

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
GRUPO DE ECOLOGIA VEGETAL

X
\$ 587.5
N5A7

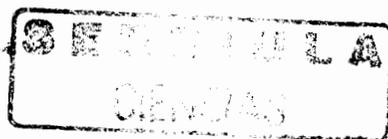
ASPECTOS DE LA DINAMICA DEL NITROGENO EN PARCELAS CON
DIFERENTE TIEMPO DE DESCANSO EN EL PARAMO DE
GAVIDIA.

SERBIULA - BIACI



S587.5 N5A7

Anairamiz Aranguren





UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
GRUPO ECOLOGIA VEGETAL
EDIFICIO A - NUCLEO LA HECHICERA

12.37

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 DE LA BACHILLER:

ANAIRAMIZ ARANGUREN

EN MERIDA, A LOS VEINTISIETE DIAS DEL MES DE JULIO DE MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y OCHO, SE REUNIERON LOS PROFESORES: DRA. MAXIMINA MONASTERIO, DR. HECTOR RODRIGUEZ y DR. JEAN MARIE HETIER, QUIENES FORMAN EL JURADO NOMBRADO POR EL CONSEJO DE LA FACULTAD PARA REVISAR EL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO QUE SOBRE EL TEMA: "ASPECTOS DE LA DINAMICA DEL NITROGENO EN PARCELAS CON DIFERENTE TIEMPO DE DESCANSO EN EL PARAMO DE GAVIDIA", PRESENTO LA BACHILLER ANAIRAMIZ ARANGUREN PARA OPTAR AL TITULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGIA

EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, ACTO SEGUIDO SE PROCEDIO A OIR LA EXPOSICION QUE SOBRE EL TEMA ARRIBA MENCIONADO HIZO LA BACHILLER ANAIRAMIZ ARANGUREN. DESPUES DEL CORRESPONDIENTE INTERROGATORIO, EL JURADO PROCEDIO A DELIBERAR LA CALIFICACION DEL TRABAJO SOMETIDO A SU CONSIDERACION.

FINALMENTE EL JURADO LO DECLARO APROBADO CON UNA CALIFICACION DE DIECIOCHO (18) PUNTOS.

EN FE DE LO CUAL FIRMAN:

DRA. MAXIMINA MONASTERIO

DR. HECTOR RODRIGUEZ

DR. JEAN MARIE HETIER

AGRADECIMIENTOS

A la familia Hernandez Moreno y a la señora Ana Julia de Torres con quienes compartí algunas de sus experiencias directas con el páramo.

A mis tutores quienes en cada una de sus especialidades me ayudaron a hacer de esta tesis otra experiencia más del aprendizaje en la Licenciatura en Biología.

Al Dr. Guillermo Sarmiento por sus interesantes sugerencias a lo largo de toda la carrera y en particular en el desarrollo de esta tesis.

Al personal del CONICIT por el valioso apoyo económico y institucional.

A Chaqui y a Dimas compañeros y ahora colegas.

A mis padres y amigos quienes estimularon y promovieron que esta etapa culminará.

Al profesor Osman Rossell por su valiosa colaboración en el procesamiento estadístico de los resultados y al profesor Pascual Soriano por el equipo que tan amablemente me presto.

Al profesor Daniel Machado por sus valiosas discusiones y su apoyo a lo largo del trabajo de laboratorio.

A los miembros del proyecto "Sucesión regeneración y estabilidad de ecosistemas y agrosistemas de páramo" y a los profesores, técnicos y demás miembros del grupo de Ecología Vegetal con quienes intercambie una hermosa experiencia de trabajo en equipo.

Al personal del laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Geografía con quienes compartí horas de trabajo. Igualmente al Laboratorio de Espectroscopia molecular en la Facultad de Ciencias.

LA PRESENTE TESIS HA SIDO REALIZADA EN EL LABORATORIO DE ECOLOGIA VEGETAL DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES BAJO LA DIRECCION DE LA DRA MAXIMINA MONASTERIO; EL DR. HECTOR RODRIGUES Y EL DR. J. MARIE HETIER .

PARA SU EJECUCION SE RECIBIO EL FINANCIAMIENTO DEL CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNOLOGICAS A TRAVES DE SU PROGRAMA DE FINANCIAMIENTO DE TESIS DE GRADO

ADEMAS FORMA PARTE DEL PROYECTO "SUCESION, REGENERACION Y ESTABILIDAD DE ECOSISTEMAS Y AGROSISTEMAS DE PARAMO" PATROCINADO POR UNESCO-MAB.

ALGUNOS ASPECTOS DE LA DINAMICA DEL NITROGENO EN PARCELAS CON DIFERENTE TIEMPO DE DESCANSO EN EL PARAMO DE GAVIDIA

RESUMEN

Un problema interesante de abordar desde el punto de vista ecológico, son las interacciones del hombre con los ecosistemas naturales a través de la agricultura. Esta interacción en las zonas tropicales y específicamente en la alta montaña tropical donde la explotación agrícola tradicional practicada por los campesinos incluye ciclos de cultivo seguidos por ciclos de descanso y recuperación de la vegetación natural, no ha sido estudiada y aún se desconocen las ventajas y desventajas ecológicas de ésta.

En particular en el área de estudio, ubicada en el límite altitudinal de los cultivos de la zona andina venezolana (3300 - 3700), en el Páramo de Gavidia, en la Sierra Nevada de Mérida, la agricultura efectuada tradicionalmente consiste en sembrar papa (*Solanum tuberosum*) y cereales para luego abandonar las parcelas y dejar que se inicie una sucesión ecológica, en la que se restaura la vegetación natural de páramo. De acuerdo con los campesinos del área esta práctica permite "recobrar la fertilidad del suelo" necesaria para la explotación agrícola. Para tratar de entender la necesidad de este tipo de manejo en este trabajo estudiamos los cambios del nitrógeno mineral y total del suelo, buscando en este macronutriente un indicio de la recuperación nutritiva asociada con el descanso. Los resultados obtenidos revelan que el nitrógeno mineral y total del suelo apenas cambia a lo largo de la sucesión y que existen cambios importantes a lo largo del año (entre la época seca y húmeda), que es necesario estudiar con mayor detalle.

INDICE

I. INTRODUCCION	1
II. MARCO CONCEPTUAL	
2.1. EL ECOSISTEMA Y SUS TENDENCIAS GENERALES DE CAMBIO: LA SUCESION ECOLOGICA	4
2.2. EL AGROSISTEMA Y SUS CARACTERISTICAS GENERALES...	5
2.3. LA SUCESION Y LOS AGROSISTEMAS	7
2.4. LA AGRICULTURA TRADICIONAL TROPICAL	15
2.5. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL NITROGENO COMO FACTOR ECOLOGICO Y AGROECOLOGICO	22
2.6. FLUJOS DE NITROGENO EN ECOSISTEMAS Y AGROSISTEMAS...	27
2.7. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA VARIACION DEL NITRATO Y DEL AMONIO CON LA ESTACIONALIDAD Y CON LA SUCESION	31
III. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	33
IV. CARACTERISTICAS AGROECOLOGICAS DE LOS PARAMOS	35
4.1. CARACTERISTICAS GENERALES DEL PARAMO DE GAVIDIA	37
4.1.1. LOCALIZACION Y EXTENSION	37
4.1.2. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	38
4.1.3. PRECIPITACION, TEMPERATURA E HIDROLOGIA	39
4.1.4. SUELOS	40
V. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE USO DE LA TIERRA EMPLEADO EN GAVIDIA	43
V.1. METODOLOGIA	
6.1. DEFINICION DE LAS ETAPAS SUCESIONALES A ESTUDIAR	49
6.2. DESCRIPCION DEL METODO DE MUESTREO DE SUELO	53
6.2.1. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	55
6.2.2. ESTIMACION DE LA DENSIDAD APARENTE	55
6.2.3. DETERMINACION DEL NITROGENO MINERAL DEL SUELO...	55
6.2.3.1. TECNICA EMPLEADA CON EL ELECTRODO SELECTIVO DE AMONIO	58
6.2.3.2. TECNICA EMPLEADA PARA LA DETERMINACION DE NITRATOS-NITRITOS	64
6.2.3.3. TECNICA EMPLEADA PARA LA DETERMINACION DEL NITROGENO Y CARBONO PRESENTES EN EL SUELO	67
6.2.4. ESTIMACION DE LA PEDREGOSIDAD EN SUPERFICIE DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS	67
6.3. DESCRIPCION DEL METODO DE MUESTREO DE LA BIOMASA	67
VII. RESULTADOS	
7.1. PARAMETROS FISICOS E HIDRICOS DEL SUELO	

7.1.1	VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO.....	69
7.1.2	VARIACION DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO.....	71
7.2	EVOLUCION DEL CARBONO ORGANICO Y EL NITROGENO TOTAL DEL SUELO	
7.2.1	CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE CARBONO ORGANICO DEL SUELO	75
7.2.2	CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE NITROGENO TOTAL DEL SUELO	78
7.3	EVOLUCION DEL NITROGENO MINERAL DEL SUELO	82
7.3.1	VARIACION DEL CONTENIDO DE AMONIO Y NITRATO EN LA EPOCA SECA	83
7.3.2	VARIACION DEL CONTENIDO DE AMONIO Y NITRATO EN LA EPOCA HUMEDA	84
7.3.4	VARIACION DEL CONTENIDO DE AMONIO ENTRE LA EPOCA SECA Y LA DE LLUVIAS	86
7.3.6	VARIACION DEL CONTENIDO DE NITRATOS Y NITRITOS ENTRE LAS DOS ESTACIONES	93
7.4	CONTENIDO DE NITROGENO EN LA BIOMASA DE LA SUCESION.....	87
7.5	CONTENIDO DE NITROGENO TOTAL Y MINERAL DEL SUELO POR UNIDAD DE SUPERFICIE	93
7.6	APRECIACION PARCIAL DE LA DINAMICA DEL NITROGENO EN LAS EPOCA SECA	98
VIII.	CONCLUSIONES	101
IX.	RECOMENDACIONES	105
X.	BIBLIOGRAFIA	107

I. INTRODUCCION

Desde la década de los años 20 se ha venido desarrollando un enfoque multidisciplinario para estudiar las interacciones del hombre con los sistemas naturales o artificiales generados por el mismo (Young, 1969). Este enfoque toma elementos de las ciencias naturales como la Biología y la Ecología, y de las ciencias humanas como la Antropología y la Sociología. De esta manera surgen ciencias como la Ecología Humana, la Antropología Ecológica, etc. Actualmente existen interesantes estudios y programas de desarrollo dirigidos por la Unesco-MAB, la IUBS, la TME y otras instituciones internacionales en donde se enfatiza la interacción entre el ecosistema con la comunidad humana y las condiciones económicas de ésta (Messerli y P, 1978 ; Winiger, M. 1983, Monasterio, Sarmiento y Solbrig, 1985 y 1987).

Los agroecosistemas se pueden definir como aquellos sistemas naturales modificados por el hombre en donde se está extrayendo la materia y la energía que allí se produce y acumula en la biomasa vegetal. Específicamente en las zonas tropicales existen dos tipos principales de agricultura caracterizados por diferentes grados de desarrollo tecnológico y escalas de trabajo, asociados a sistemas socioeconómicos diferentes: una agricultura tradicional, transmitida de padres a hijos, que incluye periodos de rotación y asociación de cultivos, que la mayoría de las veces es de subsistencia, y una agricultura mercantil, de producción más intensiva y alta tecnología.

En particular, en el área de estudio la agricultura que se practica incluye la rotación de las tierras, en donde se dejan descansar los terrenos y se permite que transcurra una sucesión que regenera la vegetación de páramo andino antes de volver a reiniciarse el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) o cereales (como trigo, *Triticum spp*) y cebada, (*Hordeum vulgare*).

Uno de los principales objetivos del proyecto "Sucesión, Regeneración y Estabilidad de Ecosistemas y Agroecosistemas de Páramo" (Monasterio, M. y Garay, I. 1987), en el cual esta enmarcada esta tesis, es caracterizar el manejo tradicional de la agricultura paramera e intentar una interpretación científica de la necesidad práctica de dejar descansando los terrenos a lo largo de varios años.

Para cumplir con este objetivo enfocaremos nuestra atención en un nutriente del suelo y las variaciones que puedan ocurrir cuando se deja de utilizar la tierra y la sucesión transcurre hasta llegar al punto en que la parcela se vuelve a utilizar en las labores agrícolas. Seguiremos en particular la dinámica del nitrógeno tanto en el suelo como en las plantas, tratando de encontrar un indicio de si ocurre o no un enriquecimiento del sistema con respecto al nitrógeno total y mineral.

Una de las características de la agricultura del páramo de Gavidia es que las prácticas de manejo utilizadas tienen elementos de herencia indígena y española, y rasgos tecnológicos actuales que integran la experiencia de ambas culturas en su interacción con las particulares condiciones

del páramo andino. Por ello debe ser vista como el resultado de un aprendizaje de varios años de interacción directa de la comunidad humana con el ecosistema / nos puede indicar la estrategia a emplear en la utilización racional del páramo.

Otra característica es la de ser un modelo tecnológico conservativo de la estructura del ecosistema natural y el cual no parece causarle un deterioro irreversible a los suelos de páramo y a su vegetación y mantiene la producción de cultivos a lo largo de varios años. Además conserva la integridad paisajística y cultural de la comunidad humana.

II. MARCO TEORICO

2.1.- EL ECOSISTEMA Y SUS TENDENCIAS GENERALES DE CAMBIO: LA SUCESION ECOLOGICA.

Sarmiento (1984) define al ecosistema como "una parte de la ecosfera, más o menos delimitada y organizada en el espacio y el tiempo". En el ecosistema se desarrollan simultáneamente procesos de diferente tipo que vinculan a sus distintos componentes (vivos e inertes) que interactúan bi-univocamente entre sí.

El funcionamiento del ecosistema y su organización interna puede cambiar a lo largo del tiempo. De esta concepción surge la teoría de la sucesión ecológica, desarrollada por Frederick Clements (1916), la cual está sustentada en la base de que las comunidades vegetales y animales se suceden unas a otras de manera ordenada a lo largo del tiempo. Clements utilizó para cada etapa de esta secuencia de cambio de las comunidades el término "etapas serales" y define como "climax" a la etapa final, en donde se alcanza un equilibrio entre las comunidades y el medio ambiente.

Otro término definido por Clements, fue el de "disclimax", el cual utilizó cuando se refería a la interrupción del proceso sucesional natural, es decir cuando artificialmente se mantiene al sistema en una etapa seral.

Por otra parte Odum (1969), caracteriza la sucesión ecológica a través de tres tendencias básicas: 1) Como un proceso ordenado de desarrollo de la comunidad, direccional y predecible. 2) De este proceso resultan modificaciones en

el medio ambiente físico. La sucesión es controlada por la comunidad, sin embargo, el ambiente determina tanto los patrones y las tasas de cambio como el punto hasta donde se desarrolle la comunidad. 3) El proceso termina con un ecosistema estable, en el cuál, se alcanza un máximo de biomasa acumulada (o alto contenido de información) y las funciones simbióticas entre los organismos que son mantenidas por unidad de flujo de energía son máximas.

La teoría de la sucesión ecológica se considera como una de las teorías unificadoras en ecología. que describe los patrones generales de cambio de los ecosistemas y su aplicación a casos particulares de estudio requiere muchas veces revisión y adaptación.

2.2 EL AGROSISTEMA Y SUS CARACTERISTICAS GENERALES.

Existen diferentes definiciones sobre el término agroecosistema. Hart (1979) lo considera como un "ecosistema que cuenta por lo menos con una población de utilidad agrícola, regulado y mantenido en el tiempo por el hombre, un agricultor, quien a través de un plan de manejo obtiene de él, alimentos para su subsistencia y/o alimentos comercializables que producen un excedente económico". Esta explotación tiene asociados conceptos tales como cosecha o exportación de productos del sistema y algunos flujos de materiales (abonos químicos y orgánicos, herbicidas, fungicidas e insecticidas) y de energía.

Hay una amplia gama de agroecosistemas que van desde campos monoespecíficos, de gran rendimiento, completamente

supeditados a los cuidados del hombre, frágiles y simples, hasta agroecosistemas de subsistencia, que manejan los cambios que ocurren durante la sucesión ecológica. Entre ambos tipos extremos, hay formas intermedias de manejo, adaptadas no sólo al sistema socio-económico que lo implanta sino también a las condiciones ambientales (climáticas, edafológicas, etc.) del sitio donde se desarrolla.

Algunas de las características más resaltantes de la primera de las modalidades, la de los campos monoespecíficos de gran rendimiento, es la de ser delicados e inestables, que tienden a evolucionar muy dependientemente con el agricultor, con los mercados, y con el movimiento de la oferta y la demanda de productos. Además existe una sustitución de los pequeños productores o campesinos por empresarios del agro quienes encajan más con el sistema de explotación a gran escala. A este tipo de agrosistema se refiere Rappaport (1971) como aquel que tiende hacia etapas sucesionales antropocéntricas inversas a las naturales, que apuntan a la simplificación y no a la complejidad, a la fragilidad y no a la estabilidad.

Los agroecosistemas integrados dentro de una sucesión ecológica, creemos que merecen ser estudiados ya que son bastante comunes en las tierras tropicales y aprovechan tanto las tendencias de cambio naturales (sucesión ecológica) como la fuerza modificadora del hombre (tecnología) para producir alimentos durante un lapso de tiempo sin causar daños irreversibles. Una de las características básicas de este

tipo de manejo es la de permitir el reinicio de la sucesión natural y no mantener al sistema en una etapa inmadura o disclimax. [La estrategia consiste en cultivar una parcela durante un cierto período de tiempo (generalmente corto) para luego abandonar el terreno y permitir que en este se recupere y regenere la vegetación natural y tal vez se recobre la fertilidad del suelo para luego volver a utilizar el terreno en labores agrícolas.]

Diversos autores como Odum, 1969; Rappaport, 1971; Walters, 1971 y otros han descrito la agricultura desarrollada y mantenida en los trópicos, tanto en América como en África, la cual es denominada Agricultura migratoria, de tala-tumba-quema, de tala y quema (Agricultural Shifting o Swiddenig). Este tipo de agricultura es definido principalmente en regiones tropicales bajas, donde la vegetación predominante es la selva tropical húmeda, pero también se utiliza en regiones de montaña, en donde la quema es mucho menos frecuente o esta ausente. (Monasterio, Moreno y Hernandez, 1988)

2.3. LA SUCESION Y LOS AGROSISTENAS.

Teniendo clara la definición de un agroecosistema y de un ecosistema en cualquiera de las etapas de desarrollo en que se encuentre, revisaremos con más detalle que atributos de los ecosistemas cambian y en que sentido, en una sucesión ecológica y de que manera estos se pueden relacionar con un agrosistema. Para ello volvamos al trabajo pionero de Odum (1969) y al trabajo de Altieri et. al. (1983), en los que se

definen las tendencias más generales de la sucesión. En el primero de ellos se proponen 6 juegos de atributos cambiantes en la sucesión y en el segundo se encuentran 12 características contrastantes entre un agroecosistema y un ecosistema maduro. Podemos resumir ambos modelos en la tabla 1 y a partir de ella deducir que cambios de los que ocurren en la sucesión se están aprovechando al dejar descansar los terrenos de cultivo para luego volver a utilizarlos.

En el desarrollo de la agricultura, que marcó un notable cambio en la evolución cultural humana, se comenzaron a seleccionar artificialmente aquellas plantas silvestres que produjeran más por unidad de tiempo y que fueran comestibles. Estas plantas silvestres debieron parecerse más a las especies pioneras de una sucesión (alta producción neta) que a las de las etapas de madurez. La domesticación y selección artificial de estas plantas cultivadas algunas veces conlleva a que se siembren variedades de cultivo que no están adaptadas a las condiciones climáticas existentes en el sitio donde se desarrolle el agroecosistema y por lo tanto en lo que se refiere al flujo energético se requiere de un gasto extra para mantener al agrosistema (control de plagas, uso de luz artificial, construcción de infraestructura, etc.).

Como podemos ver en la tabla 1 en los ecosistemas en desarrollo la producción primaria neta es alta y decae a medida que nos acercamos a la madurez. Este es el modelo general para un bosque, sin embargo, existen algunos ecosistemas que mantienen una alta producción aun en las etapas de madurez. Por otra parte un agrosistema, se maneja para

Tabla No 1. Comparación entre los atributos estructurales y funcionales de los agrosistemas y los ecosistemas en las etapas de desarrollo y de madurez. (Tomado de Odum, 1969 y de Altieri y col. 1983)

ATRIBUTO	ETAPAS JUVENILES	ETAPA DE MADUREZ	AGROECOSISTEMA
PRODUCTIVIDAD NETA	ALTA	BAJA	ALTA
ACUMULACION DE BIOMASA	ALTA	BAJA	ALTA
CADENAS TROFICAS	LINEALES, PRED. HERBIVOROS	REDES PRED. DETRITUS	LINEALES, SIMPLES
DIVERSIDAD DE ESPECIES	BAJA	ALTA	BAJA
MATERIA ORGANICA TOTAL	BAJA	ALTA	BAJA
CICLOS MINERALES	ABIERTOS	CERRADOS	ABIERTOS
ESTABILIDAD	BAJA	BUENA	BAJA
ENTROPIA	ALTA	BAJA	ALTA

mantener la más alta producción posible en el tiempo para satisfacer las exigencias del agricultor, de manera que este obtenga el mayor beneficio alimentario y económico posible.

En algunos casos el hombre explota algunas plantas pioneras de la sucesión y las usa para su consumo familiar, como es el caso de algunas comunidades indígenas de México, en la cuenca de Patzcuaro y en Nueva Guinea, grupo étnico Tsembaga (tomado de Toledo et. al. 1980 y de Rappaport, 1971). Sin embargo, esto no es común en los agrosistemas de explotación intensiva.

En el manejo de un agrosistema se desea la más alta producción de biomasa, especialmente enfocada en la parte de la planta que se extrae como cosecha y que sale del sistema como material de exportación. Esta biomasa puede ser aérea (hojas, tallos, flores, peciolos, etc.) o subterránea (raíces y tubérculos). El hombre ha seleccionado artificialmente las plantas que cumpliendo el requisito de ser comestibles acumulan la mayor cantidad de biomasa en estos órganos. Como se ve en la tabla 1 las etapas juveniles de la sucesión tienden a acumular biomasa, la cual alcanza un máximo y se estabiliza en las etapas de madurez.

Si dentro del plan de manejo que el campesino le da a sus tierras se encuentra el dejar que entre en un ciclo de sucesión ecológica y dentro de éste se explotan algunas especies tempranas de la sucesión, se justifica este tipo de manejo. También se justificaría por otro lado ya que en la biomasa se acumulan nutrientes, por lo que una estrategia

para evitar que estos salgan del sistema es inmovilizarlos en estructuras vivas que luego pasarán a través de la descomposición lentamente al suelo. En ambientes tropicales donde hay suelos con un marcado oligotrofismo las estrategias empleadas para evitar las pérdidas de nutrientes y que optimicen su utilización en los sistemas naturales y en los agroecosistemas adquieren un gran sentido y deberán seleccionarse positivamente.

Otra de las características comunes entre un agroecosistema y las etapas sucesionales inmaduras (tabla 1) es la de mantener cadenas alimenticias lineales y lo más simples posibles. En los agrosistemas el hombre trata de ser el único beneficiario de la producción, eliminando para ello a los otros herbívoros que se comen las plantas cultivadas, ya sean naturales del sitio donde se desarrolle o bien plagas asociadas con este, reduciendo así las cadenas alimenticias. Contraria a esta tendencia en las etapas de madurez de la sucesión se forman redes alimenticias complejas e intrincadas que involucran tanto la parte viva de la comunidad (biomasa) como la necromasa o detritus. Ahora bien para mantener una comunidad de herbívoros (consumidores primarios) controlada, el hombre debe gastar energía extra al sistema, que viene representada por trabajo humano o por insecticidas, plaguicidas, etc, que en última instancia requieren combustible fósil (petróleo, carbón) para su fabricación.

Cuando se abandona un terreno, se permite que las cadenas alimenticias se transformen paulatinamente de simples en complejas y que la energía fluya no sólo en la biomasa

sino que también implique una mayor cantidad de necromasa o detritus. También debemos ver el problema como un punto de conciliación entre la competencia de los insectos y plagas asociadas al cultivo con aquellas especies propias de la sucesión que tienden a ser cada vez más detritívoras. De manera que cuando se reinicien las labores agrícolas se habrá sustituido por un proceso natural las plagas de los cultivos por insectos de la sucesión que en el mejor de los casos no le causarán daño al cultivo nuevo.

En otro juego de atributos, el de la estructura de la comunidad, definida por Odum, Altieri y colaboradores en base a la diversidad de especies, de tipos biológicos y su bioquímica; por la materia orgánica acumulada, por los ciclos minerales; y por la estratificación y heterogeneidad espacial, vemos que puede existir otra coincidencia entre los agrosistemas y las etapas de inmadurez (tabla 1). Mantener el número de especies y de tipos biológicos en valores bajos, en un agrosistema requiere de un gasto energético grande, para controlar otras poblaciones que también aumentan naturalmente en los agrosistemas. En un ecosistema maduro la diversidad es alta tanto en el número de especies como el de tipos biológicos (árboles, arbustos, hierbas). Al dejar abandonado un campo de cultivo y no cosechar las plantas que allí van a crecer naturalmente, la diversidad aumenta gradualmente hasta un máximo.

En la mayoría de los agrosistemas, al iniciar el cultivo se extraen las especies existentes en el campo a ser

cultivado, lo que además de la exportación de la cosecha (salida del producto) conduce a largo plazo hacia la disminución del contenido de materia orgánica existente en el suelo. Esta tendencia aparece en la tabla 1 y es similar a lo que ocurre en las etapas iniciales del desarrollo de una sucesión ecológica.

Sin embargo, en algunos sistemas agrícolas (como es el caso en estudio) no se extraen los residuos vegetales del terreno cultivado previamente (rastrajo) o que se encontraba en la sucesión (descanso) sino que por el contrario lo mezclan con el suelo (utilizando el arado de punta de hierro y movido por bueyes) y se deja que se descompongan lentamente. En particular, si el cultivo viene a continuación de una etapa avanzada de la sucesión, en donde la materia orgánica es alta (tabla 1) estos residuos vegetales se incorporan al suelo y luego de un cierto lapso de tiempo serán un aporte nutritivo para las plantas cultivadas.

Por otra parte en localidades de montaña como Gavidia debido a que las bajas temperaturas inhiben el ritmo de la descomposición, la relación C/N es alta (Malagon, 1982). Allí la forma tradicional de agricultura desarrollada por los campesinos deja en el terreno los residuos vegetales como una entrada mas al compartimiento necromasa a descomponer.

Un punto realmente crítico en el problema que estamos analizando se refiere a los nutrientes minerales, a su acumulación y disponibilidad para el desarrollo de las plantas cultivadas y de la sucesión. Los nutrientes que se encuentran en el suelo son absorbidos por las raíces de las plantas, las

cuales los incorporan en sus estructuras orgánicas para finalmente ser transferidos a los consumidores o directamente a la necromasa, pasando de nuevo a su forma inorgánica (descomposición). La tendencia global de la sucesión ecológica es hacia la circulación cerrada, en donde los nutrientes circulan más dentro de la biota del sistema que fuera de ella. Los métodos de manejo que tiendan a retener los nutrientes dentro de las estructuras biológicas y que de allí puedan reciclarse (por descomposición) para el nuevo cultivo, puede resultar beneficiosos en suelos pobres y donde la lixiviación y pérdidas de los nutrientes minerales sean altas.

En un agroecosistema manejado para que pase por tres posiciones contrastantes: agrosistema- etapa juvenil- etapa madura de la sucesión, implica ciclos de nutrientes abiertoabierto- cerrado, lo cual puede ser provechoso si pensamos que es necesario utilizar al máximo los nutrientes minerales naturales, para evitar el uso de abonos químicos, que son un gasto energético extra al sistema. Por el contrario en un agroecosistema mantenido a lo largo de varios años consecutivos en explotación parte de los nutrientes minerales se pierden por lixiviación, volatilización y principalmente por cosecha y por lo tanto habrá que agregarlos continuamente.

La homeostasis global del sistema y los atributos de estabilidad y entropía tienen la misma característica en los agrosistemas y en la primeras etapas de la sucesión. En la madurez de los ecosistemas la entropía es baja y la estabili-

dad es alta (tabla 1).

Ahora bien un punto que no aparece en la tabla 1, pero que es importante es la alteración del ambiente, que originan las prácticas agrícolas como el arado (remoción de los primeros centímetros del suelo), el despiedre (variación del microrelieve), la fertilización (eutroficación artificial del ambiente edáfico), la extracción de las cosechas y de otros factores disruptivos del ambiente. Cuando se siembra repetidas veces un terreno se altera la dinámica propia de los primeros centímetros de suelo y de todo el ecosistema y algunas veces el daño puede ser irreversible, como son los casos en que ocurre erosión y pérdida del suelo. Algunas investigaciones confirman estos cambios, en particular, Power (1981) afirma que las labores de labranza mecánica tienden a secar los suelos y alterar la porosidad y aeración del mismo, lo que afecta de manera directa la actividad microbiana y la tasa de mineralización y transporte de los compuestos nitrogenados solubles en agua. Por otra parte, este autor afirma que los residuos vegetales o abonos verdes no sólo cumplen la función de reducir la erosión sino que también deben ser vistos como la principal fuente de nitrógeno y de otros nutrientes a los suelos cultivados.

2.4 AGRICULTURA TRADICIONAL TROPICAL

En general, tanto en los trópicos como en cualquier parte del mundo existe una agricultura de producción intensiva y una agricultura tradicional que en la mayoría de los casos es de subsistencia y que se transmite de padres a hijos. En este capítulo trataremos de precisar las características básicas de la agricultura tradicional en las regiones tropicales.

En primer lugar, aunque la agricultura tradicional tropical en América está relacionada, para algunos autores con la herencia indígena, es necesario visualizarla como la fusión de los rasgos prehispánicos y europeos (Brush, 1980) y aún con elementos contemporáneos que se van incorporando a diferentes ritmos dependiendo del campesinado. Otra de las características de la agricultura tropical es su adaptación a las condiciones climáticas y culturales de los trópicos ya que en la mayoría de los casos resulta de una red de intercambios entre el medio ambiente natural y la comunidad humana que la practica. Aunque una buena parte de los trabajos realizados en los trópicos se han hecho en las tierras de baja altitud en donde la vegetación primaria es la selva este tipo de agricultura tradicional también se practica en las regiones montañosas de América. Otra característica de los agrosistemas tropicales es la alta diversidad de especies y variedades de cultivo por parcela sembrada lo que parece revelar una estrategia en la conservación de nutrientes y en el control de las plagas como vere-

mos más adelante. Finalmente el principal rasgo de la agricultura tradicional tropical es la alternancia de los períodos de cultivo con períodos de descanso de la tierra en donde se recupera parcial o totalmente la vegetación natural del sitio. Los períodos de descanso y recuperación pueden ser del orden de 10 años por años de cultivo y varían de una comunidad campesina o indígena a otra y de factores intrínsecos a la misma explotación.

Cuando nos referimos a la agricultura tradicional tropical de baja altitud casi siempre están implícitos: el cortar la vegetación natural, tumbar los árboles y quemar los restos orgánicos como una serie de procesos básicos de la explotación, de allí que se hable de la agricultura de tala-tumba-quema (Jordan et. al. 1983) y Shifting agriculture o Swiddernig (Rappaport, 1971) para los angloparlantes. Otra de las características importantes, la de ser de subsistencia y no tener una alta productividad por unidad de tiempo y superficie cultivada, obliga al campesino a desplazarse frecuentemente ha inducido a que se le denomine en algunos países agricultura nómada, migratoria o itinerante (Odum, 1969; Watters, 1971; Montalbo, 1977 y Ewel, 1986). También se ha denominado Conuco en Venezuela, Milpa en Mexico y Centroamerica, Roza y Monte en Colombia y Roca en Brasil (Watters, 1971). En regiones de Bolivia se denomina Chaco (Watters, 1971) y Muyuy o Manda en Peru (Flores, 1979). También se ha citado en una region de la India en donde se denomina Jhum (Saxena y Ramakrisna, 1986).

En las regiones de alta montaña tropical andina en donde el ecosistema natural son los páramos o las punas no se queman los residuos orgánicos de las plantas silvestres que existen en una parcela a ser sembrada, lo que naturalmente implica otra dinámica de reincorporación de los nutrientes en el suelo. Lo que si es una práctica común con el resto de las modalidades agrícolas tropicales es el alternar los ciclos de uso con ciclos de descanso y recuperación. Si empleamos este aspecto como el delimitador de la agricultura tropical tradicional vemos que tanto la agricultura de montañas como la de zonas bajas es coincidente. En el cinturón de selva que rodea a los páramos en Venezuela se han encontrado evidencias que se emplea la quema, como es el caso de El Carrizal en la Sierra Nevada de Mérida.

Diferentes autores (Flores, 1979; Brush, 1980; Lauer, 1984; Vargas, 1986; Novillo et. al. 1987) afirman que en los sitios de montaña en donde existe una notable influencia indígena en la comunidad humana la organización de la tierra es comunal. También las labores de explotación (arar, sembrar y cosechar) es se realizan en forma comunal (mano vuelta, cayapas, etc.) o familiar.

Ejemplos particulares de esta agricultura en el trópico tenemos los siguientes: Jordan et. al. (198) realizaron una serie de estudios sobre la dinámica del nitrógeno en una selva amazónica en Venezuela. Enfocando este proyecto a contestar la pregunta si la agricultura practicada en esta zona (de tumba y quema) causa significativas pérdidas de nutrientes al ecosistema amazónico. Ewel (1986) por otra

parte, se refiere a la agricultura itinerante como aquella que se practica en el trópico y realiza una revisión bibliográfica sobre el papel del descanso y las limitaciones minerales. Odum (1969) en su trabajo sobre estrategias de desarrollo del ecosistema denomina a la agricultura tropical "Shifting agriculture" y la caracteriza como aquella en la cual los períodos de descanso se alternan con períodos de regeneración de la vegetación. Aweto (1980) afirma que el principal sistema de producción en el trópico bajo es la agricultura de quema (Shifting agriculture) y que esta incluye la regeneración natural de la vegetación por el descanso para restaurar la fertilidad del suelo después del cultivo. Dezzeo y Garcia (1986) afirman que en la Gran Sabana en Venezuela como en muchas regiones del trópico se utiliza la tala y la quema para el establecimiento de conucos, es decir para la agricultura migratoria de subsistencia. Este tipo de agricultura consiste en la rotación de 2 a 3 años de cultivos con descansos de 10 - 20 años. Denevan (citado por Dezzeo y Garcia) afirma que la agricultura itinerante consiste en tala y quema para preparar un campo de cultivo. Después de varias cosechas los rendimientos decaen y el terreno es abandonado y la vegetación se regenera.

En regiones tropicales de montaña se tienen las siguientes referencias: Lauer (1984) analiza interesantes adaptaciones de la comunidad Kallawaya en el noreste de Bolivia, entre las que se encuentra la práctica de rotación de los terrenos cultivados con papa y cereales del orden de 7- 8

años. Estos descansos de la tierra están asociados a una tradición indígena del cultivo de papa. Brush (1980) al referirse a las estrategias de la agricultura tradicional que se practica en los Andes centrales encuentra que la rotación típica consiste en tres años de siembra consecutiva y cuatro de barbecho. Concluye que este tipo de manejo disminuye el trastorno causado por el hombre. Monasterio, Sarmiento y Solbrig (1985) también enfocan su atención sobre las estrategias usadas en las montañas tropicales para mantener las características del ecosistema natural. Flores (1979) menciona que una de las estrategias agrícolas usadas en la puna es la rotación de cultivos, en la cordillera de los Canchis, en el Cuzco se denomina Muyuy o Manda y consiste en 3-4 ciclos de cultivo y 5-10 años de descanso. Durante el descanso al igual que en Gavidia el terreno sirve como potrero.

Dentro del lenguaje empleado por los campesinos, existen tres términos diferentes relacionados con este sistema de explotación, los cuales etimológicamente y en la práctica parecen confundirse entre sí, por lo que su significado aún no está claro. En este trabajo, trataremos de precisar el significado de los términos **descanso**, **barbecho**, y **rastrojo**, según se utilizan en el páramo de Gavidia.

* — El término **descanso** se refiere a detener por varios años o meses las faenas agrícolas que se venían desarrollando en un terreno o parcela. Permitiendo de esta manera que se inicie la sucesión ecológica natural que venía siendo interrumpida por las labores agrícolas (deshierbes, uso de

herbicidas, etc.,). El barbecho por otra parte, se refiere a todo el proceso que comienza con el arado de un terreno que se encontraba en descanso seguido de un "pequeño descanso" de dos o tres meses hasta la siembra. Durante el tiempo transcurrido entre el arado y la siembra se dice que el terreno se encuentra en proceso de barbecho. Es importante destacar que en este intervalo de tiempo y promovido por la acción mecánica del arado la vegetación que se encontraban en la parcela entra a un proceso de descomposición, por lo que esta práctica podría significar una incorporación de los nutrientes retenidos en la biomasa vegetal al suelo y por lo tanto al futuro cultivo. Otro término comúnmente utilizado en este tipo de agricultura es el rastrojo, el cual se refiere al campo después de segado (cosechado) el cultivo y antes de recibir nueva labor. Normalmente cuando el terreno está en rastrojo no se ara. Este término se usa casi exclusivamente en el cultivo de cereales. Estas definiciones están de acuerdo con Bourliand et. al. 1988 para los Andes Centrales.

Se hace necesario destacar que de acuerdo con los campesinos el descanso es impuesto por la disminución de la fertilidad de los suelos y que esta práctica la restaura. Opinión que coincide con la de Watters (1971), Denevan (citado por Dezzeo y Garcia, 1986) y Aweto (1981). Además otros autores como Popenoe, citado por Watters; Ewels (1986); Aranson (citado por Ewels); Cool y Steggerda, citados por Watters sugieren que el barbecho cumple la doble función de reabastecer los nutrientes extraídos por el cultivo además de

disminuir las poblaciones de plagas, malezas y patógenos que perjudican a los cultivos. Brush, 1980 propone que el sistema de descanso, practicado en los andes, de aproximadamente 7 años fue creado por los cultivadores prehispanicos para combatir nematodos, una de las plagas mas predominantes en la zona. Aunque también discute que la alta diversidad de los cultivos y campos es una estrategia para evitar los peligros naturales.

Ewels, concluye que el descanso-barbecho en las zonas templadas es impuesto estacionalmente y que como tal, su papel en el mantenimiento de la productividad y en el control de plagas es despreciado. Mientras que en las zonas tropicales puede reducir la necesidad de usar fertilizantes y pesticidas en los agrosistemas.

Watters, por otra parte afirma que en los países templados, donde las prácticas agrícolas han alcanzado cierto desarrollo, aun hoy suele practicarse el descanso natural como método para rejuvenecer el suelo después de las prácticas agrícolas. También en zonas semiaridas, este manejo suele asociarse con la renovación de las reservas de agua, especialmente cuando el descanso es herbáceo.

Podemos concluir junto con Brush (1980) que la agricultura tradicional tropical permite la conservación del material alimenticio y genético de las zonas tropicales, preserva el paisaje y los recursos montañosos (especialmente las laderas) sin degradación y mantiene una producción y distribución adecuada cuando la población no es muy numerosa.

2.5.- ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL NITROGENO COMO FACTOR ECOLOGICO Y AGROECOLOGICO.

Uno de los elementos químicos claves para el crecimiento vegetal es el nitrógeno, el cual es considerado un macronutriente esencial para el desarrollo tanto de las plantas individuales (Epstein, 1972) como también del ecosistema (Lee et al., 1981). En los sistemas agrícolas cuando se piensa en la fertilidad de los suelos, el agua, el nitrógeno, el potasio y el fósforo en orden de importancia decreciente son los principales factores limitantes del crecimiento vegetal.

Según Epstein (1972) el nitrógeno ocupa el 3er lugar en la composición química de los vegetales, después del carbono y el oxígeno, en orden de importancia y su composición promedio es de 1.5%. Para Allen et al. (1974) el rango de variación de la composición química promedio en nitrógeno esta entre 1- 4%. Rodin y Bazilevith, citados por Farnworth y Golley (1974) muestran que la composición promedio de los vegetales en las zonas tropicales (0.06%) difieren de la de zonas templadas (1.16%).

Este elemento se encuentra, en nuestro planeta en dos formas principales: ligado a átomos de carbono (forma orgánica) y en forma mineral o inorgánica. En esta última, existe como nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amonio (NH_4^+), nitrógeno molecular (N_2) y óxido nitroso (N_2O). En su forma orgánica se encuentra formando parte de aminos, amidas, ácidos nucleicos, nucleótidos, nucleosidos, proteínas, aminoácidos, péptidos, polipeptidos, etc.

Para esquematizar los principales procesos de transferencia y almacenamiento del nitrógeno en la biota y fuera de esta, veamos con detalle como cada una de las formas de este elemento pueden ser transformada en otra, mediante procesos abióticos y procesos bioquímicos como la acción de microorganismos, plantas y animales. En la figura 1 aparece el circuito de Dommergues (1970), que es una de las formas en que se encuentran representadas las transformaciones de nitrógeno.

En primer lugar tenemos la incorporación del nitrógeno a la biota (flechas 1,2), a través del proceso denominado asimilación, inmovilización u organización (Herbert, 1979). En este proceso intervienen los microorganismos del suelo y las plantas que absorben el amonio o el nitrato y lo incorporan en sus esqueletos carbonados. Existen algunas evidencias de que los aminoácidos pueden ser tomados y utilizados por algunas plantas, aunque en porcentajes menores al 5 % con relación a la nutrición total. Lee et al. (1981), afirman que la importancia de esta fuente en la economía del nitrógeno aún no está suficientemente demostrada. Por otra parte, se tienen pruebas de que existe una absorción preferencial del amonio por las raíces de las plantas sobre el nitrato, lo que se complementa con la observación de que cuando las plantas absorben nitrato requieren transformarlo en su interior en amonio, antes de ser utilizado en la construcción de sus macromoléculas, es decir, el consumo de nitrato representa un gasto energético extra (reducción del nitrato a amonio)

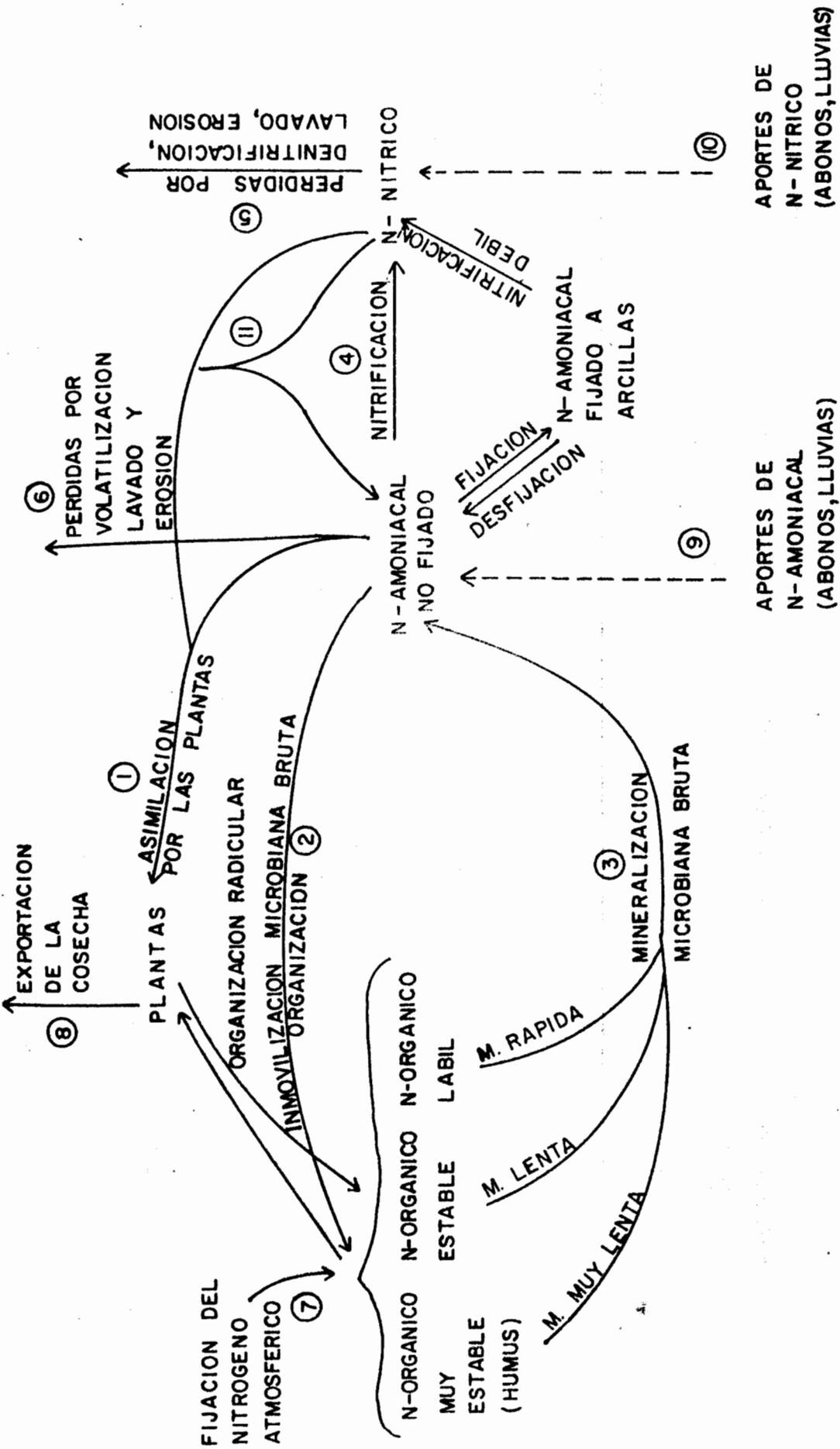


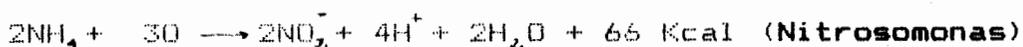
FIGURA. 1. CICLO DEL NITROGENO (Tomado de Dommergues et Mangenot, 1970)

que de acuerdo con Middleton y Smith citados por Lee et al. (1981) es de 8 % en *Lolium perenne*.

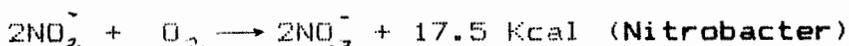
La flecha 3, opuesta a la organización es llamada mineralización o amonificación. Con ella se representa la transformación de nitrógeno orgánico hasta amonio. Este es un proceso llevado a cabo por los microorganismos y más específicamente por la microfauna y microflora descomponedora del suelo. Es clave en la liberación de los nutrientes que se encuentran inmovilizados en las estructuras orgánicas. Como se puede ver en la figura 1, los compuestos orgánicos existen en al menos tres etapas diferentes de estabilidad, por lo que la mineralización tendrá diferentes velocidades. Lo que normalmente evaluamos es el resultado global de la mineralización.

La transformación del amonio hasta nitrato, proceso conocido como nitrificación (flecha 4) es llevado a cabo por microorganismos del suelo, en particular por bacterias del género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. La nitrificación libera energía, la cual es utilizada como fuente en la elaboración de otras biomoléculas. El proceso ocurre en dos etapas y las reacciones son las siguientes:

Oxidación de amonio a nitrito



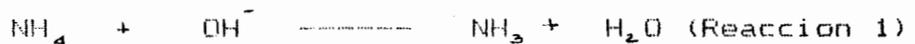
Oxidación de nitrito a nitrato



El nitrato que se libera puede al mismo tiempo ser absorbido e incorporado por las plantas (flecha 1).

Otro proceso, el denominado denitrificación o reducción disimilativa de nitratos (Sarmiento, 1984) flecha 5 lo realizan algunas bacterias del suelo (heterotrofas y anaeróbicas facultativas) consiste en la reducción de nitrato hasta nitrógeno molecular N_2 o hasta óxido nitroso N_2O . Este paso como se puede ver es una forma de liberación o salida del nitrógeno en forma gaseosa hacia la atmósfera que solo realizan bacterias del género **Pseudomonas**, **Microccus** y **Bacillus** entre otros.

La flecha 6, representa otro flujo de salida hacia la atmósfera, del nitrógeno que se encuentra en forma de amonio y que sale en forma de amoniaco. Esta reducción puede ocurrir por alcalinización del medio (aumento del pH del suelo) o por un aumento de la temperatura que altere el equilibrio natural atmósfera-suelo (como un incendio). La ecuación que describe esta reacción es la 1:



Finalmente tenemos un proceso transcendental para los ecosistemas, la fijación del nitrógeno atmosférico (flecha 7). Sabemos que además del nitrógeno que se encuentra en la litosfera, la mayor fuente de nitrógeno para los seres vivos la constituye la atmósfera, la cual tiene una composición del orden de 79 %. Existen microorganismos capaces de tomar el nitrógeno molecular y transformarlo en nitrógeno asimilable para las plantas, las que lo utilizan en sus metabolismos. Estos pueden ser: 1). Microorganismos de vida libre: bacterias aerobicas y anaerobicas como **Azotobacter**, **Beijerinckia**, **Derxia** y **Clostridium** además de algunas ciano-

fitas como *Rhodospirillum*. 2). Microorganismos de vida simbiote como *Rhizobium* asociado con leguminosas y actinomicetes asociados con *Alnus*, *Casuarina* o *Myrica*. En resumen la fijación de nitrógeno molecular la realizan los microorganismos (simbiontes o de vida libre) que posean el complejo enzimático nitrógenasa-hidrogenasa (Dommergues, 1970).

Para completar, la descripción del esquema de Dommergues vemos que en el caso particular de un agrosistema existe otro flujo de salida de N- orgánico que es la exportación de la cosecha (flecha 8), ya sea la planta completa o alguna parte del cultivo y la entrada de N- amoniacal (flecha 9) o N- nítrico (Flecha 10) proveniente de abonos verdes y químicos. También pueden entrar a través de las lluvias (Flecha 11).

Otro aspecto que aparece en el diagrama, es el movimiento del amonio fijado a las arcillas y el no fijado resultando de este movimiento, que este mas o menos susceptible a ser transformado en nitrato por los microorganismos.

Estas son las principales transformaciones que puede sufrir el nitrógeno como elemento químico, ahora veamos como es su movimiento y cuales son sus flujos en los diferentes compartimientos de un ecosistema.

2.6 FLUJOS DE NITROGENO EN LOS ECOSISTEMAS Y AGROSISTEMAS.

Como se puede ver en la figura 2 las entradas al ecosistema y en particular al agrosistema son las siguientes:

1). Fijación del nitrógeno atmosférico

1.1. Fijación simbiótica

1.1.1 de actinomicetes con no leguminosas

1.1.2 de bacterias con leguminosas

1.2. Fijación libre

1.2.1. Bacterias (*Azotobacter*, *Beijerinckia*, etc.)

1.2.2. Cianofíceas

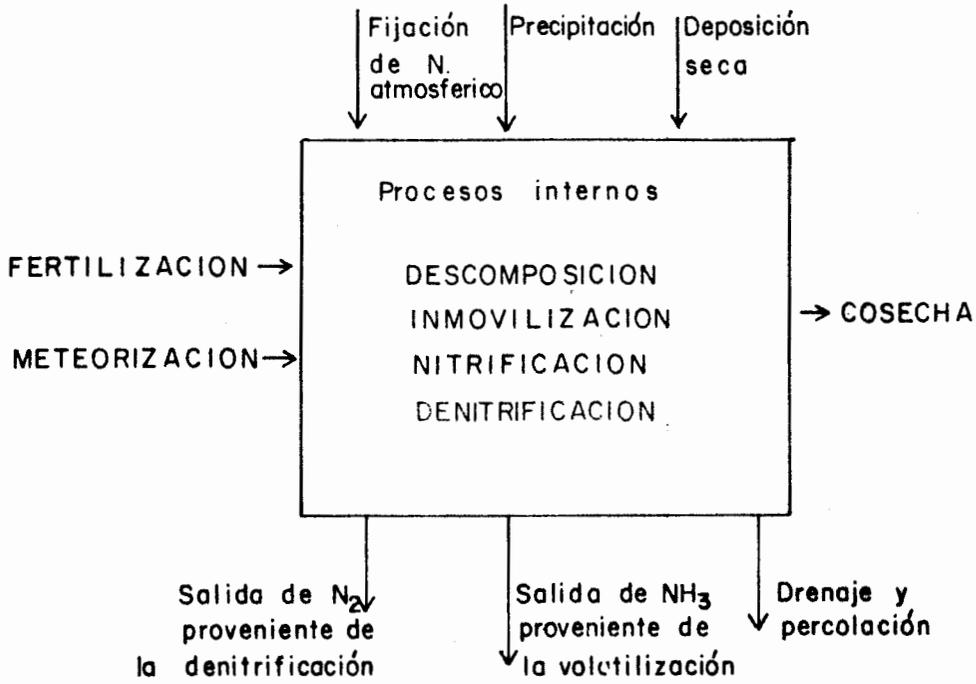
Naturalmente que la fijación biológica variará entre los diferentes suelos y ecosistemas tropicales y templados. Bate y Gunton (1982) muestran resultados de fijación para Sabanas de Surafrica dominadas por gramíneas del género **Burkea** del orden de 30-90 kg/ha por año.

2). Deposición húmeda: Se tienen evidencias que la nieve y la lluvia pueden incorporar amonio y nitrato en solución al ecosistema y al agrosistema. Marrs et al. (1981) han encontrado para suelos arcillosos en China valores de 9 kg/ha año y Bate y Gunton de 2-5 Kg/ha año, en Surafrica.

3). Deposición seca: Parece ser que el amonio y algunos compuestos amoniacales de pocas micras de diámetro pueden entrar al ecosistema y ser absorbidos por las hojas de las plantas. Esta entrada es difícil de estimar por métodos directos, en Colorado, Clark (1979), en una pradera encuentra 1.5 Kg/ha año.

4). En el caso particular de un agrosistema un flujo de entrada importante es la fertilización con abonos químicos y

FIGURA 2¹ Principales flujos de entrada y salida del nitrógeno de los ecosistemas y agrosistemas.



orgánicos. Para cada agrosistema se utilizan diferentes dosis las cuales varían con el país y el desarrollo tecnológico que tengan, con ordenes de magnitud que van desde 50-60 Kg/ha en países del tercer mundo y 450 kg/ha en países industrializados.

5). La meteorización de las rocas: Entrada muy pequeña ya que el nitrógeno presente en la litosfera (mayor reserva) esta practicamente inmovilizado.

Las transformaciones que puede sufrir el nitrógeno en el ecosistema y en los agrosistemas son:

1). Descomposición: Es decir la transformación del nitrógeno orgánico en amonio (amonificación). En los agrosistemas altamente tecnificados los procesos naturales de descomposición tienden a desaparecer o hacerse insignificantes.

2). Dentro del ecosistema ocurren procesos de inmovilización u organización, nitrificación y denitrificación.

Los principales flujos de salida son:

1). Salida del nitrógeno molecular proveniente del proceso de denitrificación.

2). Cosecha o exportación: Proceso de salida de nitrógeno orgánico. En los agrosistemas este es uno de los principales flujos de salida, que el hombre maneja lo mas eficientemente posible, tratando de extraer la mayor cantidad de biomasa por unidad de superficie sembrada, extrayendo al mismo tiempo el nitrógeno y los otros nutrientes que se encuentran en ésta. El orden de magnitud de esta salida varía no sólo con el cultivo sino que también varía con el grado tecnológico

del país donde se desarrolle. Martin y Skyring (1962), citando a Millan et. al. muestran para cultivos de tabaco en Estados Unidos 1232 Kg/ ha de nitrógeno.

3). Percolación o drenajes: El nitrato y el amonio tienen una solubilidad en agua bastante alta por lo que pueden salir con ella hacia horizontes mas profundos o perderse por la superficie del suelo siguiendo su movimiento. Para tener una idea del orden de magnitud de esta salida, en Rothamsted, Martin et al. (1962) obtuvieron 4.9 Kg/ ha año y Hetier, J. (comunicación personal) encuentra hasta 300 Kg/ha año.

4). Volatilización: El amonio puede transformarse en amoniaco (gas) y por lo tanto salir del sistema hacia la atmósfera. Este proceso no tiene por que estar mediado por organismos vivos.

Estos son los principales flujos de entrada, salida y transformación de nitrógeno en los ecosistemas y agroecosistemas. Lee et al. (1981) también afirman que la adición de fertilizante a una comunidad de plantas representa un método sencillo para demostrar la importancia de nitrógeno como factor ecológico ya que se produce un aumento en la producción y en la composición de especies de una comunidad de plantas. Con relación a los cambios florísticos, estos autores concluyen que la importancia del nitrógeno en los procesos sucesionales es evidente. Hay que tener presente que nos referimos a la disponibilidad de nitrógeno en un determinado ecosistema y no al contenido total de este elemento que como sabemos incluye formas no accesibles para la nutrición vegetal.

Chapman (1966) refiriéndose a los requerimientos nitrógenados de las plantas menciona que el exceso de nitrógeno en las plantas cultivadas promueve un excesivo crecimiento vegetativo, mientras que la deficiencia en particular en los cultivos de papa, puede producir tubérculos pequeños.

2.7 ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA NITRIFICACION Y LA AMONIFICACION EN RELACION CON LA ESTACIONALIDAD CLIMATICA Y A LA SUCESSION

Russell (1973) analiza que la nitrificación, uno de los principales flujos internos del ecosistema, depende de los siguientes factores:

1.- Deseccación: Disminuye la nitrificación ya que la población de bacterias nitrificantes tiende a disminuir con la sequía.

2.- La acidez: No se tienen evidencias de que existe una estrecha relación con la acidez del suelo, es probable que la disminución que se ha observado tenga relación con la toxicidad del aluminio.

3.- La temperatura: La nitrificación se incrementa con la temperatura, alcanzando un máximo entre 25- 30 °C y se hace muy lenta entre 4-5 °C. Sin embargo, existen especies nitrificadoras adaptadas a temperaturas fuera de estos rangos.

4.- La humedad: El contenido de agua del suelo tiene un efecto indirecto sobre la nitrificación a través de la disminución de la aeración del suelo y por lo tanto parece disminuirla.

5.- Sales solubles: Algunas sales como el sulfato de sodio disminuyen la tasa de nitrificación.

6.- Presencia de amonio: La presencia de amonio libre parece inhibir la nitrificación.

7.- La alternancia humedad- sequía: Promueve la nitrificación ya que causa una oxidación del humus del suelo y por

lo tanto la actividad de los microorganismos se verá promovida.

Lee, citando a Davry y Taylor (1974) indican que la disponibilidad de amonio y nitrato, proveniente de la amonificación y de la nitrificación, tiene un pico al terminar el invierno o en la temprana primavera debido a la esterilización que causa el invierno y con el estímulo a la mineralización por el calor.

Además, este autor citando a Greenland, muestra que en el tropico durante la estación de lluvias hay un incremento en la cantidad de nitratos en el suelo.

En lo que se refiere a la sucesión, para Lee, existen dos proposiciones diferentes: una es que la nitrificación es inhibida y la amonificación es estimulada con la sucesión (Rice y Pancholy, Nye y Greenland, Jordan et. al.) y la otra es que la nitrificación no es suprimida con la sucesión. Esta discusión puede basarse en resultados de zonas tropicales y templadas.

En el descanso, Russell propone que el nitrato puede acumularse solo bajo cuatro condiciones diferente:

-Debe haber materia orgánica descomponible que provea iones amonio.

-El terreno debe mantenerse libre de malezas

-No debe ser demasiado lluvioso, de otro modo los nitratos son lavados fuera del suelo.

-El suelo debe ser húmedo o sujeto a la alternancia húmedad-sequía.

III. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

OBJETIVO GENERAL

Tratar de abordar desde un punto de vista ecológico, las interacciones de la comunidad agrícola de Gavidia con el ecosistema páramo, enfocando nuestra atención en el manejo campesino de las tierras, el cuál constituye una modalidad particular de la agricultura tropical. Este tipo de agricultura adaptada a las condiciones de alta montaña tropical deja descansar los terrenos de las labores agrícolas y permite que transcurra una sucesión que culmina con la vegetación natural del páramo. Nuestro trabajo es una primera aproximación para entender este tipo de manejo a través de los siguientes objetivos específicos:

1.- Comparar los contenidos de nitrógeno total y carbono orgánico del suelo de parcelas que se encuentren en diferentes puntos del ciclo recuperación-regeneración para tratar de evaluar si existe una variación de este parámetro durante la sucesión ecológica.

2.- Comparar los contenidos de nitrógeno mineral del suelo de parcelas con diferentes tiempos de descanso, tratando de evaluar si existen cambios significativos del nitrógeno a lo largo de la sucesión. Para la cuantificación de este importante compartimiento del suelo fue necesario poner a punto una metodología que permitiera medir lo más representativamente posible los contenidos de N-amoniaco y

nitrógeno de los suelos.

3.- Seguir las variaciones en el contenido de nitrógeno total y mineral en la época húmeda y en la época seca.

4.- Construir un esquema que muestre la variación en el tamaño de los principales compartimientos relacionados con la dinámica del nitrógeno a lo largo de la sucesión.

IV. CARACTERÍSTICAS AGROECOLÓGICAS DEL PÁRAMO

Monasterio y Reyes (1980c) delimitan los páramos venezolanos como el piso altitudinal por encima de los 3000 m, ocupando desde los 7° 30' NE hasta los 11° de latitud norte. La mayor extensión de este ecosistema se encuentra en los Estados Mérida, Tachira y Trujillo aunque existen pequeñas extensiones de páramo en Barinas, Portuguesa y Lara. Entre las características climáticas más resaltantes de los páramos esta la marcada oscilación térmica diaria, la alta nubosidad en horas de la tarde, la presencia de heladas. Las precipitaciones varían entre 650 mm en el extremo más seco de los páramos hasta 1800 mm en el extremo húmedo.

Para discutir sobre el páramo como área de explotación agrícola comparemos los cuatro criterios definidos por Bayliss-Smith (1982), como los limitantes ecológicos a la agricultura con las características generales de los páramos y definamos en una primera aproximación cuales serían las características agroecológicas de los páramos. El primer factor, la radiación solar, definida como la eficiencia con la cual es sintetizada y fotosintetizada la radiación solar por la vegetación, puede actuar como un limitante en los páramos por la alta nubosidad propia de estos sitios. Por otra parte, en los estrechos valles de montaña en donde algunas exposiciones reciben menor cantidad de horas de radiación solar que otras se limitan mas los sitios donde desarrollar un agrosistema. Sin embargo, los campesinos sele-

cionan las exposiciones y los sitios de ladera mas favorecidos por la radiación solar para la agricultura.

El segundo factor limitante, las temperaturas muy bajas o muy altas que causen daño celular o mantengan la producción primaria en valores bajos también puede actuar como limitante en los páramos. Como ya dijimos en los páramos se presentan bajas temperaturas con marcadas oscilaciones diarias mas que estacionales. Sin embargo, los campesinos han seleccionado las variedades de cultivo mas resistentes a las heladas y los sitios de ladera media (en los valles) como zonas preferenciales de cultivo para evitar los daños por heladas o "quemadas" irreversibles en las plantas de cultivo.

El tercer criterio, el "stress hidrico", puede ser limitante en páramos secos o en aquellos en donde el agua permanezca congelada en el suelo, es decir en los páramos más altos. En nuestro caso particular, aunque no se tienen datos de precipitación para Gevidia parece no haber un deficit hidrico que afecte los cultivos.

Finalmente, la baja disponibilidad de los nutrientes del suelo de los páramos, es un factor clave, ya que como dijimos anteriormente la tasa de descomposición es bajo, y por lo tanto los nutrientes parecieran encontrarse inmovilizados en estructuras biológicas mas que en formas minerales. En este trabajo trataremos de acercarnos a este limitante de la agricultura evaluando parcialmente, a través del nitrógeno si existe una deficiencia nutritiva al sembrar varios años consecutivos un terreno y si esta carencia se satisface al dejar en descanso la tierra y permitir que

transcurra una sucesión ecológica.

4.1. CARACTERISTICAS GENERALES DEL PÁRAMO DE GAVIDIA

Entre los estudios sobre la cuenca del río Gavidia tenemos los trabajos de Contreras y Teran (1981) y el de Fernández y Ramírez (1985). En el primero se realiza una clasificación de los suelos de toda la cuenca para diferentes propósitos, utilizando el Sistema Búlgaro (Flores, 1981), el cual se basa en la evaluación de la productividad de la tierra. Fernández y Ramírez por otra parte, elaboran censos de población y una división por sectores de la vertiente norte del Parque Nacional Sierra Nevada. Esta sectorización se encuentra enmarcada en el ordenamiento espacial del Parque Nacional Sierra Nevada y sigue una metodología para los fines de recreación y conservación de las áreas del parque.

Para la caracterización del páramo de Gavidia utilizaremos la información existente en los trabajos mencionados anteriormente. El área de estudio se encuentra entre las zonas de conservación y protección de ambos estudios y posee la vegetación propia del páramo andino (Monasterio, 1980).

4.1.1 Localización y extensión:

Como se puede observar en la figura 2, la cuenca de la quebrada Gavidia se encuentra en los Andes venezolanos en la Sierra Nevada de Mérida, extendiéndose por los Estados Mérida y Barinas, en los que ocupa los distritos Rangel y Pedraza respectivamente. Se localiza entre los $8^{\circ}35'$ y $8^{\circ}45'$ Norte y $70^{\circ}52'$ y $70^{\circ}57'$ Oeste. Los límites físicos de toda la

cuenca son por el Norte El Vergel, al Sur el pueblo de San Juan Bautista, al Este el páramo de Llano del Trigo y al Oeste el páramo de Santo Cristo y Mucurubá. La extensión aproximada de toda la cuenca es de 6000 ha (Contreras y Teran, 1981).

En cuanto al ordenamiento jurídico territorial, el área de estudio se encuentra dentro del Parque Nacional Sierra Nevada, decretado en 1952. Es un valle lateral, marginal de la cuenca del río Chama que hasta 1972 no tuvo carretera que lo comunicara con el resto de los valles agrícolas andinos.

Es necesario tener presente la posición de valle tropical de alta montaña, dentro de un Parque Nacional y recientemente conectado con los centros agrícolas modernizados para entender el desarrollo agroecológico de esta zona.

4.1.2 Geología y Geomorfología

El área de estudio, mantiene las características del relieve propias de las regiones andinas con "líneas de crestas muy elevadas, agudizadas y dentada; altos picachos fuertes pendientes, estrechas gargantas y amplios valles glaciares" (Contreras y Teran, 1981).

Altitudinalmente se ubica entre los 2700 y los 4200 m. Abarca dos subcuencas la de la quebrada Micarache y la de Las Pifuelas que se unen a la altura de 3200 m, formando una pequeña terraza (Plan de Gavidia) en donde se asienta una buena parte de las viviendas del caserío. La confluencia de estas dos quebradas forma la quebrada Gavidia la que

desemboca en la margen izquierda del río Chama, más abajo de la población de Mucuchies (Fig 2).

Las condiciones geológicas, de acuerdo con Contreras y Teran presentan gran homogeneidad estratigráfica y litológica. Las rocas que constituyen la cuenca pertenecen al precámbrico superior y están cubiertas en algunas áreas por materiales cuaternarios del grupo Iglesias en sus facies Sierra Nevada.

En el área existe modelado por aguas corrientes (escurrimiento difuso, en surcos, cárcavas antiguas y activas), modelado glacial y periglacial (morrenas, circos glaciales, rocas aborregadas, valles colgantes) y depósitos aluviales como conos-terrazas, conos de deyección y depósitos coluviales.

4.1.3 Precipitación, Temperatura e Hidrología

En Gavidia no existe una estación meteorológica. La estación más cercana es la de Mucuchies, la cual se encuentra a 2980 m de altitud y en condiciones climáticas muy diferentes por encontrarse en el valle del río Chama. Contreras y Teran utilizando el método isoyético concluyen que la precipitación varía desde 700 mm anuales a una altitud de 2700 m hasta 1400 mm a una altitud de 4200 m. De acuerdo al mapa de isotermas construido por el MAC DGRNR las principales isotermas que corren en la cuenca de la quebrada Gavidia son la de 10 , 7 y 5 grados centígrados.

En la cuenca, existen dos afluentes permanentes a la quebrada Gavidia, la de Micarache y la de las Pifuelas. Otros

afluentes como La Plata, Mucupiche, Los Corrales, El Churao, El León, La Pata, Los Chorros son estacionales (Contreras y Teran).

4.1.4 SUELOS

En base a la descripción de los suelos hecha por Contreras y Teran dentro de la cuenca hay suelos derivados de materiales aluviales, coluvio-aluviales y morrénicos representados por terrazas, conos de deyección, material morrénico ó till morrénico, materiales coluviales gruesos al pie de vertientes y restos de terrazas viejas (Contreras y Teran, 1981).

Por otra parte Malagon (1982) refiriéndose al tipo de suelo y características pedológicas de los páramos venezolanos, citando a Kovisars (1972) define para los andes norte-centrales de Venezuela, tres tipos de rocas, que son: 1). Rocas metamórficas, del basamento de la formación Sierra Nevada. 2). La formación el Aguila, con filitas y formaciones sedimentarias del Cretáceo y 3). Las intrusiones graníticas. Estas formaciones geológicas con excepción de la del Cretáceo son para este autor la base geológica para la formación de los suelos de esta zona de los Andes.

Como parte de nuestro trabajo, se realizó una calicata a 3300 m de altitud en el páramo de Gavidia en las parcelas en estudio, la descripción fue hecha por el Dr. J. M. Hetier, quien lo define como un perfil de tipo A-C característico de las praderas de altura o Ustic Humitropet en la clasificación americana. Los resultados se resumen en la figura 4 y 5.

Utilizando los análisis de C y N que aparecen en la tabla adjunta al perfil podremos notar que la relación C/N de todos los horizontes es bastante alta, lo que indica una baja actividad biológica y una acumulación de materia orgánica humificada.

Fig 4. Perfil de suelo y algunos resultados obtenidos en cada horizonte explorado.

GAVIDIA 26-11-87

ALTITUD: 3380 m

VEGETACION: ARBUSTAL-ROSETAL

POSICION TOPOGRAFICA: LADERA MEDIA

LATITUD: 8° 40' 26" NORTE

LONGITUD: 70° 54' 42" OESTE

CLASIFICACION PRELIMINAR: Ranker Húmico
: Ustic Humitropept

DESCRIPCION

1A1 75YR2/2 Húmedo Marrón muy oscuro

10YR5/3 Seco Marrón

(0 - 10 cm) Estructura macisa. Limoso.

Pocas raíces.

Transición gradual

2A2 75YR2/2 Húmedo Marrón muy oscuro

(10 - 25) Estructura macisa a microparticu-
lar. Pocas raíces. Menor cantidad de
espacios porosos que A1.

Transición marcada por el aumento en la
cantidad de piedras angulosas y bastante
alteradas. Color 75YR2/1 Marrón muy oscuro

3A3 Color 10YR2/2 Húmedo Marrón muy oscuro
(25- 50 cm) Alta densidad de
raíces. Textura con predominancia de
arena-materia orgánica- limo en orden
de importancia.

Transición con alta densidad de piedras. Sin
raíces. Presencia de rocas alteradas.
Posible ambiente reductor. (50- 55 cm)

4BC Presencia de bolsas con infiltraciones de
materia orgánica. (55- 70 cm) Textura
limo- materia orgánica- arena.

5C Color 25Y4/4. Marrón aceituna
(70 - 75 cm) Presenta bolsas de material
alterado (limoso-arcilloso). Textura franco
arenoso. Sin raicillas.



Figura 5. PERFIL DE SUELO REALIZADO EN EL AREA DE TRABAJO EN NOVIEMBRE 87.

V. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE USO DE LA TIERRA EMPLEADO EN GAVIDIA.

En el páramo de Gavidia, existe un sistema de explotación agrícola y pecuario, donde el único cultivo que se realiza con fines comerciales es la papa (*Solanum tuberosum*), a la cuál parece dedicarsele la mayor cantidad de tierras y la mayor cantidad de trabajo. Otros cultivos importantes son el trigo, la cebada y la avena pero sus productos no se comercializan sino que se utilizan localmente en la alimentación humana y animal (como forraje). Por otra parte las labores pecuarias, de pastoreo del ganado ovino y bovino, que existen en el valle, están restringidas a las partes mas altas en el páramo o a las terrenos adyacentes a las casas, en donde no interfieren seriamente con las labores agrícolas. Esta separación espacial, de las labores agrícolas y pecuarias, es necesaria de mencionar, ya que en otros ecosistemas de montaña, como la puna, también existe una utilización diferencial de los pisos altitudinales para las prácticas agrícolas y pecuarias (Flores, 1979). Sin embargo, ésta no es una separación neta ya que las labores de ordeño del ganado bovino y el pastoreo de las ovejas se realiza muchas veces en las parcelas cercanas a las viviendas que se encuentran en descanso o barbecho. En estos casos, como el de la papa-kancha peruana (Flores, 1979) la presencia de ganado significa una entrada adicional de abono orgánico para las parcelas que luego se utilizarán en la agricultura.

Se siembran principalmente las variedades de papa de

tubérculo negro-morado (*Solanum tuberosum* subespecie *andigenum*) o híbridos de tubérculos negro-blanco (Híbridos de *S. Tuberosum* subesp. *andigenum* y la subespecie *tuberosum*). Una lista de las principales variedades de papa sembradas en Gavidia, fué elaborada por Acevedo et al. 1985) y aparece en la tabla 2. En este mismo trabajo, se precisó que la duración promedio del ciclo de cultivo de estas variedades de papa varía entre 7-10 meses. De acuerdo a los resultados de Sarmiento-Monasterio, Monasterio, y Montilla, 1987 la producción de papa es de 23 ton por hectaria.

Los cereales (trigo, avena, cebada) se siembran principalmente como forraje para los animales. En general la importancia de estos cultivos en todos los Andes venezolanos ha disminuido notablemente por diversas razones. En este valle, como en otras áreas adyacentes, la actividad cerealera pasada se evidencia por la presencia de construcciones circulares de piedra, denominadas "peras" y que se usaban para trillar el trigo.

Como se puede ver en la figura 6, en el área de estudio, existe un ciclo de uso agrícola y un ciclo de recuperación-regeneración concatenados entre si. Por lo general en el ciclo agrícola se rotan los cultivos, sembrando papa durante dos o tres años consecutivos para luego sembrar en la misma parcela un cereal (trigo, avena, cebada) durante un año.

En el cultivo de papa se utiliza la técnica agrícola tradicional que consiste en un primer arado (tres o cuatro meses antes de la siembra) que causa la mortalidad de la

mayor parte de la vegetación natural de páramo que existía dentro de la parcela. Esta fracción como dijimos anteriormente se deja en el terreno y se transforma lentamente en necromasa que se va descomponiendo. Sin embargo, este primer arado no remueve todas las plantas que había en el terreno por lo que algunos frailejones (*Espeletia spp*) y otras especies quedan en pie.

Un segundo arado en el que se siembra y se fertiliza (fertilización con abonos químicos, úrea y formulas completas, Fig. 7). De acuerdo con los datos aun sin publicar de Monasterio y Montilla se fertiliza con Kg/Ha y cosecha. Después de 2-3 meses de la siembra se deshierba y se aporca. El aporque consiste en tapar las raíces y los tuberculos que se están formando con la tierra adyacente a las plantas, luego viene un último arado y en algunos casos una roza antes de realizar la cosecha de la papa (5-10 meses después de la siembra dependiendo de la variedad cultivada). Cuando se siembra alguno de los cereales después de la papa, no se vuelve a fertilizar ya que los campesinos consideran que un residuo del fertilizante agregado con la papa queda en el terreno y los cereales lo pueden aprovechar. Finalmente cuando termina esta secuencia papa-cereal y por diversos criterios, empiricos, el campesino considera que esa parcela ya no es apta para las labores agricolas, entonces es abandonada y se permite que en ella se recupere la vegetación natural de páramo. Este descanso implica una sucesión ecológica que pasa por etapas de inmadurez y termina con una vegetación como la del páramo adyacente, dicho proceso puede

transcurrir en el orden de 10-20 años.



Figura 7. Proceso de arado de la tierra con bueyes

Una interesante observación a este sistema de uso de la tierra, es la mezcla de la tradición campesina con técnicas modernas de cultivo como es el uso de fertilizante químico, el cual comenzó a ser utilizado desde que se construyó la carretera de tierra y más recientemente se ha incentivado su uso a través de la carretera asfaltada y de los comerciantes de estos productos.

Al observar con detenimiento una parcela cultivada con papa o un cereal, veremos que no es monoespecífica, sino que por el contrario hay plantas cultivadas, plantas pioneras, plantas de las etapas maduras de la sucesión y mucho material muerto como hojas, tallos, etc. del ecosistema anterior al cultivo. Por otra parte uno de los criterios utilizados por los campesinos para detectar el "empobrecimiento del suelo" es la disminución del tamaño de la papa, lo cual está de acuerdo con Chapman (1966), quien afirma que uno de los síntomas de deficiencia en nitrógeno de los cultivos de papa es la disminución del tamaño del tubérculo. Opinión que coincide con la de los campesinos quienes afirman que una disminución en el tamaño del tubérculo es una de las evidencias de un empobrecimiento de los suelos.

De manera que en el campo se puede definir y delimitar parcelas que se encuentran en diferentes estadios de la sucesión y en uso agrícola. Como resultado de esto, el valle de Gavidia ofrece una diversidad paisajística única, en donde hay una alta diversidad de parcelas y de colores: parcelas recién cosechadas (de color tierra); parcelas aradas, con suelo desnudo, y que están a punto de ser sembradas; parcer-

las sembradas de papa; parcelas sembradas con trigo, avena o cebada; parcelas con vegetación pionera de páramo (*Rumex acetocella*, *Espeletia* spp, *Senecio* spp, *Lupinus* sp, etc) y con vegetación avanzada de la sucesión. Si comparamos esta diversidad con otros valles agrícolas merideños y de Trujillo como Tuñame y Jajó veremos una diferencia entre este tipo de agricultura, que hemos llamado Tradicional y la Mercantil de estas otras regiones.



Figura 9. Vista de la parcela con un año de descanso

iii) Parcela de 6 años de descanso: Se encuentra en la etapa II de la figura 8, también se encuentra en posición topográfica de ladera media, y tiene también una buena proporción de piedras en superficie y en profundidad. Según Montilla et al. (1987) el número de especies es de 36. Este terreno, se deja descansar 10 o más años, ya que el dueño de la parcela no solo cultiva sus propias tierras sino que también siembra en medianería, esto significa que siembra las tierras de otros campesinos colaborando a medias con los

VI. METODOLOGIA

6.1 DEFINICION DE LAS ETAPAS SUCESIONALES A ESTUDIAR

Como parte del proyecto "Sucesion, regeneración y estabilidad de ecosistemas y agrosistemas de páramo" se delimitaron en el campo cuatro parcelas que se encontraban en diferentes estadios de la sucesión ecológica:

i) Parcela recién abandonada: Etapa inicial de la figura 8, esta parcela fué sembrada con papa, el año anterior a nuestro trabajo y en Octubre 1986 fueron cosechados todos los tubérculos que en ella habían. De manera, que al realizar nuestro primer muestreo en Marzo de 1987, estaba comenzando la colonización de las plantas pioneras en esta parcela. Este terreno sólo se le deja descansar durante dos años, ya que el campesino dueño de estas tierras no parece disponer de estabilidad económica e incluso una parte de la parcela total fue sembrada con trigo este año (sin fertilización).

ii) Parcela de 1 año de descanso : Etapa I de la figura 8, ocupa una posición de ladera media, tiene una alta pedregosidad y en ella ya se distinguen las plantas pioneras de la sucesión. De acuerdo a los resultados de Monasterio y Montilla (1987) la diversidad de esta parcela es baja, con solo 26 especies. Los resultados muestran que *Rumex acetosella* (cizaña) domina la composición florística con un 47% de cobertura. Esta parcela como la anterior no la dejan descansar mas de dos años consecutivos , por la misma razón económica.

insumos y el trabajo.

iv) Parcela de 12 años de descanso: Etapa III de la figura 8, también se encuentra en ladera media, la fisonomía florística de esta parcela es la de un rosetal -arbustal paramero, con un total de 36 sp. Domina *Hypericum laricifolium* (25%) y *Espeletia schultzi* (24.6%)



Figura 10. Vista de la parcela con doce años de descanso

Es necesario hacer notar que la duración del período de cultivo y de descanso varía no solo por razones económicas sino también que los campesinos saben apreciar algunos parámetros del suelo que les sirven de indicadores de como manejar sus tierras. Para algunos campesinos una parcela que nunca haya sido sembrada podrá soportar mas años de cultivo

consecutivos que una que ya haya sido sembrada y esté recuperada. Esta afirmación es común en los campesinos de todo el mundo y tiene asociada la noción de que la tierra "virgen" es más productiva que la ya utilizada.

Se escogieron estas cuatro parcelas para tomar el inicio de la sucesión, el intermedio y el punto mas avanzado, de acuerdo con el manejo campesino de la sucesion.

En la tabla 3 aparecen algunas características de las parcelas:

TABLA # 3: ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS EN ESTE TRABAJO

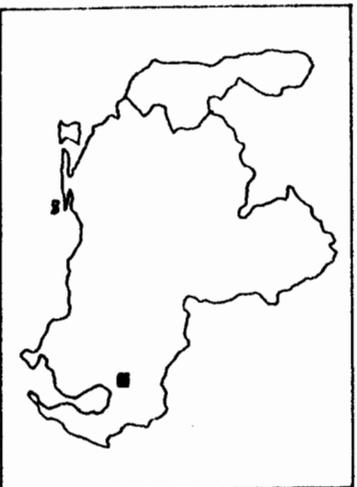
TIEMPO DE DESCANSO	% PEDREGOSIDAD*	PENDIENTE	POSICION FISOTOPOGRA.	NOMIA
RECIEN ABANDONADA	67,3		LADERA MEDIA	MAYOR PROP. SUELO DESNUDO
1 AÑO	55,8		LADERA MEDIA ALTA	
6 AÑOS	65,9		LADERA MEDIA	ARBUSTAL ROSETAL
12 AÑOS 3380	59,1		LADERA MEDIA	ARBUSTAL ROSETAL

* Tomando en cuenta las piedras mayores de 4 cm, fue estimado por nosotros de acuerdo a la metodología que se explica mas adelante.

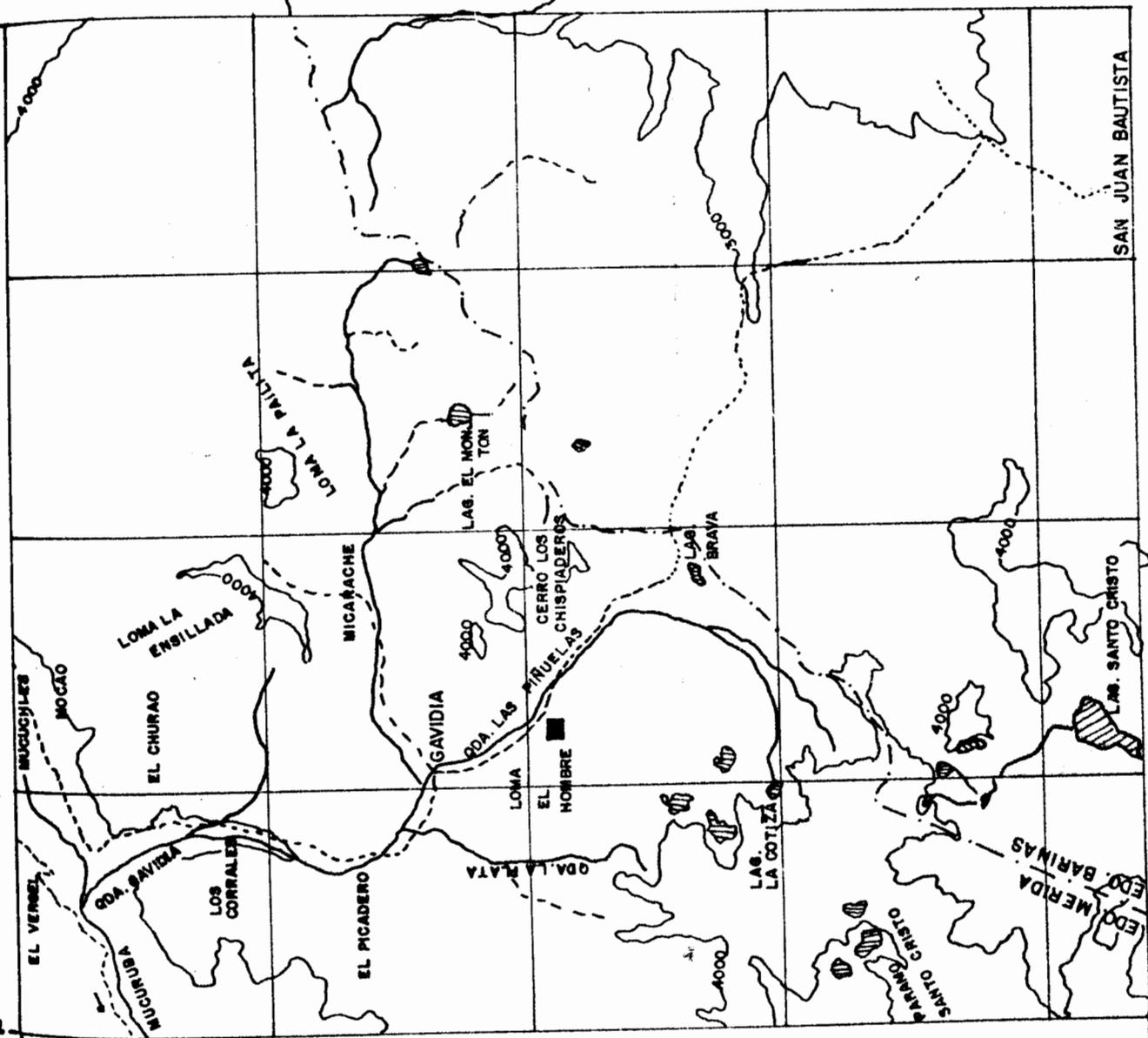
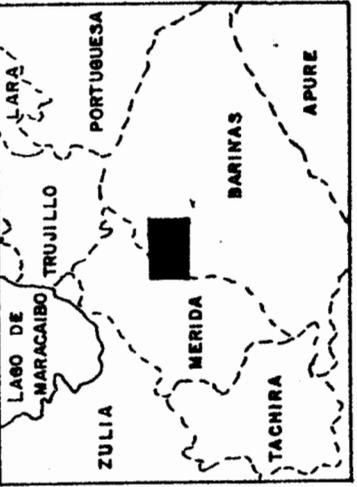
LEYENDA

- Principales carreteras y caminos
- Rios y quebradas
- - - Límites
-  Lagunas
-  Sitio de trabajo
-  Curvas de nivel cada 1000m.

SITUACION RELATIVA NACIONAL



SITUACION RELATIVA REGIONAL



MAPA J.: ESCALA 1:100.000
 Tomado de las cartas 6041 (Ciudad Bolivia) y 6042 (Timotes) de Cartografía Nacional 1977.

35° 6"

6.2 - DESCRIPCION DEL METODO DE MUESTREO DE SUELO

Un problema subyacente en todos los estudios de suelo, es el tamaño muestral necesario para obtener la mejor estimación de la variable que se esta estudiando. A este respecto la "Association of Official Agricultural Chemists" (tomado de Jackson, 1964) afirma que en vista de la variabilidad propia de los suelos es imposible establecer un método de muestreo completamente satisfactorio. Por una parte el número de muestras deberá ser grande para enmascarar la heterogeneidad propia de cada suelo y por otra parte el número de análisis químicos no debe ser demasiado grande. Para resolver ambos problemas, el de la variabilidad espacial como el de la reducción del número de muestras, Jackson propone la toma de muestras compuestas. Las que define como el equivalente a la media de los análisis individuales, resaltando su utilidad en los análisis de carbono, nitrógeno, fosforo y valores de pH.

Sin embargo, la toma de muestras compuestas, de acuerdo con este autor debe cumplir con los siguientes requisitos:

i. "Cada muestra individual debe de ser del mismo volumen que las demás y representar la misma sección del volumen del que se toma la muestra.

ii. Las muestras deben tomarse al azar, tratando de atravesar transversalmente las direcciones de las operaciones de cultivo y los accidentes naturales tales como las pendientes.

iii. Es necesario tomar un número suficiente de muestras individuales para que quede representado adecuadamente el

volúmen total del suelo, del que se toma la muestra.

iv. La unidad de suelo escogida para tomar la muestra compuesta debe ser homogénea para el objetivo de análisis".

El punto iii, es reforzado por la afirmación de que el aumento en el número de muestras individuales hace que disminuya la variabilidad que las caracteriza, por lo que Jackson recomienda que en la práctica la muestra compuesta esté formada por 20 a 30 muestras individuales, de esta manera la curva de distribución será estrecha y nuestro valor se acercará mas al valor analítico promedio.

Las fuentes de variabilidad de los análisis químicos son: el error en la toma de muestras, el error introducido por las muestras parciales y el error analítico (Jackson).

Tomando en cuenta las recomendaciones 1 y 2 de Jackson, pero reduciendo el número de muestras individuales en nuestro muestreo de suelo hemos tomado tres muestras compuestas por parcela estudiadas. Cada una de estas muestras compuestas se formó con diez muestras individuales, se mezclaron bien y se tamizaron en un tamiz de 2 mesh. Las muestras individuales fueron tomadas con un cilindro metálico de 392,7 cm², que llega hasta los primeros veinte centímetros de suelo.

El muestreo fue hecho al azar, utilizado una tabla de números aleatorios para determinar las coordenadas donde se tomaron las muestras individuales. Se hizo un muestreo en la época seca y otro en la época de lluvias.

En la caracterización de las parcelas se realizaron las siguientes mediciones:

6.2.1 Cuantificación del contenido de humedad:

Para esto se tomaron 6 muestras de suelo por parcela, introduciendo un envase metálico en los primeros 10 cm de suelo. Luego en el laboratorio se estimó el peso húmedo y seco de cada uno de los envases y se calculó el contenido de humedad usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco} - \text{Peso del envase}}{\text{Peso seco} - \text{Peso del envase}} * 100$$

Los envases se secaron en una estufa a 80 C hasta peso constante.

6.2.2 Estimación de la densidad aparente del suelo por parcela:

Con las mismas muestras empleadas para la estimación del contenido de humedad, conociendo el volúmen de tierra de cada envase y el peso de cada muestra se estimó la densidad aparente del suelo utilizando la siguiente formula:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Gramos de tierra}}{\text{Volúmen que ocupa la tierra}}$$

De manera que también se hicieron seis estimaciones por parcela.

6.2.3 Determinación del nitrógeno mineral del suelo:

Como se discutió anteriormente, el nitrógeno mineral es mineral es bastante inestable y cambiante a escala diaria, estacional y sobre todo es muy afectado por la heterogeneidad propia del terreno, lo que como sabemos es consecuencia de la actividad de los microorganismos del suelo. Esto nos planteó

en primer lugar un problema metodológico. Para tratar de evitar la heterogeneidad diaria se tomarón todas las muestras compuestas (de todas las parcelas) el mismo día y en el lapso mas corto de tiempo posible (2-3 horas) en cada uno de los dos muestreos.

El problema de la heterogeneidad espacial fue resuelto parcialmente tomando cada una de las muestras individuales de la forma mas representativa posible de la diversidad espacial, y cada muestra compuesta se homogenizó bién en el campo, tal y como se explico antes.

Las perturbaciones o ruidos de fondo que ocasiona la manipulación del suelo y su traslado al laboratorio no pudo ser eliminado entre otras razones por la falta de infraestructura en el campo que permitiera trabajar eficientemente y con exactitud en el páramo de Gavidia.

Para las determinaciones de amonio y nitrato de las muestras compuestas, fue necesario en primer lugar obtener un extracto de estas formas minerales, utilizando para ello un agente extractante. En la bibliografía se encuentran referencias de cloruro de potasio, sulfato de cobre, ácido sulfurico y ácido clorhídrico (Bremner, et al. 1982) como agentes extractantes.

En nuestro caso particular utilizamos el cloruro de potasio (KCL) 1 N, por ser el mas utilizado como agente extractante, agregando a 40 gr de suelo fresco (de cada una de las muestras compuestas) 200 ml del KCL 1 N. Se dejaron en contacto por 24 horas, agitando en las últimas dos horas para hacer mas eficiente la extracción del amonio y del nitrato.

presentes en el suelo. Luego se filtró usando una membrana Millipore de 2 micras para obtener un extracto lo más estéril posible del nitrógeno mineral (para evitar la acción de microorganismo que puedan alterar las concentraciones iniciales) además se acidificó el extracto con HCl hasta pH 1 y se almacenaron a bajas temperaturas para evitar cualquier alteración química antes de las mediciones. Las cuantificaciones del amonio se hicieron con el Electrodo Selectivo de Amonio (Marca Orion, modelo 95-12) y con el método de reducción-destilación y titulación para nitrato. Estos métodos los explicaremos mas adelante.

En la tabla 4 tomada de Keeney y Nelson (1982) aparece un resumen de las principales técnicas de cuantificación del nitrógeno mineral, tanto para el amonio como para el nitrato, así como las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Se hicieron dos extractos KCL (1N) por muestra compuesta, de manera que si en cada parcela habian tres muestras compuestas, se hicieron seis extractos por parcela, es decir 6 determinaciones por parcela.

Una vez obtenido este extracto y para las determinaciones de amonio se utilizó el electrodo selectivo de amonio (Orion, modelo 95-12).

De acuerdo con la tabla 4 la unica interferencia en el uso de este electrodo, es la presencia de aminas volatiles. Es recomendable que en los futuros trabajos se haga una evaluación de la presencia de aminas como paso previo a utilizar la metodologia del electrodo. En recientes trabajos

Tabla No 4. PRINCIPALES TECNICAS DE MEDICION DE N-MINERAL
(tomada de Keeney y Nelson, 1982)

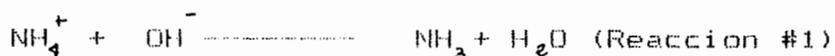
METODO	RANGO DE CONCENTRACION EN EXTRACTOS (mg/lit)	INTERFERENCIAS	COMENTARIOS
N- Amonio			
Azul indofenol	0.005-20	Calcio- magnesio	Simple, rapido Las interfer. se pueden eliminar
Nessler	0.1-10	Calcio, Mg Hierro, S	Muestras deben ser dest. antes
Electrodo	0.1-1400	Aminas volatiles	Sencible y rapido
Destilación y Titulación	0.1- 100	Ninguna	Simple
N- Nitrato			
Absorción a 210 nm U.V.	0.5- 10	Nitrito, mate. orgánica	Baja reprod. No es sencible Requiere pretrat.
Acido fenol disulfonico	0.1-2	Cl, materia org. y NO ₃	No es recomendable
Brucina	0.1-2	NO, Agentes oxid.-red.	Baja reprod. Calcinogenica
Cromatogr. acida	0.3-8	Materia orgánica	Uso de H SO
Reducción a NO con Cd. Metodo de Griess- Ilovay	0.01- 20	Ninguno	Muy sensible Problemas con la reducción
Electrodo	2- 1400	Cl, Br, NO, Fuerza ionica	Menos preciso. Debe usarse red fuerza ionica.
Reducción a NH	1-1400	Aminas, NO, fosfatos	Medición de NH por dest-tit. o colorm.
Microdifus. con al. devarda	0.1-10	Nitrito	Insensible, lento

la metodología del electrodo de amonio ha reemplazado la destilación y titulación kjeldahl tradicional ya sea en análisis de suelo (Bremner, 1968 y 1972) como también en plantas.

6.2.3.1 Técnica empleada con el electrodo selectivo de amonio:

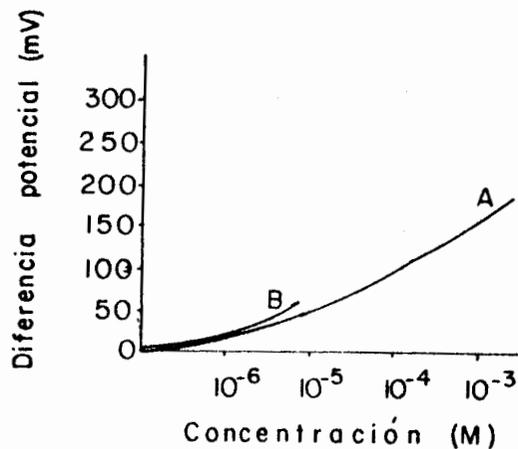
Explicaremos brevemente algunos aspectos resaltantes del funcionamiento del electrodo, utilizando para ello el Manual de la compañía Orion (1981).

Como su nombre lo indica este electrodo detecta los iones amoniaco que se encuentran en una solución acuosa, los cuales provienen de una reducción en medio básico del amonio a amoniaco, de acuerdo con la siguiente reacción:



El electrodo consiste en una pieza de plástico en la que se encuentra una membrana hidrófoba gas permeable inmersa en una solución interna de llenado (Cloruro de amonio 0,1 M). Las determinaciones se hacen potenciométricamente utilizando una celda de referencia que se encuentra en la misma pieza de plástico junto al electrodo. Es necesario conectar el electrodo con el pH- metro (Marca Orion modelo 701-A) y colocar este en el modo rel mV para detectar el cambio de potencial que produce la muestra.

De manera que dadas las características potenciométricas del electrodo al elaborar una curva de calibración, gradicando en papel semilogaritmico la respuesta de este como una función de la concentración de amonio se obtiene una curva como la siguiente:



A: Curva normal
 B: Solución interna de llenado diluido.

Figura 11. Curva típica de Calibración del electrodo (Orion, 1981)

La pendiente de la región recta de la curva depende de la temperatura pero siempre será un valor de 57 ± 3 mV entre 10 a 25 °C. A partir de la curva de calibración, conociendo los valores de potencial podremos entonces estimar la concentración de amonio de una muestra problema.

El tiempo de respuesta del electrodo varía con la concentración, de acuerdo con los fabricantes el 95 % de los milivoltios son leídos en un minuto o menos para concentraciones de amonio por encima de 4×10^{-6} M. (0.68 ppm NH ó 0.56 ppm N). Por debajo de este valor de concentración, el tiempo de respuesta se alarga y la absorción del amonio por el aire puede ser una fuente de error.

La reproducibilidad del electrodo está limitada en primer lugar por la temperatura, ya que esta puede causar un cambio en la respuesta del electrodo y en la pendiente de la curva de calibración. En concentraciones de 10^{-6} M de amonio, un cambio en 1° C en la temperatura puede conllevar a un error del 2 %. Por lo que la compañía Orion recomienda que

las soluciones standard, utilizadas en la curva de calibración, y las muestras deben estar a la misma temperatura. Por otra parte la temperatura no debe ser muy alta ya que se favorece las pérdidas por volatilización.

Otro de los factores que pueden afectar la reproducibilidad de las mediciones es el buen funcionamiento del electrodo, en particular de la membrana y de la solución interna de llenado del electrodo. Por lo que es recomendable realizar el control de operación del electrodo antes de cada serie de mediciones e incluso repetirlo en la mañana y en la tarde si las mediciones duran todo el día (lo que también tiene relación con los cambios en la temperatura a lo largo del día).

Las interferencias, como se muestra en la tabla 4, son las aminas volátiles, aunque también puede haber un efecto de interferencia del vapor de agua, el cual puede moverse a través de la membrana diluyendo el líquido de llenado.

Por otra parte, en el caso de que el amonio provenga de la digestión Kjeldahl tradicional en la que se usa una mezcla de catalizadores entre los que está el mercurio, se podría formar el complejo mercurio-amonio. Este complejo puede interferir con las mediciones y se utiliza el yodo como agente liberador del complejo (Orion, 1981; Bradstreet, 1965).

Materiales y reactivos necesarios para el electrodo:

- Un pH- metro digital. Marca Orion, modelo 701-A
- Un agitador magnético con barra magnética.

- El electrodo de amonio. Marca Orion, modelo 95-12.

No hace falta ningun otro electrodo de referencia ya que éste lo tiene incorporado internamente.

- Solución patrón de cloruro de amonio (NH_4Cl , 0.1 M) para hacer la curva de calibración.

- Solución interna de llenado. Orion, No 9512002

- Membranas cambiabiles del electrodo.

1.-CONTROL DE OPERACION: Este procedimiento sirve para asegurarse del buen funcionamiento de la membrana del electrodo. Para ello se mide la diferencia de potencial cuando la concentración cambia en un factor de diez, es decir verificando que la pendiente de la gráfica de calibración sea de -57 ± 3 mv cuando se trabaja entre $10 - 25^\circ \text{C}$. Los fabricantes recomiendan realizar este control de operación siempre que se vaya a utilizar el electrodo y cuando pueda variar la temperatura a lo largo del experimento.

El procedimiento para confirmar la pendiente es el siguiente:

1.1- Coloque en un beaker de 150 ml, 100 ml de agua destilada y 1 ml de solución KOH 10 N.

1.2- Llene el electrodo con aproximadamente 1 ml de la solución interna de llenado. Luego introdúzcalo en la solución preparada en 1.1

1.3- Mueva el botón principal del pH-metro hasta la posición Rel mv.

1.4- Introduzca la barra magnética, coloquelo sobre el agitador magético e inicie la agitación, cuidando que

no se forme vortex.

1.5- Pipetee en la solución anterior 1 ml de la solución standard 0.1 M de cloruro de amonio (NH_4Cl , Orion 95-10-06) y utilizando el botón de calibración lleve la lectura a 000,0. Es necesario verificar la temperatura ambiente y colocarla en el botón de control de la temperatura.

1.6- Pipetee sobre la solución anterior 10 ml de la solución standard.

1.7- Verifique que el valor de potencial se encuentra entre -57 ± 3 mv (si el rango de trabajo esta entre 10 - 25 ° C).

2.- CONSTRUCCION DE LA CURVA DE CALIBRACION: Es necesario hacer una curva de calibración cada vez que se trabaje con el electrodo, naturalmente que esta curva deberá hacerse dentro del rango de concentración en el que se encuentren las muestras problemas. En nuestro caso particular utilizaremos la curva de bajas concentraciones, para lo cual se procede de la siguiente manera:

La solución interna de llenado debe diluirse en un factor de diez, para así acelerar el tiempo de respuesta del electrodo. La nueva solución interna de llenado se prepara con 0.1 ml de la solución interna de llenado y 0.9 ml de agua destilada. Es necesario que antes de llenar el electrodo este seco y limpio por dentro para así no alterar la composición de la nueva solución de llenado.

2.2- Después de llenar el electrodo y para permitir que se

estabilizen las lecturas coloque el electrodo dentro de un beaker con buffer pH 4 durante 5-10 minutos.

2.3- Enjuague el electrodo en agua destilada y coloquelo en un beaker de 1000 ml. El cuál contiene 1000 ml de agua destilada y 10 ml de hidroxido de sodio (NaOH 10N).

2.4- Coloque el boton del pH-metro en la posición mv y comience a medir los cambios de potencial cuando se agregan cantidades crecientes de amonio. Para ello prepare la siguiente solución standard (10^{-2} M ó 100 ppm) : En un beaker de 20 ml agregue 1 ml de la solución standard (0.1 M) y complete hasta 10 ml con agua destilada.

De esta solución se va agregando sucesivamente y dejando que las lecturas se estabilizen los siguientes volúmenes en el beaker de 1 lt.

Tabla 5. Volúmenes a adicionar para preparar la curva de calibración (Orion, 1981)

PASO	VOL. ADICIONAR (ml)	CONC. MOLARIDAD	PPM DE N
1	0,1	$9,9 \times 10$	0,01
2	0,1	$2,0 \times 10$	0,02
3	0,2	$4,0 \times 10$	0,04
4	0,2	$5,9 \times 10$	0,06
5	0,4	$9,9 \times 10$	0,10
6	2,0	$3,0 \times 10$	0,30
7	2,0	$4,9 \times 10$	0,49

2.5- estos son los puntos de la curva de calibración y si es necesario afinar la precisión se pueden agregar

concentraciones intermedias. Grafique en papel semilogaritmico los valores de concentración (eje logaritmico) con sus correspondientes valores de potencial en milivattios (eje lineal). Esta curva debe seguir el patrón descrito por la compañía Orion.

3.-MEDICION DE LOS CONTENIDOS DE AMONIO EN LAS MUESTRAS: luego de construida la curva de calibración, saque el electrodo del beaker de 1 lt, enjuéguelo con agua destilada y colóquelo de nuevo durante 5 a 10 min. en la solución buffer pH 4.

Transcurrido este tiempo enjuéguelo, séquelo e introdúzcalo en la solución problema. Agregue a continuación 1 ml de NaOH por cada 100 ml de muestra. Agite la mezcla y cuando se estabilice la lectura mida el potencial en el pHmetro. Es recomendable utilizar erlemeyer pequeños (disminuyendo la relación superficie - volumen) y cubrirlos con papel parafilm y agitar lentamente para así evitar las pérdidas de amoniaco.

6.2.3.2 TECNICA EMPLEADA PARA LA DETERMINACION DE NITRATO-NITRITO

Luego de obtener el extracto KCl del nitrógeno mineral del suelo, se tomó una alícuota para determinar por el método reducción del nitrato a amonio, destilación-titulación Kjeldalh el nitrógeno proveniente del nitrato y el nitrato de las muestras. No se utilizó el electrodo de amonio por que la presencia de zinc, uno de los reactivos de la aleación

Devarda (1893), utilizada en la reducción, produce al mismo tiempo hidrogeno gaseoso que interfiere con las mediciones.

Los contenidos de nitrito parecen ser despreciables y muy susceptibles a transformaciones dentro del suelo y con la manipulación de éste, por lo que generalmente nos referiremos solo al nitrato cuando mencionemos el nitrógeno que no es amonio.

Para la cuantificación del nitrato-nitrito se utilizó un agente reductor fuerte, como es la aleación Devarda (mezcla de zinc, cobre y aluminio) utilizada por Keeney y Nelson (1982); Bradstreet (1965) entre otros. Bradstreet afirma que esta reducción, del nitrato-nitrito a amonio ocurre a pH cercanos a 11 y en ella se libera hidrogeno como subproducto de la reacción del zinc con el hidroxido, como ya dijimos.

La metodología empleada fue la siguiente:

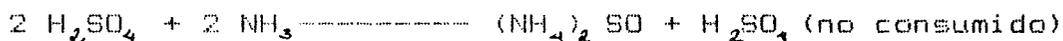
- 1.- Se colocan en un balón de destilación 100 ml del extracto KCl del suelo el cual se conecta a una columna de destilación. Se agregan 40 ml de NaOH (10 M) por un tubo lateral del balón de destilación de manera de cambiar el pH a 11.
- 2.- Se comienza a destilar el extracto y se recoge el amoniaco proveniente del amonio presente en la muestra. La destilación se detiene cuando cesa la salida de amoniaco por la columna de destilación, lo que se verifica por un cambio en el pH del destilado (papel pH).
- 3.- Sin desmontar el balón de destilación de la columna y reduciendo un poco la temperatura se agrega 1 gramo de la

aleación Devarda por el tubo lateral del balón. Se verifica que el pH este cercano a 12 y se comienza de nuevo a destilar. Se recoge el amoniaco provéniente de la transformación de nitrato nitrito de acuerdo a la siguiente reacción:



4.- El amoniaco producido se recoge en suficiente acido sulfúrico diluido, durante aproximadamente 20 min., verificando también que cesa de salir por el cambio de pH del destilado.

5.- El amoniaco reacciona con el ácido sulfúrico, de acuerdo con la siguiente reacción:



Este H_2SO_4 , no consumido es titulado potenciométricamente y así se estimá el contenido de nitrato-nitrito de la muestra. Todas las determinaciones se hicieron en el laboratorio de suelos de la Escuela de Geografia de la Facultad de Ciencias Forestales con el destilador del Dr. J. M. Hetier.

Como intentamos comparar los contenidos de nitrógeno mineral del suelo de parcelas con diferentes porcentajes de humedad fue necesario transformar los resultados obtenidos con el electrodo y con la destilación a gramos de Nitrógeno en relación a los gramos de suelo seco que se utilizaron para hacer el extracto.

6.2.3.3 TECNICA EMPLEADA PARA LA DETERMINACION DEL NITROGENO TOTAL Y EL CARBONO PRESENTES EN EL SUELO

Una parte del suelo de las muestras compuestas se dejó secar a temperatura ambiente y se envió al laboratorio para que realizarán de acuerdo a la técnica Kjeldahl tradicional y al método Walkley-Black las determinaciones de nitrógeno y carbono del suelo de cada parcela. Estas determinaciones también se hicieron por duplicado, obteniendo de esta manera seis determinaciones por parcela.

6.2.4 ESTIMACION DE LA PROPORCION DE PIEDRAS Y SUELO EN LA SUPERFICIE DE LAS PARCELAS

Además de estas cuantificaciones se realizó en el campo una estimación de la proporción de piedras y tierra por parcela. Para ello se tomó un determinado volumen de suelo, se tamizó, y se pesó la tierra húmeda que allí había. Luego utilizando el contenido de humedad del suelo (estimado con esa misma tierra) y la densidad del suelo y la piedra (promedio de 2.6 Kg/ lt) se estimó la proporción en peso de piedras y suelo. La necesidad de realizar esta estimación surge de la alta pedregosidad de las parcelas, factor que puede alterar la extrapolación de los resultados a hectarias y la comparación de las parcelas de diferentes edades de abandono y pedregosidad.

6.3 DESCRIPCION DEL METODO DE MUESTREO DE LA BIOMASA VEGETAL

Como parte del proyecto "Sucesión-Regeneración y Estabilidad de ecosistemas y agrosistemas" que coordina la Dra.

Monasterio, se muestrearon una serie de parcelas que se encontraban en diferentes etapas de la sucesión ecológica descrita anteriormente. Este muestreo de la comunidad vegetal fue realizado por M. Monasterio; M. Montilla; C. Estrada, L. Sarmiento-Monasterio, D. Dugarte y E. Rangel.

El método de muestreo fué al azar, utilizando una tabla de números aleatorios para determinar las coordenadas y colocar la unidad de muestreo. En el caso de la biomasa aérea se utilizó un rectángulo de 40 x 20 cm. Se cosechó todo el material vegetal presente en ese rectángulo. Esta biomasa se llevó al laboratorio, se secó en estufa (70- 100° C) y se separó en compartimientos. Se tomarón veinte muestras por parcela y se envió al laboratorio una submuestra representativa para las determinaciones de nitrógeno.

La unidad de muestreo de la biomasa subterránea fué un cilindro de 85 cm, que exploraba los primeros veinte centímetros de suelo, y se colocaba en los mismos sitios donde se cosechaba la biomasa aérea. En el laboratorio se separó, secó y molió el material presente en cada uno de los siguientes compartimientos:

- Raíces leñosas
- Raíces no leñosas
- Materia amorfa > 2 mm
- Materia amorfa < 2 mm
- Tubérculos
- Musgos

VII. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 PARAMETROS FISICOS E HIDRICOS DEL SUELO

7.1.1 VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

En este trabajo en la discusión de los cambios de la humedad del suelo nos basaremos en las siguientes proposiciones:

- 1.- Al abandonar las parcelas e iniciarse la sucesión el contenido de humedad del suelo tiende a disminuir ya que al aumentar la cobertura vegetal el flujo de salida por evapotranspiración tiende a aumentar.

Para validar esta proposición veamos la variación del contenido de humedad de las parcelas con diferentes tiempos de descanso, en las dos épocas del año. (Gráfico 12a. y 12b)

En la época seca (Gráfico 12.a) vemos que el porcentaje de humedad decrece en valor absoluto en el siguiente orden: 6- 0- 1- 12 años de descanso. Además es de hacer notar la alta dispersión de los valores lo que se observa en una desviación standard cercana al 50% en algunos casos. Esta alta dispersión nos indica una gran heterogeneidad en las muestras y probablemente en el terreno.

En base a estos resultados podemos pensar que a excepción de la parcela de seis años, nuestra proposición parece ser cierta.

En la época de lluvias (Figura 12.b) vemos que en orden decreciente el porcentaje de humedad del suelo fué el siguiente: 1- 6-12-0 años de descanso. Además la desviación

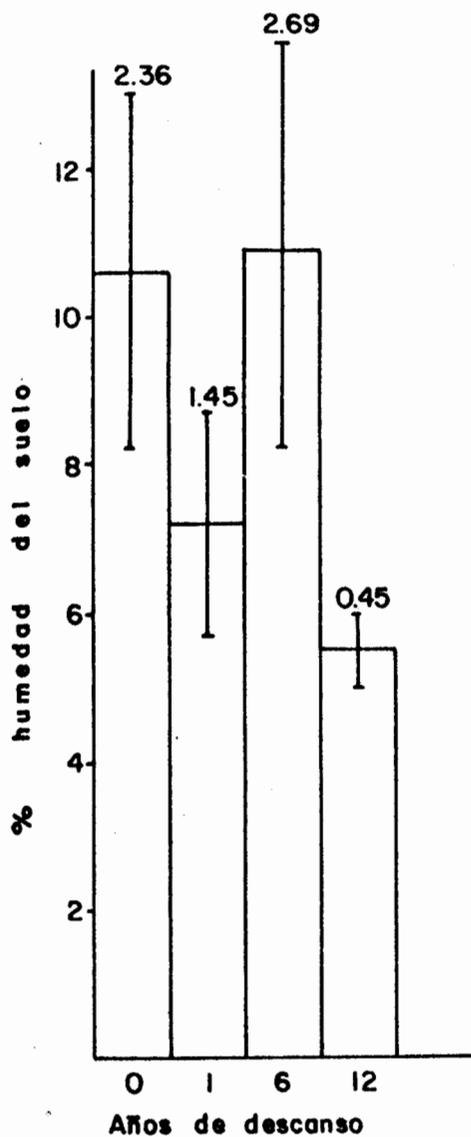


Figura 12 a

Variación del contenido de humedad del suelo en la época seca. Promedio \pm Error standard $n=6$

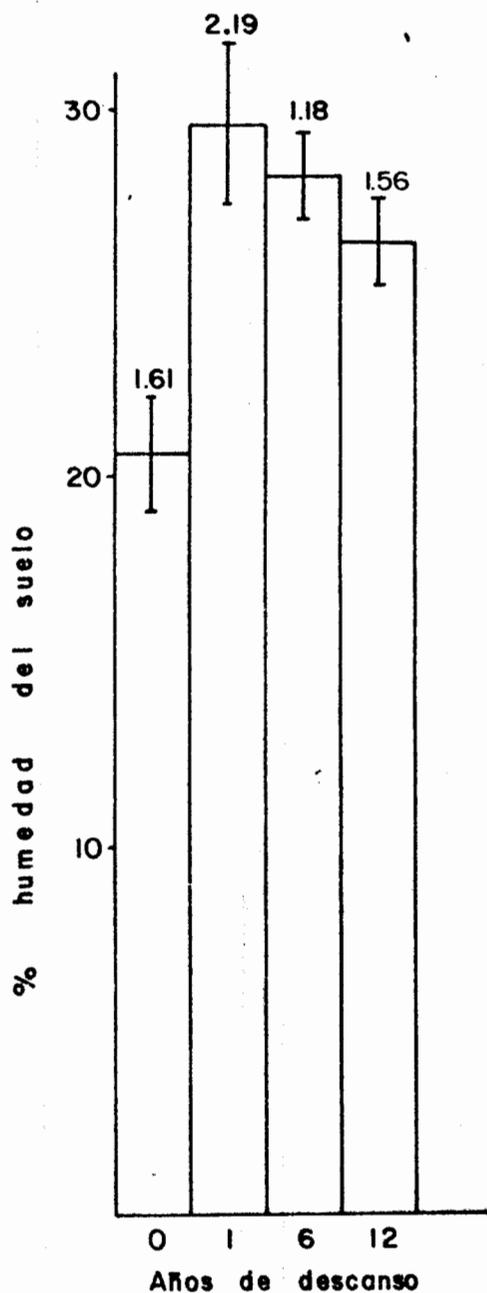


Figura 12 b

Variación del contenido de humedad del suelo en la época húmeda. Promedio \pm Error standard $n=6$

standard de las parcelas disminuyó aproximadamente hasta el 15 % con relación a la media, lo que parece indicar un efecto homogenizador de las diferencias encontradas en la época seca dentro de cada parcela por las lluvias, eliminando la dispersión que pueden formar las piedras o el microrelieve.

En este caso, nuestra proposición es parcialmente rechazada ya que el valor mínimo de humedad fue el de la parcela recién abandonada ($20,5 \pm 3,45$). Para explicar esta divergencia volvamos a la teoría de la sucesión ecológica, que propone que la colonización inicial de un ecosistema, es llevada a cabo por las especies pioneras, que son de crecimiento rápido (estrategia r), que tienen una alta evapotranspiración siempre que no existan limitantes hídricos. En Marzo, cuando se hizo el primer muestreo aun no existía una evidente colonización vegetal que pudiera relacionarse con la humedad del suelo, sin embargo en Septiembre, en la época de lluvias, esta parcela ya había sido colonizada por las primeras especies vegetales, que pudieron ser las responsables de la desecación del suelo y de esta caída en el contenido de humedad cuando la comparamos con las otras parcelas.

2.- Al comparar los contenidos de humedad de las cuatro parcelas en conjunto, la heterogeneidad propia del suelo tiende a disminuir pero se conserva la diferencia entre las estaciones.

En primer lugar se observa una disminución de la dispersión de los resultados al comparar los promedios de

seis muestras con los de 24 muestras (8,54 ± 4,67 y 25,74 ± 4,77), lo que era de esperarse. En el caso particular de Gavidia, proponemos un mínimo de 24 muestras para la estimación de la humedad del suelo.

Es necesario mencionar que al diseñar nuestro muestreo no le dimos mucha importancia a los cambios en el contenido de humedad que pudieran ocurrir a lo largo de la sucesión. Sin embargo estos pocos resultados nos pueden dar una idea de que tipo de cambios están ocurriendo en el suelo con la sucesión y con la estacionalidad. Queda planteada la necesidad de estimar con mayor exactitud los cambios diarios y estacionales del contenido de humedad del suelo.

7.1.2 - VARIACION DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO.

La densidad aparente del suelo, es una función del grado de agregación y de los espacios intersticiales llenos de agua o de aire, por lo que cualquier trabajo que individualice sus partículas, como el pisoteamiento, o las lluvias, los agentes "desfloculantes" tienden a hacer disminuir los espacios porosos y en consecuencia aumenta la densidad (Robinson, 1967). Su importancia radica en la influencia que ejerce en las propiedades hídricas del suelo y sobre la actividad biológica, tanto de las raíces como de la fauna del suelo.

Nuestra discusión de los resultados de densidad aparente va a estar enfocada a los cambios que puedan ocurrir con la sucesión y con la estación climática. Para esta última es necesario tener presente la variación en el contenido de agua

del suelo entre las épocas seca y húmeda.

-En la época seca, la densidad aparente del suelo (figura 13.a) de las parcelas con diferente tiempo de descanso varia entre 0,735 - 1,015 g/cm³. Alcanzándose el mínimo valor en la parcela con más años de descanso y el máximo en la parcela con 1 año. Para precisar si las diferencias observadas entre las parcelas es significativas, se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis con $\alpha = 0,05$ y se obtuvo que la densidad aparente del suelo (0-10 cm) de diferentes puntos de la sucesión es significativamente diferente.

Con estos resultados, podemos afirmar que la densidad aparente del suelo tiende a disminuir a medida que avanza la sucesión lo que creemos que tiene relación con la interrupción de las labores agrícolas, como el arado, que modifican la aireación y compactación del suelo.

-En Septiembre, a finales de la época de lluvias, la densidad aparente superficial del suelo (figura 13b) sigue una tendencia opuesta. Los valores obtenidos oscilan entre 0,65 hasta 0,78 g/cm³, el máximo valor corresponde a la parcela con 12 años y el mínimo a la de 1 año. Sin embargo, este es un pequeño incremento y de acuerdo a el test de Kruskal-Wallis con $\alpha = 0,05$ no es suficiente como para afirmar que sean diferentes.

La parcela recién abandonada, obtuvo un valor de densidad aparente intermedio al de las parcelas de 6 y de 12 años, lo que al igual que en la época seca interpretamos como una característica intrínseca a esta parcela.

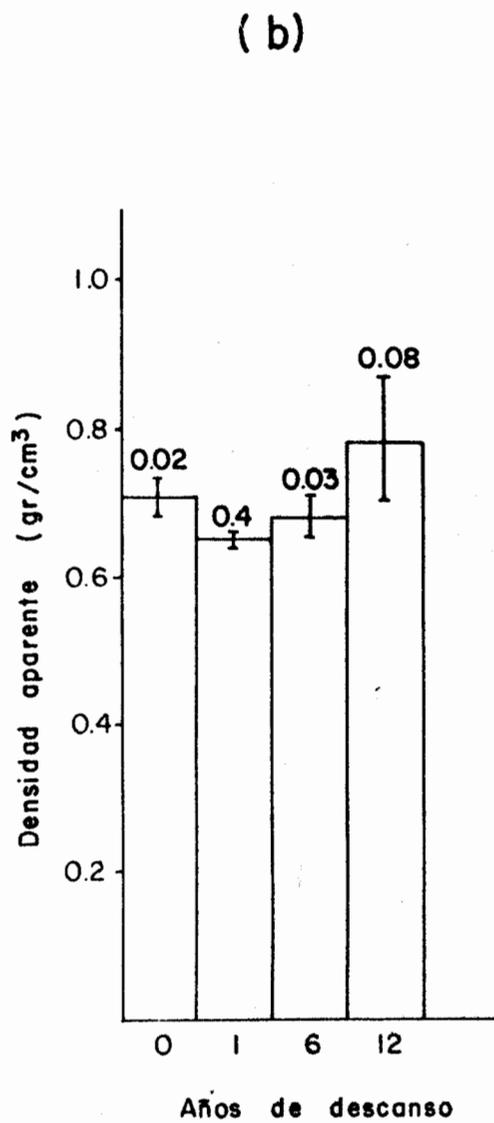
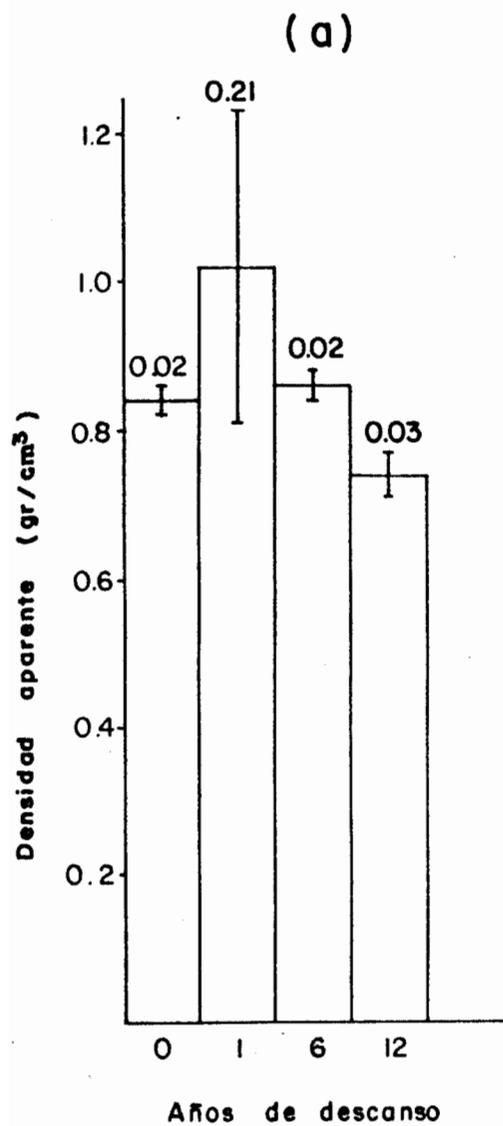


Figura 15

Variación de la densidad aparente del suelo con los años de descanso del terreno. Promedio \pm Error standard $n=6$

a: Época seca

b: Época húmeda.

La variabilidad de los resultados dentro de cada parcela disminuyó, lo que parece confirmar que las lluvias ejercen un efecto homogenizador del terreno, como se discutió anteriormente.

-Al promediar los veinticuatro resultados de densidad aparente, sin tomar en cuenta la sucesión, encontramos que en la época seca, la densidad es mayor ($0,861 \pm 0,30$) que en la época húmeda ($0,702 \pm 0,15$), la disminución fue cercana al 20%. Esta interesante variación estacional de la densidad aparente podría ser causada por el efecto individual o conjunto de las siguientes causas:

- La actividad de la macrofauna del suelo, especialmente las lombrices de tierra, posiblemente aumenta en la época de lluvias. Como resultado aumentarán el número de tuneles o cavidades del suelo. Aunque nosotros no realizamos observaciones de esto, queda planteada la necesidad de evaluar la actividad de la macrofauna y de la microfauna del suelo.

- Es de esperar un aumento en el crecimiento de las raíces y raicillas durante la época de lluvias que causará el efecto "dilatador" discutido anteriormente.

- Como resultado de la fragmentación y descomposición de la necromasa presente en el suelo, se generan cambios en la estructura del mismo que podrían adicionarse al efecto de los procesos anteriores.

- La mayor cantidad de agua en el suelo, durante la época de lluvias aumenta el tamaño y número de poros del suelo causando un efecto "dilatador". Este cambio puede ser

el mas importante y es necesario planificar otro tipo de muestreo para evaluarlo.

La variación estacional encontrada, indica que la densidad aparente del suelo no debe ser concebida como un parámetro estático, como tradicionalmente se ha hecho ya que pueden haber variaciones periodicas tan grandes como las encontradas por nosotros en el páramo de Gavidia (20 %). De comprobarse esta tendencia, sería necesario cuestionar la estimación puntual de la densidad aparente y proponer un sistema de medición mas apropiado que tome en cuenta la dinámica estacional (anual), sucesional (decenas a cientos de años) y pedogenéticos (cientos a miles de años).

Al comparar el comportamiento de las cuatro parcelas estudiadas entre sí, vemos que existen dos tendencias opuestas: En la época seca parece haber una disminución de la densidad aparente, es decir hay una compactación de los primeros centímetros del suelo como resultado de la desecación y la interrupción del arado y de las labores agrícolas. En la época de lluvias la densidad disminuye, lo que puede explicarse por un aumento en el contenido de agua ("efecto dilatador") y la promoción de la actividad biológica que aumenta el tamaño de los poros del suelo.

Estos resultados al igual que los del contenido de humedad del suelo nos permiten validar la proposición de que el suelo es un elemento clave de todo el proceso sucesional que estamos estudiando. Es decir, sufre transformaciones en sus características físicas, químicas y biológicas a medida que transcurre el descanso del terreno como también a escala

estacional. Sin embargo, nuestros resultados no nos permiten concluir nada sobre la dirección de estos cambios.

7.2. EVOLUCION DEL CARBONO CARBONO ORGANICO Y NITROGENO TOTAL DEL SUELO.

7.2.1- CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE CARBONO ORGANICO DEL SUELO.

En este trabajo partiremos de la hipótesis de que el contenido de carbono orgánico (materia orgánica del suelo) aumenta a lo largo de la sucesión ecológica que se inicia al dejar de sembrar un terreno (descanso). Esta afirmación se encuentra respaldada por los resultados obtenidos por Aweto, 1981 en una sucesión secundaria en el sur-este de Nigeria quien obtiene un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo del orden de un 68 por ciento.

En la tabla 6 hemos resumido nuestros resultados, correspondientes tanto a la época seca (Marzo) como en la húmeda (Septiembre). Al igual que el porcentaje de humedad y la densidad aparente analizaremos en primer lugar la variación debida al proceso sucesional.

TABLA 6

VARIACION EN EL CONTENIDO DE CARBONO ORGANICO DEL SUELO (0-20 cm) CON DIFERENTES TIEMPOS DE DESCANSO EN LA EPOCA SECA Y HUMEDA. PROMEDIO \pm DESVIACION STANDARD
n= 3

ETAPA SUCESIONAL (años)	% CARBONO ORGANICO	
	EPOCA SECA	EPOCA HUMEDA
0	10,15 \pm 0,02	10,00 \pm 0,05
1	10,10 \pm 0,12	10,04 \pm 0,08
6	10,07 \pm 0,05	10,10 \pm 0,07
12	10,16 \pm 0,06	10,12 \pm 0,04

En la época seca, se obtuvieron valores entre 10,07 hasta 10,16 porciento. El máximo valor fue el de la parcela con doce años de descanso y el mínimo valor fue el de la de seis años. Estos resultados no muestran la tendencia esperada, es decir hacia un aumento en el contenido de carbono orgánico del suelo (tabla 1). Por el contrario parecen denotar que a lo largo de la sucesión el porcentaje de carbono permanece constante o con variación muy pequeña. En Septiembre, en la época de lluvias, se obtuvieron valores entre 10,00 hasta 10,12 % de carbono orgánico.

En la parcela con seis años de descanso por el contrario hubo un incremento estacional.

A través de un análisis de varianza de dos vías pudimos precisar si la variación sucesional o estacional es significativa. En la tabla 7 resumimos los resultados de esta prueba

estadística y a partir de ellos concluimos que la variación del contenido de carbono orgánico de los primeros veinte centímetros de suelo no es significativamente afectada ni por los años de descanso de los terrenos, ni por la estacionalidad, ni por la interacción entre ambos procesos.

TABLA # 7
ANOVA DE DOS VIAS PARA LOS RESULTADOS DE CARBONO
ORGANICO DEL SUELO.

FUENTE DE VARIACION	g.l.	SS	MS	F _s
Entre las etapas dif. de la sucesión	3	0,01	$3,3 \times 10^{-3}$	0,256 ns
Entre época seca-húmeda	1	0,02	0,02	1,538 ns
Interacción sucesión-estacionalidad	3	0,02	$6,7 \times 10^{-3}$	0,512 ns
Error	16	0,2139	0,013	
TOTAL	23			

$$F_{0.05}(3, 16) = 3,24 \quad F_{0.01}(1, 16) = 8,53$$

$$F_{0.001}(3, 16) = 9,00$$

ns= no significativo

Se puede llegar a esta misma conclusión, si procesamos los resultados sin tomar en cuenta los años de descanso y promediamos los doce análisis en la época seca y los comparamos con lo de la época de lluvias, la diferencia entre las estaciones es del orden de 0,06 unidades y la desviación se encuentra por encima de este valor.

Resumiendo, nuestros resultados vemos que no se observó un cambio significativo del contenido de carbono orgánico. Por lo que nuestra hipótesis inicial no pudo ser demostrada.

un cambio significativo del contenido de carbono orgánico. Por lo que nuestra hipótesis inicial no pudo ser demostrada al menos en el lapso de 12 años de descanso de un terreno. Queda abierta la posibilidad de realizar otro muestreo en una parcela con mas años de descanso para ver si en ella si se observa un incremento.

7.- CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE NITROGENO TOTAL DEL SUELO.

Nuestra hipótesis, es que al abandonar un terreno el contenido de nitrógeno total del suelo debe aumentar como resultado de varios procesos de entrada entre los cuales la fijación biológica (libre o simbiote) debe de ser la más importante además de otras entradas.

En la sucesión que estamos estudiando existen algunas leguminosas que forman nódulos activos de fijación como *Trifolium sp* (Trebol blanco), *Melilotus sp* (Arvejito), *Vicia sp*, y *Lupinus spp* (Chocho). Estas especies parecen concentrarse en las etapas iniciales disminuyendo su abundancia a medida que la sucesión transcurre. Sin embargo, aun no se ha estimado la magnitud de la entrada de nitrógeno que estas especies ocasionan. Por otra parte no se ha estimado la fijación libre que pueda existir al menos en una época del año en los páramos.

En la tabla 8 resumimos los resultados de nitrógeno total y la relación C/N de los primeros centímetros de suelo obtenidos la época seca.

TABLA 8

VARIACION DEL PORCENTAJE DE NITROGENO Y DE LA RELACION C/N DEL SUELO CON DIFERENTES TIEMPOS DE DESCANSO EN LA EPOCA SECA. PROMEDIO DESVIACION STANDARD

n=3 muestras compuestas

ETAPA SUCESIONAL años	PORCENTAJE NITROGENO TOTAL (0-20 cm)	C/N *
0	0,602±0,006	16,8
1	0,565±0,002	17,8
6	0,623±0,017	16,2
12	0,607±0,028	15,5

* Estimados utilizando los valores de carbono de la tabla

6

En estos resultados se puede observar que a excepción de la parcela recién abandonada (parcela 0) los contenidos de nitrógeno aumentan paulatinamente con los años de descanso. Este aumento está de acuerdo con nuestra hipótesis.

Entre las parcelas de 1 y 6 años de descanso los resultados indican que existe un enriquecimiento (9%) que podemos asociar con los seis años de descanso y a la existencia de un flujo de entrada al compartimiento nitrógeno del suelo. En la parcela de doce años también se observa un enriquecimiento cuando se compara con cualquiera de las otras dos parcelas.

La relación C/N (tabla 8) no se incrementa con la sucesión sino que parece tener otra dinámica independiente, lo que está de acuerdo con lo discutido en el apartado de

carbono orgánica.

Los resultados de la época de lluvias aparecen en la tabla 9, en ella podemos apreciar:

TABLA # 9

VARIACION DEL PORCENTAJE DE NITROGENO TOTAL DEL SUELO (0-20 cm) EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA SUCESION. EN LA EPOCA DE LLUVIAS. PROMEDIO DESVIACION STANDARD. n=3 muestras compuestas.

ETAPA SUCESIONAL (años de descanso)	% DE NITROGENO TOTAL	C/N*
0	0,635 ± 0,04	15,7
1	0,613 ± 0,09	16,4
6	0,601 ± 0,06	16,8
12	0,613 ± 0,06	16,5

* Estimado en base a los resultados de la tabla # 6

-Que a diferencia del muestreo de la época seca no existe un incremento paulatino en el porcentaje de nitrógeno,

-Se observa que la parcela recién abandonada mantiene un el "enriquecimiento artificial" como en la época seca.

-Las parcelas de un año y doce años mostraron valores casi iguales.

En este muestreo pareciese ser que las lluvias están enmascarando las diferencias observadas en Marzo (época de lluvias) o bien que algún otro proceso este actuando independientemente de la sucesión.

Podemos proponer que en futuros trabajos se tome mayor cantidad de muestras por época y si es posible varias veces al año durante varios años antes de concluir sobre este proceso.

Otro aspecto que llama fuertemente la atención en estos resultados y en los de carbono orgánico es la ausencia de variación estacional en el compartimiento de la materia orgánica y la variación en el de nitrógeno total del suelo.

7.3- EVOLUCION DEL CONTENIDO DE NITROGENO MINERAL DEL SUELO.

En la tabla 10 se resumen los rangos de concentración del amonio y del nitrato reportados por Allen (1974) y Stock y Lewis (1986) para los primeros 20 cm de suelo.

TABLA 10
CANTIDAD DE N-AMONIO Y NITRATO DE DIFERENTES SUELOS.

	mg/g suelo	fuentes
N - NH ₄	0,002 - 0,03	Allen, 1974 Promedio de
N - NO ₃	0,001 - 0,02	"
N-mineral	< 5% N _T	
N - NH ₄	0,05 - 0,35	Stock, W.D and Lewis O.A. (1986)
N - NO ₃	0,02 - 0,12	"

Como veremos más adelante nuestros resultados se encuentran dentro de estos rangos.

Las cuatro parcelas estudiadas fueron muestreadas el mismo día, durante las horas del mediodía, para así evitar las perturbaciones debidas a los ritmos de actividad microbiana (heterogeneidad diaria) que pudieran enmascarar las diferencias en el proceso sucesional. La heterogeneidad espacial se trató de eliminar con el uso de las muestras compuestas. Se muestreó dos veces: una en Mayo (época seca) y en Septiembre (época húmeda).

7.3.1 VARIACION EN EL CONTENIDO DE AMONIO Y NITRATO DEL SUELO EN LA ÉPOCA SECA .

De acuerdo a la discusión anterior sobre el aumento de la actividad amonificadora y nitrificadora a lo largo de la sucesión esperamos que el amonio y el nitrato aumenten a medida que el terreno tenga mas años de descanso.

Como vemos en la figura 14, en la época seca el contenido de Nitrogeno-amoniaco se encuentra entre 3,7-12 μ g/gr suelo seco, presentando el mayor valor la parcela recién abandonada. Le siguen la de 12 años, la de 6 y la de 1 año de descanso. El mayor contenido fue el de la parcela recién abandonada, que como ya dijimos tenía 5 meses de ser cosechada y abandonada en el momento de realizar el muestreo por esta razón podía ser rica en amonio como resultado de la fertilización.

Por otra parte al considerar las parcelas 1-6-12 notamos un aumento en los microgramos de amonio en cada gramo de suelo seco. De esta manera se cumple parcialmente nuestra hipótesis de un enriquecimiento en el compartimiento mineral del suelo.

En la figura 14 también se observa la variación del N-nitrato-nitrito a lo largo de la sucesión. El rango obtenido fue de 2,3-3,9 μ g/gr suelo seco. En este caso las variaciones entre las parcelas son menores que las obtenidas para el amonio. También se observa un enriquecimiento del compartimiento a medida que aumenta el tiempo de descanso de las labores agrícolas con lo que se mantiene la propuesta del

Concentración de nitrógeno
($\mu\text{g N-gr suelo}$)

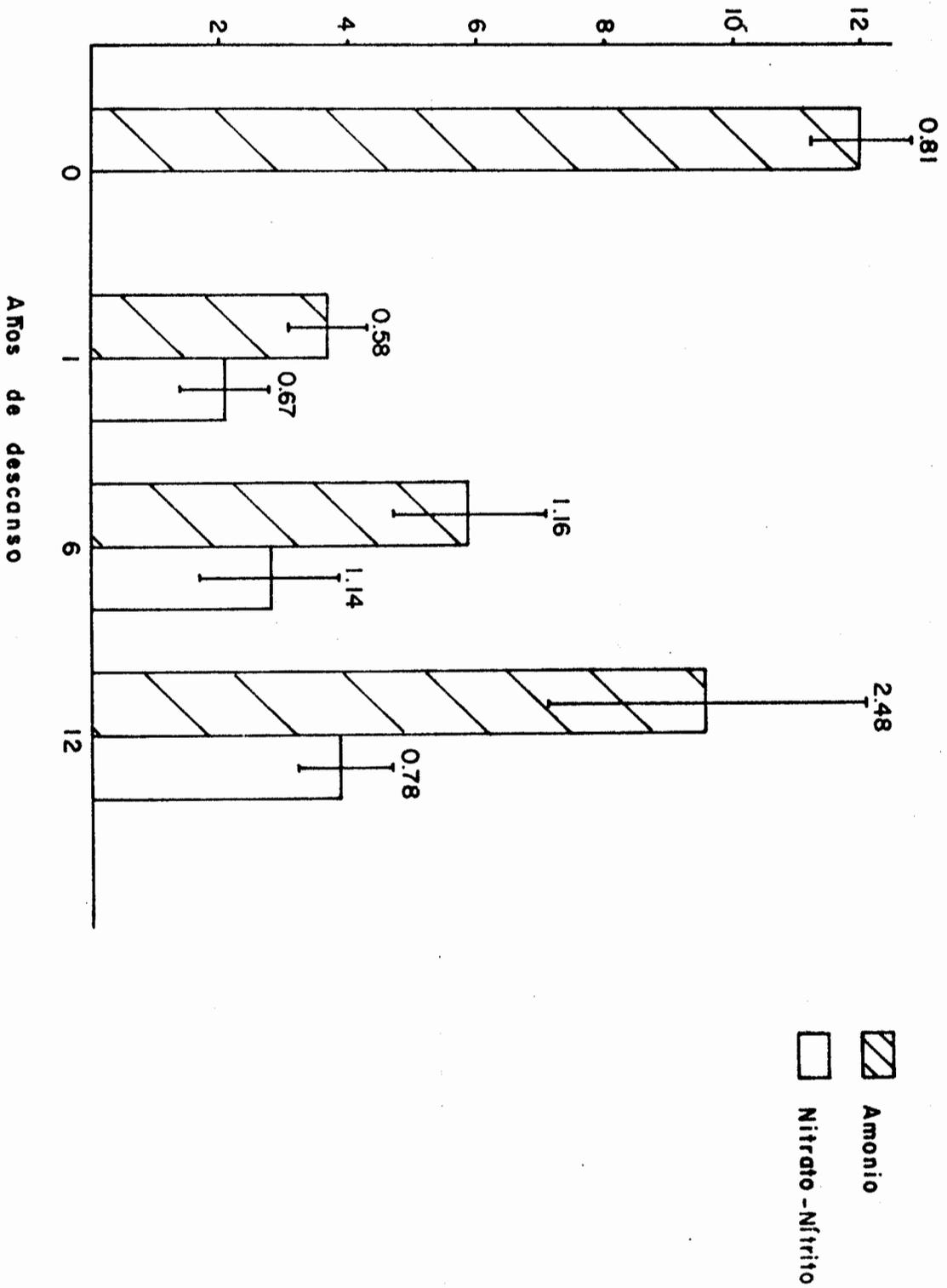


Figura 14

Variación del contenido de nitrógeno mineral del suelo con diferentes tiempos de descanso
Epoca seca. Promedio \pm Error standard $n=3$ muestras compuestas

aumento de la actividad microbiana y de la producción de amonio, nitrato y nítrito a medida que transcurre la sucesión. En la parcela recién abandonada por un error de manipulación no se pudo hacer ninguna estimación de N-nitrato-nítrito, resultado que falta para poder afirmar que realmente el alto contenido de N-amoniaco podría venir al mismo tiempo que el nitrato-nítrito de los residuos de la fertilización.

Por otra parte si comparamos los rangos de variación del amonio y los nitratos en las parcelas, vemos que la mayor cantidad de nitrógeno proviene del amonio mas que la de nitrato-nítrito. Estos resultados parecieran indicar que en el momento de muestreo predominaba el proceso de amonificación sobre el de nitrificación o formación de nítritos o bien que estos últimos eran mas activamente absorbidos por las raices de las plantas que el amonio. De todos estos procesos que podian estar ocurriendo en el suelo el resultado neto era que en el momento de muestrear había mas amonio que nitrato.

Finalmente, tanto en amonio como en nitrato, vemos una alta dispersión de los resultados, lo cuál se explica por la misma heterogeneidad de las parcelas y la manipulación analítica.

7.3.2- VARIACION EN EL CONTENIDO DE AMONIO Y NITRATO EN LA EPOCA DE LLUVIAS.

Antes de analizar los resultados, es necesario tener presente que al aumentar el contenido de humedad del suelo por efecto de las lluvias, luego de una estación de sequía hay un aumento de la actividad microbiana y por lo tanto los

contenidos de nitrógeno mineral del suelo tienden a aumentar, por otra parte el flujo de salida de estas formas minerales altamente solubles en agua también tiende a aumentar.

En la figura 15 vemos la variación del N-amonio y del N-nitrato-nitrito del suelo a medida que aumentan los tiempos de descanso del suelo.

Con relación al N-amoniaco, vemos en la figura 15 que a excepción de la parcela con 1 año de descanso hubo una pequeña disminución en el contenido de amonio cuando el tiempo de descanso se hacía mayor. Esta pequeña disminución de acuerdo con un test no paramétrico de Kruskal-Wallis no nos permite afirmar que los contenidos de amonio de las cuatro parcelas estudiadas sean significativamente diferentes. El inusualmente alto contenido de amonio de la parcela recién abandonada parece indicarnos una alta actividad amonificadora de las comunidades del suelo. Es de hacer notar la baja desviación standard obtenida en todas las parcelas.

El N-nitrato y nitrito en la época de lluvias no parece seguir una tendencia clara a medida que aumentan los años de descanso. Si los agrupamos en orden decreciente obtendremos la siguiente serie: parcelas con 1, 12, 6 y 0 año de descanso. La desviación de los resultados fué muy alta, incluso mayor que la media en la parcela de 1 año y mayor al 50% en las demás. De manera que en base a estos resultados podemos afirmar que había una alta dispersión en los contenidos de N-nitrato-nitrito dentro de las parcelas que

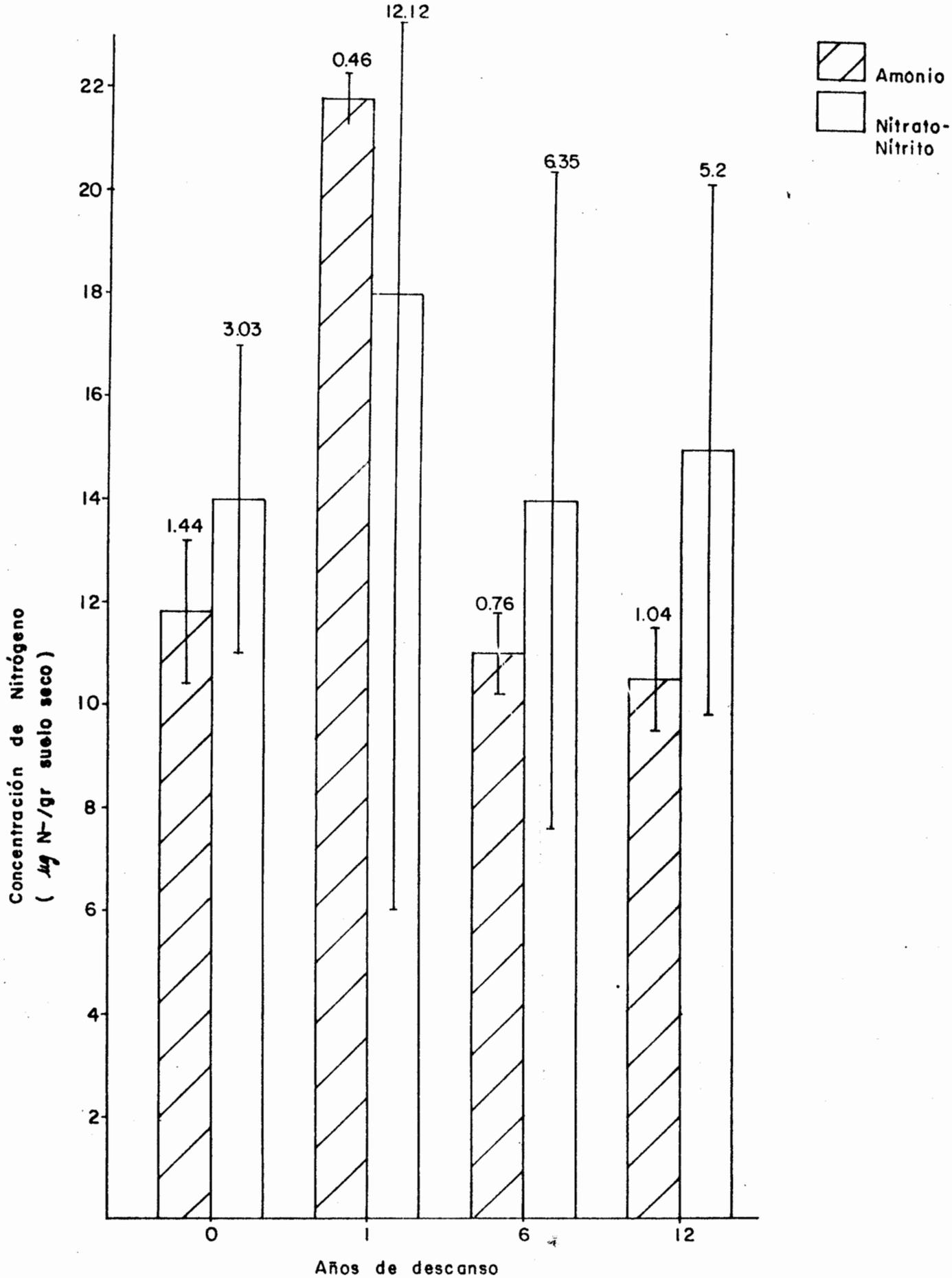


Figura 150

Variación del contenido de nitrógeno mineral del suelo con diferentes tiempos de descanso. Época húmeda. Promedio \pm Error standard $n=3$ muestras compuestas.

pudo enmascarar las diferencias en este compartimento a lo largo de la sucesión.

7.3.3- VARIACION DEL CONTENIDO DE AMONIO Y NITRATO DEL SUELO ENTRE LA EPOCA SECA Y DE LLUVIAS.

En la figura # 16, se encuentran representadas en forma de barra los contenidos de amonio de cada una de las parcelas en Mayo y Septiembre. A excepción de la parcela recién abandonada, la tendencia fue a un enriquecimiento del amonio en el suelo con la época de lluvias el cuál parece indicar que al aumentar la humedad del suelo por las lluvias se produce un incremento en la transformación del nitrógeno orgánico hacia N-amoniaco, que ahora queda disuelto en la solución del suelo. Esta afirmación parece estar truncada por el resultado de la parcela recién abandonada, la cuál no sufrió ni un aumento ni una disminución en su contenido de nitrógeno amoniaco.

En la figura 17 se encuentran resumidos los promedios por parcela de los contenidos de N-nitrato-nitrito en los dos muestreos. Podemos ver que todas las parcelas (con 1-6-12 años de descanso) presentaron un enriquecimiento en el contenido de nitrógeno nítrico con la época de lluvias. Este incremento se explica al igual que el enriquecimiento en amonio por una estimulación de la actividad de la microfauna y microflora del suelo que trae consigo la estación de lluvias.

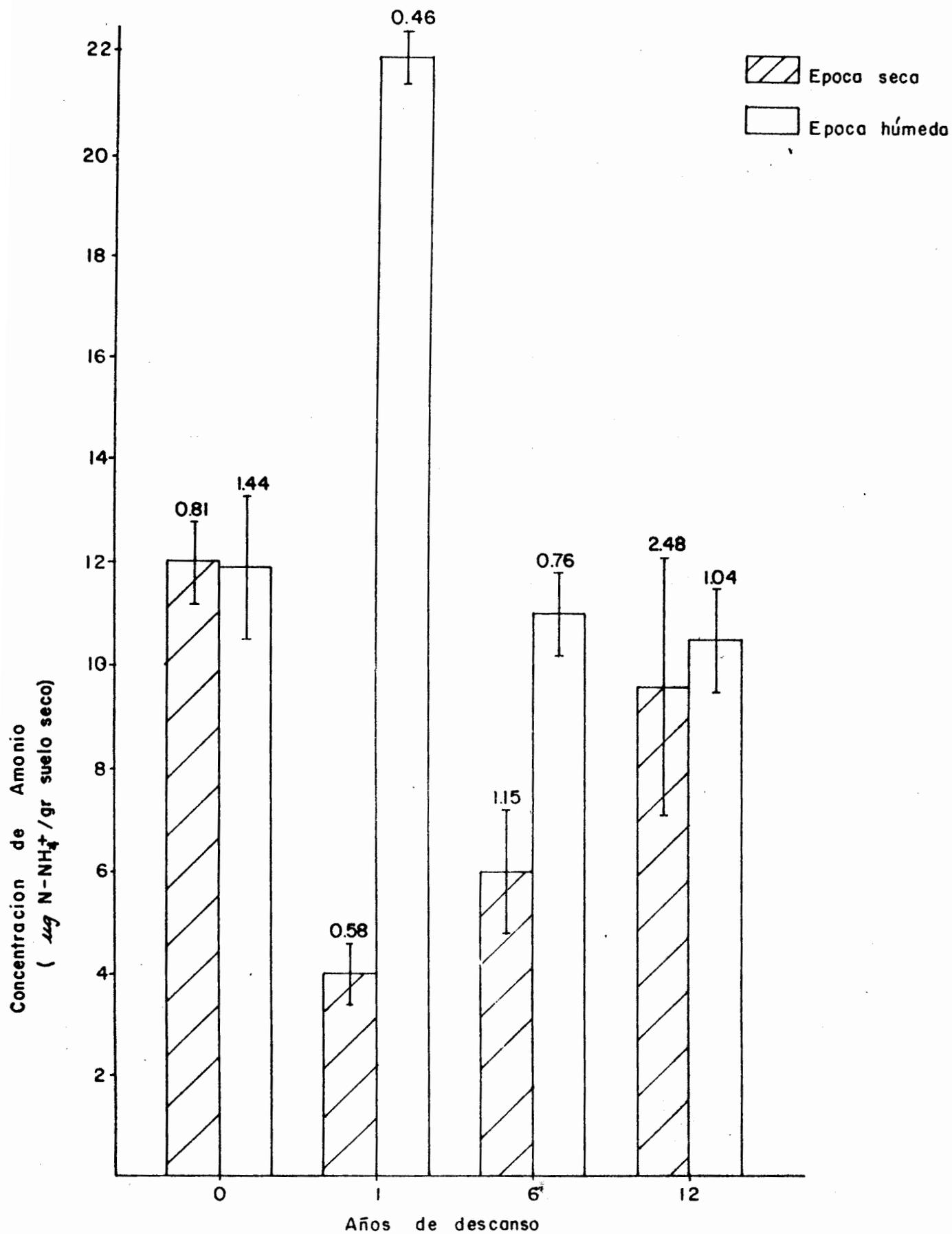


Figura. 16

Variación del contenido de amonio del suelo con diferentes tiempos de descanso en la época seca y húmeda. Promedio \pm Error standard

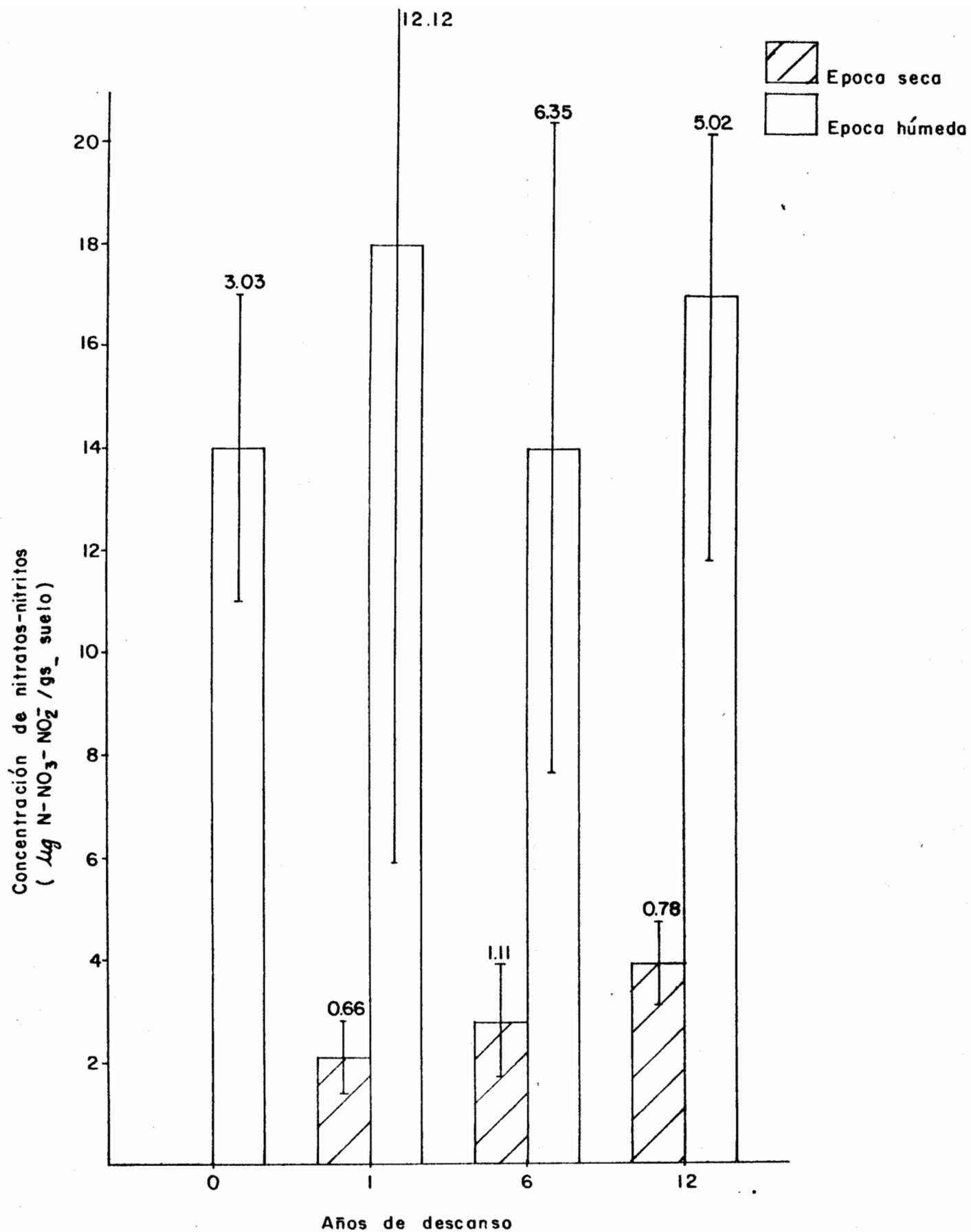


Figura. 17

Variación del contenido de N-nitrato-nitrito del suelo con diferentes tiempos de descanso entre las épocas seca y húmeda. Promedio \pm Error standard. n=3 muestras compuestas.

7.4- VARIACION EN EL CONTENIDO DE NITROGENO DE LA BIOMASA AEREA .

Para tener una visión mas amplia de la dinámica del nitrógeno, en las parcelas que fueron cultivadas y ahora estan dentro de la sucesión ecológica veamos algunos de los datos de Monasterio y Montilla (comunicación personal) que forman parte del proyecto "Sucesión-regeneración y estabilidad de ecosistemas y agrosistemas de páramo". Como ya dijimos anteriormente, una parte de este proyecto consistió en hacer censos de vegetación y estimación de las biomasa en diferentes etapas sucesionales.

Los resultados se resumen en las tablas 11, 12 y 13 en ellas aparecen los contenidos de nitrógeno de diferentes compartimientos de la biomasa aérea y de necromasa aérea de los especies dominantes de cada etapa sucesional.

TABLA No. 11

DISTRIBUCION DEL NITROGENO EN LOS COMPARTIMIENTOS AEREOS DE UNA PARCELA ANOS DE DESCANSO. EPOCA SECA. *

COMPARTIMIENTO	Kg N/ ha	%
B Tallos	1,6	
I		
O Hojas	1,1	34
M		
S		
A Reprod.	0,3	
Necromasa	5,8	66

* Datos de Monasterio y Montilla (sin publicar). Promedio de veinte muestras.

En esta vemos :

- El mayor porcentaje de nitrógeno proveniente del material vegetal que se encuentra en la parcela está en forma de necromasa (66%).

-En esta parcela hay pocos compartimientos de la biomasa aérea, y el nitrógeno se encuentra principalmente en los tallos de una de las especies pioneras de la sucesión (Monasterio y Montilla, 1987).

Estos resultados pueden ser explicados a partir de las técnicas agrícolas de la zona de Gavidia que explicamos anteriormente, en la que un terreno cultivado y cosechado y que se va a dejar en descanso se le dejan los residuos de las plantas cultivadas y de las plantas silvestres que fueron removidas por el arado, el deshierbe y la cosecha y que ahora se encuentran formando la necromasa. El compartimiento vivo (Biomasa) es de menor tamaño y son hojas y tallos de las plantas silvestres del páramo. De manera que en esta parcela la mayor proporción de nitrógeno se encuentra acumulada en la necromasa.

En la tabla 12 resumimos los resultados para la parcela de seis años de descanso (punto intermedio de la sucesión estudiada).

TABLA No. 12

DISTRIBUCION DEL NITROGENO EN COMPARTIMIENTOS EN LA PARCELA DE 6 ANOS DE DESCANSO.*

COMPARTIMIENTO	Kg N/ha	%
B Tallos	11,1	
I		
O Hojas	11,0	45
M		
A Reproductiva	0,5	
S		
A		
N		
E Tallos	3,6	
C		
R Hojas	4,9	55
O		
M Reproductiva	1,1	
A		
S Otros	17,7	
A		

* Datos sin publicar de Monasterio y Montilla. Promedio de veinte muestras.

En esta tabla vemos:

- Existe una mayor cantidad de nitrógeno en la necromasa. La biomasa aérea comienza a ser un compartimiento importante (45%).

- Dentro de la biomasa las hojas y los tallos son los que tienen el mayor porcentaje de nitrógeno.

- Dentro de la necromasa la mayor cantidad corresponde a otros, es decir material amorfo difícil de clasificar en hojas, tallos o estructura reproductiva.

-Comparando esta parcela con la de 1, vemos que ha habido

un aumento en el contenido de nitrógeno acumulado en la biomasa, y que se encuentra inmovilizado en la biota del sistema.

En la tabla # 13 resumimos parte de la información colectada por Monasterio y Montilla (sin publicar) de la biomasa aérea y la estimación de los kilos de nitrógeno por hectaria de terreno de una parcela con 12 años de descanso.

TABLA # 13

DISTRIBUCION DEL NITROGENO EN COMPARTIMIENTOS EN LA PARCELA DE 12 ANOS DE DESCANSO. *

COMPARTIMIENTO	Kg N/ ha	%
B Tallos	15.6	
I		
O Hojas	21.8	52
M		
A Reproductivos	3.5	
S		
A		
N		
E Espeletia	19.5	
C		
R		48
O		
M Otros	18.3	
A		
S		
A		

* Datos sin publicar de Monasterio y Montilla. Promedio de veinte muestras.

-El mayor porcentaje de nitrógeno se encuentra en la biomasa. Es decir hubo un cambio en la "estrategia" de distribución

del nitrógeno en comparación con la parcela de 1 año.

-La necromasa solo se puede clasificar en N-espeletia (que es una de las especies dominantes de acuerdo a los datos de Montilla) y en otros que contiene casi la misma proporción de nitrógeno que las espeletias.

En la tabla 14 aparecen algunos de los valores estimados por Monasterio y Montilla (aun sin publicar) de la biomasa subterránea de las parcelas del ciclo sucesional y si consideramos un contenido de nitrógeno de un 1% podemos estimar el tamaño del compartimiento subterráneo (columna 3).

TABLA 14

VARIACION DE LA BIOMASA SUBTERRANEA Y DEL NITROGENO ACUMULADO EN ELLA EN PARCELAS CON DIFERENTES TIEMPOS DE DESCANSO. Kg/ ha (tomado de Monasterio y Montilla, sin publicar)

ETAPA SUCCESIONAL (años)	BIOMASA Kg/ha	NITROGENO EN LA BIOMASA SUBTERRANEA (0-20 cm) Kg N/ha *
0	1051,5	15,8
1	1457,5	21,9
6	1039,3	15,6
12	1204,1	18,1

* Estimado en base de los datos sin publicar de Monasterio utilizando un 1% de nitrógeno

En estos resultados vemos que el porcentaje de nitrógeno retenido en forma de raíces leñosas, raicillas, tuberculos, materia amorfa menor de 2 mm., apenas aumenta con la sucesión

ecológica. En esta estimación solo se muestrearon los primeros 20 cm de suelo por lo que la proporción de raíces que llegan a una profundidad mayor (raíces de arbustos) no se está tomando en cuenta. Es probable que la proporción de raíces explore mayor profundidad con la sucesión.

Sin embargo, estos resultados nos pueden dar una pista de lo que pasa con la biomasa subterránea y el nitrógeno.

7.5 ESTIMACION DEL CONTENIDO DE NITROGENO TOTAL Y MINERAL DEL SUELO POR UNIDAD DE SUPERFICIE

Cuando observamos un terreno cultivado o en barbecho en Gavidia, especialmente si se encuentra en una ladera, vemos que en él, existe una alta proporción de piedras o derrubios rocosos tanto en superficie como en los primeros centímetros de suelo (Foto # 4). Esta apreciación visual nos obligó a determinar la proporción de piedras y suelo en cada una de las parcelas utilizadas, como paso previo a la extrapolación de nuestros resultados a hectáreas de terreno.

Hay que tener en cuenta, que la pedregosidad, es un indicador de la heterogeneidad del microrrelieve, el cual como sabemos puede causar dispersión en el momento del muestreo. Las piedras en superficie ayudan a formar micrositios en donde se producen cambios tanto en el status hídrico como térmico del suelo. En particular cuando un terreno es arado y sembrado como en el caso de Gavidia, sin sacar las piedras de este, quedan parches sin cultivar ya que el arado no puede pasar entre dos piedras grandes, como también quedan algunas plantas (arbustos o rosetas) sin ser removidos por esta misma razón.

En la tabla 15 se encuentran nuestros resultados al explorar 1 m² (0-20 cm. de profundidad) y la estimación porcentual en peso de las piedras y el suelo. Se realizó una medida por parcela por lo que no podemos tener una idea de la variabilidad de esta cuantificación.

TABLA 15

PROPORCION DE PIEDRAS/ SUELO EN LAS CUATRO PARCELAS ESTUDIADAS. EN 1 m² (20 cm de prof.)

Parcela (años de descanso)	Tierra seca (Kg)	Densidad tierra (Kg/lit)	Piedra (1) (Kg)	% piedra (2)	% suelo (3)
0	115,46	0,84	162,5	58,5	41,5
1	122,97	0,85	145,5	54,2	45,8
6	94,62	0,73	183,0	65,9	34,1
12	102,93	0,72	149,0	69,1	30,9

(1) Estimados usando la densidad del suelo de cada parcela y la densidad promedio de la piedras (2.6 Kg.lit).

(2) y (3) Porcentajes en peso

En base a estos resultados podemos afirmar:

-Las parcelas se ordenan en orden decreciente de pedregosidad :parcela con 12 años - parcela de 6 años- parcela recién abandonada - parcela de 1 año de descanso.

- Las parcelas recién abandonada y la parcela con 1 año de descanso y que se encuentran en ladera media y terminal (de acuerdo con los datos de la tabla # 3) tienen un porcentaje de piedra similar. Este resultado indica que dentro de la ladera existe una cierta continuidad, la cual creemos que esta relacionada con el proceso coluvial.

-Por otra parte las parcelas con seis años y doce años de descanso que se encuentran en otra ladera pero contiguas entre sí apoya esta conclusión .

-La alta pedregosidad, independiente del proceso sucesional, puede ser la responsable de la heterogeneidad de las parcelas 6 y 1 años para las cuales haría falta un muestreo mas exhaustivo.

La pedregosidad estimada fué siempre superior al 50% con lo que se afirma la necesidad de estimarla como paso previo a llevar los resultados de cualquier nutriente a unidades de superficie y naturalmente antes de extrapolar los resultados para una recomendación agrícola.

Utilizando los resultados de la tabla 16, es decir, los kilos de suelo que hay en una hectárea (sin piedra) y los porcentajes de nitrógeno total en la época seca y húmeda podemos extrapolar y conocer el tamaño de dichos compartimientos del suelo (tabla 17).

TABLA 16

**VALORES OBTENIDOS DE LAS TONELADAS DE SUELO POR HECTARIA
CALCULADOS A PARTIR DE LA ESTIMACION DE PIEDRA/ SUELO
CADA PARCELA ESTUDIADA.**

Edad de la parcela (años)	toneladas/ ha
Recien abandonada	1154,5
1	1229,7
6	946,2
12	1029,3

TABLA 17

ESTIMACION DEL CONTENIDO DE NITROGENO DE UNA HECTAREA, TOMANDO SOLO LOS PRIMEROS VEINTE CENTIMETROS DE SUELO EN LA EPOCA SECA Y HUMEDA (Kg / ha).

PARCELA	N-TOTAL EPOCA		INCREMENTO ESTACIONAL
	SECA	HUMEDA	
0	6956	7331	375
1	6959	7544	585
6	5899	5887	-
12	6752	6312	-

En esta tabla podemos observar que:

- Dentro de la sucesión no parece haber un aumento paulatino en el contenido de nitrógeno total por hectárea.

- La caída del contenido de nitrógeno total de la parcela de seis años, es ocasionada por la disminución de los kilos de suelo por hectárea. A excepción de este valor (2,2 ton/ha) los contenidos de las parcelas son bastante parecidos entre sí y las diferencias de los años de descanso no muestran importantes.

Esto no puede bastar como interesante, pero lo que sí puede explicar es la variación estacional de las parcelas recién abandonada y de 1 año. Es decir, los incrementos del orden de 375 - 585 Kg/ ha, los cuales fueron parcialmente explicados en el capítulo de nitrógeno total del suelo y los cuales abren una interrogante apasionante para futuros trabajos y la necesidad de afinar el muestreo y las

tecnicas empleadas.

En la tabla 17 resumimos nuestros resultados para nitrógeno mineral por hectarias para todas las parcelas, utilizando los kilos de tierra por hectaria y los porcentajes de nitrógeno mineral.

TABLA 17

CONTENIDO DE NITROGENO MINERAL POR HECTARIA.
(Kg/ ha)

EDAD DE LA PARCELA (años)	EPOCA SECA		NITROGENO MINERAL EPOCA HUMEDA			INC	
	N-NH	N-NO	N-NH	N-NO	NH	NO	
0	13,85	?	13,62	16,16	-0,023	-	
1	4,83	2,88	26,81	22,13	22,0	19,3	
6	5,61	2,72	10,41	13,25	4,8	10,5	
12	9,88	4,05	10,81	17,50	0,93	13,45	

* El amonio fue medido con el electrodo de amonio y el nitrato por el metodo de destilación-reduccion kjeldahl.

- En lo que se refiere a nitrógeno mineral (amonio y nitrato-nitrito) en la epoca seca parece haber un enriquecimiento relacionado con el tiempo de descanso del terreno. Esta afirmación es cierta si eliminamos el resultado de la parcela recién abandonada que ya se dijo podría estar enriquecida artificialmente por el fertilizante.

- En la epoca húmeda no se nota un enriquecimiento en el compartimiento mineral cuando comparamos los resultados de las parcelas entre si.

- En esta tabla tambien mostramos el incremento estacional en el tamaño del compartimiento mineral del suelo

Fig. No. 14 Distribución del nitrógeno en compartimientos a lo largo de la sucesión ecológica. Resultados en Kg/ha en la época seca. Los parentesis muestran la proporción del tamaño del compartimiento en relación a las otras parcelas.

PARCELA 0		PARCELA 1		PARCELA 6		PARCELA 12																									
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>		<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">BA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(7,3)</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5,8</td> <td style="text-align: center;">NA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(15)</td> <td></td> </tr> </table>		3	BA	(7,3)		5,8	NA	(15)		<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">22,6</td> <td style="text-align: center;">BA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(55)</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">27,3</td> <td style="text-align: center;">NA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(72)</td> <td></td> </tr> </table>		22,6	BA	(55)		27,3	NA	(72)		<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">40,9</td> <td style="text-align: center;">BA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(100)</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">37,8</td> <td style="text-align: center;">NA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(100)</td> <td></td> </tr> </table>		40,9	BA	(100)		37,8	NA	(100)	
3	BA																														
(7,3)																															
5,8	NA																														
(15)																															
22,6	BA																														
(55)																															
27,3	NA																														
(72)																															
40,9	BA																														
(100)																															
37,8	NA																														
(100)																															
C/N		C/N		C/N		C/N																									
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">r</td> <td style="text-align: center;">T</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">15,8</td> <td style="text-align: center;">6456</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(72)</td> <td style="text-align: center;">(99,9)</td> </tr> </table>	r	T	15,8	6456	(72)	(99,9)	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">r</td> <td style="text-align: center;">T</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">21,9</td> <td style="text-align: center;">6959</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(100)</td> <td style="text-align: center;">(100)</td> </tr> </table>	r	T	21,9	6959	(100)	(100)	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">r</td> <td style="text-align: center;">T</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">15,6</td> <td style="text-align: center;">5699</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(71)</td> <td style="text-align: center;">(85)</td> </tr> </table>	r	T	15,6	5699	(71)	(85)	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">r</td> <td style="text-align: center;">T</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">18,1</td> <td style="text-align: center;">6752</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(83)</td> <td style="text-align: center;">(97)</td> </tr> </table>	r	T	18,1	6752	(83)	(97)				
r	T																														
15,8	6456																														
(72)	(99,9)																														
r	T																														
21,9	6959																														
(100)	(100)																														
r	T																														
15,6	5699																														
(71)	(85)																														
r	T																														
18,1	6752																														
(83)	(97)																														
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">N</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">13,9</td> <td style="text-align: center;">(?)</td> </tr> </table>	A	N	13,9	(?)	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">N</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4,8</td> <td style="text-align: center;">2,9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(35)</td> <td style="text-align: center;">(90,3)</td> </tr> </table>	A	N	4,8	2,9	(35)	(90,3)	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">N</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5,6</td> <td style="text-align: center;">2,7</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(40)</td> <td style="text-align: center;">(66)</td> </tr> </table>	A	N	5,6	2,7	(40)	(66)	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">N</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9,9</td> <td style="text-align: center;">4,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(71)</td> <td style="text-align: center;">(100)</td> </tr> </table>	A	N	9,9	4,1	(71)	(100)						
A	N																														
13,9	(?)																														
A	N																														
4,8	2,9																														
(35)	(90,3)																														
A	N																														
5,6	2,7																														
(40)	(66)																														
A	N																														
9,9	4,1																														
(71)	(100)																														

BA : Biomasa aerea
 NA : Necromasa aerea
 r : Raices
 T : Nitrogeno total
 A : Amonio
 N : Nitrato

→ : Superficie del suelo.

a lo largo de los dos muestreos (época seca y húmeda). En la penúltima columna se muestra que el incremento del amonio es del orden de 0,93 - 21,9 kg /ha y de 10,5-19,3 kg/ ha para el nitrato. Este enriquecimiento puede ser explicado parcialmente por la actividad amonificadora y nitrificadora de la microfauna y microflora del suelo. Sin embargo, este trabajo es demasiado superficial para afirmar el orden de magnitud de dichos fenómenos, solo pretendemos dar una visión de lo que puede estar pasando en el suelo.

7.6- ESTIMACION DE ALGUNOS ASPECTOS DE LA DINAMICA DEL NITROGENO EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS TOMANDO EN CUENTA LOS COMPARTIEMENTOS SUELO- PLANTA.

Podemos resumir la información obtenida por nosotros y por Monasterio y Montilla para las parcelas estudiadas y elaborar un diagrama tentativo de compartimientos que nos permite visualizar la dinámica del nitrógeno en cada etapa sucesional.

Para ello tomamos los resultados de contenido de nitrógeno total y mineral del suelo por hectáreas de terreno (Tabla # 17 y 18) y de la biomasa tanto aérea (Tabla 11,12, 13) como subterráneas (Tabla # 14) de la época seca y construimos la figura 18.

Se puede resaltar lo siguiente:

-Al igual que en las sabanas tropicales (Sarmiento, 1986) el mayor reservorio de nitrógeno en cualquier etapa

sucesional es el suelo.

- A diferencia de las selvas tropicales en la biomasa aérea o subterránea no se acumula la mayor proporción del ecosistema. Sin embargo sí se observa que hay una paulatina acumulación de nitrógeno en estructuras vegetales vivas con la sucesión ecológica lo que está de acuerdo con la teoría sucesional.

-El tamaño de compartimiento carbono del suelo no parece ser afectado por la sucesión ecológica, sino que parece tener su dinámica propia, en donde las entradas (necromasa aérea y subterránea) son insignificantes a la escala de un año.

- Se evidencian cambios en el compartimiento nitrógeno total del suelo a escala mensual (entre los dos muestreos) que abren una interesante discusión y la necesidad de una apreciación cuidadosa de lo que ocurre en el suelo.

-El compartimiento C-orgánico y la relación C/N no cambia significativamente con la sucesión.

- La relación C/N si varía con la estación debido a los cambios aparentes en el nitrógeno total del suelo.

-En estos suelos tan orgánicos, el principal compartimiento es el nitrógeno orgánico asociado como el humus, o formas menos estable que no son afectadas en doce años de descanso y en donde por la dinámica propia de la descomposición en las zonas de baja temperatura el nitrógeno está relativamente no disponible para la nutrición vegetal.

Precisemos los detalles de las parcelas:

-En las parcelas 0, 1, y 6 y 12 los principales flujos

de entrada son:

- Residuo de fertilizante (parcelas 0 y 1)
- Fijación libre y simbiótica de nitrógeno molecular (0, 1, 6, 12).
- Aportes laterales, en particular la parcela recién abandonada la que tiene al lado un cultivo de trigo.
- Lluvias pueden enriquecer con amonio el sistema (0, 1, 6 y 12)

Dentro de las parcelas pueden ocurrir las siguientes transformaciones:

- Residuos de biomasa subterránea de los cultivos anteriores se descomponen (0, 1 principalmente).
- Como resultado de la activa colonización vegetal y crecimiento el compartimiento vegetal va a aumentar su tamaño (0, 1, 6 y 12).

V.I. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo han puesto en evidencia algunas conclusiones. A partir de este conjunto de ideas finalmente pudimos elaborar una lista de recomendaciones para ulteriores investigaciones.

El estudio de los cambios inducidos por una sucesión ecológica manejada o no por el hombre pueden ser enfocados en el suelo, la comunidad vegetal, la comunidad animal o la interacción entre estos componentes. En este trabajo le dimos prioridad al suelo (densidad aparente, contenido de humedad, contenido de carbono y nitrógeno total y mineral) aunque también se aprovechan los resultados de Monasterio y Montilla (sin publicar) para tratar de entender el proceso global. Nuestros resultados de suelo nos permiten acotar lo siguiente:

- En las parcelas estudiadas existe una alta pedregosidad lo que genera una alta heterogeneidad hidrica y mineral que no debe de ser despreciada cuando se hace una recomendación ecológica o agrícola.

- Los altos contenidos de carbono orgánico y los valores C/N indican que en los suelos de Gavidia al igual que en los de otros páramos la descomposición de la materia orgánica es lenta.

- El nitrógeno total de los suelos de Gavidia es del orden de 6 ton/ha. Este primer muestreo del suelo revela un indicio de cambios a escala sucesional y estacional que para ser estudiados deben hacerse un diseño experimental nuevo que

incluya la alta variabilidad intrínseca de los suelos de montaña.

- El nitrógeno mineral mostro un incremento sucesional solo en la época seca, lo que no nos permite afirmar que existe un enriquecimiento relacionado con el descanso del terreno.

- Otra conclusión que podemos obtener de nuestros resultados de suelo se refieren al muestreo, es decir a las muestras compuestas y al número de estas que son necesarias para obtener una evaluación de los cambios físicos y químicos que ocurren en el suelo al dejar en descanso un terreno luego de las prácticas agrícolas. Partiendo de la hipótesis implícita de que existen cambios y sabiendo de que los suelos de páramo son muy orgánicos el número de muestras compuestas empleadas debe de ser alta para evaluar el nitrógeno mineral (por la posible actividad biológica en este tipo de sustrato) y mayor de tres muestras compuestas para el carbono orgánico y el nitrógeno total.

En la bibliografía se han propuesto las siguientes razones y ventajas para el descanso de la tierra:

1.- Control de plagas y enfermedades : Línea de investigación abierta y particularmente interesante de estudiar en las condiciones agroecológicas del páramo donde existe un desconocimiento de los insectos naturales y las plagas y además la papa, el principal cultivo, es particularmente atacado por nematodos y larvas que le causan daño a las cosechas. En este caso el descanso serviría para controlar las plagas y enfermedades.

2.- Empobrecimiento nutritivo del suelo con la

agricultura y la implícita recuperación nutritiva anual de este luego de doce o más años de descanso. Este es nuestro principal foco de atención, en particular el enriquecimiento en nitrógeno. En nuestro caso particular vemos que las entradas como la fijación biológica y la amonificación aun no se han estudiado. Por nuestros resultados podemos sospechar de una variación estacional y de una variabilidad interna que no es despreciable cuantitativamente. Otra posible causa a la dificultad de obtener resultados en favor o en contra del enriquecimiento es el alto contenido de carbono orgánico del suelo y la dificultad de medir los cambios provocados por la descomposición. De manera que con nuestros resultados no podemos descartar esta segunda explicación, solo podemos concluir que las oscilaciones en el compartimiento nitrógeno del suelo son más evidentes entre los dos muestreos (Mayo - Septiembre) que a lo largo de la sucesión. Sin embargo, proponemos que si existe un enriquecimiento en nitrógeno, este debe resultar del acoplamiento de los ciclos mensuales y anuales (inducidos por los campesinos) y por los cambios en la composición florística (regeneración de la vegetación natural).

3.- Otra posible explicación estaría en el aprovechamiento de un factor climático como las lluvias y sus ritmos interanuales que los campesinos han evaluado a través de su contacto directo con el ecosistema. Esta otra razón no es tan plausible ya que no todas las parcelas se siembran en el mismo año, sino que siempre hay terrenos en diferentes

etapas de la sucesión. Es necesario instalar una estación meteorológica en el Área de estudio y intercambiar ideas con los campesinos antes de afirmar o negar esta explicación.

4.- Una razón netamente práctica que tiene que ver con el poder adquisitivo de los campesinos y la baja densidad de la población en este valle agrícola que hasta 1972 no tuvo carretera de tierra y que solo en 1986 tuvo carretera asfaltada que permitirá la introducción de fertilizante y de otras técnicas agrícolas. Por otra parte, aunque Gavidia se encuentra dentro del Parque Nacional Sierra Nevada la población crece y la presión demográfica sobre la tierra aumenta de manera que paulatinamente el descanso de 10 -12 años va a ser demasiado tiempo para suplir las necesidades económicas de un agricultor.

5.- Finalmente queda la idea de que el descanso podría ser una solución práctica a varios problemas (multivariante) cuando la densidad de la población era baja, la tecnología baja (no estaban a disposición de los campesinos los fertilizantes) y no había presión sobre la tierra.

IX. RECOMENDACIONES

A lo largo de este trabajo vemos que la línea de trabajo de Ecología Humana, en la que las interacciones de la comunidad campesina con el ecosistema páramo son evaluadas y caracterizadas, este aún sin desarrollarse y tiene un amplio rango de posibilidades de acción.

Para futuras investigaciones proponemos que se estudie en primer lugar el muestreo a emplear y las técnicas de medición que se puedan emplear en el campo. Como esta tesis representa un esfuerzo metodológico que aun no está concluido proponemos que se compare el método del electrodo selectivo de amonio con la destilación Kjeldah tradicional para evaluar no solo la rapidez del análisis sino también la reproductibilidad de los resultados. También proponemos realizar un estudio de otras variables del suelo como la capacidad de intercambio de cationes, el punto de marchitamiento permanente, la capacidad de campo, la saturación de bases y naturalmente estudiar otros nutrientes en la solución del suelo.

En lo que se refiere a la motivación ecológica de este trabajo proponemos continuar con esta línea de investigación ahora que el crecimiento demográfico impone una creciente presión sobre la tierra y promueve el acortamiento de los descansos. Además debido a las innovaciones agrícolas que suelen traer consigo la construcción de una carretera la agricultura tradicional que se practica en este valle va a cambiar y tal vez fusionarse positiva o negativamente con lo

que hemos llamado agricultura mercantil o de mercado.

Las recomendaciones a nivel biológico se refieren al estudio de las especies vegetales que en interacción simbiote fijan nitrógeno y a las de vida libre que existan en este agrosistema. Además de estudiar cualquier otro flujo de entrada y salida de nitrógeno de sistema empleando trazadores marcados como nitrógeno quince. Otros nutrientes claves también nos pueden dar la respuesta a este interesante problema.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Acevedo, D.; Aranguren, A.; Sarmiento-Monasterio, L. (1985). Caracterización ecológica preliminar del uso de la tierra y de la población en el páramo de Gavidia. Monografía. 35 pag. Facultad de Ciencias. Ula.
- Allen, S.; (1974). CHEMICAL ANALYSIS OF ECOLOGICAL MATERIAL. Allen (ed). Blackwell Scientific Publications. Oxford. 565 pag.
- Altieri, M.; Letourneau, D.K. y Davis, J.R. (1983). Developing sustainable agroecosystems. BioScience 33: 45-49.
- Andressen, A. (1989). Ecología agrícola del valle alto del Chama. ULA. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Geografía. Tesis de grado. Mérida-Venezuela.
- Andressen, R. y Ponte, R. (1973). Estudio integral de las cuencas de los ríos Chama-Capazon. Subproyecto No 2, Climatología e hidrología. ULA. Corpoandes.
- Aweto, A.D. (1981). Secondary succession and soil fertility restoration in South-western Nigeria. Journal of Ecology. 69,
I. Succession. Pag. 601- 607
II. Soil fertility restoration pag. 609-614
III. Soil and vegetation interrelationships. 957-963.
- Banwart, M.A. ; Tabatabai, M.A. y Bremner, J.M. (1972). Determination of ammonium in soil extracts and water samples by electrode. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 3: 449- 458
- Banuvart, M.A.; Tabatabai, M.A. y Bremner, J.M. (1972) Determination of ammonium in soil extracts and water samples by an ammonium electrode. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 3:449- 458.
- Bayliss-Smith, T.P. (1982) THE ECOLOGY OF AGRICULTURAL SYSTEMS. Cambridge University Press. 112 pag.
- Bradstreet, R.B. (1965). THE KJELDAHL METHOD FOR ORGANIC NITROGEN. Academic Press. New York. 239 pag.
- Bate, G.C. and Gunton, C. (1982). Nitrogen in the *Burkea*

Savannas . En H. Huntley y Walther (eds). ECOLOGY OF TROPICAL SAVANNAS. 499- 513

- Bremner, J.M.; Bundy, L.G. and Agarwal, A.S. (1968). Use of selective ion electrode for determination of nitrate in soils. Analytical Letters, 1(13), 837-844.
- y Tabatabai, M.A. (1972) Use of ammonia electrode for determination of ammonium in Kjeldahl analysis in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 3:1-165
- and Mulvaney C.S. (1982). Nitrogen total. In A.I. Page (ed): METHODS OF SOIL ANALYSIS. Part 2, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison WI, pp 595-624
- Bourliaud, J. ; Herve, D.; Morlon, P.; Reau, R. (1988). CHAKITAKLIA. ESTRATEGIA DE BARBECHO E INTENSIFICACION DE LA AGRICULTURA ANDINA. ORSTOM. PISA. 101 pag.
- Brush, S. (1980) Estrategia agricola tradicional en las zonas montañosas de America Latina. En AGRICULTURA EN LADERA EN AMERICA TROPICAL. A. Novoa y Posner J. (eds). Turrialba. pag 65-76.
- Castillo, J.B. (1965). Estudio de los suelos de las partes altas de las cuencas de los rios Chama y Sto Domingo. ULA. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Geografia.
- Clark, F.F. (1977). Internal cycling of Nitrogen in shortgrass prairie. ecology, 58: 1322-33.
- Contreras, N. y Teran, E. (1981). Clasificación de tierras con propositos multiples en el área de Gavidia. Parque Nacional Sierra Nevada. Estados Mérida y Barinas. ULA. Fac. de Ciencias Forestales. Escuela de Geografia.
- Chapman, H.D. (1966). DIAGNOSTIC CRITERIA FOR PLANT AND SOIL. Chapman. H.D. (ed). Div. Agricultural Science. California. 793 pag.
- y Pratt, P. (1976). METODOS DE ANALISIS DE SUELO, PLANTA Y AGUA. Editorial Trillas. Mexico. 145 pag.
- Dezseo C.V. y Garcia C. (1986). Estudio de las características estructurales, de la composición florística y fitomasa en rastrojos de diferentes edades en la Gran Sabana. Informe de Pasantias. ULA. Facultad de Ciencias Forestales.
- Dommergues, Y. y Mangenot, Y. (1970). ECOLOGIE MICROBIENNE DU SOL. Masson et Cie, Editeus. Paris. 796 pag.

- Eastin, E. F. (1976). Use of ammonia electrode for total nitrogen determination in plant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 3: 159- 164
- Ellemberg, H. (1971). Nitrogen conten, mineralization and cycling. In P. Duvigneaud (ed). *PRODUCTIVICITY OF FOREST ECOSYSTEMS*. Unesco, Paris.
- Epstein, E. (1972). *MINERAL NUTRITION OF PLANTS: Principles and perspectives*. Jhon Wiley and sons. New York. 412 pag.
- Ewel, J. (1986). Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Annual Reviews of Ecology and Sistematic* 17:245- 271.
- Fariffas, M. (1975). Análisis de la vegetación de páramo, ordenamiento y correlacion con factores edáfico-climáticos. Trabajo de ascenso ULA. Mérida.
- Farnworth, E. y Golley, (1974). *ECOSISTEMAS FRAGILES*. Farnworth y Golley (ed). Fondo de Cultura Economica. Mexico. 331 pags.
- Fernandez, D. y Ramirez, A. (1985). Sectorización de la vertiente norte del Parque Nacional Sierra Nevada y censos de los sectores de Gavidia (S.29SN) y San Rafael de Mucuchies (S.31SN). Tesis de grado. ULA. Inparque. Mérida. 135 pag, y anexos.
- Finck, A. (1982). *FERTILIZERS AND FERTILIZATION. And introduction and practical guide to crop fertilization*. Verlag. Chemie. 438 pag.
- Flores, J. (1981). Desarrollo de las culturas humanas en las altas montañas tropicales (Estrategias adaptativas). En M.L. Salgado-Laboriau. (Ed).: *EL MEDIO AMBIENTE PARAMO*. Actas del seminario de Mérida, Venezuela. Ediciones centro de estudios avanzados. 225 - 234 pag.
- Franco, A.A. y Munns, D.N. (1982). Plant assimilation and nitrogen cycling. En G.F. Robertson/ R. Herrera/T. Rosswall. (ed): *NITROGEN CYCLING IN ECOSYSTEM OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN*. Martinus Nighoft/ Dr. W. Junk Publishers. The Hague.
- Greenland, D. and P.H. Nye. (1959). Increase in the carbon and nitrogen contents of tropical soil under fallows. *Journal of Soil Science*. Vol. 10 No. 2 284- 299.
- Hart, R.D. (1979). *AGROSISTEMAS: CONCEPTOS BASICOS*. Centro agronomico tropical de investigacion y ensefianza.

Turrialba. Costa Rico. 211 pag.

- Hébert, J. (1979). L' azote. En P. Duchaufour y B. Souchier (eds). Pedologie. 2. Constituant et propietes du sol. Masson. Paris. 386- 394
- Jackson, M. (1964). ANALISIS QUIMICO DE SUELOS. Omega. 2da Edición. 300 pag.
- Janzen, D.H. (1973). Tropical agroecosystems. Science 182:1212-1219
- Jenny, H. (1948). Soil Groups in the Equatorial of regions of Colombia. In Soil Science. Vol 66. No 1. 5- 28
- Bingham F. and Padilla- Saravia. B.(1948). Nitrogen contents and organic matter contents of equatorial soil of Colombia, South America. In Soil Science. Vol 66. No 3 173-186.
- Jordan, C.; Caskey, W.; Escalante. G.; Herrera, R.; Montagnini, F.; Todd. R.; Uhl, C. (1983). Nitrogen dynamics during conversion of primary Amazonian rain forest to slash and burn agriculture.OIKOS 40:131-139.Copenhagen.
- Juo, A.S.F. and Lal, R. (1977). The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an alfisol in the tropics. Plant and Soil, 47. 567-584.
- Keeney, D.R. and Nelson, D.W. (1982). Nitrogen- Inorganic forms. En A.L. Page (ed). METHODS OF SOIL ANALYSIS. Part 2, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison WI, pp 643-697.
- Kolher, A. y Tillman H. (1985). Campesinos y medio ambiente (Peru). Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. Proyecto piloto integrado de manejo ambiental y proteccion de los ecosistemas andinos.
- Lauer, W. (1984). NATURAL ENVIRONMENT AND MAN IN TROPICAL MOUNTAIN ECOSYSTEMS. Franz Steiner Verlag. Stuttgart.
- Lavelle, P. (1983). The soil system in the humid tropics. Symposium Savanna and Woodland Ecosystems in the Tropical America and Africa: a comparison. Brasilia (ICSU/ UNDP).
- Lee, J.A.;Harmer, R. and Ignaciuk, R.(1981).Nitrogen as a limiting factor in plant communities.En J.A.Lee,Mc Neill,S. y Rorison,I.H.(Ed):NITROGEN AS ECOLOGICAL FACTOR.The 22nd Symposium the British ecological

- society. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- ; Mc Neill, S.; Rorison, I.H. (ed). NITROGEN AS ECOLOGICAL FACTOR. The 22nd Symposium the British ecological society. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Lepart, J. y Escarre, J. (1983). La succession végétale, mecanismes et modeles: analyses bibliographique. Bulletin D' Ecologie. Fascile 3., Tomo 14.
- Li, S. and Smith, K.A. (1984). The rapid determination of nitrate at low concentrations in soil extracts: Comparison of selective electrode with continuous-flow analysis. Commum. in Soil. Sci. Plant. Anal. 15 (12), 1437-1451.
- Luengo, G. (1985). La Arquitectura Altoandina. Trabajo de ascenso. ULA. Facultad de Arquitectura.
- MAC.DGRNR (1974). Oficina de planificacion y manejo hidrológico forestal de cuencas.
- Malagon, D. (1982). EVOLUCION DE LOS SUELOS EN EL PARAMO ANDINO (Ne. del edo Mérida-Venezuela). Serie Suelos y Clima. Sc-56. CIDIAT.
- Martin, A.E. and Skyring, G.W. (1962). Losses of nitrogen from the soil/plant system. En A REVIEW OF NITROGEN IN THE TROPICS WITH PARTICULAR REFERENCE TO PASTURES. Bulletin 46. Comm. agricultural bureaux. Hurley.
- Marrs, R. H.; Roberts, R. D. ; Skeffington, R. A. and Bradshaw, A.D. (1981) :Nitrogen and the development of ecosystem.En J.A. Lee;Mc Neill,S. y Rorison,I.H.(Ed):NITROGEN AS ECOLOGICAL FACTOR.The 22nd Symposium of the british ecological society. Blackwell Scientific publication.Oxford.
- Messerli, M. (1978). Cartography and its aplication for geographical and ecological problem. En Messerli and Aerni. K. (eds). GEOGRAPHICAL BERNENSIA. 68, 102
- Mitteholzer, A.S. y Toro, a. (1964). Una descripción de la variedad "Merideña" (*Solanum sp*). En Agronomia Tropical, Abril- Junio, Vol. XIX, No 1, pag 47 - 51
- Monasterio, M. (1980a). Poblamiento humano y uso de la tierra en los altos andes de Venezuela.En M.Monasterio.(Ed):ESTUDIOS ECOLOGICOS EN LOS PARAMOS ANDINOS.Ediciones de la Universidad de los andes.Mérida,Venezuela.

-(1980b). Las formaciones vegetales de los páramos de Venezuela. En M. Monasterio. (Ed): ESTUDIOS ECOLOGICOS EN LOS PARAMOS ANDINOS. Ediciones de la Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

-y Reyes, S. (1980c). Diversidad climática y variación de la vegetación en los páramos de los andes venezolanos. En M. Monasterio. (Ed): ESTUDIOS ECOLOGICOS EN LOS PARAMOS ANDINOS. Ediciones de la Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

- Sarmiento G. y Soltrig (ed) (1985). Comparative studies on tropical mountain ecosystem. Planning for research. IUBS. UNESCO. MAB. Biology International. 12

- y Garay, I. (1986) Proyecto "Sucesión-Regeneración y estabilidad de ecosistemas y agrosistemas de páramo." C.D.C.H. - ULA

- y Montilla, M. (1987). Analisis estructural de la vegetación en la sucesion y regeneracion de ecosistemas y agrosistemas de páramo. Resumen de la 37 a. Convencion Anual de Asovac. Maracaibo.

- Moreno B. y Hernandez R. (1988). Sucesion Regeneración y Estabilidad de ecosistemas y agroecosistemas de Páramo: La estrategia campesina del descanso barbecho en el caserío Gavidia. Ponencia del taller Regional sobre Enfoques de Ecología Humana aplicados a los sistema tradicionales del tropico americano. 3- 8 Oct 1988.

Montalbo, A. (1977), Cultivo de raices y tuberculos tropicales. Inst. Interamericano de Ciencias Agricolas. DEA. San José, Costa Rica. 284 pag.

Murra, J. (1979). Algunos contrastes entre los páramos como zonas de establecimiento humanos. En M. Salgado-Labouriau (ed): EL MEDIO AMBIENTE PARAMO. Actas del seminario de Mérida, Venezuela. Ediciones Centro de estudios Avanzados.

Odum, E.P. (1969). The strategy of ecosystem development. Science 164, 262-270.

Orion Research Incorporated, (19810. Instrution manual,
- nitrate ion electrode model 93-07
- amonio ion electrode model 9512-04

Padoch, C. and Vayda, A. (1983). Patterns of resource use and human settlement in tropical forests. In Golley (ed). ECOSYSTEMS OF THE WORLD. Amsterdam . 301-

- Power, J.F. (1981) Nitrogen in the cultivated ecosystem. En Clark, F.E. y Rosswall T. (eds). TERRESTRIAL NITROGEN CYCLES. Ecol. Bull (Stockholm) 33: 529-546
- Rappaport, R. (1971). El flujo de energía en una sociedad agrícola. BIOLOGIA Y CULTURA. Scientific American. Freeman (ed).
- Robertson, G.P.; Herrera, R.; Rosswall, T. (Editors). (1982). NITROGEN CYCLING IN ECOSYSTEMS OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. The Hague. 430 pag.
- Robinson, W.D. (1967). LOS SUELOS. Omega. Barcelona. 515 pag.
- Russel, E. W. (ed). (1973). SOIL CONDITIONS AND PLANT GROWTH. Longman. London. 849 pag.
- Sanchez, P.A. (1982). Nitrogen in shifting cultivation systems of latin America. In NITROGEN CYCLING IN ECOSYSTEMS OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. Robertson/ Herrera/ Rosswall (eds). Vol 6. 91-103.
- Sarmiento, G. Monasterio, M. ; Azocar, A.; Castellanos, E. y Silva, J. (1979). Vegetación natural de las cuencas de los rios Chama y Capazon. Inst. de Geog. y Conserv. Recursos Naturales. ULA. Mérida. Venezuela.
- (1984a). LOS ECOSISTEMAS Y LA ECOSFERA. Blume ecología. Barcelona. 268 pag.
- (1984b). THE ECOLOGY OF NEOTROPICAL SAVANNAS. Harvard University Press. 135 pag.
- Saxena, K.G. y Ramakrishan, (1986). Nitrification during slash and burn agriculture (Jhum) in North-eastern India. Oecologia Plant. Vol 7 (21) No 3. 307- 319.
- Steward, G.R. and Drebamjo, I.D. (1981). Studies of nitrate utilization by the dominant species of regrowth vegetation of tropical West Africa: a Nigerian example. En J.A. Lee; MC Neill, S. y Rorison, I.H. (Ed): NITROGEN AS ECOLOGICAL FACTOR. The 22nd Symposium of the british ecological society. Blackwell scientific publication. Oxford.
- Stock, W.D. and Lewis A.M. (1986). Soil nitrogen and the fire as a mineralizing agent in a south African coastal fynbos ecosystem. En Journal of Ecology. 74. 317-328.
- Toledo, V.; Caballero, J.; Mapes, C.; Barrera, N.; Argueta, A.; Nuñez, M. A. (1980). Los purepechas de Patzcuaro. Una aproximación ecológica. America Indígena. Vol XL, No 1. Enero- Marzo.

- T.O.A. ~~Manifiesto~~ Papa. (1982). Temas de Orientación
Especuaria. No.130. 2da edición.
- UNESCO, (1979) Un enfoque ecologico integral para el estudio
de los asentamientos humanos. Notas Tecnicas.
Mab,12
- Vargas, O.; Rivera, D. y M. Mendoza. (1986) Sistema de
producción campesino y manejo de ecosistemas en las
riberas del rio Guojar, Reserva Natural Macarena.
Inedito.
- Vitousek, P. and Reiners, W. (1975). Ecosystem succession and
nutrient retention: A hypothesis. BioScience. Vol.
25. No 6. 376- 381.
- Young, G. (19). HUMAN ECOLOGY AS AND INTERDICPLINARY
CONCEPTS. A CRITICAL INQUIRY. 195 PAG.
- Watters, R.F. (1971). LA AGRICULTURA MIGRATORIA EN AMERICA
LATINA. FAO. Cuaderno de Fomento Forestal. Roma.342
pag.
- Winiger, M. (1983). Stability and Instability of mountain
ecosystem. Definitions for evaluation of human
system. En Mountain Research and development. Vol
3, N. 2. 103-111
- Woodwell, G.M. (1974). Success, succession and Adam Smith.
BioScience. 24: 81-87