,002$ ;  $n = 48$ ). Also, a positive relationship between the number of animal morphotypes and vegetal species was found ( $r^2 = 0,53$ ;  $p = 0,007$ ;  $n = 12$ ), and between fauna and plant diversity ( $N_1$ :  $r^2 = 0,65$ ;  $p = 0,001$ ;  $N_2$ :  $r^2 = 0,75$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 12$ ). The negative impact of perturbation of the natural paramo on the soil macroinvertebrate community was evident. Density, richness and diversity were reduced with cultivation; and only density is totally recovered after a period of six years of fallow. A negative impact on plant community is also evident; without a recovering of the plant biovolume, richness and diversity does not recover in a six year fallow period. Soil pH is also negatively affected by cultivation, with lower values in newly harvested fields. Since the presence of animal morphotypes related to each successional phase and natural paramo, a further study is recommended in order to establish possible bioindicators of environmental quality. A study of successional phases longer than six years, is suggested in order to determine the fallow length, allowing a complete recovery of density, biovolume, richness and diversity of the biotic community. Finally, the number of sampling unities per plot and the number of studied plots should be augmented to reduce the effect of the spatial heterogeneity.

## TABLA DE CONTENIDO:

<b>1.- INTRODUCCION:</b> .....	<b>1</b>
1.1.- <b>Objetivos:</b> .....	<b>16</b>
1.1.- <b>Hipótesis de Trabajo:</b> .....	<b>18</b>
<b>2.- METODOLOGIA:</b> .....	<b>20</b>
2.1.- <b>Área de Estudio:</b> .....	<b>20</b>
2.2.- <b>Materiales y Métodos:</b> .....	<b>23</b>
2.2.1.- <b>Actividades de Campo</b> .....	<b>24</b>
2.2.2.- <b>Actividades de Laboratorio</b> .....	<b>31</b>
2.2.3.- <b>Análisis Estadísticos</b> .....	<b>32</b>
<b>3.- RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
3.1.- <b>Variación Sucesional y Espacial de los Macroinvertebrados Edáficos</b> .....	<b>38</b>
3.1.1.- <b>Estructura de la Comunidad de Macroinvertebrados Edáficos</b> .....	<b>38</b>
3.1.2.- <b>Efecto del Tiempo de Descanso</b> .....	<b>40</b>
3.1.3.- <b>Efecto de la Profundidad del Suelo</b> .....	<b>58</b>
3.1.5.- <b>Efecto de la Serie</b> .....	<b>66</b>
3.1.6.- <b>Efecto de la Vertiente (exposición solar)</b> .....	<b>72</b>
3.1.7.- <b>Análisis tridimensional de la variabilidad: ejes horizontal, vertical y temporal</b> .....	<b>75</b>
3.1.8. - <b>Síntesis de la Primera Parte</b> .....	<b>81</b>
3.2.- <b>Variación Sucesional y Espacial en las Propiedades Físico-Químicas del Suelo y su     Relación con los Macroinvertebrados Edáficos</b> .....	<b>85</b>
3.2.1.- <b>Efecto del Tiempo de Descanso</b> .....	<b>86</b>
3.2.1.- <b>Efecto de la Profundidad</b> .....	<b>87</b>
3.2.3.- <b>Efecto de las Series</b> .....	<b>89</b>
3.2.4.- <b>Correlaciones entre variables físico-químicas edáficas</b> .....	<b>94</b>
3.2.5.- <b>Relación entre las propiedades edáficas, la profundidad y las etapas serales</b> .....	<b>96</b>
3.2.6.- <b>Relaciones entre la densidad de la macrofauna y las propiedades edáficas</b> .....	<b>101</b>
3.2.7.- <b>Síntesis de la segunda parte</b> .....	<b>109</b>
3.4.- <b>Variación Sucesional y Espacial de la Vegetación y sus Relaciones con las     Propiedades del Suelo y con los Macroinvertebrados Edáficos</b> .....	<b>111</b>
3.4.1.- <b>Efecto del Tiempo de Descanso</b> .....	<b>112</b>

3.4.2.- Efecto de la Serie.....	114
3.4.3.- Relaciones entre la vegetación y las propiedades edáficas.....	117
3.4.4.- Relaciones entre la vegetación y los macroinvertebrados edáficos.....	119
3.4.5.- Síntesis de la tercera parte.....	122
<b>4.- DISCUSIÓN .....</b>	<b>124</b>
4.1.- Historia de uso de las parcelas.....	124
4.2.- Estructura de la comunidad de macroinvertebrados edáficos.....	125
4.3.- Impacto de la agricultura.....	127
4.4.- Tendencias sucesionales.....	130
4.5.- Morfotipos característicos de edades sucesionales y del páramo no intervenido. ..	133
4.6.- Distribución vertical de la macrofauna edáfica y de las propiedades del suelo. ....	135
4.7.- Distribución horizontal de la macrofauna edáfica, de la vegetación y de las propiedades del suelo.....	137
4.8.- Influencia de la heterogeneidad espacial sobre los macroinvertebrados edáficos. .	138
4.9.- Importancia de la macrofauna edáfica sobre la fertilidad del suelo.....	140
<b>5.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>143</b>
<b>6.- BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>146</b>



## 1.- INTRODUCCION:

El Páramo Andino es un ecosistema de la alta montaña de Sudamérica tropical. Está ubicado por encima del límite arbóreo (con la excepción de *Polylepis* sp.) y por debajo del límite de las nieves perpetuas, extendiéndose en altitud desde los 2500 - 3000 msnm, dependiendo de las condiciones ambientales, hasta los 4700 msnm, y en espacio geográfico, desde Costa Rica hasta Perú, alrededor de 11° de latitud norte y los 8° de latitud sur, con una expansión que se centra en los Andes colombianos y ecuatorianos y su estribación noreste-sureste hasta Venezuela, en la Sierra Nevada de Mérida y Sierra de Perijá (Azocar 1974; Lauer 1979).

La agricultura tradicional practicada en los páramos venezolanos (entre 3000 - 3800 msnm) es similar, en varios aspectos, a la forma tradicional de agricultura en el resto del trópico: se caracteriza por incluir largos períodos de descanso de las parcelas cultivadas. En el Páramo de Gavidia, donde se realizó este trabajo, el número de cosechas antes de dejar las parcelas en descanso depende de las características del suelo y del tiempo previo en descanso. Por lo general se realizan como máximo tres cultivos consecutivos de papa y el periodo de cultivo finaliza muchas veces con un cereal. El ciclo agrícola termina con el descanso de la parcela por un plazo mínimo de tres años consecutivos pero que puede extenderse por más de 10 años. Una diferencia significativa de este manejo con el resto de los practicados en el trópico es que la

quema no es usada frecuentemente, lo que le da una sostenibilidad al agroecosistema, ya que la biomasa vegetal pasa directamente a formar parte de la materia orgánica, la cual protege al suelo de la erosión hídrica al favorecer la infiltración del agua de lluvia. Este tipo de agricultura controla la presión ejercida sobre el ambiente, minimizando la utilización de productos químicos externos al ecosistema y manteniendo una alta diversidad biológica, producto del mosaico de parcelas cultivadas y en diferentes etapas de la sucesión secundaria que ocurre durante el período de descanso. Aunque este manejo pareciera ser un modelo exitoso de agricultura sostenible, no se conocen bien los mecanismos ecológicos implicados en la recuperación ni existe una evidencia clara de que los períodos actuales de descanso sean suficientes para no causar una degradación (Llambí y Sarmiento 1998).

La característica principal del manejo agrícola con descansos largos es la de permitir la recuperación del área cultivada a través de los cambios naturales en el tiempo, proceso conocido como sucesión ecológica, en el cual un sistema simplificado tiende hacia etapas cada vez más complejas, tanto en estructura como composición y función (Aranguren 1988). La teoría clásica de la sucesión sugiere que las especies se sustituyen unas a otras debido a que en cada etapa modifican al ambiente de modo que resulta ser menos adecuado para éstas y más apropiado para las subsiguientes, mecanismo conocido con el nombre de facilitación (Krebs 1985).

Llambí y Sarmiento (1998), mencionan que de acuerdo a los campesinos del Páramo de Gavidia, el descanso es impuesto por la disminución de la fertilidad de los suelos, luego de varios años consecutivos de cultivo. Durante los descansos ocurre una recuperación parcial de la vegetación natural de páramo, a través de una sucesión ecológica de la vegetación. Teóricamente debe también ocurrir una sucesión de las comunidades faunísticas asociada con la sucesión vegetal y con los cambios de las características edafológicas. Esto corresponde con lo expuesto por Lanfranco (1981), el cual menciona que las comunidades presentan un conjunto de elementos interrelacionados, por tanto interdependientes entre sí. Este mismo autor indica que cada comunidad presenta un conjunto de elementos que la caracterizan, jerarquizándola de tal manera que la individualizan estructural y funcionalmente, permitiendo identificar los períodos sucesionales en que se encuentra en un momento determinado.

Estudios sobre la sucesión ecológica realizados en el Páramo de Gavidia muestran un claro aumento de la biomasa vegetal a lo largo del descanso pero no se han podido evidenciar aumentos sucesionales de la materia orgánica, biomasa microbiana ni del resto de las propiedades físico-químicas estudiadas, que pudieran explicar la recuperación de la fertilidad. Además, el enriquecimiento edáfico relacionado con el tiempo de descanso no es evidente (Aranguren 1988; Sarmiento *et al.* 1993; Llambí y Sarmiento 1998).

Las perturbaciones producidas por el mal manejo de los ecosistemas generan alteraciones biológicas, físicas y químicas en el suelo y su intensificación la degradación de los mismos. En un agroecosistema la implementación de un manejo que garantice una producción sostenible requiere de estudios que involucren las realidades ecológicas y socioeconómicas, así como todos los procesos edáficos y en especial el rol que desempeñan los organismos que habitan en el suelo, desde los micro hasta los macroorganismos (Jeffries y Barea 1994). Se debe tener en cuenta el plan y procedimientos de cultivos con procesos naturales para conservar los recursos, minimizando la pérdida y el daño medioambiental, mientras mantiene o mejora la rentabilidad de los cultivos. Los sistemas de agricultura sostenibles consideran en conjunto los ciclos hídricos y de nutrientes, el flujo de energía, los organismos edáficos y su actividad biológica para lograr mantener la fertilidad de la tierra y su productividad (Ecological Agriculture Projects 1989).

La biodiversidad en el suelo puede incluir representantes de todos los *phyla* terrestres, con gran variedad de funciones ecológicas, tamaños y tipos de organización biológica. La comunidad se puede dividir tomando en cuenta tamaños, unidades funcionales o categorías ecológicas, de acuerdo con el papel que los individuos cumplan en los procesos tróficos (producción, consumo, predación, descomposición), más que en unidades taxonómicas (Lavelle *et al.* 1993).

En este sentido Coleman (1996) divide artificialmente a la fauna, según su tamaño corporal, en tres clases. Éstas son: la microfauna (microorganismos), la cual comprende a los animales con un tamaño menor o igual a 0,16 mm y que habitan en la fase líquida del suelo; la mesofauna, que comprende a los animales que miden entre 0,17 y 10,4 mm y que viven en la fase gaseosa del suelo; y por último a la macrofauna y/o megafauna, cuyos animales miden más de los 10,5 mm de tamaño, los cuales cavan o crean sus propios hábitats. Estos últimos juegan un papel de importancia en la estructuración del suelo.

La hojarasca y la necromasa en general, a través de la fauna, sufre diferentes transformaciones. Desde la macrofauna que fragmenta los compuestos orgánicos, relativamente grandes, hasta la microbiota que mineraliza y genera los últimos procesos bióticos en el flujo de materia y energía del ecosistema (Crossley 1995).

Los macroinvertebrados son considerados como importantes reguladores de los procesos edáficos, afectando de diferentes formas la fertilidad del suelo. Estos tienen efectos positivos en la conservación de la estructura del suelo, ya que mantienen la porosidad y crean agregados estables; actúan sobre el microclima, humedad, aireación y en las propiedades físico-químicas del suelo a microescala, además modifican las condiciones locales a través de los procesos de descomposición; pueden activar o inhibir la función de los microorganismos responsables de la mineralización y

procesos de humificación, afectando consecuentemente el ciclado de la materia orgánica; están involucrados en la conservación y ciclado de nutrientes, los acumulan en sus estructuras y participan directamente en la liberación de nutrientes asimilables por las plantas (Lavelle *et al.* 1993; Lavelle *et al.* 1994; Salamanca y Chamorro 1994; Wolters y Ekschmitt 1997).

Anderson e Ingram (1998) clasifican a los macroinvertebrados edáficos de acuerdo a sus hábitos alimentarios y distribución en el perfil del suelo en: *epigeos*, especies que habitan y se alimentan en la superficie del suelo; *anécicos*, especies que migran verticalmente en los estratos edáficos, remueven la hojarasca de la superficie del suelo a través de sus actividades alimenticias, pueden redistribuir considerables cantidades de suelo, elementos minerales y materia orgánica a través de éstas actividades, afectando la estructura del suelo y sus características hidráulicas; e *hipogeos*, especies que viven por debajo de la superficie en el suelo y que se alimentan de materia orgánica y raíces muertas.

Una comunidad edáfica antigua o de estado sucesional avanzado es indicada por una alta diversidad de especies y nichos ecológicos, cumpliendo un papel importante en la dinámica del suelo, a través de sus cadenas tróficas (Lanfranco 1981).

La abundancia y diversidad de los macroinvertebrados indican la calidad del suelo y el grado de influencia en la dinámica de la materia orgánica, contenidos de nutrientes y parámetros físicos como densidad del suelo, porosidad y disponibilidad de agua (Lavelle *et al.* 1994). Por lo tanto, se pueden considerar a éstos organismos como indicadores de alta sensibilidad en la medición de los impactos humanos sobre el ambiente (Lavelle 1990; Benckiser 1997).

Makeschin (1997), menciona que la frecuente perturbación del suelo afecta especialmente la superficie del mismo, donde habitan la mayoría de las especies animales. El arado reduce considerablemente las poblaciones de animales edáficos, especialmente cuando el cultivo se realiza en períodos de sequías o heladas.

El grado en que la macrofauna es afectada por las prácticas agrícolas dependerá de la riqueza y de la diversidad relativa de los campos bajo cultivo, así como de la intensidad, modo o práctica y frecuencia del manejo. Sin embargo se puede decir que la pérdida de refugios proveniente de la desecación, junto con la perturbación permanente y las alteraciones en la entrada de recursos son probablemente las causas más importante del empobrecimiento de las comunidades de macroinvertebrados edáficos (Wolters y Ekschmitt 1997).

Por otro lado Decaëns y colaboradores (1994) mencionan que los cultivos anuales tienen un impacto negativo sobre las comunidades de invertebrados edáficos, con una gran disminución de la biomasa, densidades poblacionales y riqueza de especies, debido a alteraciones mecánicas, por arado; alteraciones químicas, por la aplicación de fertilizantes y pesticidas al suelo y por la modificación del microclima edáfico después de la tala o extracción de la vegetación natural. Cuando el cultivo es introducido, no solo la vegetación natural es destruida, sino que el sitio es sujeto a continuas perturbaciones debidas a la introducción de especies de cultivo y a los disturbios en el suelo originados por las cosechas. Esto da como resultado una progresiva reducción de la diversidad de especies (Ramakrishnan y Vitousek 1989).

Estos impactos pueden generar un desequilibrio en las concentraciones de nutrientes, reducir la diversidad de especies, acortar la longevidad de los individuos debido a la falta de adaptación a éstos ecosistemas transicionales, reducir la biomasa de los invertebrados y aumentar la amplitud de fluctuaciones de poblaciones importantes (Hill 1985). Sin embargo la alteración de la dinámica de las comunidades por el impacto producido durante la agricultura rotacional, a grandes rasgos no es conocida (Lavelle 1990).

Según lo que se pudo observar en el campo, los agricultores en el área de estudio fertilizan sus tierras con productos químicos (formulas: NPK) u orgánicos (estiércol o



gallinaza). Los estudios de Makeschin (1997) revelan que la aplicación de estos fertilizantes tiene efectos positivos en las densidades de algunos invertebrados del suelo. Sin embargo, alega que su aplicación en altas cantidades puede generar concentraciones elevadas de sustancias tóxicas, como amonio, ácidos, sulfatos, entre otros, causando efectos letales en las poblaciones, especialmente, en los individuos de estadios juveniles de las especies edáficas.

Se pudo evidenciar claramente en el estudio llevado a cabo por Llambí y Sarmiento (1998), que la incorporación de tierras a ciclos de cultivo-descanso disminuye el contenido de materia orgánica y la biomasa microbiana del suelo y aumenta la nitrificación, procesos que no parecen ser reversibles en el tiempo de descanso utilizado actualmente por los campesinos. Esto pudiera estar asociado con la pérdida de fertilidad edáfica, es decir, que hay diferencias claras entre las parcelas cultivadas y las de páramo nunca cultivado. Este impacto puede tener efectos drásticos sobre la fauna del suelo, ya que como se cita anteriormente, ésta es sensible a una serie de factores que al modificarse por acción externa pueden originar un desequilibrio desfavorable.

Cuando plantas de cultivos son introducidas en una región o cuando el área bajo cultivo es expandida hay una rápida colonización por especies de artrópodos

capaces de usar los nuevos recursos alimenticios disponibles (Kogan 1981), generando una recuperación paulatina de las comunidades edáficas.

Según la teoría de sucesiones mencionadas anteriormente, la fauna del suelo después de ser perturbada negativamente por un factor externo, como la agricultura, tendería a recuperarse progresivamente a través del tiempo, dando lugar a una sucesión secundaria o como algunos autores la llaman, **faunística de relevo**, debido a que los organismos de etapas serales tempranas, de estrategias “r”, con ciclos de vida cortos y menos especializados, son sustituidos por otros estrategias “k”, con ciclos de vida más largos y más especializados (Odum y Sarmiento 1998). Este proceso puede ser rápido o lento, dependiendo de las condiciones ambientales, la intensidad del daño ocasionado por la perturbación y por la prolongación del mismo (Ramakrishnan y Vitousek 1989). Sin embargo las tendencias siguen un patrón con el tiempo en recuperación. Dicho patrón suele ser evidente, ya sea considerando un solo grupo taxonómico o una comunidad entera. No obstante, algunas especies tienen mayor tolerancia de hábitat que otras y se mantienen en éste por mayor tiempo que otras exclusivas de solo algunas etapas sucesionales. En cuanto a la diversidad, ésta aumenta en especial durante las primeras fases de la sucesión secundaria (Odum y Sarmiento 1998).

El número de especies animales en un área puede presentar variaciones asociadas con cambios sucesionales en la comunidad de plantas. Estudios de la sucesión de especies herbáceas en un cultivo abandonado muestra un incremento de la diversidad de especies en un período de tiempo relativamente corto (Huston 1994). Sin embargo, Koehler (1998) estudió 13 años de sucesión secundaria de la mesofauna edáfica y no encontró una evidencia clara que explicara la dinámica de recuperación.

La pedozoología, estudio de la vida animal en el suelo, es una ciencia reciente y por tanto no se tiene un inventario completo en su campo (Bequette 1997). Además, las metodologías de muestreo no se han estandarizado del todo, puesto que la amplia diversidad de microambientes, unidades edáficas y geomorfológicas, así como la alta diversidad faunística implica técnicas de muestreos propias o características para cada ambiente. Por otro lado, las restricciones taxonómicas y logísticas que surgen durante los tratamientos taxonómicos convencionales, han restringido en gran medida el uso de listas de invertebrados terrestres, lo que limita los cálculos de biodiversidad de algunos ecosistemas a estimaciones hechas solo con vertebrados y/o plantas, excluyendo a los invertebrados, el grupo más diverso de la biota (Oliver y Beattie 1996).

Considerando lo anterior Oliver y Beattie (1994), sugieren que los morfotipos pueden ser usados como substitutos de las especies en ciertos casos de monitoreo

ambiental, en especial cuando se trata de estudiar y comparar áreas con estimaciones de riqueza y diversidad.

La fauna del suelo responde a las características ambientales y microambientales que en él existen y las variaciones que puedan existir en las comunidades edáficas dependerán principalmente de las propiedades físico-químicas, responsables de la disponibilidad de recursos, del estrés ambiental y del manejo que se le dé al ecosistema. Por tanto los animales del suelo seguirán un gradiente ambiental tanto vertical como horizontal.

El gradiente vertical está dado principalmente por la variación de la temperatura, los contenidos de materia orgánica y textura del suelo. Estas variaciones verticales hacen posible la diferenciación de horizontes edáficos, los cuales dependiendo de otras características ambientales, son diferentes entre un área y otra. El gradiente horizontal está influenciado principalmente por la cobertura vegetal y/o los mosaicos caracterizados por el microrelieve y vegetación (Lavelle 1983). Ambos gradientes edáficos darán como resultado la heterogeneidad espacial de un sistema.

Los estudios ecológicos de comunidades asociadas directamente al suelo, se ven afectados en gran medida por la heterogeneidad espacial del ambiente, que en el caso del Páramo de Gavidia, como en todos los ecosistemas montañosos, es alta.

Estos efectos pueden influir significativamente en los resultados obtenidos, lo que lleva a interpretaciones erróneas en la dinámica de un sistema y consecuentemente, a la toma de decisiones incorrectas sobre su manejo.

En este sentido, Llambí y Sarmiento (1998) en sus análisis indican que la sucesión que se suponía para la biomasa microbiana y las características edafológicas estudiadas en el Páramo de Gavidia fue, probablemente, enmascarada por la heterogeneidad espacial y la profundidad del suelo utilizada para realizar los muestreos. Así mismo, Aranguren (1988), concluye que existe una alta pedregosidad lo que genera una alta heterogeneidad hídrica y mineral. Estos autores sostienen que la heterogeneidad debe tenerse en cuenta cuando se hace un estudio ecológico o agrícola e indican que "...el análisis de la heterogeneidad edáfica es fundamental en el diseño de cualquier estudio sobre el funcionamiento de estos agroecosistemas..."

Morales (1995), estudia varias parcelas en el Páramo de Gavidia, obteniendo en sus análisis que todas ellas, a pesar de estar en una misma área, presentan gran diferencia en cuanto a las propiedades edáficas y se lo atribuye a los procesos de erosión y deposición de materiales como resultado de sus posiciones topográficas, tipo de vegetación y a la historia de uso agrícola que presentan dichas áreas.

En el Páramo de Gavidia, además de existir una heterogeneidad natural, se introduce otro factor que es la heterogeneidad en cuanto a la historia de uso, en términos del número de cultivos consecutivos, de cual fue el último cultivo antes del descanso, de la intensidad de pastoreo durante el descanso y del número total de ciclos de cultivo-descanso por los que haya pasado la parcela (Llambí 1997).

Tomando en cuenta las recomendaciones citadas anteriormente y considerando el problema de la heterogeneidad espacial como un hecho palpable, además de un factor intrínseco que puede originar interpretaciones erróneas, se diseñó un muestreo estratificado utilizando 4 series de parcelas. Dentro de cada serie se estudiaron parcelas adyacentes pero con diferentes tiempos de descanso, buscando la mayor homogeneidad posible, en cuanto a características edafológicas y geomorfológicas. En estas parcelas se evaluó el impacto de la agricultura sobre la macrofauna edáfica, su recuperación a lo largo del tiempo (sucesión secundaria) y su relación con la recuperación de la fertilidad del suelo (características físico-químicas) y con las comunidades vegetales, minimizando en lo posible el ruido producido por otras variables del tipo geográficas.

El presente estudio dará a conocer la abundancia y composición taxonómica (órdenes y morfotipos) de la macrofauna del suelo de éste ambiente. Así mismo, proporcionará información sobre los patrones de distribución espacial de los

macroinvertebrados edáficos relacionados con los factores bióticos y abióticos; e información respecto al impacto ocasionado por las actividades agrícolas sobre la macrofauna edáfica, la cual participa activamente y cumple un papel de gran importancia en el ciclado de nutrientes y en la estructuración del suelo.

## 1.1.- Objetivos:

1.- Estimar el efecto de la agricultura sobre la densidad, composición, riqueza y diversidad de los macroinvertebrados edáficos en el valle Las Piñuelas del Páramo de Gavidia. Esto se hará a través de la comparación entre parcelas nunca cultivadas y parcelas que acaban de ser dejadas en descanso después de su uso agrícola.

2.- Analizar la dinámica de la recuperación de los macroinvertebrados edáficos durante la sucesión, tomando como parámetros la densidad, riqueza y diversidad. Este análisis se hará comparando los distintos estadios sucesionales.

3.- Estudiar las relaciones entre la comunidad de macroinvertebrados edáficos, la comunidad vegetal y las propiedades físico-químicas del suelo.

4.- Evaluar el efecto de la heterogeneidad sobre la distribución espacial y tendencias sucesionales de los macroinvertebrados edáficos a varias escalas (entre series y entre vertientes), a través de comparaciones entre series de parcelas y vertientes del valle Las Piñuelas.



5.- Proporcionar información sobre la densidad y composición de los macroinvertebrados edáficos del Páramo de Gavidia y como se ven afectados por el uso agrícola.

6.- Evaluar si existen morfotipos característicos de zonas perturbadas y de diferentes etapas de la sucesión, que pudieran ser usados como indicadores de fertilidad.

## 1.1.- Hipótesis de Trabajo:

Si las comunidades tienden a cambiar a lo largo de la sucesión secundaria, en cuanto a su composición y estructura, llegando a ser cada vez más complejas, entonces *suponemos que la densidad, riqueza y diversidad de macroinvertebrados edáficos aumentará con el periodo de descanso llegando al "máximo" en las áreas aun sin cultivar*, debido a la existencia de mayor cantidad de recursos y menor perturbación física. Esto explicará una sucesión secundaria como efecto del cultivo y la "recuperación" a lo largo del descanso.

Si la comunidad de macroinvertebrados edáficos está determinada principalmente por la disponibilidad de recursos y características del suelo, entonces *suponemos que la densidad de la macrofauna estará relacionada con los contenidos de materia orgánica, capacidad de retención de humedad y por consiguiente con la textura del suelo, así como también con el biovolumen, riqueza de especies y diversidad de la comunidad vegetal.*

Si la distribución de la biota responde a las características ambientales, entonces *suponemos que la distribución espacial, en cuanto a densidad de macroinvertebrados edáficos se hará más heterogénea al aumentar el período de descanso, llegando a su "máxima" heterogeneidad en áreas aun sin cultivar*. Esto se asociaría con un aumento en la heterogeneidad de la vegetación y de las propiedades físico-químicas del suelo a lo largo de la sucesión.

Una característica fundamental del suelo es su disposición en horizontes diferenciados física, química y biológicamente (Lavelle 1983). Si se parte de lo anterior, entonces *suponemos que la comunidad de macroinvertebrados edáficos variará en un gradiente de profundidad, siendo mayor en densidad, riqueza y diversidad en los primeros centímetros y menor en las capas más profundas*, debido a la mayor abundancia de recursos y a las mejores condiciones físico-químicas en los horizontes más superficiales. Además se *supone que esta diferenciación se hará más notable a medida que se avanza en las etapas serales*, debido a que la acción de los factores pedogenéticos diferencian los estratos edáficos, previamente homogeneizados por el arado durante el período de cultivo.

## 2.- METODOLOGIA:

### 2.1.- Área de Estudio:

El área de estudio está ubicada en el Páramo de Gavidia, entre los 3400 y los 3700 msnm, dentro del Parque Nacional Sierra Nevada de la Cordillera de Mérida, al suroeste de Venezuela (figura 1). Geográficamente, se ubica entre los 8°35' y 8°45' de latitud Norte y entre los 70°52' y 70°58' de longitud Oeste.

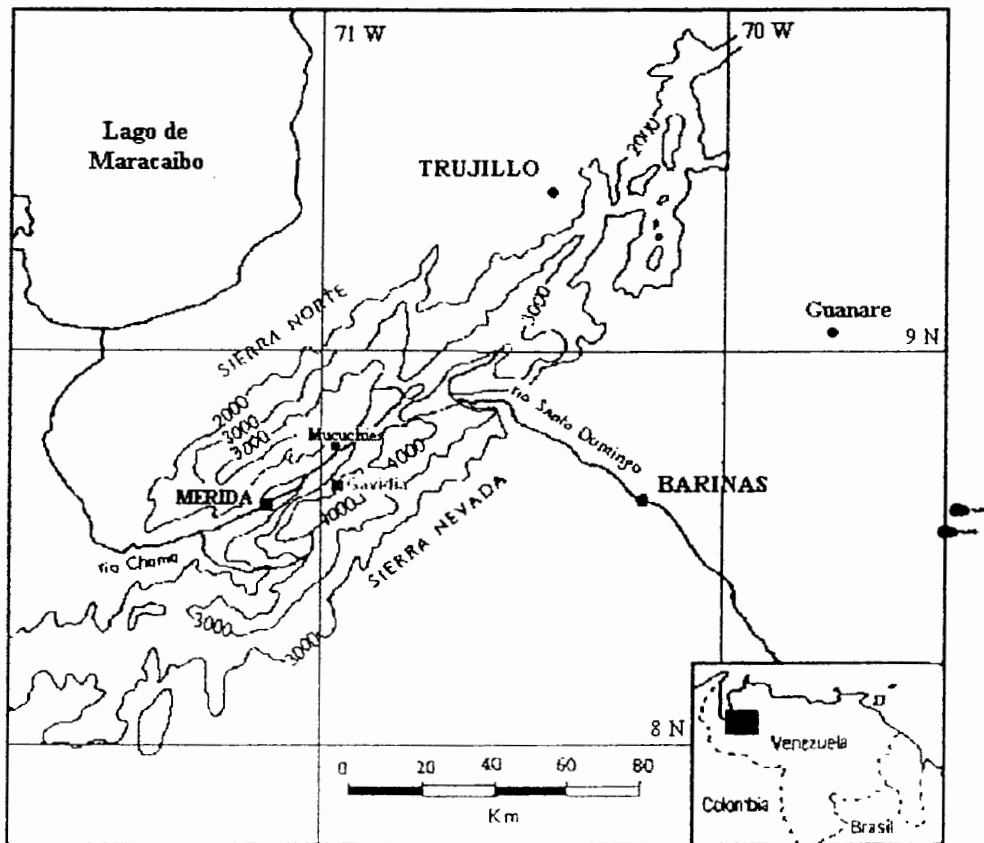


Figura 1. Mapa de la región indicando la ubicación del área de estudio.

El clima presenta un régimen de precipitación unimodal (figura 2), con un período seco que corresponde a los meses comprendidos entre diciembre y marzo y con un período de lluvias entre abril y noviembre. El pico de lluvias ocurre entre los meses julio y junio. Durante los meses de sequía se presentan algunos días con heladas. La precipitación media anual es de 1380 mm. La temperatura media anual está entre los 8,4° C. La temperatura media anual del suelo a 10 cm de profundidad es de 14,1° C.

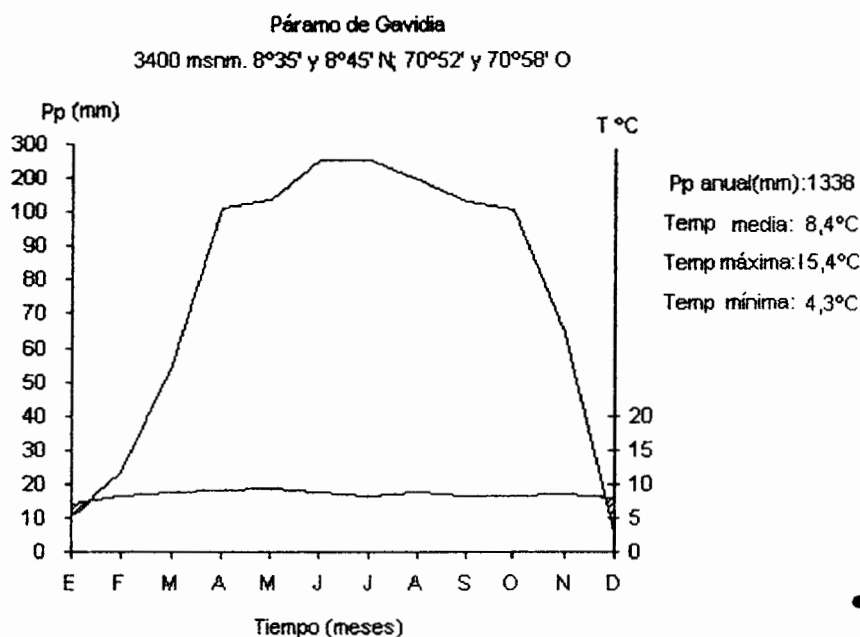


Figura 2: Climadiagrama del Páramo de Gavidia. Datos tomados de la estación climatológica del Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (I.C.A.E.) en Gavidia.

El valle es de origen glacial y comprende a dos subcuencas (Micarache y Las Piñuelas). Presenta afloramientos rocosos de la formación "Grupo Iglesias", que corresponden al precámbrico superior, cubiertos por materiales del cuaternario. Los suelos son inceptisoles, ricos en materia orgánica y pobres en nutrientes disponibles. La vegetación es un "arbustal-rosetal" (Monasterio 1980), dominado por rosetas del género *Espeletia* y arbustos de los géneros *Hypericum*, *Baccharis*, *Acaena* y *Stevia*, presentándose áreas de sucesión secundaria y parcelas cultivadas.

Las actividades agrícolas se desarrollan entre los 3000 y los 3800 msnm., incluyendo los cultivos de papa y cereales. La cría de animales, como aves de corral y ganado (vacuno y equino, fundamentalmente) es también una actividad importante.

Se puede evidenciar una alta heterogeneidad paisajística, marcada principalmente por las características geomorfológicas y por las acciones antrópicas, las cuales han venido amplificándose por la expansión de la frontera agrícola e intensificándose por el crecimiento demográfico, por la creación de vías de acceso y por la introducción de nuevas tecnologías agrícolas (Sarmiento *et al.* 1993).

## 2.2.- Materiales y Métodos:

Las actividades que se desarrollaron en el presente estudio siguen el esquema presentado en la figura 3. Estas actividades consistieron en trabajo de campo, comprendido entre los meses septiembre (selección de parcelas), octubre y noviembre (muestreos), período que correspondió con el final de la época de lluvias; laboratorio y la aplicación de análisis estadísticos a los datos obtenidos.

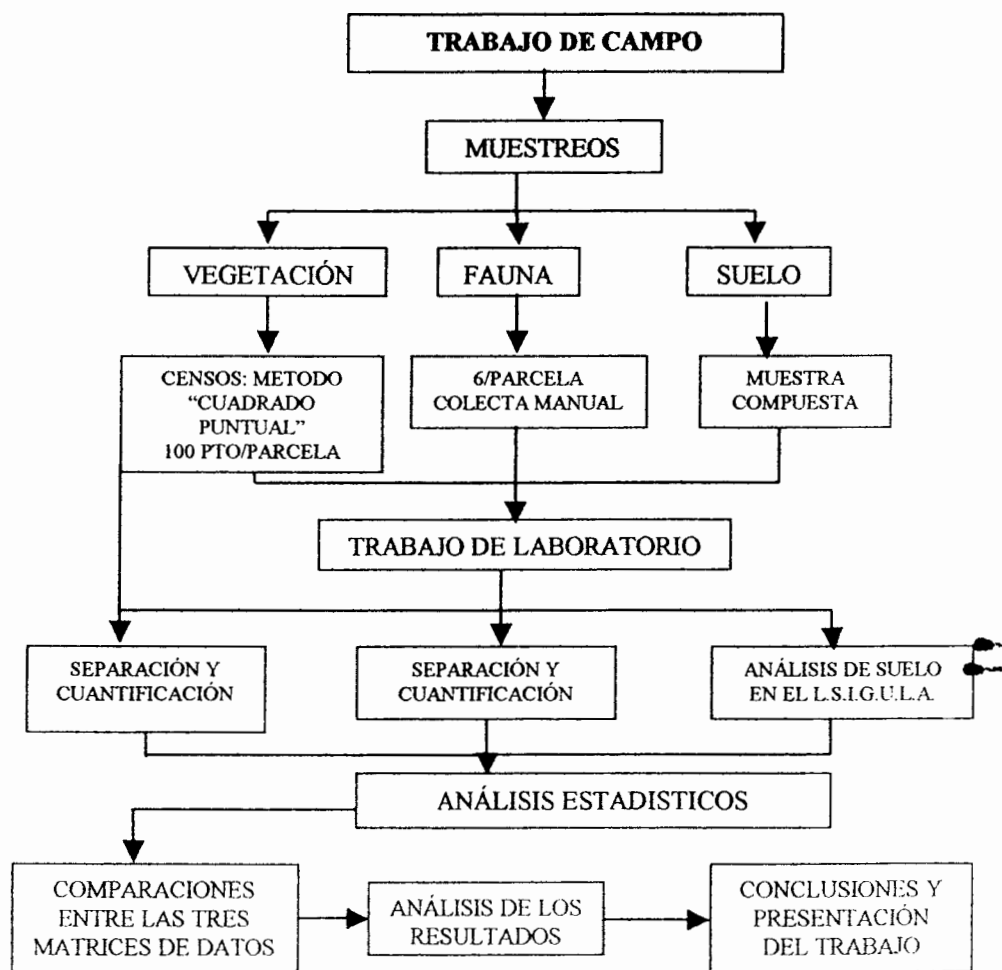


Figura 3: Esquema de la metodología aplicada.

### 2.2.1.- Actividades de Campo

**I.- Selección de las parcelas:** como se mencionó anteriormente, el área de estudio presenta una marcada heterogeneidad espacial. Esto pudiera dificultar la interpretación de los resultados. Para evitar este problema, se realizó un muestreo estratificado, seleccionándose 4 series, cada una integrada por 4 parcelas vecinas entre sí (figura 4), con similares condiciones de altitud, exposición solar, pendiente y características geomorfológicas y topográficas. De esta manera se intentó reducir la variabilidad y que únicamente el tiempo de descanso variara significativamente entre las parcelas de cada serie. Cada serie presentó parcelas con:

- .- Punto cero o inicio de sucesión: 0 año de descanso.
- .- Sucesión temprana: 1 año
- .- Sucesión avanzada: 6 años
- .- Páramo no cultivado o nunca cultivado.

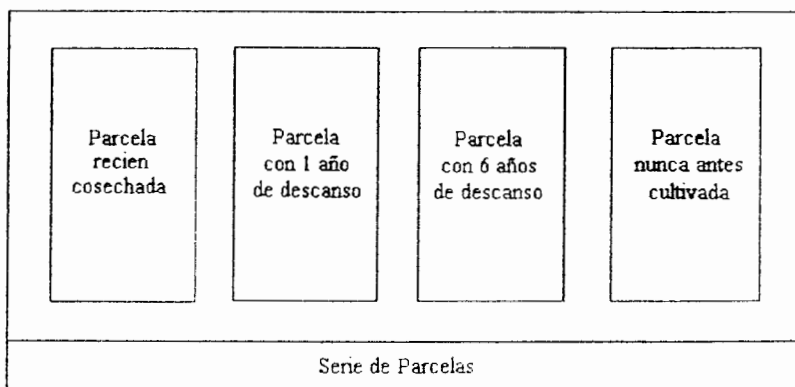


Figura 4: Representación de las parcelas en una serie.



