

para reducir los procesos erosivos. En el presente trabajo se aplicó la metodología de Delgado (2.003), que consiste en cuantificar las dos cualidades de la tierra sobre las cuales se sustenta la clasificación: la productividad del suelo y el riesgo de erosión, este método evalúa las potencialidades y limitaciones físicas más determinantes para la producción agropecuaria en tierras montañosas, con el fin de clasificar y priorizar el uso agrícola y la selección de las prácticas alternativas más apropiada para la conservación de los suelos en Los Andes Venezolanos.

El área de estudio comprende la microcuenca La Coneja, perteneciente a la parroquia General Rivas, municipio Boconó, estado Trujillo, por su ubicación, es un área estratégica desde el punto de vista ambiental como reservorio de agua y de una importante biodiversidad de especies vegetales y animales, además de su belleza escénica y de un sin número de bienes y servicios ambientales; siendo aprovechada en su mayoría por las poblaciones asentadas aguas abajo y de la población en general.

A los efectos de esta investigación, el trabajo está estructurado de la siguiente manera: Capítulo I, hace referencia al planteamiento del problema, justificación y objetivos de la investigación. Capítulo II, se presentan los antecedentes de estudio y las bases teóricas que sustentan la investigación. Capítulo III donde se expone la metodología y procedimiento metodológico, y finalmente el Capítulo IV, trata sobre el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, así como las conclusiones y recomendaciones del proyecto de investigación. Finalmente se describen las referencias y los anexos del estudio.

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del objeto de estudio

El suelo es un recurso natural esencial para el desarrollo de todas las actividades de la humanidad, sustenta todos los organismos vivientes y el recurso agua; constituye un medio fundamental en la adaptación y mitigación del cambio climático y en los servicios ambientales necesarios para el desarrollo sustentable, por lo que se convierte en uno de los recursos más valiosos del planeta; sin embargo, el uso inadecuado de este recurso se ha convertido en un problema a medida que se ha incrementado exponencialmente la población humana, convirtiendo el suelo en el recurso natural más vulnerable de degradación.

Dentro de este marco, Benítez (2.004) expresa: “Las tierras de América Latina se están muriendo. Actualmente más de 306 millones de hectáreas están afectadas por una degradación del suelo de origen humano”. Ciertamente, la capa de suelo rico y fértil se está lavando rápidamente debido a los efectos de la erosión hídrica y como consecuencias posteriores se están sedimentando los cauces de los ríos y colmatando las represas. Igualmente Benítez sostiene que el recurso suelo es limitado; sólo 4 % de las tierras tienen clima favorable, son fértiles y de alta productividad; 96 % restante tiene limitaciones diversas.

De hecho, las causas principales de la degradación de los suelos en América Latina son, sin duda, la deforestación, la aplicación de técnicas de labranzas inadecuadas y la erosión hídrica, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, producción de altos volúmenes de

sedimentos, la disminución de los rendimientos agrícolas y, más importante aún, el deterioro del medio ambiente.

Por supuesto que el país no escapa a esta realidad, Venezuela presenta una de las tasas más altas de deforestación de América Latina. La mayor proporción de la deforestación (60%) se debe a la conversión de bosques a tierras de cultivo y potreros. En efecto, ya lo decía el ecólogo estadounidense William Vogt (citado en Rodríguez 2.012):

“Durante casi 20 años que llevo estudiando el aprovechamiento y conservación de los suelos, en viajes por 14 naciones americanas desde el norte de Canadá hasta el Estrecho de Magallanes, jamás se me ha presentado un caso más complicado de desajuste nacional de la tierra ni un caso patológico más difícil de curar como el que he encontrado en Venezuela [....] Hay pocos países en el mundo, probablemente ninguno en este hemisferio, que presenten manifestaciones de erosión más exagerada y concentrada. Aquí sobre vastas porciones todo el suelo ha sido arrasado, quedando expuesta la roca viva”.

En efecto, Venezuela es uno de los ocho países del mundo más ricos en biodiversidad y con la desaparición de los bosques se pierde uno de los principales sustentos de modelos de desarrollo efectivamente sostenibles en el tiempo. La destrucción de bosques en Venezuela continúa en forma alarmante; según la Organización de las Naciones Unidas, Venezuela ha venido registrando durante los últimos quince años una de las tasas de deforestación más altas de América Latina.

Durante la década de los 70, los bosques de Venezuela fueron talados a razón de 245.000 hectáreas por año. En la década de los 80 la destrucción aumentó en forma dramática, para alcanzar un promedio de 600.000 hectáreas por año (FAO 1994). Así, en esos diez años se destruyeron en el país 6 millones de hectáreas de bosques, una superficie equivalente a la de toda Costa Rica. En su última

evaluación de la situación de los bosques en el ámbito mundial (FAO *op cit*), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación ratifica que la destrucción de bosques en Venezuela continúa en forma alarmante. Durante el período 1990-1995, los bosques venezolanos continuaron cayendo a una tasa de 500.000 hectáreas por año, una hectárea cada minuto.

En Venezuela al igual que en la mayoría de los países tropicales con importantes zonas montañosas, las cuencas hidrográficas altas, además de cumplir un rol fundamental en la generación de recursos hídricos, representan áreas donde se desarrolla una intensa actividad agrícola, basada en cultivos específicos adaptados a estas particulares condiciones agroclimáticas, que deben ser orientadas y ordenadas en función de garantizar una productividad sostenida. Al respecto, Méndez (1.999) establece lo siguiente:

“El proceso de ordenación del territorio está regulado en Venezuela por un conjunto de leyes de carácter orgánico que, incluso, representan una limitación legal de las actuaciones sobre la propiedad privada, al libre juego de las fuerzas del mercado y a la afectación de recursos naturales, aspectos que no entran en consideración en la planificación regional de desarrollo”.

Si bien es cierto que el proceso de ordenación del territorio ha estado articulado a una serie de instrumentos y mecanismos para controlar la ocupación y uso del territorio, no ha sido eficiente en la evaluación de los impactos que causan las actividades económicas sobre el ambiente, ni en la eliminación de problemas sustantivos que afectan la sociedad, a la configuración territorial y al ambiente en general. Este ordenamiento agrícola conservacionista necesita sustentarse en la capacidad de uso de los suelos, definida como el conjunto de características intrínsecas del recurso que determinan su productividad, sus limitaciones naturales y los riesgos de deterioro bajo un uso específico.

En relación a la microcuenca La Coneja, los principales problemas vinculados al aprovechamiento y manejo del recurso suelo tienen relación con las características particulares de los factores biofísicos y socioeconómicos; es decir: el relieve abrupto, suelos frágiles y fácilmente erosionables, estacionalidad marcada de la precipitación, avance de la frontera agrícola en áreas no aptas, mal manejo del bosque y vegetación protectora, mal uso del agua de riego, ausencia de políticas y estrategias que privilegien el manejo de las cuencas altas abastecedoras de agua; son algunos de los factores que han limitado la recuperación del suelo de forma natural. Cabe considerar por otra parte, que la situación planteada se agrava aún más, tomando en cuenta que dentro de la microcuenca se encuentran los monumentos naturales Teta de Niquitao y Guirigay en las vertientes norte y sur respectivamente; que según estudio del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARNR 1992), es zona protegida según Decreto de Creación N° 1.473 y aparece en Gaceta Oficial N° 36063. En esta perspectiva, López (2.000) sostiene:

“En los Andes de Venezuela, importantes superficies de tierras marginales se encuentran actualmente bajo presiones de uso que sobrepasan sus capacidades de aprovechamiento, debido principalmente a prácticas inadecuadas de manejo. Ello debe ser motivo de preocupación, si se consideran los efectos y consecuencias no solo *in situ* sino también aguas abajo de las tierras afectadas”.

Así pues, la priorización para el tratamiento de tierras, según estas pérdidas de suelo y su productividad, es de gran importancia en la gestión de cuencas, pues la falta de armonía entre el aprovechamiento, capacidad productiva y riesgos de degradación ocasiona que los sistemas de producción agrícola; así como otros bienes y servicios ambientales, no sean sostenibles en el tiempo. En ese sentido, la Productividad y el Riesgo de Erosión de los suelos constituyen cualidades fundamentales en cuencas montañosas tropicales que permiten estructurar un sistema racional de clasificación de la capacidad de uso de tierras

para tales condiciones, en el marco de la agricultura sostenible (Delgado y López 1.995).

En esta investigación se aplica una metodología dirigida a evaluar la capacidad de uso agrícola de tierras montañosas tropicales, que permita orientar el proceso de ordenamiento y ocupación racional del espacio agrícola en la microcuenca La Coneja, así como establecer las prioridades y requerimientos en cuanto al tratamiento conservacionista, basado fundamentalmente en estas dos importantes cualidades de la tierra. Ambas se cuantifican a través de las características que las determinan, se aplican métodos multifactoriales y se obtienen de esta manera dos índices, cada uno de los cuales evalúa la calidad de la tierra respectiva. En ese sentido, la determinación de variables como el índice de productividad IP y de riesgo de erosión IRE, representan herramientas importantes para el conocimiento preciso, lote por lote, con fines de planificación de la tierra, ordenamiento territorial, fines impositivos, entre otros.

Frente a esta situación el investigador se plantea las siguientes interrogantes:

¿Cómo la erosión, afecta la productividad de los suelos en la microcuenca La Coneja, parroquia General Rivas, municipio Boconó, estado Trujillo?

¿Cuáles serán las distintas categorías de clases de tierra, en función de la productividad y el riesgo de erosión presentes en la cuenca de estudio?

¿Qué prioridades de conservación y usos más adecuados de las tierras serán los más pertinentes en la gestión para la conservación de la cuenca?

En atención a la problemática detectada, los objetivos del presente estudio pretenden dar respuesta a las interrogantes planteadas.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de la erosión de los suelos en su productividad, bajo un enfoque de planificación conservacionista como elemento coadyuvante en la gestión de la microcuenca La Coneja, parroquia General Rivas, municipio Boconó, estado Trujillo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los valores de índice de riesgo de erosión IRE y el índice de productividad IP, en el cultivo indicador papa, para las áreas seleccionadas de la microcuenca.

- Definir las distintas categorías de clases de tierra, en función de la productividad y el riesgo de erosión presentes en la microcuenca.

- Establecer las prioridades, requisitos de conservación y usos más adecuados de cada una de las clases de tierra; que propicien una gestión conservacionista de las mismas.

1.3. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia y justificación de esta investigación, se fundamenta en la necesidad de generar una herramienta de carácter técnico, soportada en el marco legal ambiental vigente. Esto permite operativizar un conjunto de acciones tendentes a mejorar la situación ambiental presente en el área de estudio, es

conveniente precisar que, dentro de la microcuenca se encuentra parte del Monumento Natural Teta de Niquitao-Guirigay (1.918,74 ha.), zona protegida según Decreto de Creación N° 1.473. Así mismo, se encuentran la Zona Protectora de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Guanare, Boconó, Tucupido, La Yuca y Masparro, contenidas en el Plan de Ordenamiento y Reglamento de uso, por medio del Decreto 2.326 (MARNR 1.992); en vista de que las cuencas de estos ríos constituyen fuente importante de abastecimiento de agua. Se subraya la importancia que representa el ordenamiento y la planificación del uso de la tierra como una acción previa fundamental para garantizar el éxito de los planes y programas de conservación de suelos en regiones montañosas tropicales.

En ese sentido, la determinación de variables como el índice de productividad IP y de riesgo de erosión IRE, representan herramientas importantes para el conocimiento preciso, lote por lote, con fines de planificación de la tierra, ordenamiento territorial, fines impositivos, entre otros.

Por lo que, los resultados finales de esta investigación permitirán identificar las áreas susceptibles a riesgo de erosión, para en lo posterior poder desarrollar planes de ordenamiento territorial y actividades que contribuyan en la conservación del recurso suelo y agua mediante un adecuado manejo y uso sustentable de los mismos. Así mismo, es necesario conocer que áreas serían prioritarias para conservarse por medio de estudios dentro de las cuencas hidrográficas y la detección de su vulnerabilidad, con la finalidad de proceder a gestionar y realizar actividades que vayan en bien de la protección y conservación de estos recursos naturales.

CAPITULO II

2.1. BASES CONCEPTUALES

2.1.1. El suelo como recurso

El suelo es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, de ahí la necesidad de mantener su productividad, para que a través de él y las prácticas agrícolas adecuadas se establezca un equilibrio entre la producción de alimentos y el acelerado incremento del índice demográfico (Casanova 2.008). En otras palabras es un recurso natural esencial, tanto para la sobrevivencia y la prosperidad de la humanidad como para el mantenimiento de todo el ecosistema terrestre.

El espesor de esta capa fértil puede variar desde pocos centímetros hasta varios metros, su formación es un proceso muy lento que, sin embargo, varía de ecosistema en ecosistema y de región en región, dependiendo de los tipos de suelos, las condiciones de clima, topografía, temperatura, humedad, entre otras. En praderas naturales con pluviometría relativamente abundante y un suministro regular de materiales orgánicos, la formación de unos pocos centímetros puede tomar hasta 50 años, un periodo de tiempo, sin embargo, muy breve, si se le compara con el necesario para que se formen los mismos centímetros de tierra fértil en una zona montañosa, en este caso el tiempo requerido se puede medir en miles de años. En cambio, el deterioro de los suelos y la pérdida de capa fértil de humus, debido a mala gestión, compactación, erosión u otro fenómeno, es a menudo muy rápido.

El suelo es esencial para la vida, como lo es el aire y el agua, y cuando es utilizado de manera prudente puede ser considerado como un recurso renovable. Es un elemento de enlace entre los factores bióticos y abióticos y se le considera un hábitat para el desarrollo de las plantas. El suelo como el principal medio de cultivo para las plantas, muestra rasgos tanto de un recurso (más o menos) renovable y de un recurso agotable. Sus nutrientes disponibles y su material orgánico pueden ser renovados, pero cuando el suelo superficial es reducido por erosión, se perderá irreversiblemente. Una situación similar emerge cuando el suelo es utilizado sin restituir los elementos extraídos desde él. Esto último puede conducir a procesos de desertificación en zonas áridas o semiáridas (Eurosur s/f).

En síntesis, aunque el suelo es renovable en una escala de tiempo geológica, para los propósitos de la conservación, la degradación acelerada destruye el suelo y por tanto se le considera definitivamente como un recurso natural no renovable.

2.1.2. Productividad del suelo

Se define como la capacidad que tiene el recurso, en su ambiente normal, para producir un cultivo determinado o secuencia de cultivos, bajo un sistema específico de manejo, y expresado generalmente en términos de rendimiento SCSA (citado en Delgado y López 1.995). En otras palabras, un índice de productividad, representa la capacidad de producir cierta cantidad de biomasa por hectárea y por año. Así mismo, Villatoro y Sancho (1.999) definen la productividad como la capacidad de éste para producir un cultivo, la cual depende de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, así como también del manejo del cultivo y de los factores climáticos.

Los índices de productividad pueden ser inductivos, cuando están basados únicamente en efectos inferidos de propiedades del suelo que se asume impactan el rendimiento de un cultivo, o deductivos, cuando están basados en métodos empíricos validados directamente con datos de rendimiento (Díaz *et al* 2.009).

Se han desarrollado diversos modelos mediante los cuales es posible estimar la productividad de un suelo. Existen desde muy sencillos hasta muy complejos, dependiendo de la cantidad de datos que necesitan y de los cálculos que llevan a cabo. Algunos son el producto de regresiones sencillas, mientras que otros son la combinación de teorías físicas y químicas aplicadas. Una de las principales desventajas de algunos modelos es que requieren una gran cantidad de datos agroecológicos, que en la mayoría de los casos son muy difíciles de obtener. Otra limitante es que son aplicables a áreas y condiciones limitadas, sin embargo actualmente se perfilan como una promisoría herramienta para predecir con algún grado de certeza el comportamiento en producción de un suelo si se alteran algunos de sus factores, o para estimar la producción de un área dada.

Por otro lado, la mayoría de las validaciones se han llevado a cabo en zonas templadas, por lo que el uso de estos en el trópico aún requiere más dedicación, (Villatoro y Sancho 1.999). La evaluación de la productividad del suelo se realiza, entre otras metodologías como se ha mencionado, mediante el modelo del Índice de Productividad (IP), el cual consiste fundamentalmente en una modificación del Índice de Productividad desarrollado inicialmente por Kiniry y colaboradores, con variaciones posteriores efectuadas por Pierce y colaboradores y adaptaciones hechas por Delgado (citado en Valero 2.004) para tierras de montañas andinas venezolanas.

Para estimar la productividad del suelo, el modelo evalúa las condiciones edáficas que favorecen el crecimiento de las raíces de distintos cultivos, cada uno de los cuales será considerado, en el momento de realizar la evaluación del índice de productividad, como el cultivo indicador.

El modelo asume que, bajo determinadas condiciones de clima y manejo, el rendimiento de un determinado cultivo indicador depende de las condiciones del suelo que propician un ambiente edáfico adecuado para el buen desarrollo radical del cultivo respectivo tal como se indica en la Figura 1, (Delgado *op cit*).

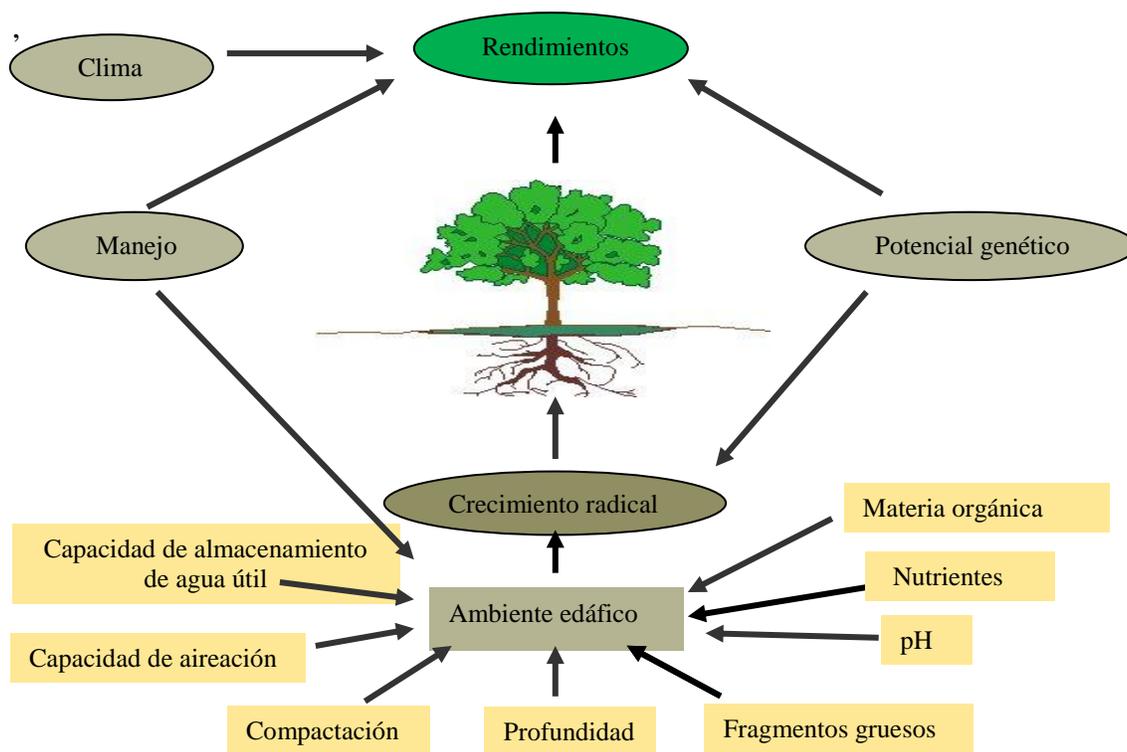


Figura 1. Esquema conceptual del Índice de Productividad del Suelo.

2.1.3. Degradación del suelo

Los términos degradación del suelo y degradación de la tierra han sido y siguen siendo utilizados de manera intercambiable, así como también la erosión del suelo es con frecuencia considerada como sinónimo de los mismos. El término tierra no solo abarca el ambiente natural incluyendo factores como el clima, topografía, suelo hidrografía y vegetación, los cuales son determinantes del potencial biofísico de la capacidad de uso de la tierra, sino también consideraciones socioeconómicas. Sobre esa base, tierra es definida por la FAO (1.994) como:

“Porción limitada de la superficie terrestre, que incluye todos los atributos de la biósfera inmediatamente por encima y por debajo de la superficie, y abarca el clima, el suelo y las formas de terreno, la hidrología superficial- pequeños lagos de poca profundidad, ríos pantanos y ciénagas-, las capas sedimentarias cercanas a la superficie, las reservas de agua subterráneas asociadas, las poblaciones de animales y plantas, el patrón de asentamientos humanos y los cambios físicos resultantes de las actividades humanas pasadas y presentes(terrazas, estructuras de almacenamiento y drenaje de aguas, carreteras edificaciones, entre otros).”

Por otra parte, los suelos definen la conjunción sinérgica de los factores físico-bióticos, razón por la cual es un aspecto síntesis clave para definir las restricciones y potencialidades que ofrece el medio natural a la ocupación de la tierra y el desarrollo de actividades productivas. Es por lo tanto, un factor en estrecha vinculación con problemas ambientales asociados a la degradación del recurso (Méndez 1.999).

Blaskie y Brookfield (citados en López 2.003) definen degradación de la tierra como “la reducción de la capacidad de ésta para producir beneficios, considerando un uso particular y bajo una específica forma de manejo”.

Como se puede entender, el suelo debe ser considerado un componente crítico de la biosfera, ya que una serie de reacciones y relaciones ocurren a través de su sistema poroso. La degradación de este recurso no se asume, en general, como un problema muy extendido o de gran impacto en la sociedad, no obstante, sus efectos inadvertidos son la principal causa de baja productividad y por tanto, de sustentabilidad, en virtud de que la primera es condicionante de la segunda cualidad. En la zona de los Andes de Venezuela, la sobre explotación es la causa general más importante de la degradación de las tierras, y comúnmente se asocia a la aplicación de prácticas abusivas e inadecuadas, tales como: Agricultura más intensiva que la que pueda soportar la clase de tierra bajo explotación; utilización de técnicas de laboreo inadecuadas, intensidad de laboreo y condiciones del suelo al momento de ser trabajado; el monocultivo y la carencia de protección al suelo ante los agentes que causan degradación y la ausencia de prácticas de conservación, particularmente en las clases de tierra con menores grados de aptitud; la sobrecarga de ganado con el consiguiente sobrepastoreo y pisoteo excesivo lo cual provoca la degradación del suelo y la vegetación, entre otras.

Por otra parte, los principales problemas físicos que afectan a los suelos son la erosión y la compactación, procesos asociados íntimamente y que no solo generan efectos negativos en el mismo lugar donde se producen, si no que provocan contaminación de otros ecosistemas (Cuevas *et al* 2.004). Debe señalarse, que los procesos de degradación de tierras afectan a la conservación del suelo y de los recursos hídricos, y están vinculados a cambios desfavorables en el comportamiento hidrológico del suelo que son determinantes en la suplencia de humedad al cultivo. Estos procesos están relacionados con las características del suelo y del clima, pero el uso de las

tierras y las prácticas de manejo inapropiadas son también determinantes en la dinámica de estos procesos.

En correspondencia con lo anterior, FUCEMA (2.009) señala, la erosión del suelo se está acelerando en todos los continentes y está degradando unos 2.000 millones de hectáreas de tierra de cultivo y de pastoreo, lo que representa una seria amenaza para el abastecimiento global de víveres. Cada año la erosión de los suelos y otras formas de degradación de las tierras provocan una pérdida de entre 5 y 7 millones de hectáreas de tierras cultivables.

Evidentemente, en los países subdesarrollados, la creciente necesidad de alimentos y leña han tenido como resultado la deforestación de laderas con mucha pendiente, lo que ha producido una severa erosión de las mismas. La erosión del suelo y la pérdida de las tierras de cultivo y los bosques, reducen además la capacidad de conservación de la humedad de los suelos y añade sedimentos a las corrientes de agua, los lagos y los embalses. La tierra es un recurso limitado y no renovable y el crecimiento de la población humana determina la existencia de conflictos en torno a su aprovechamiento. En ese sentido, es urgente armonizar los diversos tipos de tierras con el aprovechamiento más racional posible, a fin de optimizar la producción sostenible y satisfacer diversas necesidades de la sociedad, conservando al mismo tiempo, los ecosistemas frágiles y la herencia genética.

En consecuencia, la degradación del suelo reviste gran importancia, porque su regeneración es en extremo lenta. En zonas agrícolas tropicales y templadas, se requiere de un promedio de 500 años para la renovación de 2,5 centímetros de suelo, (FUCEMA *op cit*).

2.1.4. Riesgo de erosión

La erosión en términos geológicos se refiere a los procesos que generan los cambios de forma que sufre la superficie terrestre, es decir, el modelado de los paisajes por los agentes erosivos, principalmente agua y viento, pero en él intervienen también la gravedad, los cambios de temperatura y de contenido de humedad y los factores bióticos. Este tipo de erosión ocurre de forma independiente a la intervención antrópica y ocurre a tasa muy bajas, manteniéndose el equilibrio con las tasas de formación del suelo por meteorización y alteración del material parental. La erosión acelerada, en cambio, es producto de la intervención del hombre en los procesos de erosión, generalmente asociados a cambios de intensidad de uso de la tierra. En relación a esto, Paéz (1.994) plantea:

“Cuando se elimina la cobertura natural se expone la superficie del suelo a los agentes erosivos-el agua en el caso de la erosión hídrica y el viento en el caso de la erosión eólica, lo que aumenta dramáticamente las tasas de erosión y las consecuencias asociadas a esta como pérdida de la capacidad productiva de los suelos en el sitio, además, se incrementan los volúmenes de escorrentía y se generan inundaciones aguas abajo, la contaminación de las aguas y la colmatación de los cuerpos de agua“.

Dado que, las cuencas altas de montaña tropicales presentan una serie de condiciones (altas pendientes, agresividad climática y suelos jóvenes) que le confieren una alta fragilidad ambiental, ello condiciona, de hecho, la ocurrencia de diversos procesos de degradación ambiental, siendo la erosión uno de los más comunes, con las altas tasas de producción de sedimentos. Para Páez (citado en Valero *et al* 2.010), estos se originan principalmente por la erosión hídrica, la cual es favorecida por las altas intensidades de las lluvias tropicales, presencia de suelos muy susceptibles a la erosión y

sistemas de producción basados en el uso intensivo de monocultivos de ciclo corto y excesiva mecanización de la tierra.

En el mismo orden de ideas, Mejía *et al* (2.010) sostienen:

“El impacto de la erosión se refleja en la baja productividad de los suelos, en la concentración de elementos químicos en el agua como: fungicidas, insecticidas y herbicidas derivados de la actividad agrícola y, por último, deviene en una disminución de la calidad paisajística, por lo que contribuye con el deterioro de las economías campesinas, disminuyendo así la calidad de vida de los pobladores del medio rural”

Habida cuenta que, dentro del área de estudio está la presencia de la falla de Boconó, supone una mayor inestabilidad de sus vertientes, generando la existencia de un material altamente susceptible a ser diaclasado, removido y transportado, por la acción de los agentes externos, Montilla y Torres (citados en Mejía *et al*, 2.010).

Dentro de este marco, se entiende por riesgo de erosión, o erosión potencial, la máxima pérdida de suelo posible en ausencia de cobertura vegetal y prácticas conservacionistas, es decir, considerando solamente la interacción de los factores físicos de la tierra: suelo, clima y topografía (Páez *ob cit*). En la planificación conservacionista del uso de la tierra en áreas montañosas es fundamental evaluar el riesgo de erosión para, en primer término, establecer si existe conformidad entre este valor y el uso actual de la tierra, o en caso contrario, proponer los usos, coberturas y/o prácticas conservacionistas que correspondan en cada caso. Las tierras con un riesgo de erosión alto requerirán coberturas más densas y/o prácticas conservacionistas más intensivas que aquellas tierras con riesgos de erosión más bajos.

El modelo propuesto para cuantificar esta cualidad de la tierra se basa en el trabajo de Delgado (*op cit*) que toma en consideración tres factores fundamentales para estimar la susceptibilidad de un suelo a la erosión hídrica: las características hidrológicas del suelo que favorecen su capacidad de esorrentía, la agresividad de las lluvias y la pendiente del terreno. En esta metodología el riesgo de erosión se estima a partir del Índice de Riesgo de Erosión (IRE).

2.1.5. Manejo y conservación de los suelos

La conservación de suelos y aguas debe partir de una acepción amplia del concepto conservacionista, es decir, bajo la concepción de integralidad en el análisis de los recursos naturales renovables y los recursos humanos, ya que son éstos quienes los explotan y determinan la eficiencia en el uso de los mismos. Para Rodríguez (2.010), la conservación de los suelos debe ser una premisa para el desarrollo sustentable, de este modo, es imperativa la necesidad de un uso ordenado y eficaz de los recursos, la eliminación del despilfarro económico y social y la elevación al máximo de las ganancias sociales netas a lo largo del tiempo.

En relación a las tecnologías más apropiadas para la conservación de suelos en áreas montañosas tropicales, conviene subrayar que diversos autores han señalado no solamente las bondades técnicas de los métodos de manejo de suelos y coberturas vegetales sobre las obras de control de escurrimientos en laderas, sino que, además, han resaltado la manera en que aquellos métodos son más fácilmente adoptados por los agricultores, bajos esquemas de agricultura conservacionista de laderas tratados por Hudson, Shaxson, Sanders, Benites, Latham, Sharma, Künzel y Agus (citados en FAO 1.999).

En la actualidad existe una tendencia creciente hacia la adopción de estrategias orientadas a lograr una mayor incorporación de los agricultores en las actividades de conservación de suelos, a través de programas integrados a planes de producción agrícola, pecuaria o forestal. En este sentido, los programas modernos y generalmente más exitosos de conservación de suelos en laderas apuntan a lo que ha dado en llamarse Agricultura Conservacionista concepto que pretende puntualizar que el énfasis debe colocarse por igual tanto en lo agrícola (o lo productivo), como en lo estrictamente conservacionista, como una estrategia para garantizar una mayor participación de los usuarios y alcanzar resultados exitosos en programas de esta naturaleza.

2.1.6. Agricultura conservacionista

Los principios de la agricultura conservacionista son: mantener el suelo con cobertura vegetal, lograr mayor infiltración de agua de lluvia en él, disminuir la escorrentía del agua, eliminar o reducir la contaminación ambiental, mantener la fertilidad del suelo y aumentar la materia orgánica y, con ello la productividad de la finca (MAG 2.008). La Agricultura Conservacionista se inclina entonces, por el uso de tecnologías que buscan mejorar sostenidamente la productividad, conservando al mismo tiempo la base de recursos naturales.

En este orden de ideas, se inscriben otras aproximaciones que conciernen por igual a esta estrategia y tienen absoluta vigencia en la agricultura sostenible de laderas tropicales, como por ejemplo la Agricultura Alternativa, el enfoque de Land Husbandry, la Agroforestería,

la Labranza Conservacionista, el Manejo Integrado de Nutrientes, el Manejo de Suelos, Agua y Nutrientes, el movimiento Landcare o el Manejo Sostenible de Suelos tratados por NRC, Shaxson, Young, Lal *et al*, Swift *et al*, Greenlad *et al* y Campbell, respectivamente (citados en MAG 2.008).

En la actualidad, existen muy variados métodos, técnicas y prácticas de manejo y conservación de suelos de ladera que han sido comprobados en diversas condiciones ambientales del trópico. Sin embargo, generalmente en las tierras altas de la América Tropical, se ha hecho énfasis en obras físicas o estructuras de conservación de suelos dirigidas al control de escurrimientos concentrados, es decir, fundamentalmente diques para el control de cárcavas y torrentes, así como también en tratamientos de tierras para controlar escurrimientos en laderas, tales como los muros de piedra, terrazas de banco, acequias de ladera o zanjas de absorción (Delgado 2.003).

Relativamente menos se ha hecho en relación con la difusión y aplicación de prácticas de mejoramiento de suelos, manejo de coberturas o estructuras vegetales en terrenos inclinados, las cuales, por lo general, son adoptadas con relativa facilidad por los agricultores debido a que son generalmente menos costosas, se integran e incorporan fácilmente a las prácticas cotidianas de manejo agronómico de los cultivos y se orientan a controlar las causas originarias de la erosión del suelo, es decir, a reducir el desprendimiento y arrastre de suelo. En Venezuela se han realizado diversas experiencias de campo con sistemas de labranza conservacionista, demostrándose sus efectos positivos en los rendimientos, sin embargo, estos sistemas pueden ser la mejor opción en determinadas circunstancias de suelo y clima, pero no en cualquier caso (Rodríguez 2.010).

2.1.7. Sistemas de clasificación de tierras

El régimen de evaluación del uso de la tierra y de adjudicación de las mismas constituye el núcleo del nuevo régimen agrario venezolano. El valor fundamental viene a ser la productividad de las tierras con vocación agraria. El reglamento parcial del decreto con fuerza de Ley de Tierra y Desarrollo Agrario, para la determinación de la vocación de uso de la tierra rural (RPLTDA 2005) establece normas para la clasificación de la tierra rural en clases y subclases para su uso, según su mayor vocación agrícola, pecuaria o forestal (Peña, N., Pacheco, L. Romero, V. y Rodríguez, H. 1.994).

Existen diferentes pautas y metodologías para la clasificación de las tierras, una de ellas, considera los índices de productividad y el riesgo de erosión del suelo, que se integran en una matriz en la cual se clasifican las tierras, se indican las prioridades de tratamiento, se señalan los requerimientos de prácticas de conservación de suelos y los usos generales más adecuados para cada tipo de tierra. En ese sentido, la productividad y el riesgo de erosión de los suelos constituyen cualidades fundamentales de las tierras de las cuencas montañosas tropicales, que permiten estructurar un sistema racional de clasificación de tierras para tales condiciones, en el marco de la agricultura sostenible.

2.1.8. Ordenamiento de tierras

La planificación conservacionista del uso de la tierra incluye en forma particular los objetivos de la conservación, además de los objetivos económicos y sociales, como son el mantenimiento de la capacidad productiva del recurso suelo y de sus otras funciones, en especial sus diferentes roles en el ecosistema, de la calidad de las aguas y demás recursos

asociados, de manera de conducir al máximo bienestar social y de una mejor calidad de vida para los usuarios, siendo éste el fin último de la planificación del uso de la tierra, la cual debe considerarse un instrumento y no un fin en sí misma. En este orden de ideas, la ordenación del territorio, como proceso planificado y política del estado venezolano, es consustancial con el proceso de planificación del desarrollo económico y social que parte de la noción de comprometer a la sociedad con la comprensión de que sus posibilidades de trascender exigen tener como centro la armonía con el patrimonio natural y el respeto al entorno vital, por cuanto se encuentra indisolublemente articulada a las condiciones y cualidades del medio geobiofísico y a las estructuras ecológicas existentes, máxime cuando la base de sustentación ecológica y los recursos naturales configuran parte sustantiva de la oferta territorial donde se sustentan todas las sociedades humanas.

Al respecto, Méndez (1.999) sostiene: Las políticas ambientales deben comprender objetivos y lineamientos intransables en la conservación, defensa, aprovechamiento y mejoramiento del medio ambiente, en función de responder a las necesidades actuales de la sociedad y crear las bases de satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones. Significa el manejo adecuado de los recursos naturales, la preservación de la base de sustentación ecológica, un crecimiento económico sostenido, mejorar la calidad de vida de la población y un compromiso social con los más débiles, como propósitos esenciales de un proceso de planificación del desarrollo responsable.

Sobre la base de las generalizaciones anteriores, se puede entender por ordenación territorial-ambiental, como una política del Estado para regular, promover, administrar y gestionar los procesos y efectos de la ocupación y uso del territorio, la localización de actividades económicas y el desarrollo físico espacial en unidades ambientales georeferenciadas, en un todo

armónico con las condiciones y cualidades del medio físico-natural, a fin de lograr objetivos de mejorar la calidad de vida de la población, potenciar un crecimiento económico sostenible, manejar de manera adecuada los recursos naturales y mejorar la calidad ambiental.

Visto de esta forma la ordenación territorial-ambiental amerita el análisis y consideración de aquellas actividades productivas que configuran la base del desarrollo de la producción de bienes y servicios, las cuales pueden afectar la capacidad del patrimonio natural como fuente de recursos. En este sentido, la agricultura en razón de sus exigencias territoriales y ambientales, de su significación como uso de la tierra, de sus requerimientos y afectación de recursos naturales, es de elevado interés a los efectos del proceso de ordenación territorial (Méndez *ob cit*) De allí pues, que el inventario y análisis interpretativo debe considerar las condiciones agroecológicas y el uso actual de la tierra como soporte y utilización efectiva a que han sido sometidos los recursos naturales para la agricultura. Para ello, el análisis interpretativo se puede facilitar, entre otros indicadores, con los índices de productividad.

2.1.9. Cuenca hidrográfica

Una cuenca es toda área drenada por una corriente o sistema de corrientes, cuya agua confluye a un punto de salida, delimitada por una línea divisoria conocida como “parteaguas” (Mozo 1999).

Según Campo (2006) las cuencas hidrográficas tienen gran importancia, ya que son el espacio geográfico donde interacciona el hombre con el medio ambiente. Todo lo que sucede dentro de los límites de una cuenca es

relevante, ya que la disponibilidad, calidad y permanencia de sus recursos naturales dependen del uso y manejo que se les brinde dentro de ella; el agua, suelo, bosques y demás recursos bióticos son insumos esenciales para la vida de numerosas comunidades rurales que obtienen alimentos, bienes y servicios a partir de ellos.

La cuenca hidrológica consta de tres partes representadas en la Figura 2, (Cuenca de recepción, garganta y cono de deyección); las cuales, forman un sistema integrado e interconectado y que no pueden existir ni funcionar independientemente “desde el aspecto biofísico”, ya que el enfoque sistémico de cuenca implica ver la diversidad y la unidad de estas tres partes (Muñoz 2007).

Cuenca de recepción: Es la zona conocida comúnmente como cuenca, es la parte alta ubicada hacia arriba de la garganta, formada de las vertientes, en la cuales se precipita y almacena el agua de lluvia, en estas partes altas y montañosas el valor de evapotranspiración potencial es mínimo, lo que la convierte en la zona productora de agua por excelencia.

Garganta: La garganta de la cuenca es la zona donde se encuentra las dos vertientes y se abren para dar paso al drenaje formado en la zona de recepción.

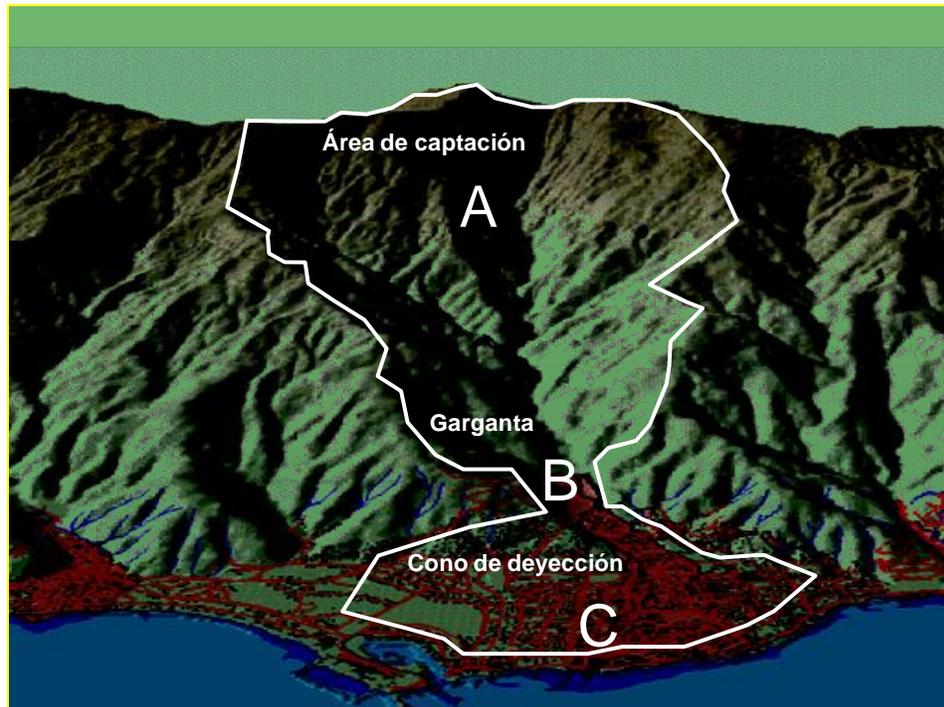


Figura 2. Componentes de la cuenca

Cono de deyección: Es la parte más baja de la cuenca donde los escurrimientos superficiales convergen en un punto sobre la corriente principal.

En el mismo orden de ideas, Henao (1998) sostiene que las características propias de las cuencas, como la forma, relieve, vegetación, uso y aprovechamiento de los recursos naturales, influyen directamente en comportamiento de los escurrimientos superficiales y disponibilidad de agua.

Forma: En las cuencas de forma alargada los escurrimientos superficiales fluyen lentamente en comparación con las cuencas redondas en donde el flujo del agua es más rápido.

Tamaño: Conforme las cuencas incrementan su tamaño, tienen más capacidad de captar agua y disponer de mayores volúmenes de escurrimientos.

Relieve: La forma del relieve influye directamente en el comportamiento de las corrientes superficiales como la velocidad, dirección, longitud y número de arroyos que se originan principalmente en la parte alta de la cuenca.

Vegetación: El tipo de vegetación, condición y manejo de la misma en una cuenca, es de vital importancia para la captación, la retención, la infiltración, el almacenamiento y el aprovechamiento del agua de lluvia.

Así mismo, Jiménez (2005) señala que las cuencas hidrográficas cumplen diversas funciones, entre las principales se destacan:

La función hidrológica: Cuando captan el agua de las lluvias almacena y la distribuyen a través de los manantiales y los ríos durante distintos momentos a lo largo del tiempo.

La función ecológica: Provee diversidad de espacios para completar las fases del ciclo hidrológico, además es un lugar para la flora y fauna que conviven con el agua.

La función ambiental: Ayuda en la captura de dióxido de carbono (CO₂), regula la distribución del agua de lluvia durante el invierno, evitando con ello las inundaciones en la parte baja de la cuenca y contribuye a conservar la biodiversidad, la cuenca es un espacio ideal para la implementación de la gestión ambiental.

La función socioeconómica: Cuando suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas de las poblaciones que habitan la cuenca.

CAPÍTULO III

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación del área experimental

El estudio se realizó en la microcuenca La Coneja, parroquia General Rivas, municipio Boconó, estado Trujillo, localizado entre las coordenadas UTM 1029325 y 1041700 Norte - 361275 y 369400 Este. Tiene un área aproximada de 7.731,98 hectáreas, siguiendo su emplazamiento físico una orientación Suroeste-Noreste. Presenta variaciones altitudinales que van desde los 2.096 hasta los 4.005 m.s.n.m. Limita al norte con la cuenca de la quebrada San Rafael; al sur con el río Burate; al este con la cuenca de la quebrada El Molino y el río Burate y al oeste con la cuenca de la quebrada Tuñame (Figura 3). El estudio se realizó específicamente en la Vertiente Norte, ello motivado a la magnitud del tamaño de la microcuenca por un lado, además, esta vertiente es la más intervenida y por otra parte a la limitación de recursos disponibles.

Dentro de la microcuenca se encuentra una buena parte del Monumento Natural Teta de Niquitao-Guirigay (1.918,74 has.), zona protegida por Decreto, tal como se reseñó anteriormente para la justificación de la presente investigación; en vista de que las cuencas de estos ríos constituyen fuente importante de abastecimiento de agua y además que los embalses construidos sobre los ríos Masparro, Boconó y Tucupido, (figura4) constituyen obras de interés público destinadas a garantizar almacenamiento, disposición y suministro de agua potable para

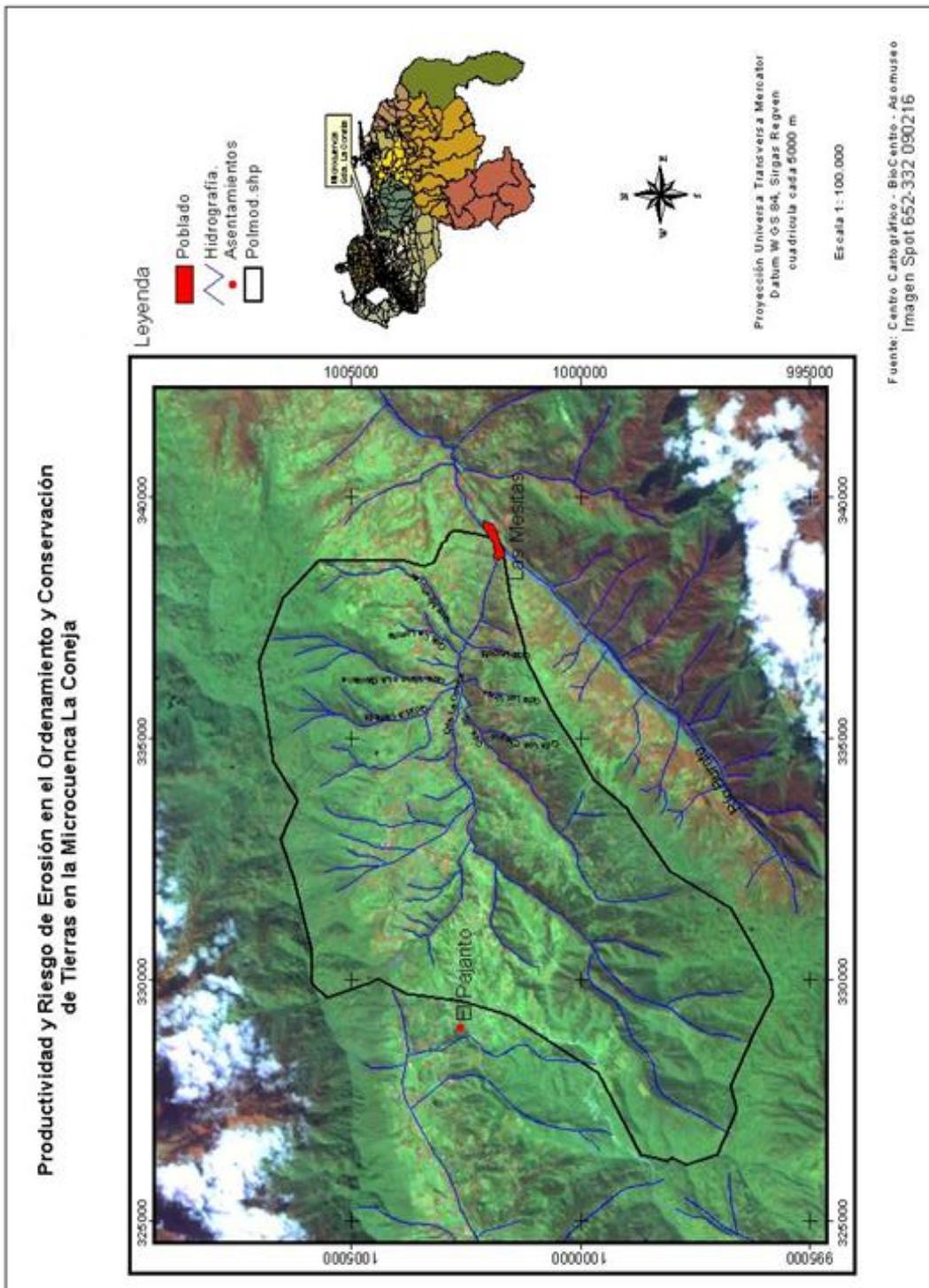


Figura 3. Área experimental

las poblaciones de un sector del Piedemonte Andino y para riego de la Región de Desarrollo Integral del Programa Guanare-Masparro.

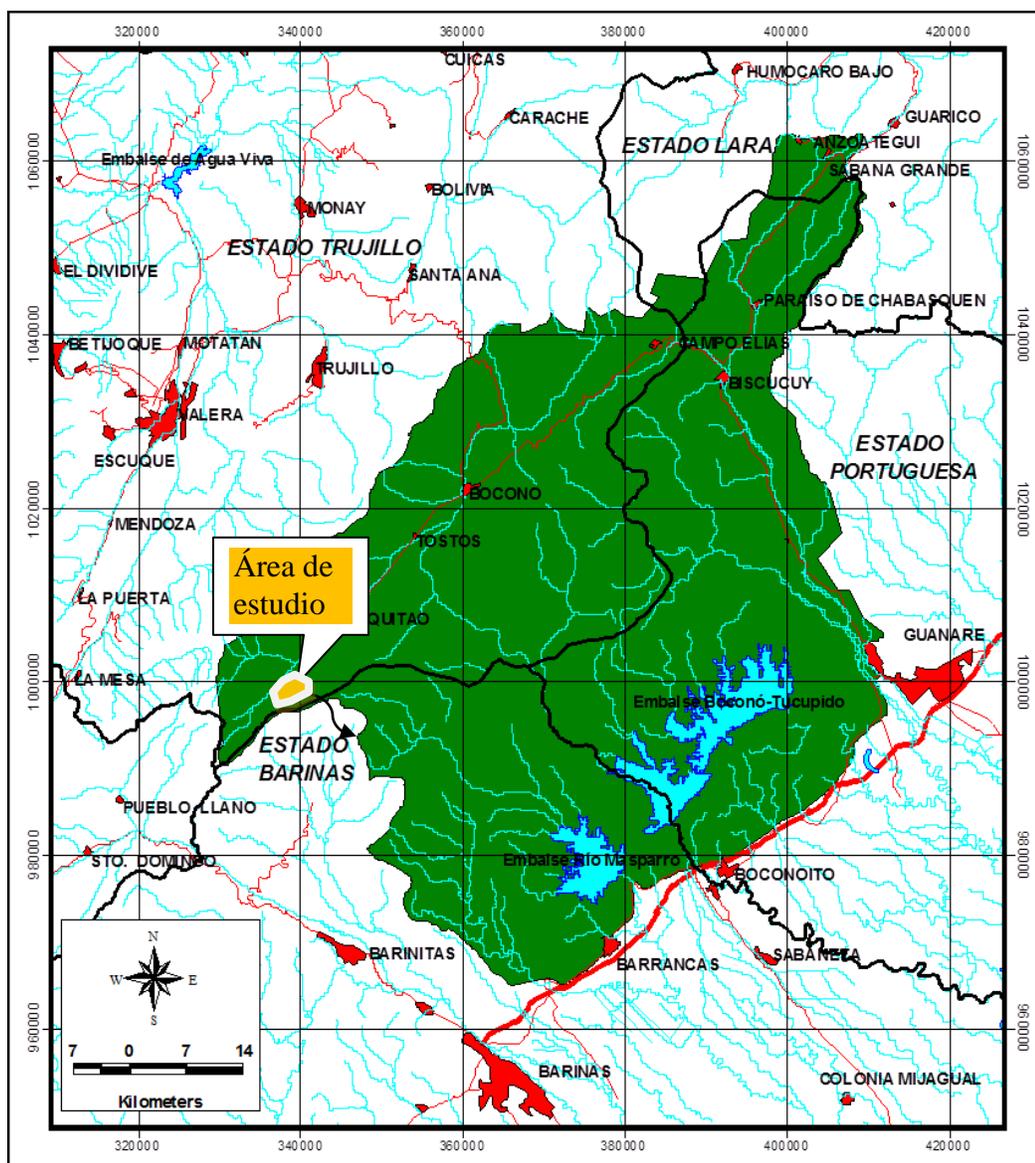


Figura 4. Ubicación relativa del área experimental.

3.1.2. Topografía

Los paisajes de la región andina son muy variados y esto como consecuencia de las variaciones del relieve. Existen valles y mesetas de gran fertilidad donde se encuentran los principales poblados, picos de gran altura y lagunas de origen glacial. Desde el punto de vista topográfico, el área de estudio presenta rasgos característicos de las zonas de montaña. Dominan las pendientes con rango de 20 a 45% que se encuentran distribuidas en toda la cuenca, principalmente en la vertiente norte (Figura 5). El rango de 5 a 20 % se localiza principalmente en la vertiente sur, específicamente en las lomas de la línea divisoria en el sector conocido como Llano Corredor donde se encuentran pendientes de muy suaves a suaves, aunque también se encuentran algunos valles y lomas en toda la cuenca con estas mismas características, muy particularmente hacia el área occidental de la cuenca en el sector El Pajarito.

Las zonas de mayor pendiente (45 a 60%) se encuentran en la vertiente norte y se ubica sobre todo en los circos glaciales y picos escarpados a alturas sobre los 3.800 m.s.n.m. (Figura 6). Las pendientes son determinantes para la explicación de los rasgos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, entre otros, así mismo es condicionante en el uso de la tierra (Valero 2.004).

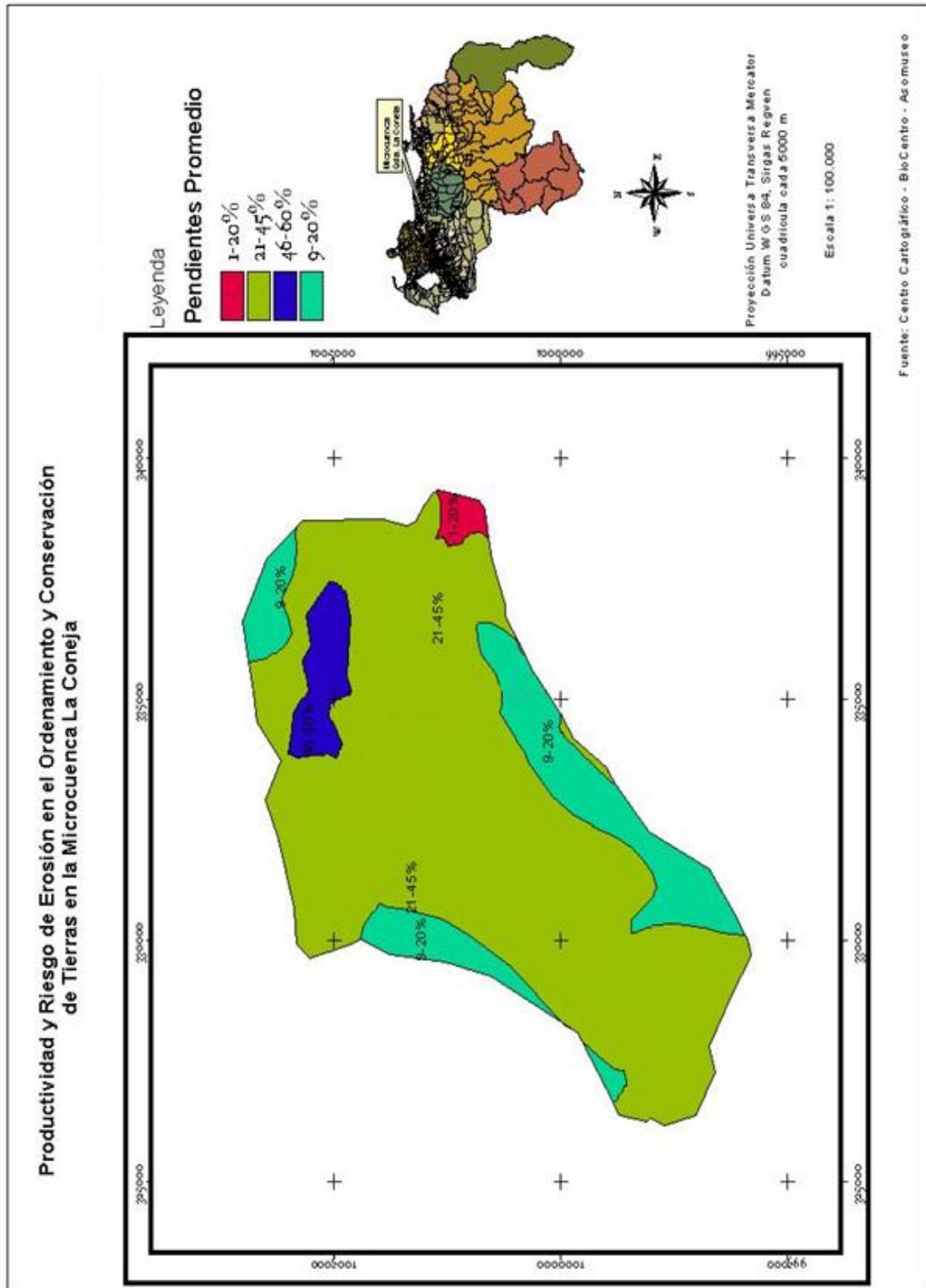


Figura 5. Pendiente del terreno

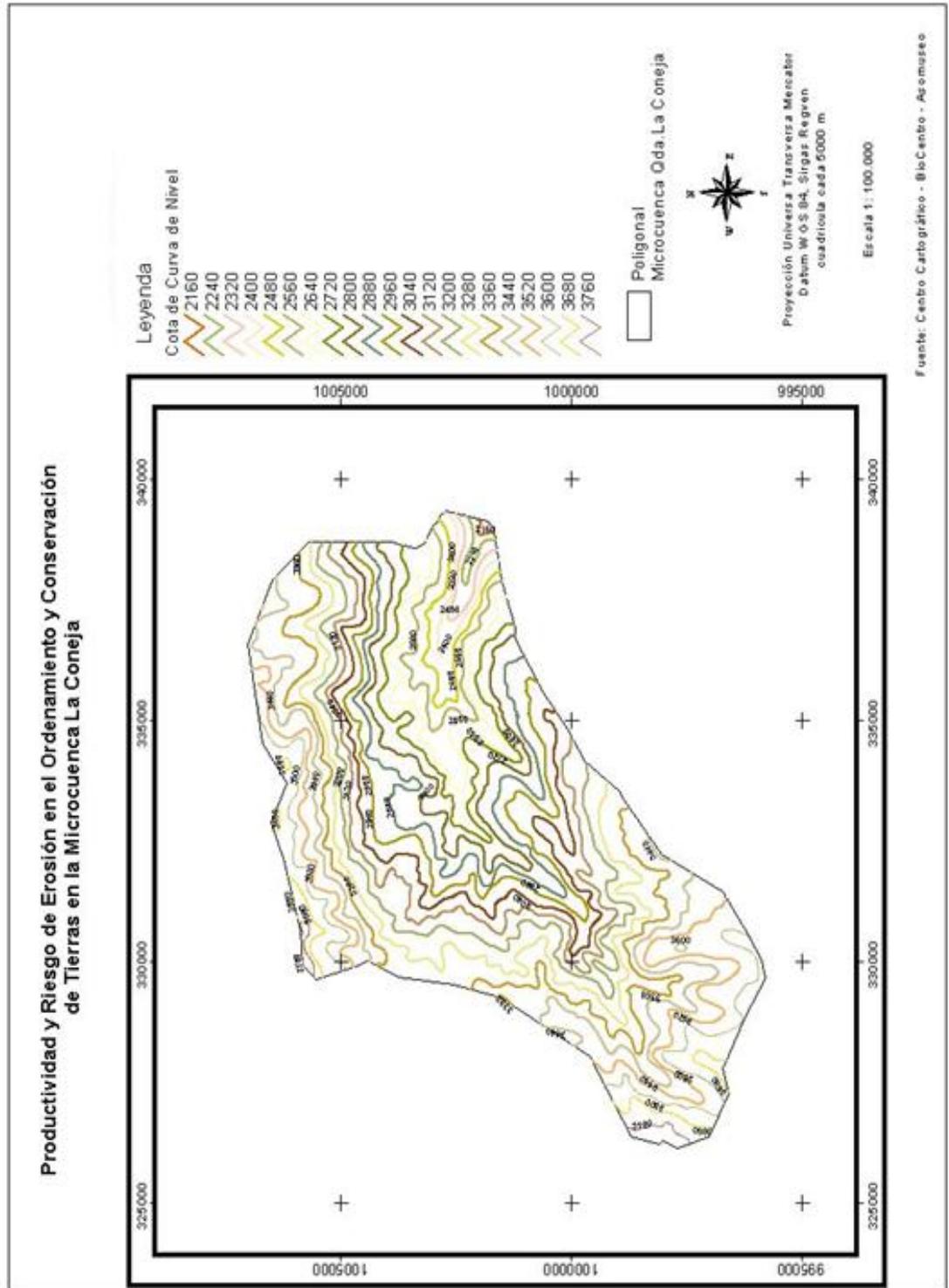


Figura 6. Curvas de nivel

3.1.3. Geología

El área de estudio se encuentra en la formación geológica Grupo Iglesias (Figura 7), ésta es una unidad heterogénea de rocas sedimentarias e ígneas intensamente metamorfizadas, cuya localidad tipo se ubicada en el cerro Las Iglesias del macizo Los Conejos, al noreste de la ciudad de Mérida (MARNR 1.992). Son las rocas más antiguas y de metamorfismo más elevado de la cordillera de Mérida, donde se encuentran extensamente expuestas en la región central. En el área aflora al oeste la falla de Boconó, formando una franja de hasta alrededor de 15 km. de ancho a lo largo del curso alto del río Boconó, hasta la confluencia con el río Burate y continuando aguas arriba a lo largo de este. En diferentes sitios correspondientes a este grupo han sido descritos gneises y esquistos, de granos medios a grueso intercalados, anfibolitas y de grano grueso, esquistos estaurolíticos, gneises granatíferos y biotíticos, esquistos biotíticos, granatíferos y silimaníticos, esquistos micáceos y cuarcitas.

Localmente intrusionado por diques de pegmatita y aplita. El espesor del grupo no ha sido determinado. Edad Precámbrico superior (Proterozoico), 1400 m.a. – 600 millones de años. La designación de Formación Sierra Nevada es un término informal, por su definición inadecuada, asignado a rocas del grupo Iglesias. Aguas subterráneas en rocas fisuradas, permeabilidad muy baja, acuíferos locales o discontinuos, aprovechamiento principalmente por manantiales.

Aspectos geotécnicos: Roca consolidada, dura a muy dura. Los suelos predominantes formados a partir de estas rocas son de textura media (mezcla de cantidades importantes de arena, limo y arcilla), localmente con predomi

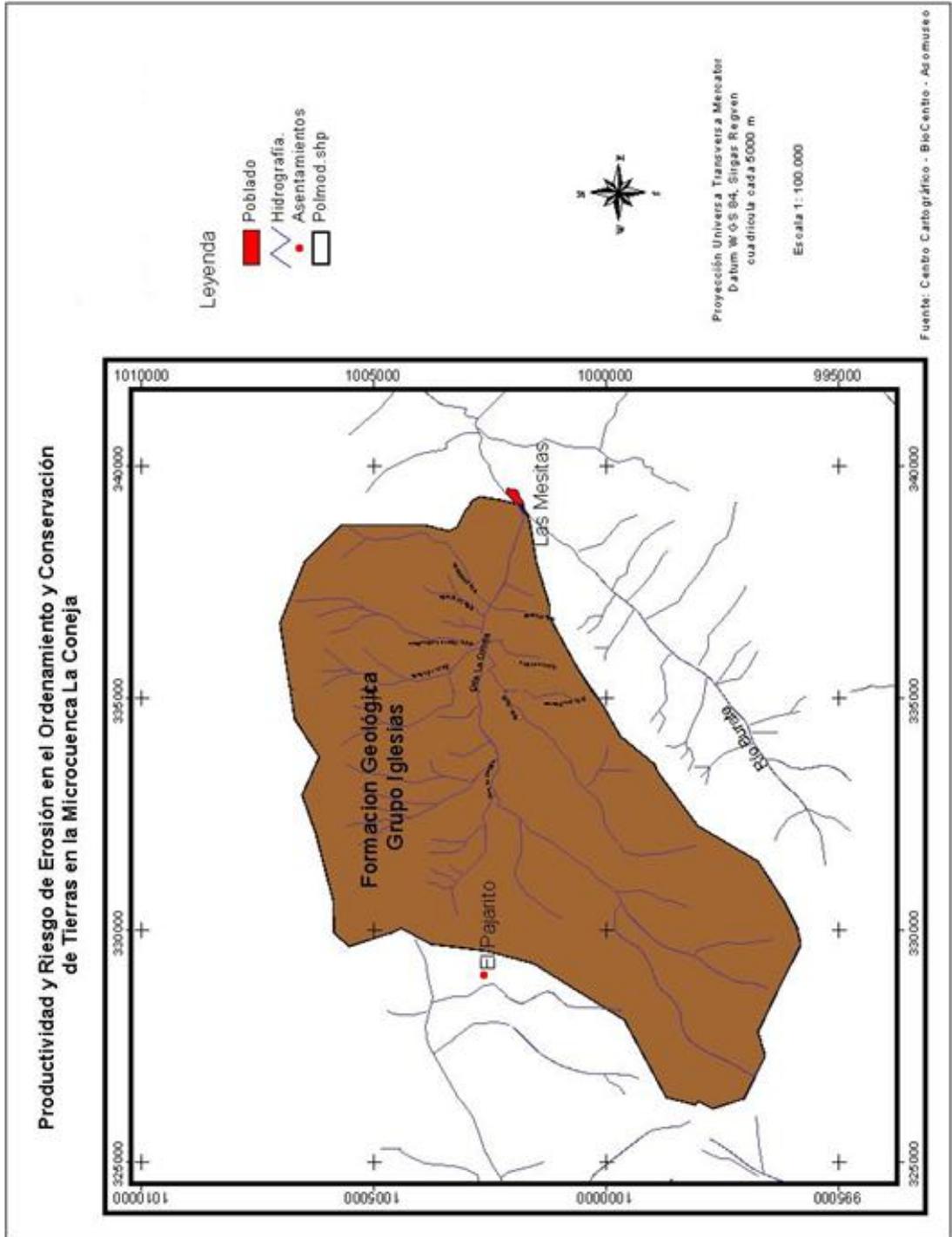


Figura 7. Geología

nio de arena y grava (cuarzo). Resistencia interna a la meteorización varia de moderada (esquistos) a alta (gneis), hasta muy alta (cuarcita). La estabilidad de taludes es alta y moderada.

Los Aluviones ocupan grandes planicies en el sector sur oriental y extensiones menores en los valles del occidente y norte del área. Consiste en gravas, arenas, limos y arcillas acumuladas en valles y planicies durante el fin del Pleistoceno y el Reciente. Los materiales más gruesos (grava y arena) son más comunes en los valles y próximos al piedemonte. En las planicies más alejadas del piedemonte son más comunes limos y arcillas, las últimas algunas veces expansibles. Los acuíferos frecuentemente son de alto rendimiento. La permeabilidad es variable, pero frecuentemente alta.

En los paisajes de montaña y colinar en el sector noroeste del área se ubican varias fallas paralelas y subparalelas a la falla activa de Boconó, ubicada al noroeste. Basado en lo anterior y en el mapa sísmico de Venezuela se considera un alto peligro sísmico para los terrenos ubicados al noroeste de la falla de Guanapa y un moderado riesgo sísmico para una franja de alrededor 50 Km. al sureste de dicha falla. El resto del área tiene mediano a bajo peligro sísmico.

3.1.4. Geomorfología

El área se corresponde con la típica morfología de la gran mayoría de los sectores intercordilleranos de los andes venezolanos, los cuales están definidos principalmente por la litología, las fallas y los plegamientos; estos últimos elementos estructurantes influyen decididamente en la alineación de los diferentes bloques que la conforman (MARNR 1992). Medios de ablación de tipo montañas alta, abruptas, de estructura geológica compleja,

en forma de cadenas de anticlinales caracterizados por crestas monoclinales extensas y laderas pronunciadas muy sectadas (Figura 8).

A cotas elevadas es posible observar rasgos de antigua actividad glacial, dando lugar a un relieve tanto de erosión como de acumulación, de origen glacial. Las formas de erosión glaciarias están representadas por circos glaciales, antiguas lagunas, rocas aborregadas, morrenas, pequeños valles y fracturamiento de las rocas por acción de la gelifracción. Por otra parte, los suelos que han sido formados bajo este régimen de acumulación, presentan muy poco desarrollo en sus perfiles, como son los inceptisoles, entisoles y ultisoles. Estudios detallados sobre este aspecto no han sido realizados en el área, pero la presencia de cuerpos morrénicos y de numerosas lagunas dispersas a todo lo largo del área, pueden ser indicativos de la actividad glacial experimentada durante la última glaciación.



Figura 8. Geomorfología

Así mismo, el área de estudio se caracteriza por un relieve de alineaciones montañosas con laderas que van de suaves a pronunciadas pendientes que oscilan entre 5 y 60% y altitudes entre los 2.098 y 4.005 m.s.n.m. (Figura 9). En síntesis, la caracterización geológica muestra la variedad de formaciones y litologías presentes, así como la presencia de rasgos tectónicos que dejan ver la juventud y vigor del área.

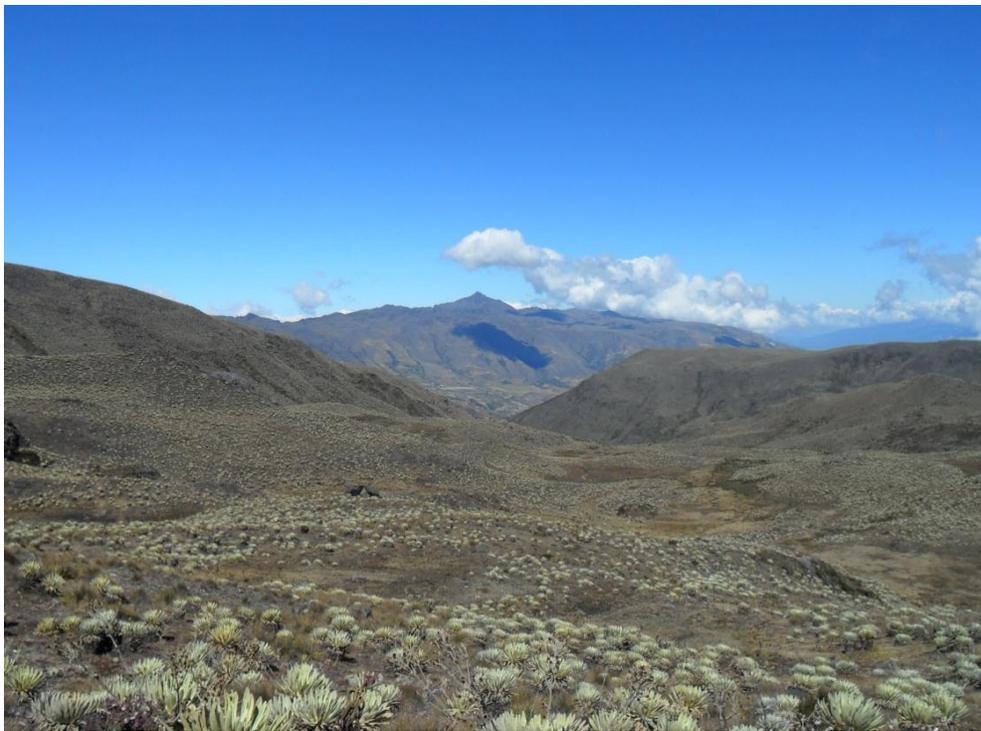


Figura 9. Cordillera de la Teta de Niquitao vista desde la vertiente sur.

3.1.5. Clima

Los ambientes de alta montaña en Los Andes de Venezuela están caracterizados por un régimen isotérmico similar al que prevalece en los pisos subandinos, aunque se diferencian de estos últimos por sus condiciones

micro térmicas y sus implicaciones ecológicas, es decir, que los elementos climáticos del área de estudio van a estar afectados por factores geográficos y muy especialmente por los orográficos.

En efecto, la precipitación y la temperatura como elementos de mayor importancia en el establecimiento de un determinado tipo de clima, se encuentran condicionados por las elevaciones topográficas (elevaciones e terreno, vertientes, fondos de valle, etc.) presentes en la zona. De hecho, en los Andes hay una variabilidad climática mayor que en cualquier otra región biogeográfica de Venezuela, debido a su compleja orografía y la presencia de una importante representación de ambientes de altura que cubren una amplitud altitudinal pronunciada, La Marca (citado en Valero 2.004).

A los efectos de este trabajo, la información climática fue obtenida de la Dirección de Hidrología y Meteorología, Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica SINAHIME y Dirección General de Cuencas Hidrográficas, Dirección de Suelos del Ministerio para el Poder Popular del Ambiente y Recursos Naturales, correspondientes al período 2.000–2.011. A partir de los datos climáticos obtenidos, se determina que la zona de estudio se encuentra dentro de las de climas secos del estado Trujillo, específicamente como clima subhúmedo seco frío. Este clima se presenta al sur de la entidad, se extiende hacia el noreste, a lo largo de la Sierra de Trujillo, entre 2.700 y 3.600 m.s.n.m. correspondiente con las cuencas altas de los ríos y por el este del estado; las cuencas altas de los ríos Tuñame, Burate y Boconó. Este clima con 179 km² de superficie, es el que ocupa menor superficie estatal con apenas un 2% y solo está presente en tres municipios de los veinte del estado, de los cuales el municipio Urdaneta cubre la mayor superficie con este tipo de clima.

3.1.5.1. Precipitación.

La accidentada topografía de la Cordillera de los Andes imprime un sello particular a las precipitaciones de la región, condicionando su distribución y frecuencia. En las vertientes extremas se da un aumento de la precipitación con la altitud, hasta aproximadamente los límites de formación de las selvas nubladas en altitudes medias, para disminuir progresivamente hasta la zona de los páramos. no obstante, hay regímenes contrastantes de precipitación que no están relacionados con la cantidad total de precipitación en cada localidad.

El periodo de lluvia se corresponde con el comportamiento general de la Zona de Convergencia Intertropical que afecta a todo el país, donde los vientos alisios cargados de humedad penetran por el cañón del río Burate, proveniente de los llanos occidentales, siguiendo luego la dirección E-NE del valle del mismo nombre. La caracterización de la precipitación se realiza con base al análisis de los valores medidos en el área de estudio, donde existe una estación meteorológica tipo PR, perteneciente al Ministerio para el Poder Popular del Ambiente y Recursos Naturales; instalada en el año 1.957 a una altitud de 2.200 m.s.n.m.

Para los últimos once años (2.000-2.011) se registró una precipitación media anual de 837,7 mm. (Figura 10). La mayor concentración de lluvias se extiende desde el mes de marzo hasta el mes de octubre, existiendo mayores precipitaciones en los meses de mayo, junio, julio y agosto; evidenciando así, un régimen unimodal. En la Figura 11, se observa la distribución de las lluvias en las diferentes partes de la cuenca y que es mayor hacia la vertiente sur.

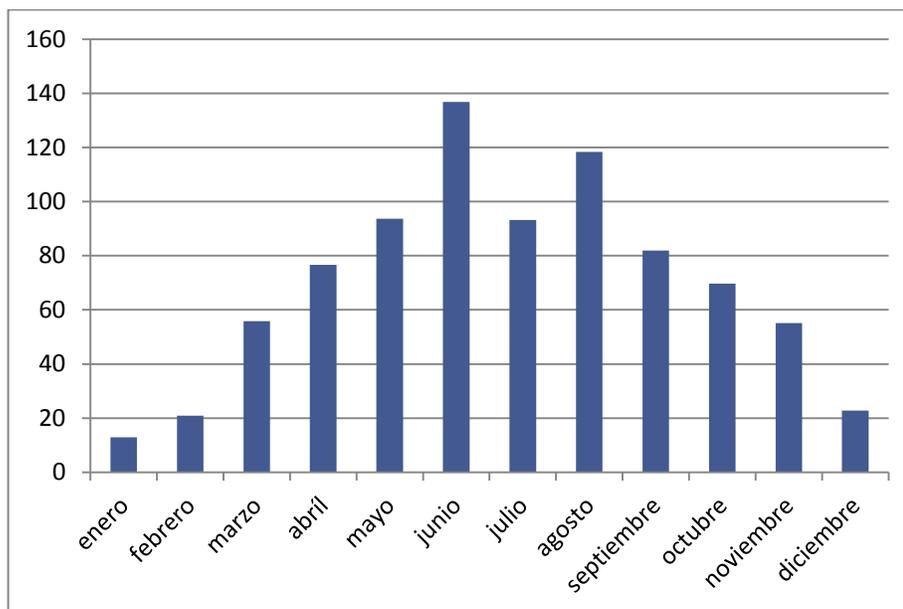


Figura 10. Distribución mensual de precipitaciones en el área de estudio.

3.1.5.2. Temperatura

Tanto la altura como la distribución del relieve tienen su influencia en la repartición de las temperaturas y, por lo tanto, de las amplitudes diarias y mensuales. La temperatura de la zona depende fundamentalmente de la disminución que la misma experimenta a medida que se asciende, por el gradiente térmico, el cual varía a razón de $0,64\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros de altitud. En toda el área se puede encontrar valores de temperatura comprendidos entre los $3,8$ y $16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ lo cual es condicionante de algunos de los factores que forman parte del medio, restringe de algún modo las actividades humanas, el desarrollo de los suelos y endemismos. La temperatura promedio anual es de $15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. (MMPA 2.012)

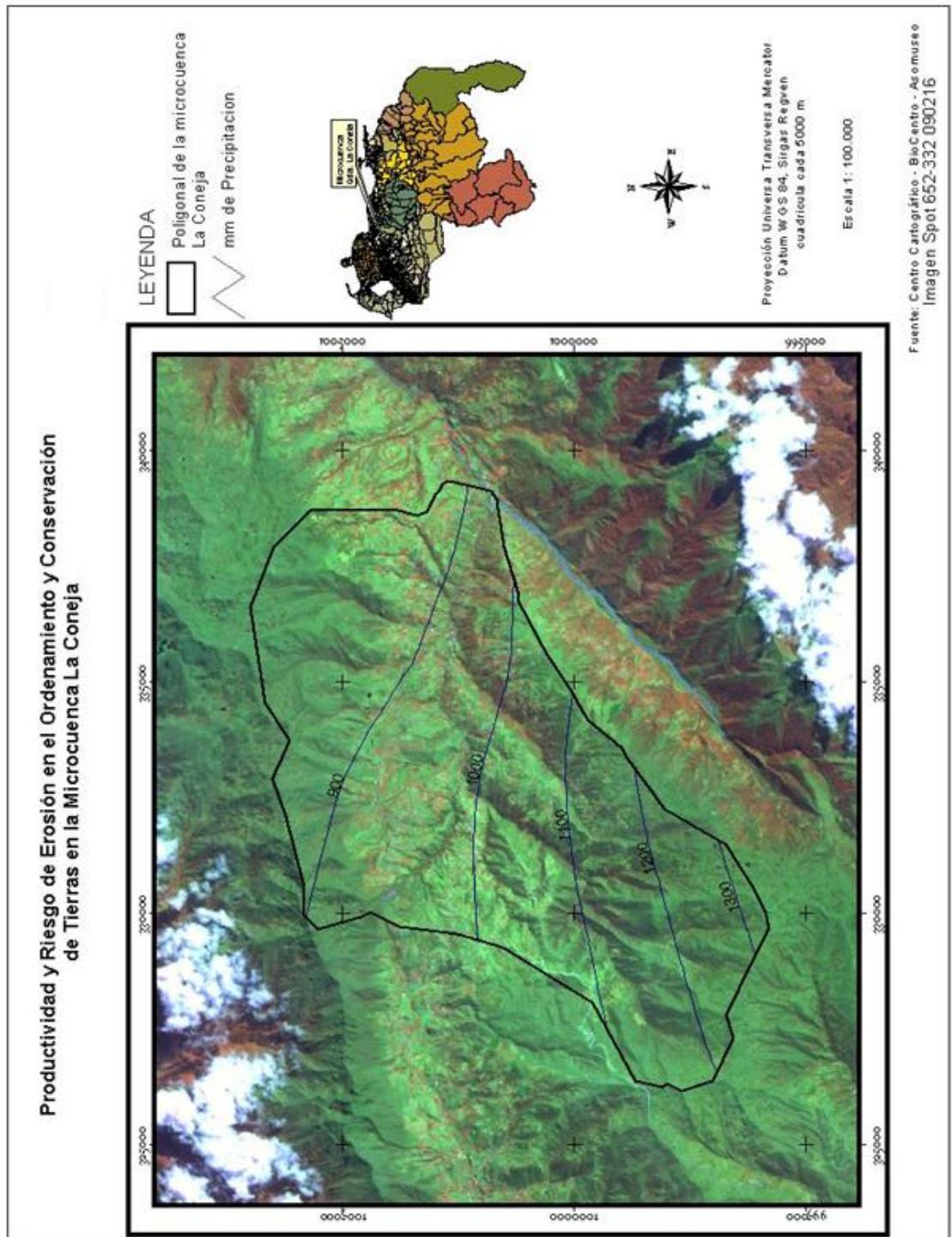


Figura 11. Isoyetas

3.1.5.3. Evapotranspiración.

Aun cuando existe una estación climatológica en el área de estudio, no hay registros sobre la evapotranspiración. La evapotranspiración potencial (ETP) anual del área de estudio se tomó de los datos aportados por la Dirección General de Cuencas Hidrográficas, Dirección de Suelos del Ministerio para el Poder Popular del Ambiente y Recursos Naturales en su trabajo Climas Secos del Estado Trujillo. Se reporta una evapotranspiración media anual de 717,5 mm y una deficiencia hídrica de 55,4 mm. Sin embargo, la alta nubosidad hace que la humedad se mantenga relativamente alta casi todo el año debido al fenómeno de “precipitación horizontal”, ya que la vegetación atrapa la condensación del agua en forma de neblina.

3.1.6. Hidrología

La microcuenca posee una red hidrográfica caracterizada por la presencia de aguas de régimen permanente y régimen esporádico, es decir, caracterizada por un escurrimiento de tipo estacional. La quebrada La Coneja constituye la principal fuente permanente drenando la totalidad de la micro cuenca, este cause tiene una longitud de 10,2 km. Aproximadamente (cálculos propios), desde su nacimiento en las estribaciones de El Pajarito hasta su desembocadura en el río Burate (Figura 12). Otras quebradas son: Los Carbones, El Volcán, La Cañada, Visún, Miraflores y Jiguá; además de una gran cantidad de cuerpos de agua de régimen esporádico, caracterizados por recorridos cortos y fuerte pendiente; de manera que en épocas de lluvia se convierten en fuentes de erosión que arrastran gran cantidad de material sólido.

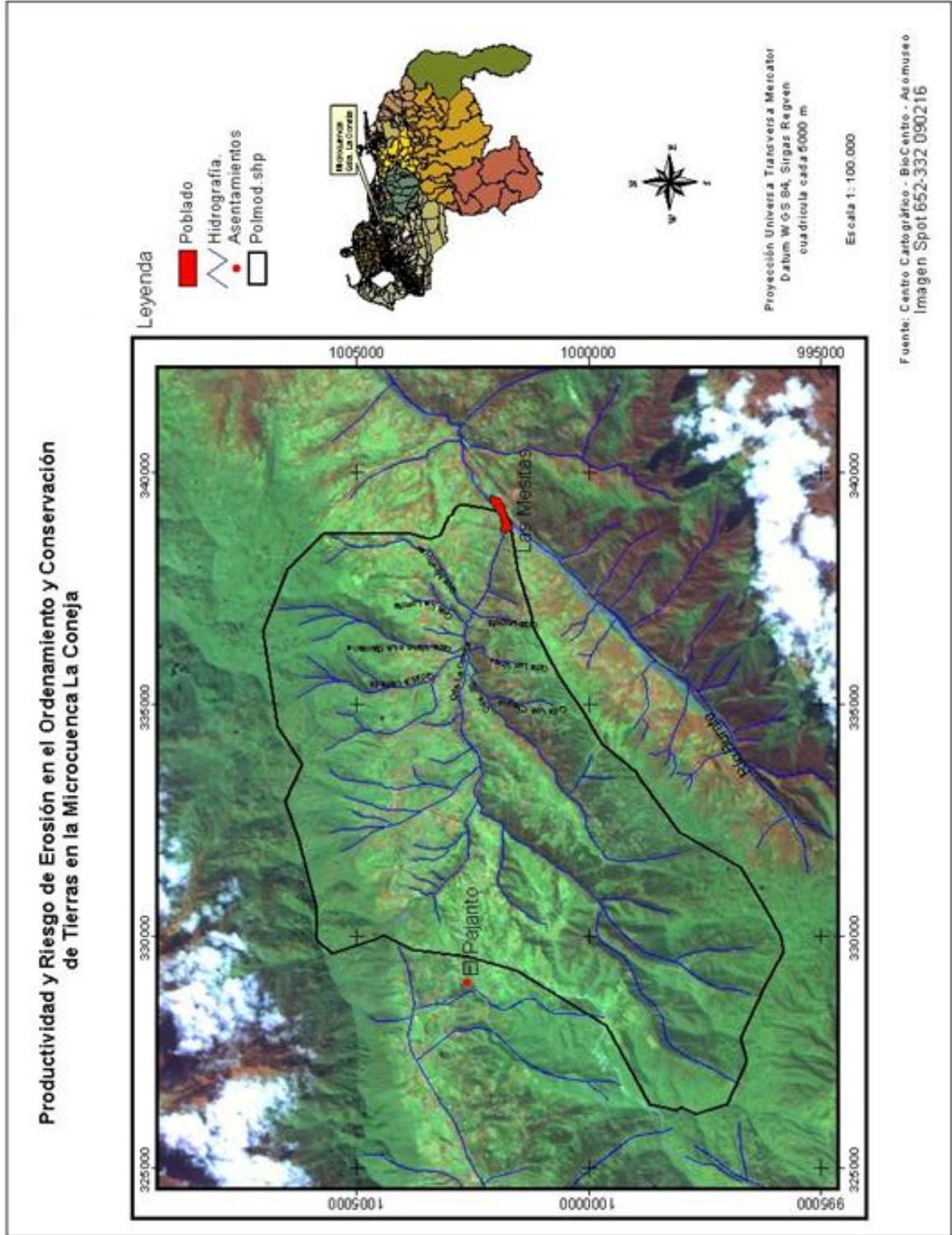


Figura 12. Hidrología

3.1.7. Suelos

En relación con este aspecto, existe poca información debido a la inexistencia de estudios detallados en la zona. Hay sin embargo, un trabajo realizado por Gutiérrez (citado en Imperatori y Monsalve 2.002) sobre la cuenca del río Burate que señala la presencia de suelos Inceptisoles, Entisoles y Ultisoles en gran parte del área de estudio. Partiendo de que los suelos son el producto de la combinación del clima, la geología, la geomorfología y la vegetación, se describen unidades a nivel de asociaciones de suelos. Dichas asociaciones reúnen suelos derivados de materiales similares, bajo condiciones de clima y edad más o menos iguales, pero que tienen diferencias en cuanto a condiciones de relieve, drenaje y disposición de los horizontes, Castillo (citado en Valero 2.004).

El área de estudio presenta suelos muy superficiales en los sitios de acumulación del material desprendido alternado con gran cantidad de afloramientos rocosos. Los suelos desarrollados a partir de materiales transportados, han sido producto de la erosión ocurrida en la parte alta y procesos de acumulación que formaron zonas de origen aluvial y coluvial, conformado por el fondo del valle en forma de cono, con condiciones edáficas excelentes para el desarrollo de la actividad agrícola. No obstante, la presencia de suelos desarrollados o incluso incipientemente desarrollados es muy escasa, tanto por razones climáticas adversas, como por la intensa acción glacial y periglacial a que han estado sometidos estos espacios. En consecuencia, los suelos presentes en el área de estudio son de las clases VII y VIII (Figura 13).

Por último, es conveniente anotar, que a los efectos de este trabajo se realizaron análisis de suelo, tanto los pertinentes para la aplicación de la metodología planteada, así como los relativos a los fines de clasificación

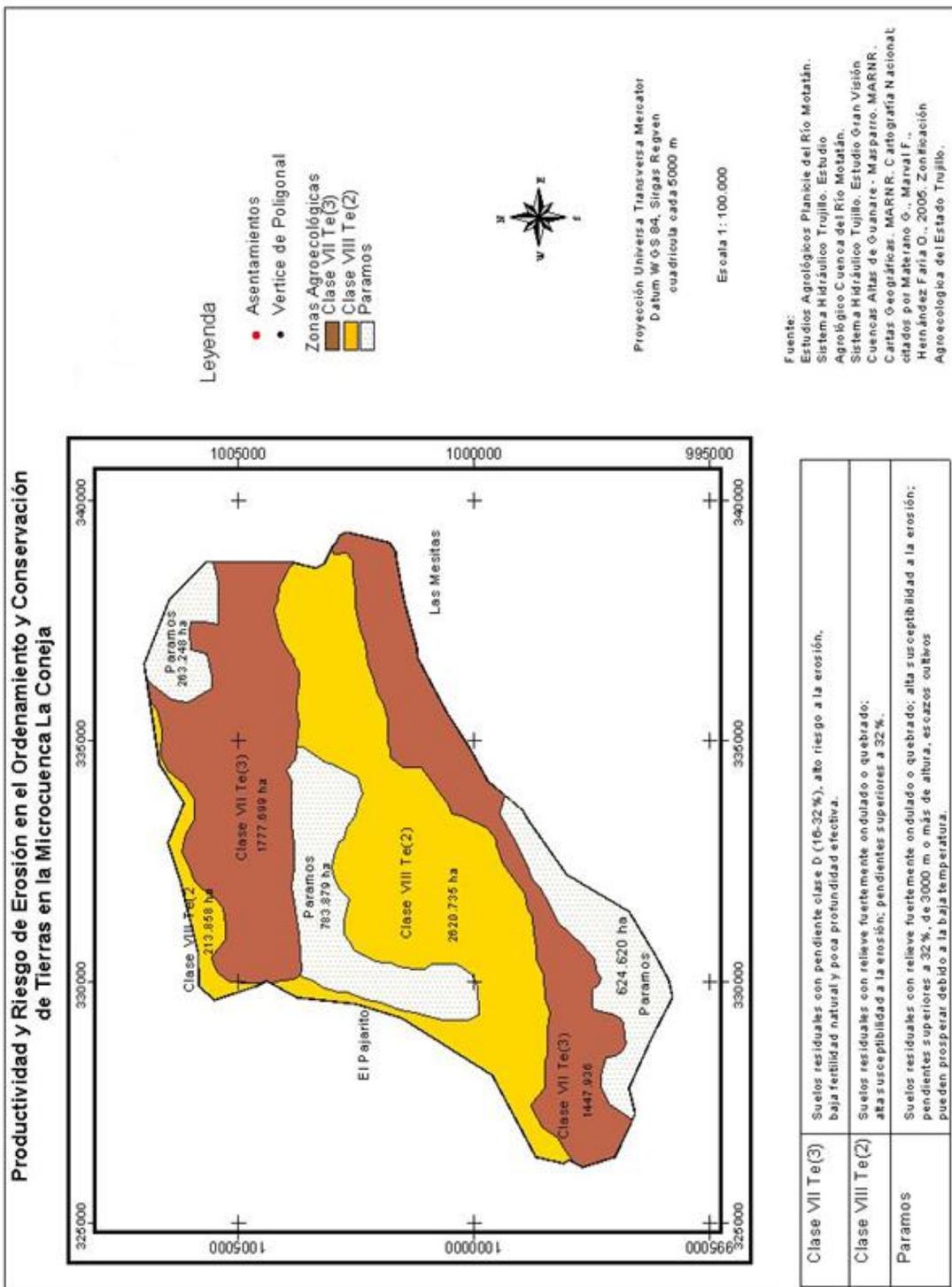


Figura 13. Clasificación de los suelos por capacidad de uso

(calicatas) en las tres zonas objeto de estudio (ver anexos).

3.1.8 Vegetación

Los cambios climáticos que determinan las diferencias en las formaciones vegetales desde el ecuador terrestre en dirección de los polos, se produce de modo parecido en las tierras tropicales montañosas, como resultado de las variadas altitudes. En espacios o extensiones relativamente muy reducidas, se encuentran desde los climas caliente tórrido y caliente húmedo hasta los climas templados y fríos en las altas cordilleras, Eichler (citado en Imperatori y Monsalve 2.002).

Por consiguiente, las plantas son los seres vivos que más dependen del clima y que menos pueden sustraerse de su influencia, la luz, el calor, el agua y el aire son necesarios para su desarrollo. Es por ello que dicha influencia determina la existencia y distribución geográfica de las especies, sin embargo, de acuerdo con sus posibilidades, las plantas tratan de adaptarse al medio físico donde habitan y en algunos casos modifican ese medio, de modo que resultan reducidos los efectos limitativos de temperatura, luz, agua y otras condiciones físicas.

Dentro de esta perspectiva, la denominación “Zona de Vida” correlaciona todos los organismos vivientes sean: planta, animal o la actividad humana. En consecuencia puede definirse como la unidad climática natural en que se agrupan diferentes asociaciones vegetales relacionadas entre sí por efecto de los principales determinantes climáticos de la vegetación: la temperatura y la precipitación. Las zonas bioclimáticas se establecen en función del método utilizado, a tal efecto, se utilizaron la metodología de Holdrige y la de Ataroff y Sarmiento.

En lo que se refiere al sistema de clasificación de Holdridge (1.979), se han identificado tres zonas de vida, a saber:

Bosque húmedo montano (bhM): Este se localiza en una faja altitudinal comprendida entre 2.200 y 3500 msnm; climáticamente se caracteriza por presentar precipitaciones anuales entre los 500 y 1.000 mm, con temperaturas medias anuales comprendidas entre 5 y 13 °C. En vista de la alta intervención antrópica, gran parte del bosque en estado de climax ha desaparecido, particularmente en la vertiente norte; quedando solo manchones de vegetación arbórea. En algunas laderas, posiblemente explotadas alguna vez y luego abandonadas, se nota una vegetación secundaria sumamente degradada (Figura14). El suelo está cubierto por gramíneas, arbustos y algunos árboles; destacan entre estos el aliso *Alnus sp.* y chipoqué *Calypocus moritzianus*.



Figura 14. Vegetación en bosque húmedo montano (bhM)

Páramo subalpino (pSA): Esta zona de vida se localiza entre los 3.500 y 3.800 msnm; con características climáticas donde destacan precipitaciones menores a los 900mm, temperaturas promedio de 5 °C, con una tasa de evaporación potencial bastante baja, lo que permite que estas áreas mantengan humedad en gran parte del año afectadas en ciertas épocas por condiciones extremas de frío que produce congelamiento.

La vegetación presente normalmente no pasa de un metro de altura y raramente logra cubrir completamente el suelo. El frailejón *Espeletia schultzii* y varias especies de huesitos *Hypericum sp.* que se destacan por su color, tamaño y abundancia; pero un examen más detallado revela numerosos géneros de plantas de menor porte, principalmente caméfitas y hemicriptófitas. Con la excepción más notable del frailejón, con sus largas hojas peludas, predominan plantas con hojas muy pequeñas y coriáceas. Ciertas gramíneas forman manojos, almohadillas o rosetas apretadas contra el suelo (Figura 15)



Figura 15. Vegetación en páramo subalpino (pSA)

El “abrojo de los Andes” *Aciachne pulvinata* es una gramínea baja que, con otras plantas herbáceas dispersas, frecuentemente forma comunidades de cobertura continua en las partes llanas y menos empinadas. En las laderas rocosas, la vegetación es más rala y de tamaño reducido, y gran parte de la superficie queda desnuda.

Tundra pluvial alpina (tpA): Ocupa pequeñas áreas de la microcuenca, se localiza generalmente entre los 3.800 y 4.000 msnm con temperaturas medias anuales entre los 3,8 y 5,1 °C y en ocasiones con temperaturas mínimas inferiores a 0 °C. La precipitación media anual esta alrededor de los 800 mm. Las drásticas condiciones térmicas limitan severamente el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales en esa zona. El suelo está casi desnudo y las pocas plantas allí presentes tienen forma de roseta y almohadilla, siendo la ruda *Draba pamplonensis* la dominante, además de algunos frailejones (Figura 16).



Figura 16. Vegetación en tundra pluvial alpina (tpA).

Igualmente, se encuentran comunidades de hemicriptófagas y de criptógamas, Vareschi (citado en Imperatori y Monsalve 2.002).

Esta zona posee características resaltantes, ya que en ella se encuentran los picachos más altos del área (Teta de Niquitao, 4.005msnm), la misma se encuentra en su estado natural, no obstante, está latente la amenaza de la expansión de la frontera agrícola, amén de la contaminación por desechos sólidos, dejados por algunos de los visitantes.

En la misma forma, Ataroff y Sarmiento (1.998), establecieron una clasificación de las Unidades Ecológicas de los Andes de Venezuela que se distingue por diferenciar unidades ecológicas definidas por la convergencia de un conjunto de características ambientales que son determinantes para la existencia de un ecosistema en particular. La temperatura, la precipitación, el sustrato, la topografía y la vegetación suelen ser los parámetros más importantes. De acuerdo con esta clasificación, igualmente se encuentran tres unidades que se corresponden similarmente a las zonas de vida de Holdridge. Las tres unidades son:

Bosque siempreverde seco: Ocupan ambientes con bajas precipitaciones y relativamente frescos, entre 500 900 mm anuales, se extiende desde los 2.000 a 2.900 msnm y con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 10 y 15 °C. La vegetación es de bosques bajos con dosel entre 10 y 15 m, la mayoría de los arboles tienen troncos retorcidos, de maderas duras y con ramificación baja. Estas especies invaden con facilidad zonas de selva nubladas que han sido taladas y abandonadas, pudiendo crecer una vegetación de bosque siempreverde seco en áreas que realmente tienen características de selva nublada.

Páramo andino: Aparece por encima del límite continuo de crecimiento arbóreo, alrededor de los 3.000 msnm, donde la temperatura media

desciende por debajo de 9 °C que es cuando ocurren las heladas nocturnas. Las precipitaciones pueden ser muy variables, entre 800 y 1800mm anuales, lo que determina la presencia de páramos secos y húmedos, variando la frecuencia de heladas y las características de la vegetación.

El relieve de esta unidad ecológica se caracteriza por la presencia de morenas y valles glaciales en forma de U, se originó por efecto del modelado glacial que ocurrió durante el período cuaternario. Fisonómicamente la vegetación puede variar desde un rosetal casi puro, pasando por un rosetal-arbustal hasta llegar a un arbustal puro, dependiendo de la altitud, el drenaje y otros factores ambientales.

En el páramo andino la existencia de una época del año libre de heladas hace posible el uso agrícola, particularmente con el cultivo de papa. Hacia el límite inferior se cultivan hortalizas, ajo, flores, etc. Además de la agricultura, se realiza el pastoreo extensivo, principalmente de vacunos y equinos.

Páramo altiandino: En esta unidad ecológica, la temperatura media es de 2,5 °C; las precipitaciones van desde 800mm en el extremo más seco hasta 1.200mm en el más húmedo. A pesar de la aparente abundancia de agua, muchas veces se produce déficit hídrico, porque la misma se encuentra congelada.

El Páramo altiandino puede ser definido como un desierto con grandes superficies de suelos desnudos y distribución muy discontinua de la vegetación, lo cual es otra diferencia importante con respecto al Páramo andino donde la cobertura vegetal es casi total. Se distinguen dos tipos de vegetación dentro de esta unidad: el Páramo desértico y el Desierto periglacial, según el grado de desertización creciente. Debido a las condiciones extremas de temperatura, el Páramo altiandino no es utilizado

para actividades agrícolas. Su uso se restringe a algún pastoreo extensivo de ganado vacuno y equino.

3.1.9. Uso actual de la tierra

En la actualidad coexisten en los Andes venezolanos toda una gama de sistemas agrícolas que va desde aquellos de corte más tradicional, familiares, pasando por una serie de sistemas transicionales, hasta los netamente modernos, con asalariados permanentes, mecanizados y de altos insumos. Estos últimos han prevalecido en la micro cuenca y áreas adyacentes, dada las características agroecológicas y socioeconómicas de importancia local y regional que presenta, siendo reconocida como una de las áreas representativa de sistemas de producción de horticultura de piso alto en la región andina.

Actualmente el uso de la tierra en la micro cuenca es en su mayoría agrícola vegetal, principalmente al cultivo de la papa, a este tubérculo criotérmico se dedica la mayor cantidad de trabajo y de tierra. Otros cultivos importantes son la zanahoria, brócoli y coliflor. De la superficie total de la micro cuenca, 63% aproximadamente corresponde a áreas protegidas enmarcadas en las poligonales A y B del Monumento Natural Teta de Niquitao-Guirigay, 37% restante está dedicado a la agricultura como la actividad económica más importante, tanto por la superficie que ocupa, como por el volumen de población que a ella se dedica (Figura 17).

Si bien la agricultura es la actividad productiva por excelencia, casi todas las familias se dedican también a una actividad pecuaria complementaria. El ganado vacuno y equino pastorea en forma extensiva los páramos ubicados por encima del límite de los cultivos y sólo en forma restringida los terrenos

cercanos a las casas. Por esta razón, no compite mayormente con la agricultura, sino que por el contrario proporciona la única fuerza de trabajo no humana, pues los bueyes son la principal fuerza de tracción agrícola.

Este uso actual es el reflejo de un uso regulado, pues cierta superficie del área se encuentra bajo la figura de Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), Monumento Natural Teta de Niquitao-Guirigay. Como los usos están regulados por Ley (Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Zona Protectora de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Guanare, Boconó, Tucupido, La Yuca y Masparro. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. No. 2326) (MARNR 1.9992) esta zonificación es de acuerdo a la singularidad, fragilidad, valor de los recursos naturales de cada uno de los espacios que lo conforman y de los usos y actividades existentes para la fecha de su creación (Figura 18). A continuación, (Cuadro 1) se presenta una breve descripción de las unidades que conforman a la Zona Protectora y sus respectivas superficies dentro del área de estudio.

Cuadro 1.

Unidades de ordenamiento. Decreto 2326.

ABRAE	Superficie(ha)
Monumento Natural Teta de Niquitao - Guirigay - sector B	1253.340
Monumento Natural Teta de Niquitao - Guirigay - sector A	665.402

Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Zona Protectora de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Guanare, Boconó, Tucupido, La Yuca y Masparro. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. No. 2326 (Extraordinario), junio 5,1992.	
Unidades de ordenamiento	Superficie(Has)
I	3851.169
IV	1994.114
III	1243.449
Monumento Natural Teta de Niquitao-Guirigay dentro de la micro cuenca	643.268

Fuente: Cálculos propios.

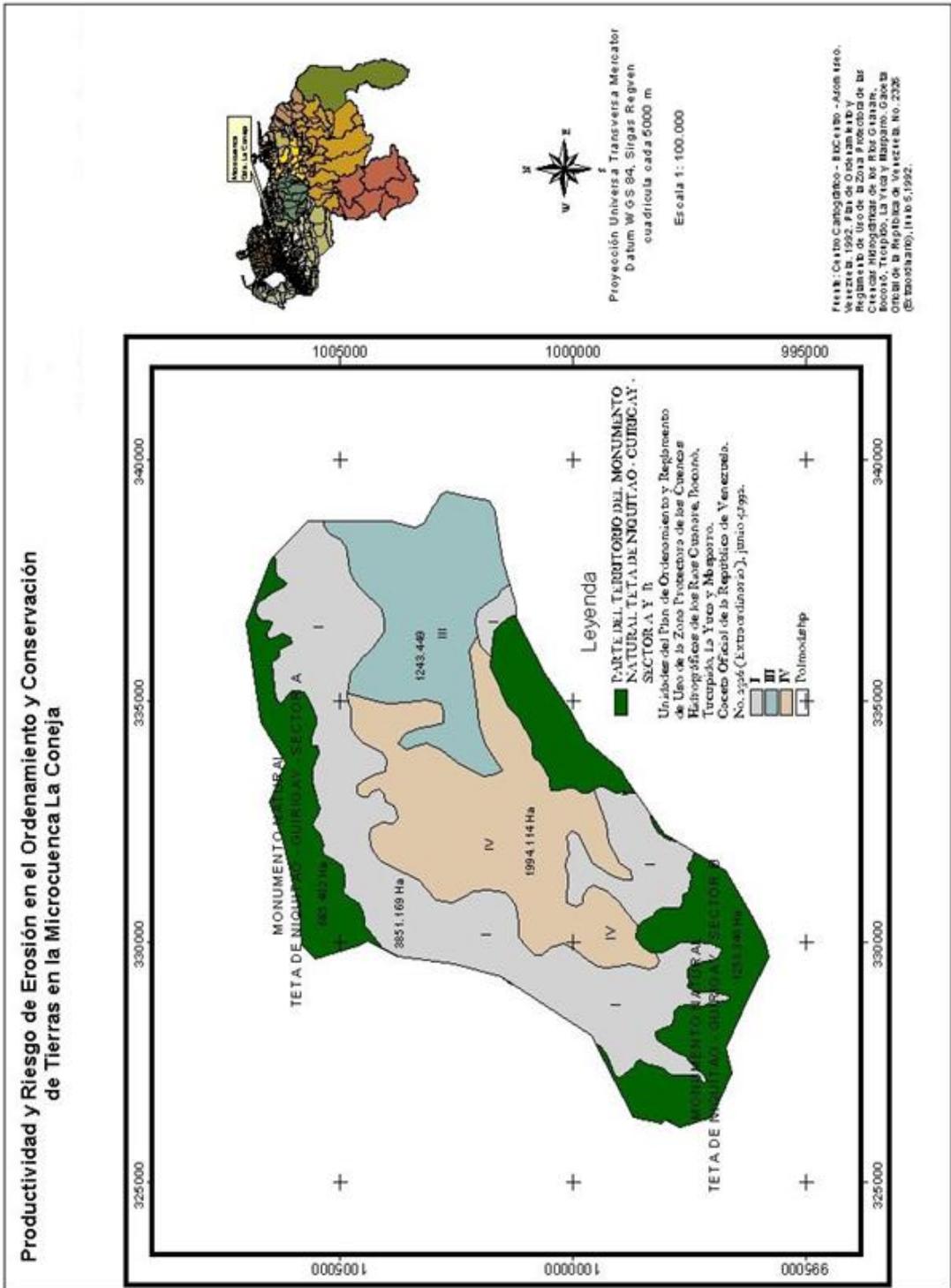


Figura 18. Unidades de ordenamiento territorial

Unidad I. Se encuentra distribuida en toda la zona protectora y comprende las unidades de paisaje y de montaña, colinas y terrazas antiguas con pendientes promedios superiores al 15% conformada por vegetación boscosa no intervenida, herbácea, chaparrales y páramo, correspondiente al bosque húmedo tropical, premontano, montano bajo y montano, donde se encuentra la mayor riqueza y variedad de especies de fauna y Vegetación que ameritan protección y conservación.

Unidad III. Se corresponde con paisajes de montaña con topografía accidentada y pendientes que superan el 35%, presentando sectores de escarpe, taludes, vegas, lechos de ríos y quebradas; constituyen áreas potencialmente inestables a muy inestables. Predomina el bosque húmedo premontaño-montano; presenta fuerte intervención por actividades de agricultura migratoria, cafetales, horticultura y ganadería. Esta unidad permite los usos siguientes: a) el agrícola-vegetal, en cultivos permanentes; b) protector, en cuanto a la recuperación de áreas críticas con prácticas mecánicas y forestales e implementación social conservacionista; c) Seguridad y Defensa, en la realización de actividades de vigilancia y control; y de agrícola-animal en forma restringida.

Unidad IV. Está conformada por áreas de acumulación o deposicionales y colinas con pendientes inferiores al 50% de acuerdo a su litología es estable a relativamente estable, la vegetación predominante es de chaparrales y matorrales. Los usos permitidos en esta unidad son los siguientes: a) agrícola-vegetal, en cultivos permanentes; b) protección, en recuperación de áreas críticas; c) Seguridad y Defensa, y d) agrícola-animal y turísticos recreacional, en forma restringida.

CAPÍTULO IV

4.1. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

4.1.1. Metodología

El desarrollo de la presente investigación, se fundamentó en la metodología desarrollada por Kiniry y colaboradores, posteriormente modificada por Pierce y otros y que luego fue adaptada por Delgado (1997), orientada al proceso de evaluación de la capacidad de uso agrícola de tierras montañosas tropicales, así como, para establecer sus prioridades y requerimientos conservacionistas y que denominó Metodología para la evaluación de la calidad de tierras agrícolas con fines de conservación de suelos en áreas montañosas de los andes venezolanos (Delgado 2.003).

Esta metodología consiste primero, en cuantificar las dos cualidades de la tierra sobre las cuales se sustenta la clasificación: la productividad del suelo y el riesgo de erosión. Ambas se cuantifican a través de las características que las determinan, aplicando algoritmos sencillos. De esta manera se obtienen dos índices: el índice de productividad del suelo (IP) y el índice de riesgo de erosión (IRE), cada uno de los cuales evalúa la calidad de tierra respectiva de acuerdo a las siguientes funciones:

IP = f (características biofísicas del suelo que favorecen el crecimiento de raíces)

IRE = f (características físicas de la tierra que favorecen la erosión hídrica)

Posteriormente, el valor de ambos índices se introduce en una matriz de doble entrada, en la cual se indican las distintas clases de tierra, en función de la productividad del suelo y el riesgo de erosión. En esta matriz se señalan, además, las prioridades y los requisitos generales de conservación de suelos, así como los usos más prometedores para cada una de las clases de tierra definidas.

El método es aplicable a unidades de tierra con información a escala de micro cuencas o lotes de terreno. A los fines de la aplicación del método, conviene dividir la micro cuenca o el lote de tierra respectivo, en unidades homogéneas de suelo y pendiente.

Las dos cualidades se evalúan de la manera siguiente:

A. Productividad del suelo

Para estimar la productividad del suelo, el modelo evalúa las condiciones edáficas que favorecen el crecimiento de las raíces de distintos cultivos, cada uno de los cuales será considerado, en el momento de realizar la evaluación del índice de productividad, como el cultivo indicador.

El Índice de Productividad del suelo se calcula con el siguiente modelo multifactorial (ecuación 1):

$$\mathbf{IP} = \sum_{i=1}^n (\mathbf{A}_i \cdot \mathbf{B}_i \cdot \mathbf{C}_i \cdot \mathbf{K}_i) \quad (1)$$

donde:

IP es el Índice de Productividad del suelo y tiene un valor entre 0,0 y 1,0 correspondiendo el valor 1.0 a un suelo sin ningún tipo de limitaciones para el desarrollo radical del cultivo.

A_i es el factor que evalúa condiciones que regulan las relaciones agua-aire del horizonte *i*

B_i es el factor que evalúa condiciones que determinan las resistencias mecánicas (impedancias) a la exploración radical del cultivo en el horizonte *i*

C_i es el factor que evalúa condiciones que regulan la fertilidad potencial del horizonte *i*

K_i es el factor que evalúa la importancia relativa del horizonte *i* en el perfil del suelo (factor de ponderación del horizonte respectivo).

Todos estos factores se evalúan en cada uno de los *n* horizontes morfológicos del suelo, hasta alcanzar la respectiva profundidad efectiva del suelo, pero en todo caso hasta una profundidad máxima de:

30 cm si el cultivo indicador es de poca profundidad de enraizamiento (< 30 cm).

60 cm si el cultivo indicador es de moderada profundidad de enraizamiento (30 - 60 cm).

100 cm si el cultivo indicador es de mucha profundidad de enraizamiento (> 60 cm).

Para todos los factores del índice de productividad mencionados anteriormente, el valor 1,0 corresponderá solamente a la condición óptima que ofrece el factor para el crecimiento radical. Es decir, el factor valdrá 1,0

solamente cuando la condición de suelo que representa el factor respectivo no ofrezca ningún grado de limitación al desarrollo y crecimiento de las raíces del cultivo indicador.

La interacción suelo-clima es una de las consideraciones más resaltantes en el momento de evaluar el índice de productividad del suelo. A los efectos de considerar el clima, la metodología considera la relación entre precipitación (P) y evapotranspiración (ETP) como criterio para definir los tipos climáticos, tal como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2.

Tipos climáticos en función de la relación P/ETP.

Tipo climático	Relación P/ETP
seco	< 0,50
subhúmedo a seco	0,50 - 2,00
húmedo	> 2,00

Fuente: Delgado. (2.003)

Evaluación de los factores del Índice de Productividad del suelo (IP)

Factor A

Este factor evalúa las condiciones que regulan las relaciones agua-aire del horizonte *i* del suelo respectivo. Tales relaciones están determinadas básicamente por dos subfactores: por un lado la capacidad de retención de agua útil en el suelo (subfactor A₁), y por el otro lado la capacidad de aireación del suelo (subfactor A₂).

Subfactor A₁

Evalúa el impacto de la capacidad de almacenamiento de agua útil, es decir agua en el suelo que está retenida entre un límite superior (capacidad de campo) y un límite inferior (marchitez permanente) de aprovechamiento por los cultivos. El límite superior de agua aprovechable (capacidad de campo) es la cantidad de agua retenida con una determinada succión mátrica, que, para el caso de suelos de los Andes venezolanos dependerá de la granulometría del suelo, según se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3.

Succión mátrica del suelo correspondiente con el límite superior de agua útil (capacidad de campo), en función de la granulometría.

Granulometría predominante	Succión mátrica a capacidad de campo (Kpa)
fina	- 50
media	- 30
gruesa	- 15

Fuente: Delgado. (2.003)

Para el límite inferior de agua aprovechable (marchitez permanente), se utiliza la cantidad de agua retenida a una succión mátrica de -1500 Kpa.. Ambos límites de agua aprovechable son valores indirectos obtenidos en laboratorio, utilizando platos y ollas de presión. El valor de agua útil se calcula después con la ecuación 2, previa corrección por presencia de fragmentos gruesos en el perfil.

$$W = LS - LI \quad (2)$$

donde:

W es el contenido de agua útil (% en peso)

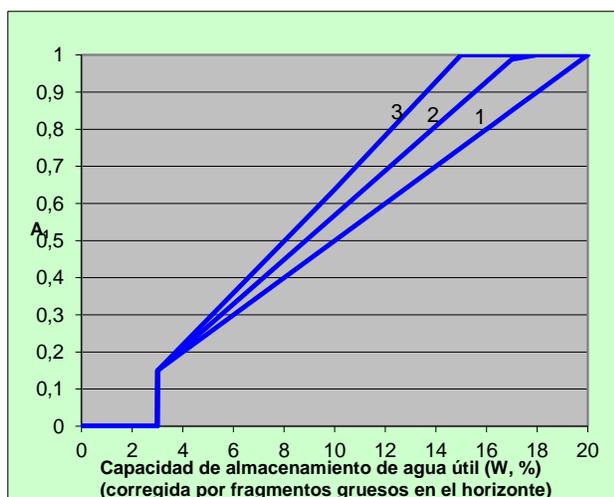
LS es el límite superior de agua útil (% en peso)

LI es el límite inferior de agua útil (% en peso)

Los valores del subfactor A_1 se obtienen de las relaciones indicadas en el Cuadro 4

Cuadro 4.

Relaciones para evaluar el subfactor A_1 : capacidad de almacenamiento de agua útil en el suelo (agua retenida entre capacidad de campo y marchitez permanente)



Agua útil (W, %)	Curva N°	Subfactor A_1
≤ 3	todas	0
3 - 20	1	$0,05 W$
	2	$0,06 (W) - 0,032$
	3	$0,07 (W) - 0,062$
> 20	todas	1

W = contenido gravimétrico de agua útil (%)

A_1 = subfactor que evalúa capacidad de almacenamiento de agua útil.

Curva N°	Sensibilidad a estrés hídrico	Cultivos
1	Alta	maíz, tomate, pimentón, ajo, cebolla, papa, berenjena, melón, caraota, hortalizas de hoja, fresas, flores, cambur, plátano, caña de azúcar.
2	Media	frijól, zanahoria, coliflor, remolacha, pepino, arveja, haba, lenteja, garbanzo, girasol, cítricos, durazno, café, cacao.
3	Baja	algodón, maní, sorgo, piña, mora, zábila, ciruela, pastos.

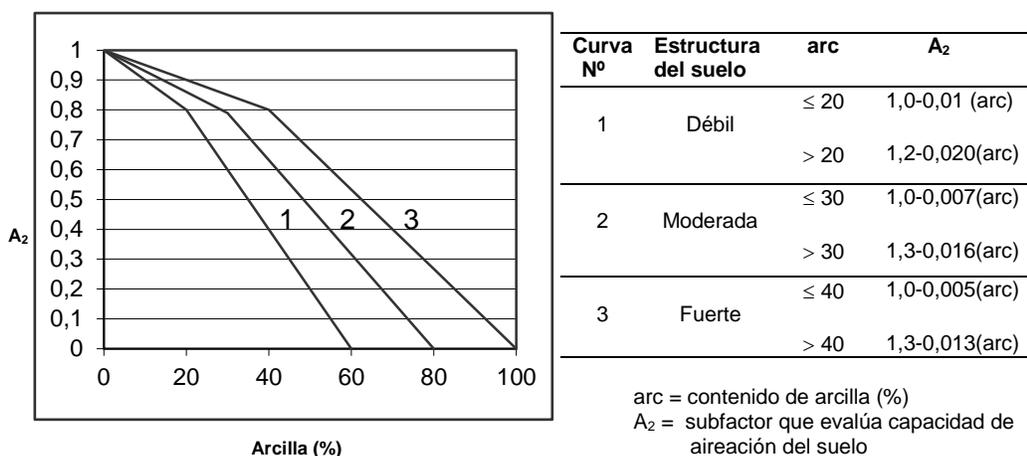
Fuente: Delgado. (2.003)

Subfactor A_2

Evalúa las condiciones que favorecen la aireación, estimada a partir del contenido de arcilla y del grado de desarrollo de la estructura de suelo del horizonte i , como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5.

Relaciones que condicionan la aireación del suelo.



Fuente: Delgado. (2.003)

La selección del sub-factor determinante se hace en correspondencia con el clima, de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- En clima seco ($P/ETP < 0,50$) : $A = A_1$
- En clima húmedo ($P/ETP > 2,00$): $A = A_2$
- En clima subhúmedo a seco ($0,50 \leq P/ETP \leq 2,00$) : $A =$ valor más limitante (el menor valor numérico) entre A_1 y A_2

Factor B

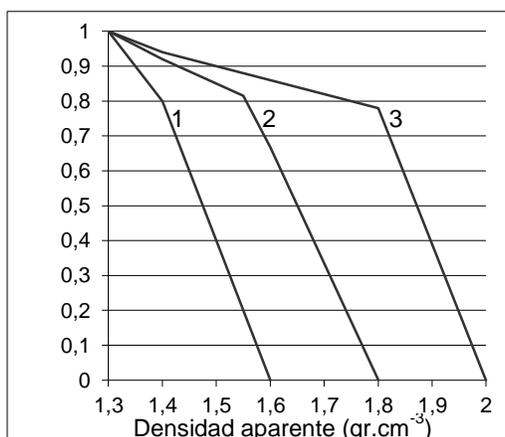
Evalúa condiciones que determinan las resistencias mecánicas (impedancias) a la exploración radical del cultivo en el horizonte i .

Subfactor B₁

Evalúa el efecto de la compactación del horizonte respectivo, a partir de la densidad aparente relacionándola con la textura predominante del suelo, según se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6.

Evaluación del efecto de la compactación del suelo sobre el crecimiento de raíces.



Curva N°	Texturas	DA	B ₁
1	finas	1,30 –	3,6- 2 (DA)
		1,40	
		1,41 – 1,60	
2	medias	1,30 –	1,9-0,7(DA)
		1,55	
		1,56 – 1,80	
3	gruesas	1,30 –	1,5-0,4 (DA)
		1,80	
		1,81 – 2,00	

B₁ = 1 si DA < 1,30 (para cualquier textura)

DA = densidad aparente (g.cm⁻³)

B₁ = valor del subfactor que evalúa compactación.

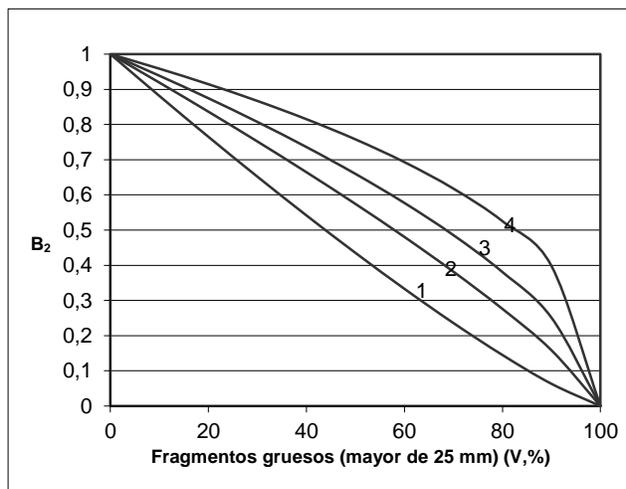
Fuente: Delgado. (2.003)

Subfactor B₂

Evalúa la resistencia que ofrecen los fragmentos gruesos en el suelo (> 25 mm de diámetro), sobre el crecimiento de raíces, según se muestra en el Cuadro 7

Cuadro 7.

Evaluación de la resistencia que ofrecen los fragmentos gruesos en el suelo sobre el crecimiento de raíces.



$$B_2 = (1 - g)^r$$

B_2 = subfactor que evalúa el contenido de fragmentos gruesos.

g = fracción decimal volumétrica de fragmentos gruesos con diámetro equivalente mayor de 25 mm.

r = coeficiente de capacidad explorativa de las raíces

r	capacidad explorativa	cultivos
1,20	baja	lechuga, repollo, coliflor, ajo, cebolla, zanahoria, remolacha, papa.
0,80	moderada	maíz, sorgo, frijol, caraota, soya, tomate, pimentón, yuca, berenjena, pepino, melón, patilla, piña, musáceas,
0,60	alta	cacao, café, caña de azúcar, pastos.
0,40	muy alta	árboles frutales.

Fuente: Delgado. (2.003)

La selección del subfactor determinante se hace de acuerdo a las siguientes consideraciones:

-Si el contenido volumétrico de fragmentos gruesos en el horizonte del suelo es $\leq 30\%$, entonces: $B = B_1$ (densidad aparente)

-Si el contenido volumétrico de fragmentos gruesos en el suelo es $> 30\%$, entonces: $B = B_2$ (fragmentos gruesos)

Factor C

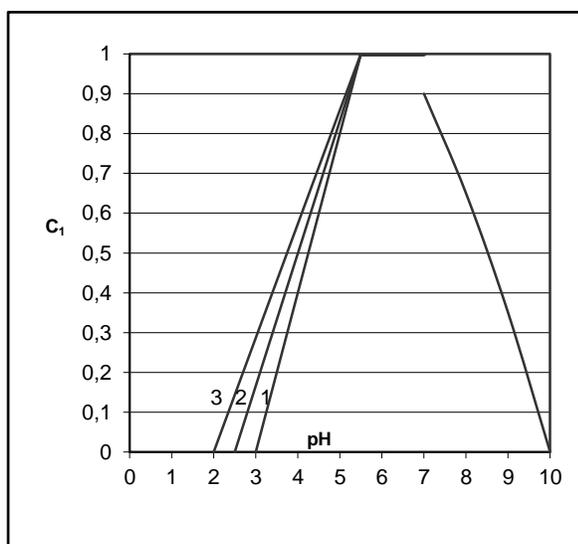
Evalúa condiciones que regulan la fertilidad potencial del horizonte i .

Subfactor C_1

Evalúa la reacción del suelo (pH), según se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8.

Evaluación de la reacción del suelo (pH) sobre el crecimiento de raíces.



Curva Nº	Tolerancia a acidez	C_1
1	Baja	0,4 (pH) – 1,2
2	moderada	0,333 (pH) – 0,833
3	Alta	0,286 (pH) – 0,571

pH = en el extracto suelo-agua, relación 1:1

C_1 = subfactor que evalúa la reacción (pH)

para pH > 7, $C_1 = -2,68 + 1,22 (\text{pH}) - 0,102 (\text{pH})^2$

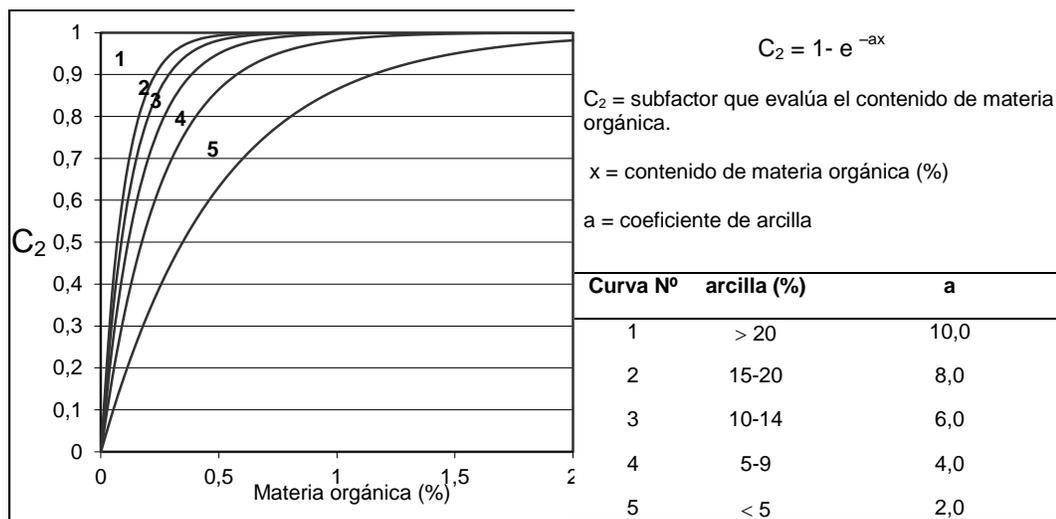
Fuente: Delgado. (2.003)

Subfactor C_2

Evalúa el contenido de materia orgánica en el suelo, según se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9.

Evaluación del efecto de la materia orgánica en el suelo.



Fuente: Delgado. (2.003)

El factor C se evalúa en interacción con el clima, de la manera siguiente:

En clima húmedo ($P/ETP > 2,00$): $C = C_1$

-En clima seco ($P/ETP < 0,50$): $C = C_2$

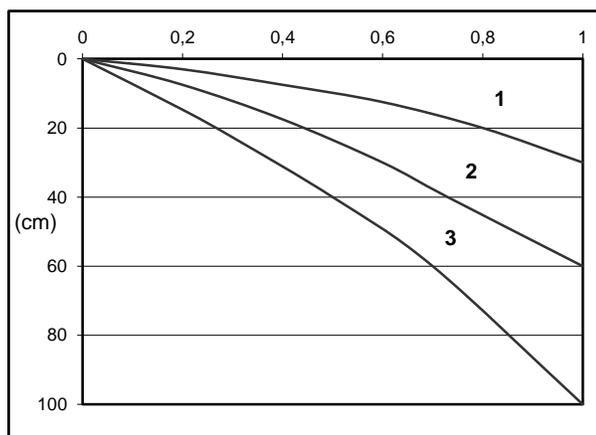
-En clima subhúmedo a seco ($0,50 \leq P/ETP \leq 2,00$): $C =$ valor más limitante (el menor valor numérico) entre C_1 y C_2 .

Factor K

Evalúa la profundidad efectiva del suelo, así como la importancia relativa del horizonte i en el perfil (factor de ponderación del horizonte respectivo), según lo indicado en el Cuadro 10.

Cuadro 10

Procedimiento para calcular el factor de ponderación (K) de los horizontes del suelo.



Curva N°	Profundidad de enraizamiento del cultivo (cm)	K_{acum}
1	<30	$0,106 p^{0,66}$
2	30 - 60	$0,045 p^{0,76}$
3	> 60	$0,028 p^{0,78}$

K_{acum} = factor de ponderación **acumulado** hasta el **límite inferior** del horizonte i

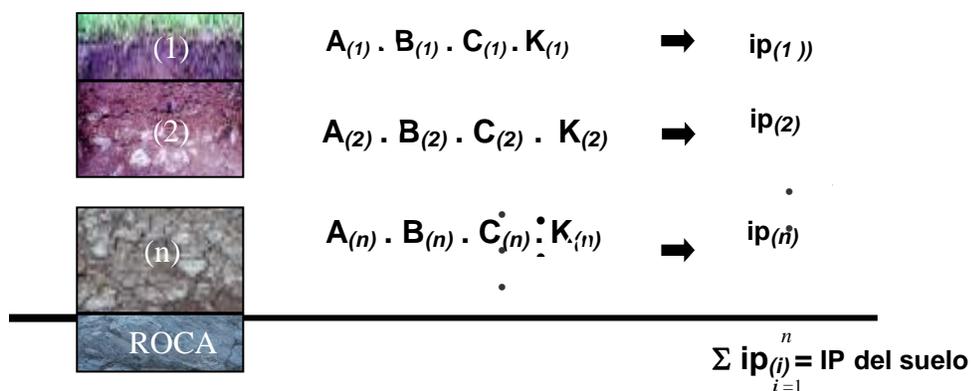
p = profundidad hasta el **límite inferior** del horizonte i , medida desde la superficie del suelo (cm).

Fuente: Delgado. (2.003)

Para el horizonte i considerado el factor K_i se calcula de acuerdo con la ecuación 3.

$$K_i = K_{acum. (i)} - K_{acum. (i-1)} \quad (3)$$

Una vez calculados los factores del índice de productividad para cada uno de los horizontes, el procedimiento para calcular el índice de productividad del suelo se ilustra en la Figura 19.



$ip_{(i)}$ = índice de productividad del horizonte i
 IP = índice de productividad del suelo

Figura 19. Procedimiento general para calcular el índice de productividad (IP) del suelo.

Los valores de los factores **A**, **B**, **C** y **K** del Índice de Productividad (IP) se pueden calificar en función del grado en que cada uno de ellos contribuye a limitar la productividad del suelo. En el Cuadro 11 se indica la calificación de estos factores en función de su respectivo grado de limitación.

Cuadro 11.

Calificación del grado de limitación, en función del valor de los factores que determinan el índice de productividad del suelo.

Grado de limitación	Valor del factor (A, B, C, K)
muy severa	$\leq 0,25$
severa	0,26 – 0,50
moderada	0,51 – 0,75
ligera	$\geq 0,75$

Fuente: Delgado. (2.003)

De igual manera, los valores relativos de productividad del suelo, estimados a través del Índice de Productividad (IP), se pueden calificar de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 12.

Cuadro 12.

Calificación de la productividad del suelo en función de los valores del Índice de Productividad (IP).

IP	Productividad del suelo	Intensidad de uso agrícola de la tierra
$\leq 0,15$	Baja	Se requieren prácticas muy intensivas de manejo de suelos para mejorar significativamente la baja productividad. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo no debe ser mayor de 3:1
0,16-0,35	Moderada	No más de una (1) cosecha al año de cultivos de ciclo corto y con prácticas intensivas de manejo de suelos para mejorar su productividad. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo puede ser de 3:1 a 6:1

0,36-0,50	Alta	Hasta dos (2) cosechas de cultivos de ciclo corto al año, con prácticas moderadas de manejo de suelos. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo puede ser de 6:1 a 10:1
> 0,51	Muy alta	Es posible realizar hasta tres (3) cosechas de cultivos de ciclo corto al año con prácticas moderadas <i>de</i> manejo de suelos. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año descanso del suelo puede ser igual o mayor de 10:1

Fuente: Delgado. (2.003)

B. Riesgo de erosión

Se utilizó el modelo propuesto en el trabajo de Delgado (2.003) que toma en consideración tres factores fundamentales para estimar la susceptibilidad de un suelo a la erosión hídrica: las características hidrológicas del suelo que favorecen su capacidad de escorrentía, la agresividad de las lluvias y la pendiente del terreno. En esta metodología el riesgo de erosión se estima a partir del Índice de Riesgo de Erosión (IRE), el cual se calcula con la ecuación 4:

$$\text{IRE} = \frac{\eta}{10 (1 - \alpha)} \quad (4)$$

donde:

IRE es el Índice de Riesgo de Erosión del suelo y tiene un valor entre 0,0 y 1,0; correspondiendo el valor 1.0 a un suelo que presenta las condiciones potenciales más favorables para que se desarrollen, eventualmente, severos procesos erosivos.

α evalúa el potencial de escorrentía del suelo.

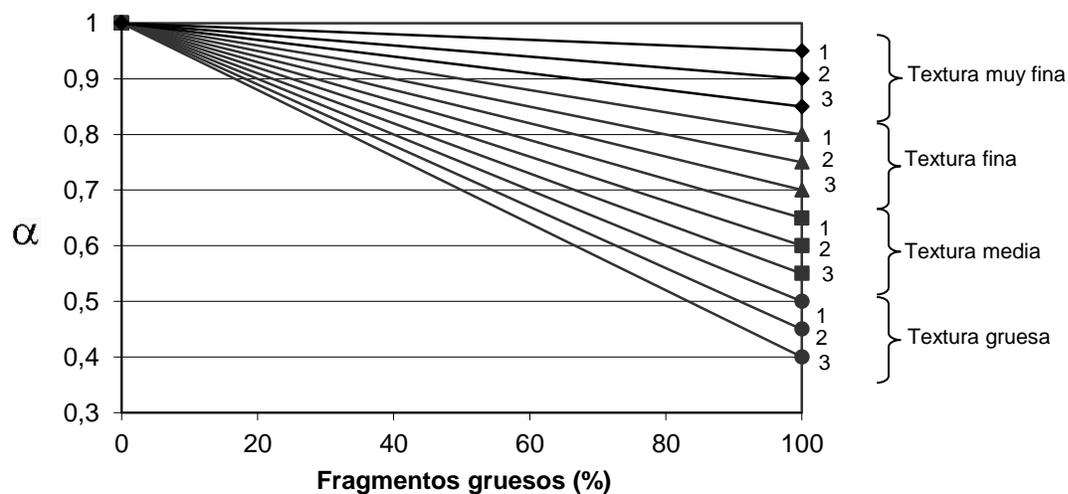
η evalúa el impacto de la agresividad de las lluvias en relación con la pendiente del terreno.

Evaluación de los factores del Índice de Riesgo de Erosión del suelo (IRE)

Factor α

Este factor evalúa el potencial relativo de escorrentía del suelo, a partir de la granulometría y el grado de desarrollo de la estructura del suelo. La granulometría incluye la determinación de la fracción fina del suelo (partículas ≤ 2 mm) y los fragmentos gruesos (partículas > 2 mm). La estructura incluye principalmente la evaluación de su grado de desarrollo (débil, moderada o fuerte). Ambas características físicas determinan la porosidad del suelo, que es la responsable fundamental de las relaciones infiltración-escorrentía, para una determinada condición de humedad.

El valor α se obtiene a partir de las ecuaciones que se indican en el Cuadro 13, considerando solamente el horizonte superficial del suelo.

Cuadro 13.Funciones para calcular el factor α del índice de riesgo de erosión.

1 estructura débil
 2 estructura moderada
 3 estructura fuerte

Granulometría predominante	Texturas	Estructura	α
gruesa	Arenosas, areno-francosas, franco-arenosas.	Débil	0,7 – 0,20 (g)
		Moderada	0,7 – 0,25 (g)
		Fuerte	0,7 – 0,30 (g)
media	Francas, franco-arcillosas, Franco-arcillo-arenosas.	Débil	0,8 – 0,15 (g)
		Moderada	0,8 – 0,20 (g)
		Fuerte	0,8 – 0,25 (g)
fina	Limosas, franco-limosas, Arcillo-arenosas.	Débil	0,9 – 0,10 (g)
		Moderada	0,9 – 0,15 (g)
		Fuerte	0,9 – 0,20 (g)
muy fina	Arcillosas, arcillo-limosas, Franco-arcillo-limosas.	Débil	1,0 – 0,05 (g)
		Moderada	1,0 – 0,10 (g)
		Fuerte	1,0 – 0,15 (g)

donde:

α = valor del factor que evalúa el potencial de escorrentía del suelo
 g = fracción decimal *volumétrica* de fragmentos gruesos (> 2 mm)

Fuente: Delgado. (2.003)

Factor η

Este factor evalúa la interacción entre la agresividad climática y la topografía, y su incidencia sobre el riesgo de erosión. El valor del factor se

determina a partir de la evaluación del Índice de Fournier (Fournier 1960; citado en FAO-PNUMA 1980), el cual calcula la concentración relativa anual de las lluvias, y permite estimar su grado de erosividad. El Índice de Fournier es un indicador del grado en que se concentran las precipitaciones de un área durante la época húmeda, en relación a la precipitación total anual de esa misma área. Este índice ha sido correlacionado satisfactoriamente con descargas anuales de sedimentos en cuencas tropicales de varias partes del mundo. Se determina mediante la ecuación 5:

$$\mathbf{F} = \mathbf{p}^2 / \mathbf{P} \quad (5)$$

donde:

F = Índice de Fournier

p = precipitación media mensual del mes más lluvioso del año (mm)

P = precipitación media anual (mm)

Para garantizar un índice consistente, es necesario que los datos de precipitación procedan de estaciones pluviométricas con al menos diez años de registro.

Valores de referencia para el índice de Fournier se indican en el Cuadro 14.

Cuadro 14.

Valores de referencia del Índice de Fournier (**F**), para áreas montañosas tropicales.

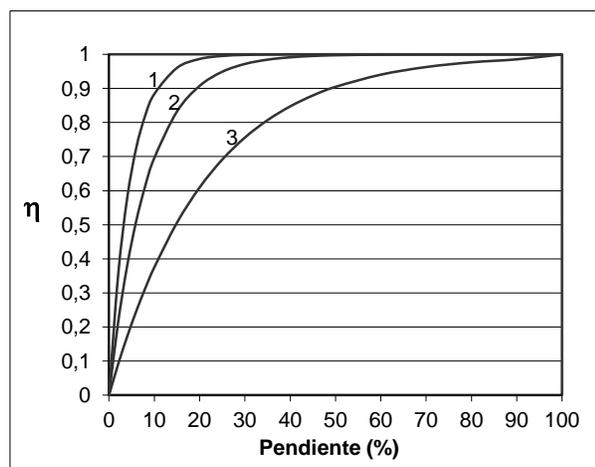
F	Calificación
< 15	Muy bajo
15 – 30	Bajo
31 – 50	Moderado
51 – 65	Alto
> 65	Muy alto

Fuente: Delgado. (2.003)

El valor η se obtiene a partir de la interacción entre el índice de Fournier y la pendiente media del terreno. El impacto de estas interacciones para evaluar el riesgo de erosión se indica en el Cuadro 15.

Cuadro 15.

Funciones para calcular el factor η del índice de riesgo de erosión.



Curva N°	Índice de Fournier
1	> 30
2	15 – 30
3	< 15

Fuente: Delgado. (2.003)

Los valores de los factores α y η del Índice de Riesgo de Erosión (IRE) se pueden calificar en función del grado en que cada uno de ellos contribuye a

potenciar el riesgo de erosión del suelo. En el Cuadro 16 se indica la calificación de estos factores en función de su respectivo grado de limitación del uso de la tierra.

Cuadro 16.

Calificación del grado de limitación del uso de la tierra en función del valor de los factores que determinan el índice de riesgo de erosión.

Valor del factor (α, η)	Grado de limitación
$\leq 0,30$	Ligera
0,31 – 0,60	Moderada
$> 0,61$	Severa

Fuente: Delgado. (2.003)

Los valores relativos de riesgos de erosión hídrica de una unidad de tierra, estimados a través del índice de riesgo de erosión (IRE), se pueden calificar de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 17.

Cuadro 17.

Calificación de los riesgos de erosión, en función de los valores del Índice de Riesgo de Erosión (IRE), señalando los requerimientos generales de conservación de suelos. (Delgado 2.003)

IRE	Riesgo de erosión	Requerimientos de conservación de suelos
≤ 0,10	Bajo	Se requerirán prácticas ligeras de conservación de suelos, dirigidas principalmente a mejorar la capacidad de infiltración o la resistencia intrínseca del suelo a la erosión a través de: sistemas de labranza conservacionista y manejo de cantidades moderadas de residuos vegetales en superficie, abonos verdes, incorporación de mejoradores orgánicos y enmiendas, manejo de densidades de siembra y rotaciones de cultivos.
0,11-0,30	Moderado	Se requerirán prácticas moderadas de conservación de suelos, combinando prácticas de manejo de suelos (labranza conservacionista con cantidades moderadas a altas de residuos en superficie, abonos verdes y mejoradores orgánicos) con manejo de coberturas vegetales (cultivos de cobertura, siembras de alta densidad y cultivos asociados) y/o prácticas moderadas para reducir escurrimientos en laderas (cultivos en contorno, cultivos en fajas, cultivos en callejones y barreras vivas).
0,31-0,60	Alto	Altos requerimientos de conservación de suelos, combinando prácticas intensivas de manejo de suelos con coberturas vegetales moderadamente densas y prácticas para el control de escurrimientos en laderas. Si se realiza labranza, deben adoptarse sistemas altamente conservacionistas (labranza-cero, labranza sobre camellones o labranza-mulch, con altas cantidades de residuos en superficie). Estas prácticas deben complementarse en lo posible con barreras vivas, fajinas altas, acequias de ladera o zanjas de absorción para controlar escurrimientos en laderas. Se deben preferir coberturas permanentes, agroforestería o cultivos bajo sombra.
> 0,61	Muy alto	Muy altos requerimientos de conservación de suelos. Generalmente la labranza no es factible en las condiciones naturales del terreno. Se prefieren cultivos permanentes, los cuales deben sembrarse sobre terrazas individuales trazadas en contorno y usando coberturas densas entre hileras. La utilización de estas tierras no debe hacerse con cultivos de ciclo corto. De hacerlo se necesitarán prácticas muy intensivas de conservación de suelos para modificar sustancialmente la pendiente del terreno, utilizando terrazas de banco con talud o con muros de piedras y manteniendo en ellas un manejo adecuado de los suelos.

Clasificación agrícola de las tierras montañosas

Los índices de productividad del suelo (IP) y riesgo de erosión (IRE), permiten finalmente establecer un sistema de clasificación de tierras agrícolas para áreas montañosas tropicales con base en estas dos cualidades fundamentales. Este sistema se muestra en el Cuadro 18.

Cuadro 18.

Sistema para la clasificación de tierras y priorización de la conservación de suelos en áreas montañosas tropicales.

Índice de Riesgo de Erosión (IRE)

<i>Índice de Productividad del suelo (IP)</i>	$\leq 0,10$ (bajo)	0,11-0,30 (moderado)	$> 0,31-0,60$ (alto)	$>0,61$ (muy alto)	Uso general de la tierra
$\leq 0,15$ (bajo)	<i>Tierras en reserva (R)</i>		<i>Tierras en condición crítica (C)</i>		Vegetación permanente
0,16-0,35 (moderado)	(4ª prioridad de tratamiento conservacionista)		(2ª prioridad de tratamiento conservacionista)		Cultivos especiales Agroforestería
0,36-0,50 (alto)	<i>Tierras en condición sub-crítica (S)</i>		<i>Tierras en condición super-crítica (P)</i>		Agricultura semi-intensiva
$>0,51$ (muy alto)	(3ª prioridad de tratamiento conservacionista)		(1ª prioridad de tratamiento conservacionista)		Agricultura Intensiva
	Ligeros	Moderados	Altos	Muy altos	

Requerimientos de conservación de suelos

Fuente: Delgado. (2.003)

En tal sistema las tierras se clasifican en cuatro (4) categorías principales:

Tierras en condición supercrítica (P)

Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad alta a muy alta, pero con fuertes riesgos de erosión. Son tierras que, si están bajo uso agrícola, deben ser incorporadas de inmediato en programas permanentes e intensivos de conservación de suelos. Se ubican en el primer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

Tierras en condición crítica (C)

Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad moderada a baja, pero en condiciones que determinan fuertes riesgos de erosión. Estas tierras podrían ser incorporadas en *programas especiales de agricultura* con cultivos específicos para suelos de baja productividad, o utilizadas con usos no agrícolas pero con un fuerte componente conservacionista. Estas tierras podrían ser incorporadas eventualmente a usos agrícolas más intensivos cuando se hayan ejecutado prácticas de manejo de suelos dirigidas a mejorar su productividad combinadas con prácticas intensivas de conservación de suelos. Se ubican en el segundo nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

Tierras en condición subcrítica (S)

Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad alta a muy alta, con ligeros riesgos de erosión. Estas tierras son ideales para la producción agrícola continua, intensiva y diversificada, con amplia gama de cultivos pero con programas permanentes de manejo conservacionista que permitan

garantizar el mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos. Se ubican en el tercer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

Tierras en reserva (R)

Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad moderada a baja, con ligeros riesgos de erosión. Estas tierras pueden ser utilizadas con usos agrícolas limitados y reducida gama de cultivos, o usadas con propósitos no agrícolas. Se consideran generalmente como tierras marginales para programas de conservación de suelos. Podrían ser eventualmente incorporadas a usos agrícolas más intensivos al mejorarse sustancialmente la productividad de sus suelos. Se ubican en el cuarto nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

Prácticas de manejo y conservación de los suelos

En relación a las tecnologías más apropiadas para la conservación de suelos en áreas montañosas tropicales, conviene subrayar que diversos autores han señalado no solamente las bondades técnicas de los métodos de manejo de suelos y coberturas vegetales sobre las obras de control de escurrimientos en laderas, sino que, además, han resaltado la manera en que aquellos métodos son más fácilmente adoptados por los agricultores, bajos esquemas de agricultura conservacionista de laderas tratados en Hudson,1988; Shaxson,1988, 1992; Sanders,1992; Benites,1993; Latham,1995; Sharma,1996; Künzel,1996; Agus *et al*,1998 y FAO, 1999 ; (citados en MAG 2.008).

En la actualidad existe una tendencia creciente hacia la adopción de estrategias orientadas a lograr una mayor incorporación de los agricultores

en las actividades de conservación de suelos, a través de programas integrados a planes de producción agrícola, pecuaria o forestal. En este sentido, los programas modernos y generalmente más exitosos de conservación de suelos en laderas apuntan a lo que ha dado en llamarse Agricultura Conservacionista, concepto que pretende puntualizar que el énfasis debe colocarse por igual tanto en lo agrícola (o lo productivo), como en lo estrictamente conservacionista, como una estrategia para garantizar una mayor participación de los usuarios y alcanzar resultados exitosos en programas de esta naturaleza.

La Agricultura Conservacionista se inclina entonces por el uso de tecnologías que buscan mejorar sostenidamente la productividad, conservando al mismo tiempo la base de recursos naturales. En este orden de ideas se inscriben otras aproximaciones que conciernen por igual a esta estrategia y tienen absoluta vigencia en la agricultura sostenible de laderas tropicales, MAG menciona por ejemplo, la *Agricultura Alternativa* NRC, el enfoque de *Land Husbandry* (Shaxson), la *Agroforestería* (Young), la *Labranza Conservacionista* (Lal *et al*), el *Manejo Integrado de Nutrientes* (Swift *et al*), el *Manejo de Suelos, Agua y Nutrientes* (Greenland *et al*), el movimiento *Landcare* (Campbell) o el *Manejo Sostenible de Suelos* (Grieder).

Hoy día, existen muy variados métodos, técnicas y prácticas de manejo y conservación de suelos de ladera que han sido comprobados en diversas condiciones ambientales del trópico. Sin embargo, generalmente en las tierras altas de la América Tropical, se ha hecho énfasis en obras físicas o estructuras de conservación de suelos dirigidas al control de escurrimientos concentrados, es decir, fundamentalmente diques para el control de cárcavas y torrentes, así como también en tratamientos de tierras para controlar escurrimientos en laderas, utilizando obras como los muros de piedra,

terrazas de banco, acequias de ladera o zanjas de absorción. Relativamente menos se ha hecho en relación con la difusión y aplicación de prácticas de mejoramiento de suelos, manejo de coberturas o estructuras vegetales en terrenos inclinados, las cuales, por lo general, son adoptadas con relativa facilidad por los agricultores debido a que son generalmente menos costosas, se integran e incorporan fácilmente a las prácticas cotidianas de manejo agronómico de los cultivos y se orientan a controlar las causas originarias de la erosión del suelo, es decir, a reducir el desprendimiento y arrastre de suelo.

El problema de la conservación de suelos de ladera puede resolverse, técnicamente, a través de la selección, diseño y ejecución de distintas alternativas, la mayoría de ellas disponibles para ser aplicadas solas o combinadas en diversos sistemas de agricultura sostenible de montaña.

Clasificación de las prácticas de manejo y conservación de suelos para tierras montañosas tropicales

En esta metodología se propone una clasificación funcional de las prácticas más comunes de manejo y conservación de suelos de laderas tropicales.

Las distintas prácticas de conservación se agrupan en tres (3) categorías principales:

Categoría I: prácticas dirigidas a reducir la erosionabilidad del suelo o los impactos de la erosividad de la lluvia (Prácticas verdes).

Categoría II: prácticas dirigidas a reducir los impactos de la escorrentía en laderas (Prácticas azules).

Categoría III: prácticas complementarias (Prácticas amarillas).

Las prácticas correspondientes a estas categorías principales se presentan en los Cuadros 19, 20 y 21.

Categoría I

Las alternativas que integran esta categoría (Cuadro 21), incluyen prácticas de mejoramiento de suelos y uso de coberturas que están dirigidas a crear condiciones que mejoren significativamente la productividad del suelo, así como a reducir los riesgos de desprendimiento y arrastre por efecto del impacto de la energía de las precipitaciones.

Estas prácticas, en conjunto, contribuyen a:

- a. Mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas estrechamente vinculadas a la productividad del recurso: la profundidad efectiva del suelo, la aireación, la capacidad de almacenamiento de agua y la capacidad de almacenar y aportar nutrientes a las plantas.

- b. Mejorar la estructura del suelo para mitigar los impactos de los agentes erosivos: aumentar la agregación y la porosidad del suelo, eliminar factores limitantes (capas compactadas, sellos y costras superficiales), mejorar la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua.

- c. Mejorar la cobertura superficial del suelo, para protegerlo de los impactos directos de la energía de la lluvia.

Cuadro 19.

Categoría I: Prácticas dirigidas a mejorar la productividad y la resistencia del suelo a la erosión, así como a reducir los impactos de la erosividad de las lluvias.

Grupo I-A Mejoramiento de Suelos (MS)	Grupo I-B Manejo de Coberturas Vegetales (MC)
MS-1 Labranza reducida	MC-1 Cultivos de cobertura (coberturas vivas)
MS-2 Labranza vertical	MC-2 Mulch de residuos (coberturas muertas)
MS-3 Labranza sobre cubierta (mulch)	MC-3 Siembras de alta densidad
MS-4 Labranza-cero (siembra directa)	MC-4 Cultivos múltiples
MS-5 Labranza sobre camellones	MC-5 Rotación de cultivos
MS-6 Escarificación superficial del suelo	MC-6 Cultivos asociados o intercalados
MS-7 Subsulado	MC-7 Cultivos tolerantes
MS-8 Inversión de capas de suelo	MC-8 Plantación de árboles frutales
MS-9 Aplicación de fertilizantes	MC-9 Cultivos bajo sombra
MS-10 Incorporación de restos de cosecha	MC-10 Pastizales
MS-11 Incorporación de abonos orgánicos	MC-11 Agroforestería
MS-12 Abonos verdes	MC-12 Reforestación
MS-13 Enmiendas para suelos ácidos	MC-13 Revegetación natural
MS-14 Enmiendas para suelos sódicos	
MS-15 Acondicionadores sintéticos	

Fuente: Delgado. (2.003)

Estas prácticas son apropiadas para ser usadas solas, combinadas entre sí o combinadas con prácticas del Grupo 3, en todos los sistemas de agricultura de laderas. Algunas también se pueden incorporar en sistemas de producción pecuario, forestal, agroforestal o mixtos. Son prácticas para ser medidas, como las obras o estructuras para el control de la escorrentía en laderas, las cuales generalmente no se dirigen a solucionar las causas

originales del fenómeno de la erosión hídrica, además de ser, por lo general, menos aceptadas por la mayoría de los agricultores.

Categoría II

Esta categoría está integrada por cuatro grupos de prácticas (Cuadro 20). Las medidas que integran el Grupo II-A incluyen técnicas para la disposición de cultivos u otros tipos de vegetación, viva o muerta, en forma tal que contribuyan a reducir significativamente la velocidad del agua de escorrentía, y por ende, a disminuir su efecto erosivo. Son particularmente útiles si se les combina con prácticas de los Grupos I-A y I-B.

Las prácticas de los Grupos II-B, II-C y II-D, incluidas también en esta categoría, constituyen las denominadas obras o estructuras de conservación de suelos de laderas, y están dirigidas a reducir el impacto de la escorrentía, bien sea captándola y desviándola hacia lugares donde no genere daños (Grupo II-B), o modificando sustancialmente la longitud y el gradiente de la pendiente para reducir significativamente el efecto erosivo del agua de escorrentía (Grupos II-C y II-D). Estas obras deben tener un carácter suplementario, es decir, deben ser ejecutadas solamente si las prácticas correspondientes a los tres primeros grupos no son suficientes para controlar los procesos erosivos.

Cuadro 20.

Categoría II: Prácticas dirigidas a reducir los impactos de la escorrentía.

Grupo II-A		Grupo II-B	
Amortiguación de la velocidad de escurrimientos en laderas (AE)		Captación y/o conducción de escurrimientos en laderas (CE)	
AE-1 Siembras en contorno		CE-1 Canales de desviación	
AE-2 Barreras vivas		CE-2 Acequias de ladera	
AE-3 Barreras de residuos vegetales		CE-3 Zanjas de absorción	
AE-4 Cultivos en fajas		CE-4 Zanjas filtrantes	
AE-5 Cultivos en callejones		CE-5 Zanjas trinchera	
		CE-6 Terrazas de bordos anchos (drenaje)	
		CE-7 Terrazas de bordos anchos (absorción)	
		CE-8 Terrazas de bordos angostos	
		CE-9 Surcos en contorno	
Grupo II-C		Grupo II-D	
Modificación de la longitud de la pendiente (LP)		Modificación del gradiente de la pendiente (GP)	
LP-1 Fajinas		GP-1 Muros de piedra	
LP-2 Barreras de piedras		GP-2 Terrazas de bancos continuos	
LP-3 Diques de ladera		GP-3 Terrazas de bancos alternos	
LP-4 Diques para control de cárcavas		GP-4 Terrazas individuales	

Fuente: Delgado. (2.003)

Categoría III

Finalmente, las medidas correspondientes a la tercera categoría (Cuadro 21), incluyen prácticas complementarias que pueden ejecutarse conjuntamente con cualquiera de las prácticas de los grupos anteriores, y se orientan generalmente a mejorar alguna condición limitante del terreno o a mejorar el comportamiento, la eficiencia o la protección general de las prácticas principales.

Cuadro 21.

Categoría III: Prácticas complementarias.

Grupo III Prácticas complementarias (PC)	
PC-1	Despiedre del terreno
PC-2	Nivelación del terreno
PC-3	Riego por aspersión
PC-4	Riego localizado
PC-5	Drenajes superficiales
PC-6	Drenajes internos
PC-7	Contrafuegos
PC-8	Cercas protectora
PC-9	Cortinas rompevientos
PC-10	Senderos para el ganado

Fuente: Delgado. (2.003)

Selección sistemática de las prácticas de conservación de suelos

La metodología propuesta en este trabajo contribuye a orientar la selección de las prácticas de manejo y conservación de suelos, al ayudar a responder las siguientes interrogantes:

¿Cuál es la cualidad de la tierra que más limita el uso agrícola: la productividad del suelo o el riesgo de erosión?

¿Cuál(es) (son) la(s) característica(s) (los factores) más limitante(s) de la cualidad?:

Para la productividad del suelo:

¿Las relaciones aire-agua?

¿Las resistencias mecánicas

¿La fertilidad potencial?

Para el riesgo de erosión:

¿Las relaciones precipitación-escorrenría del suelo?

¿La agresividad de las precipitaciones?

¿La pendiente del terreno?

En función de las principales limitaciones detectadas en el análisis de los factores correspondientes a la productividad del suelo, en el Cuadro 22 se señalan algunas prácticas de manejo y conservación que podrían ser utilizadas para mejorarla.

Cuadro 22.

Identificación de algunas prácticas de manejo y conservación para reducir las principales limitaciones a la productividad del suelo.

Condición limitante del suelo	Factor limitante	Subfactor limitante	Prácticas de manejo y conservación de suelos (*)
Relaciones aire-agua	A	A₁ (retención de agua útil)	MS-3, MS-4, MS-11, MS-12, MS-15, CE-3, CE-4, CE-5, CE-7, PC-3, PC-4
		A₂ (capacidad de aireación)	MS-1, MS-5, MS-8, MS-10, MS-15, MC-7, CE-1, CE-2, CE-6, PC-2, PC-5, PC-6
Resistencias mecánicas para la exploración radical	B	B₁ (densidad aparente)	MS-2, MS-6, MS-7, MS-8, MS-10, MS-11, MS-12, MS-15
		B₂ (fragmentos gruesos)	PC-1, MS-1, MS-2, MC-4, MC-6, MC-7, MC-8, MC-10, MC-11, MC-12
Fertilidad potencial	C	C₁ (pH)	MS-9, MS-10, MS-11, MS-12, MS-13, MC-5, MC-7, MC-10, MC-11
		C₂ (materia orgánica)	MS-10, MS-11, MS-12, MS-14, MC-7, MC-10, PC-7

(*) Los códigos se explican en los cuadros 19, 20 y 21.

Fuente: Delgado. (2.003)

De igual manera, en función de las principales limitaciones detectadas en el análisis de los factores correspondientes al riesgo de erosión, en el Cuadro 23 se señalan algunas prácticas de manejo y conservación que podrían ser utilizadas para reducir tales riesgos.

Cuadro 23.

Identificación de algunas prácticas de manejo y conservación de suelos para reducir las principales limitaciones que potencian los riesgos de erosión.

Condición limitante de la tierra	Factor	Prácticas de manejo y conservación de suelos (*)
Potencial de escorrentía del suelo	α	MS-1, MS-2, MS-3, MS-4, MS-6, MS-7, MS-8, MS-10, MS-11, MS-12, MS-15, AE-1, AE-2, AE-3, AE-4, CE-1, CE-2, CE-6, CE-9, PC-5
Agresividad de las lluvias y/o pendiente del terreno	η	para agresividad de las lluvias: MS-3, MS-4, MS-5, MS-12, MC-1, MC-2, MC-3, MC-4, MC-5, MC-6, MC-8, MC-9, MC-10, MC-11, MC-12, MC-13 Para pendientes pronunciadas: CE-8, LP-1, LP-2, LP-3, LP-4, GP-1, GP-2, GP-3, GP-4, PC-3, PC-4, PC-8, PC-10

(*) Los códigos se explican en los cuadros 19, 20 y 21.

Fuente: Delgado. (2.003)

4.1.2. Procedimiento metodológico

4.1.2.1. Preliminar de oficina

Selección del área de estudio y recolección de información:
Para la selección del área se tomaron en cuenta criterios como el acceso, apoyo logístico, uso agrícola, la problemática ambiental, formas de relieve, áreas protegidas, estudios existentes, topografía,

importancia ambiental, e información básica disponible. Así mismo, se realizó la búsqueda y recopilación, análisis, clasificación de información bibliográfica, así como de información cartográfica básica y temática.

4.1.2.2. Trabajo de campo y laboratorio

Fase de reconocimiento: Consistió en realizar un recorrido por el área de estudio, con la finalidad de obtener una visión general; identificar el uso actual de la tierra, realizar el levantamiento de la poligonal de la micro cuenca, registro fotográfico, además de localizar y establecer la distribución de las parcelas de cultivo, atendiendo a la pendiente y textura del suelo. Selección de productores y parcelas.

Fase preparatoria: El trabajo de campo consistió en realizar la toma de muestras (Figura 20) según lo establecido en el diseño experimental. Se procedió a la apertura de los hoyos hasta la profundidad dada por el horizonte superficial. La toma de muestras se realizó de esta manera, en virtud que uno de los datos necesarios en la metodología a aplicar, es el valor de la densidad aparente, siendo el método del hoyo uno de los más adecuados en este caso para determinar dicho valor. Así mismo, se realizaron calicatas para recolectar información morfológica de los suelos mediante observación detallada (espesor, estructura, pedregosidad, entre otros).

Como actividad preliminar de laboratorio se procedió a procesar las muestras en donde se secó, tamizó y se determinó la de densidad aparente, así como los fragmentos gruesos a través de estimaciones volumétricas.

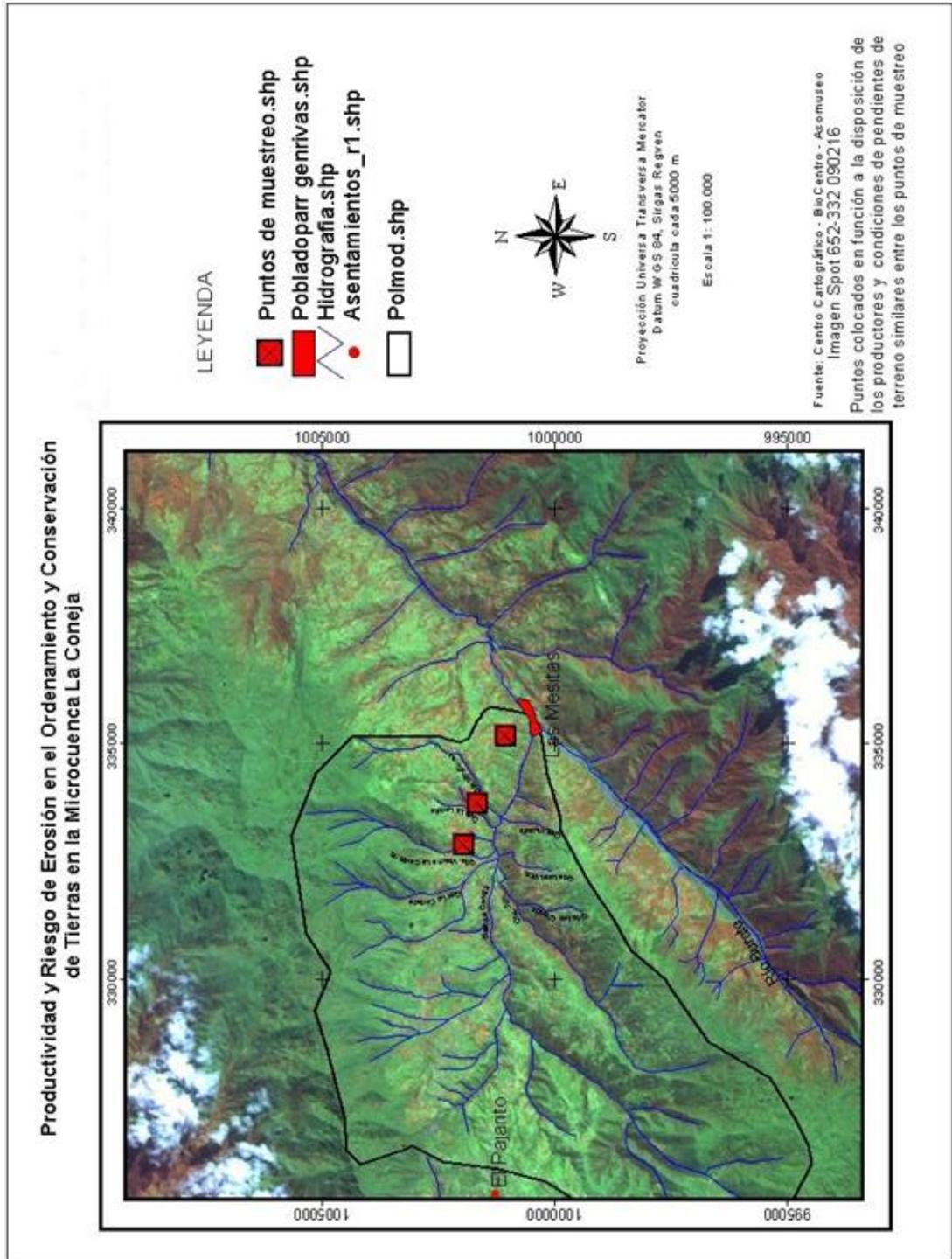
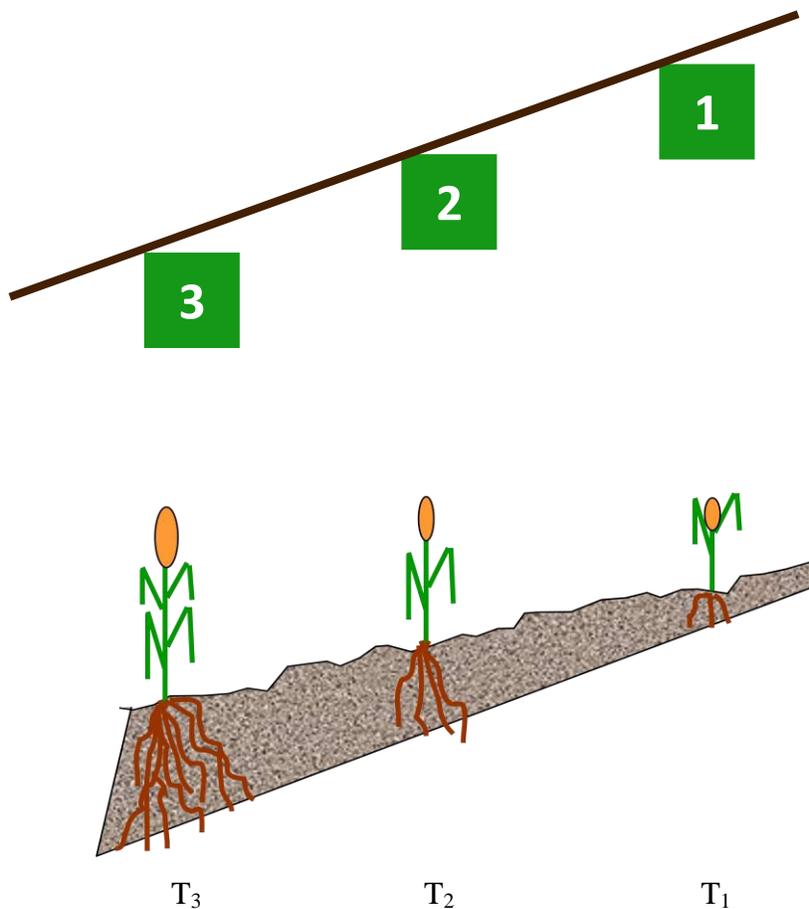


Figura 20. Puntos de muestreo

Por su parte, en laboratorio se determinaron las siguientes características, para cada una de las repeticiones: análisis mecánico (método de Bouyoucos); retención de humedad a 33 kPa y 1.500 kPa (método de Richards); pH en suelo:agua (1:1) (método potenciométrico) y materia orgánica (método de Walkley y Black). Además de los análisis pertinentes a los fines de clasificación de las calicatas para las fincas objeto de estudio.

4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se seleccionaron tres (3) parcelas de agricultores, ubicadas en las fincas El Higuero, El Mirador y Loma del Rancho de los sectores Visún, Lomas de Visún y Miraflores respectivamente. En cada una de las parcelas se establecieron tres (3) tratamientos, relacionados cada uno con el grado de remoción natural del suelo (espesor del horizonte superficial) a lo largo de la ladera: en la parte superior, intermedia e inferior (Figura 21). Cada tratamiento se repitió tres (3) veces en cada parcela y se usaron áreas experimentales de 16 m² para cada repetición, para un total de nueve (9) pruebas por área de estudio.



Tratamientos en ladera: 3= inferior 2= media 1= superior

Figura 21. Disposición de los tratamientos

4.2.1. EVALUACIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES

Para el cultivo de papa se determinaron las siguientes características: altura de plantas, peso y perímetro de los tubérculos, número de tubérculos por planta y largo de raíz. Todas estas determinaciones se realizaron en 10

plantas por cada repetición, tomadas al azar. El rendimiento del cultivo se determinó en cada repetición al momento de la cosecha, mediante mediciones pesadas con balanza.

4.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1.) Se realizó análisis de varianza combinado en el espacio según modelo de una vía de clasificación de parcelas de observación, por cuanto las características de los tratamientos no permiten el proceso de aleatorización usado en el proceso formal. Los promedios se compararon mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$); para las variables altura de plantas, peso y perímetro de los tubérculos, número de tubérculos por planta y largo de raíz. Se usó el paquete estadístico Statistix 8, con el siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{para } i=1,2,\dots,t \quad j=1,2,\dots,r.$$

Donde

Y_{ij} = representa la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento.

μ = es el efecto común de todo el experimento, es decir la media poblacional.

τ_i = representa el i-ésimo tratamiento.

ε_{ij} = denota el error aleatorio presente en la j-ésima réplica del i-ésimo tratamiento.

2.) Así mismo, se realizó un ajuste de modelos de regresión a los datos; para cuantificar el efecto de tratamiento (espesor del horizonte superficial) en las respuestas IP y rendimiento.

CAPÍTULO V

5.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.1. Índice de Productividad IP e Índice de Riesgo de Erosión IRE

Los suelos de las parcelas estudiadas, tienen una productividad variable, desde alta a muy alta, con predominio de alta productividad. En las parcelas El Mirador y Lomas del Rancho que presentan menor productividad de los suelos (Cuadro 24), se determinó que los factores B (resistencia mecánica a la exploración radical) y K (profundidad efectiva del suelo) son los que más contribuyen a limitar la productividad del suelo. Resultados similares fueron reportados por Pineda *et al* (2.009).

En cuanto a la parcela El Higuierón, todas las variables fueron favorables, con limitaciones moderadas de los factores A y C. Para el caso del factor A, la limitación obedece a la baja capacidad de almacenamiento de agua útil debido a los altos porcentajes de arena que presentan los suelos (subfactor A₁). Autores como Frye *et al* y Gollany *et al* (citados en Ferrer y López 2004) encontraron diferencias significativas en el contenido de agua disponible, realizando ensayos en parcelas establecidas en sitios que presentaban erosión natural y bajo condiciones de erosión simulada.

Por su parte, la limitación del factor C es atribuible al bajo contenido de materia orgánica (subfactor C₂), siendo esta variable uno de los principales factores de la productividad del suelo, incluyendo la biomasa microbiana (Lobo y Pulido, 2009). Así mismo, Bouyoucus, citado en Ferrer y López (2.004) plantea que la materia orgánica puede incrementar marcadamente la retención de agua a tensiones bajas (33 kP).

Cuadro 24.

Factores del Índice de Productividad e Índice de Riesgo de Erosión para las diferentes fincas.

Finca	El Higuierón	El Mirador	Loma del Rancho
Factor			
A	0,78	0,58	0,56
Subfactor A1	0,78	0,58	0,56
Subfactor A2	0,88	0,79	0,83
B	0,95	1,00	0,82
Subfactor B1	0,95	1,00	0,82
Subfactor B2	0,98	0,87	0,51
C	0,99	0,998	1,00
Subfactor C1	1,13	0,998	1,07
Subfactor C2	0,99	1,00	1,00
Ki	1,01	1,12	0,96
IP	0,74	0,65	0,44
Factor α	0,695	0,778	0,618
Textura predominante	gruesa	media	gruesa
Factor η	1	1	1
F	32,84	32,84	32,84
Pendiente %	38	38	45
ÍRE	0,33	0,45	0,26

Fuente: cálculos propios

Los resultados indican que no siempre el mayor valor del IP lo presenta el suelo menos erosionado (Parcela El Higuierón), mientras que el suelo más erosionado muestra un alto valor del IP (Parcela El Mirador). Cuando una capa subsuperficial es de mejor calidad para el enraizamiento que la capa que está encima de la misma, la erosión podría ser seguida por rendimientos

más altos y no más bajos; sin embargo, tales situaciones no son comunes (Pineda *et al* 2.009).

Todas las parcelas presentan de moderado a alto riesgo de erosión, siendo la pendiente el principal factor que potencia la erosión del suelo, así como el grado de estructura del suelo moderado, que lo hace susceptible a la erosión hídrica. . Por su parte, el factor α contribuye, en menor proporción, a potenciar el riesgo de erosión del suelo por presentar valores que van de 0,618 a 0,778 (más alejados de 1), atribuible a la presencia de texturas gruesas (areno francosas y franco arenosas) que le infieren un bajo potencial de escorrentía.

5.1.2. Clasificación de tierras y priorización de la conservación de suelos

Finca El Higuerón, sector Visún. Las Mesitas. Coordenadas: 0335632N-1003169E. Altitud: 2.485 msnm. Pendiente: 38%.

Tierras en condición súper crítica (P). Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad muy alta, asimismo, fuertes riesgos de erosión. Son tierras donde se realizan generalmente tres cosechas de cultivos al año, siendo la papa el cultivo principal, seguidos de zanahoria y luego maíz o caraota. Es decir, que prácticamente no hay descanso del suelo, con una sobre explotación de la tierra que genera procesos de degradación, con prácticas abusivas e inadecuadas.

De modo que, estas tierras tienen 1^{era} prioridad de tratamiento conservacionista, por lo tanto deben ser incorporadas de inmediato en programas permanentes e intensivos de conservación de suelos. Estos pueden llegar a ser sumamente productivos haciendo uso de los siguientes principios: maximizar la producción de materia orgánica y mantener el suelo

cubierto, lo cual se puede lograr con prácticas como el uso de abonos verdes y cultivos de cobertura, que aumentan la resistencia del suelo a las fuerzas erosivas, reducen el impacto de caída de las gotas de lluvia, mejoran la estructura, la estabilidad y evitan principalmente la erosión del suelo, aún sobre pendientes de 40%.

Adicional a lo anterior, los métodos más apropiados para el control de la erosión en esas laderas inclinadas son las medidas estructurales, mediante la modificación del factor pendiente, ya sea cambiando la inclinación única de la pendiente a muchas franjas continuas planas que corren a lo largo de las curvas de nivel en la ladera, o bien, cambiando la longitud única de la pendiente a una serie de pendientes más cortas mediante el uso de estructuras discontinuas. Estas estructuras poseen muchas ventajas, entre las que destacan el incremento del área agrícola en la cuenca ya que pueden usarse en laderas con pendientes de hasta 58% que de otro modo quedarían fuera de uso y son apropiadas tanto para tenencias pequeñas como medianas.

Finca El Mirador, sector Loma de Visún. Las Mesitas. Coordenadas: 0336474N-1003284E. Altitud: 2.554 msnm. Pendiente: 38%.

Al igual que el predio anterior, son tierras en condición súper crítica (P), las características y condiciones son muy similares, por lo que las recomendaciones en cuanto a requerimientos de conservación son iguales.

Finca Loma del Rancho, sector Miraflores. Las Mesitas. Coordenadas: 0339059N-1002208E. Altitud: 2.272 msnm. Pendiente: 45%.

En esta finca, aun cuando tiene pendientes más pronunciadas, posee tierras en condición sub-crítica (S). Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad alta y con ligeros riesgos de erosión. Estas

tierras tienen 3era prioridad de tratamiento conservacionista. Actualmente producen dos cosechas al año alternado cultivos de papa y zanahoria básicamente.

A diferencia de los casos anteriores, los requerimientos de conservación de suelos son prácticas moderadas, combinando prácticas de manejo de suelos (labranza conservacionista con cantidades moderadas a altas de residuos en superficie, abonos verdes y mejoradores orgánicos) con manejo de coberturas vegetales (cultivos de cobertura, siembras de alta densidad y cultivos asociados) y/o prácticas moderadas para reducir escurrimientos en laderas (cultivos en contorno, cultivos en fajas, cultivos en callejones y barreras vivas).

En general, las fincas estudiadas presentan combinaciones de índice de productividad de altos a muy altos e índice de riesgo de erosión de moderado a alto que se traducen en altas prioridades de atención. Los resultados son concordantes con los obtenidos por Ramírez (2.005) en donde las áreas de mayor riesgo se ubican donde predomina el factor pendiente con grado de limitación severa y además, que los suelos reflejan de manera general buenas condiciones físicas y químicas para el desarrollo de los cultivos.

El uso actual es el reflejo en parte de un uso regulado, pues parte del área se encuentra bajo la figura de Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), como se hizo mención, las fincas objeto de estudio están localizadas en la Unidad III según la zonificación, esta unidad permite la explotación agrícola vegetal, no obstante, el deterioro de los recursos en la microcuenca, está relacionado con la intensificación de la utilización del suelo sin un manejo adecuado a sus potencialidades, debido al bajo nivel de conocimiento de la comunidad en cuanto a alternativas tecnológicas, prácticas y metodologías de producción y de manejo y aprovechamiento de recursos.

En todo caso, si se mantienen los esquemas actuales de producción agrícola, con pocas o ningunas prácticas de conservación de suelos, manifestándose éstos, a través de las dificultades conceptuales y operativas para la implementación de acciones coordinadas de manejo de cuencas, como consecuencia de carencia de políticas y estrategias coherentes de atención y solución a los problemas; de la acción limitada de las organizaciones existentes y de la escasa participación de la comunidad ; si bien aporta beneficios económicos a los agricultores, puede ocasionar costos económicos, sociales y ambientales importantes a corto, mediano y largo plazo.

Por el contrario, si se implementan prácticas de conservación de suelos que eviten el deterioro del mismo, además de arrojar beneficios económicos a los agricultores, mejorarán las condiciones sociales y ambientales. Al respecto, Udawatta *et al* (citados en Torres y López 2.006) señalan que luego de tres años bajo siembra en contorno se logró reducir la erosión y las pérdidas de nitrato en un 24%.

Otro aspecto importante es la implementación de disposiciones institucionales y administrativas tales como: Educación, asistencia técnica, regulaciones y reglamentaciones, autorizaciones, permisos y multas y por último, en cualquier gestión de conservación de suelos, debe tomarse en cuenta la dimensión social, pues tal gestión debe ser aceptada por las comunidades.

El Cuadro 25, muestra un resumen de los requerimientos generales de conservación de suelos para las fincas antes descritas.

Cuadro 25.

Resumen de requerimiento de conservación de suelos para las fincas estudiadas.

Finca	Requerimientos de conservación de suelos
El Higuero	<p>Los requerimientos de conservación de suelos son altos y deben combinarse prácticas intensivas como las coberturas vegetales densas, maximizar la producción de materia orgánica y mantener el suelo cubierto, lo cual se puede lograr con prácticas como el uso de abonos verdes y cultivos de cobertura, que aumentan la resistencia del suelo a las fuerzas erosivas, reducen el impacto de caída de las gotas de lluvia, mejoran la estructura y la estabilidad y evitando principalmente la erosión del suelo, aún sobre pendientes del 40%. Adicional a lo anterior, adoptar medidas estructurales mediante la modificación del factor de pendiente, ya sea cambiando la inclinación única de la pendiente a muchas franjas continuas planas que corren a lo largo de las curvas de nivel en la ladera, o bien, cambiando la longitud única de la pendiente a una serie de pendientes más cortas mediante el uso de estructuras discontinuas.</p>
El Mirador	<p>Al igual que el predio anterior, son tierras en condición súper crítica (P), las características y condiciones son muy similares, por lo que las recomendaciones en cuanto a requerimientos de conservación son similares y en todo caso, con altos requerimientos de conservación de suelos.</p>
Loma del Rancho	<p>En este caso, los requerimientos de conservación de suelos son prácticas moderadas, combinando prácticas de manejo de suelos (labranza conservacionista con cantidades moderadas a altas de residuos en superficie, abonos verdes y mejoradores orgánicos) con manejo de coberturas vegetales (cultivos de cobertura, siembras de alta densidad y cultivos asociados) y/o prácticas moderadas para reducir escurrimientos en laderas (cultivos en contorno, cultivos en fajas, cultivos en callejones y barreras vivas).</p>

Fuente: El autor

5.1.3. Variables del suelo y el cultivo

En el Cuadro 26 se presenta el resumen del análisis de varianza para los tratamientos practicados en las diferentes fincas, en relación con las variables morfométricas del cultivo. Como se observa hubo diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en las diferentes variables, excepto en la variable perímetro de los tubérculos para la fuente de variación Finca; número de tubérculos/planta para la fuente de variación Finca por tratamiento y peso de los tubérculos para la fuente de variación Finca y Finca por tratamiento, ello considerando por un lado, que aunque en todas las parcelas existen diferencias en el espesor del suelo superficial, éstas no se manifiestan de manera generalizada en el análisis estadístico y por otro lado, esta variable va a depender además de la condición genética y manejo agronómico del cultivo. Melchiori *et al* (2.009), informaron de variaciones importantes en la zona de enraizamiento, por efecto de la remoción del material superficial. El efecto de tal alteración se manifiesta en una significativa reducción del rendimiento del cultivo indicador en la medida en que el suelo superficial es removido.

Cuadro 26.

Valores de F y significancia según análisis de la varianza combinado con modelo de clasificación simple.

Fuente de variación	Longitud del tallo	Longitud de la raíz	Perímetro de los tubérculos	Número de tubérculos/planta	Peso de los tubérculos
Tratamiento	53,3 **	15,7 **	5,2 **	9,2 **	16,3 **
Finca	74,4 **	71,5 **	2,7 NS	6,5 **	2,2 NS
Tratamiento *Finca	4,2 **	6,1 **	4,3 **	1,7NS	2,4 NS
CV	19,6 %	25,0 %	19,7 %	13,6 % (T)	14,5 (T)

NS= no significativo; (T)= variable transformada (\sqrt{x}) por exceso de variación.

Los promedios por tratamiento se resumen en el Cuadro 27, se observa alta homogeneidad en las respuestas morfométricas del cultivo en el tratamiento T₃ que se corresponde a la parte inferior de la ladera, donde hay menor remoción de suelo. Así mismo, se evidencia una mayor significación para este tratamiento, es decir, hay mayor crecimiento y producción de biomasa; en contraste con T₂ y T₁ con valores proporcionalmente menores respectivamente. Jiménez *et al* (2.004) reportan diferencias altamente significativas en la producción de biomasa radical entre niveles de abonamiento orgánico, efectos similares han sido reportados por Ghosal (citado en Jiménez *ob cit*), las cuales son explicables por el mejoramiento de las condiciones edáficas relacionadas con el desarrollo radical tales como estructura, consistencia, densidad aparente y macroporosidad.

Cuadro 27.

Promedios por tratamiento y su significación según Tukey al 5 %.

Tratamiento	Longitud del tallo (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Perímetro de los tubérculos (cm)	Número de tubérculos/planta	Peso de los tubérculos (kg)
T ₁	57,3 C	14,5 C	14,1B	11,5 B	0,95 B
T ₂	59,4 B	16,0 B	14,9 AB	13,3 A	1,12 A
T ₃	74,9 A	17,9 A	15,4 A	13,1 A	1,18 A

Valores con letras distintas en la misma fila presentan diferencias (P<0.01 y P<0,05)

En el Cuadro 28 se muestran los promedios por finca y significación según prueba de Tukey al 5%; como se puede observar, para la Finca 1 (Higuerón) hubo mejor respuesta para las variables perímetro de los tubérculos, peso de los tubérculos y número de tubérculos/planta y en menor grado la longitud del tallo y longitud de la raíz. En la Finca 2

(Mirador) la respuesta fue más favorable en casi todas las variables morfométricas, excepto la longitud de la raíz y finalmente en la Finca 3 (El Rancho) la respuesta fue más favorable para las variables perímetro de los tubérculos y peso de los tubérculos y en menor grado para las variables longitud del tallo, longitud de la raíz y número de tubérculos/planta.

Cuadro 28.

Promedios por finca y su significación según Tukey al 5 %.

Finca o localidad	Longitud del tallo (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Perímetro de los tubérculos (cm)	Número de tubérculos/planta	Peso de los tubérculos (kg)
Higuerón	52,4 C	20,3 C	14,5 A	12,8 AB	1,11 A
Mirador	75,2 A	13,6 B	15,4 A	13,4 A	1,12 A
El Rancho	64,0 B	14,5 B	14,6 A	11,6 B	1,04 A

Valores con letras distintas en la misma fila presentan diferencias ($P < 0.01$ y $P < 0,05$)

Para establecer la relación que existe entre las variables espesor del horizonte superficial del suelo y el IP con el rendimiento del cultivo, se ajustaron modelos matemáticos o ecuaciones de regresión entre estas variables, obteniéndose coeficientes de determinación (R^2) que muestran un ajuste moderado entre dichas variables (Cuadro 29 y Figuras 22 y 23). Se resalta el hecho de eliminar un valor atípico de la totalidad de los muestreos ($n=27$).

Cuadro 29

Modelos de regresión para explicar el efecto del espesor del suelo y el IP sobre el rendimiento (Y).

	R ²	n
Y= -89,8 + 44,24 (Ln E)	0,42	26
Y= -104,0 + 9,39 (E) – 0,13 (E ²)	0,47	26
Y= 18,21 + 1,41 (E)	0,39	26
Y= 64,66 + 3,89 (Ln IP)	0,04	26
Y= 59,74 – 5,76 (IP) + 15,76 (IP ²)	0,08	26
Y= 55,68 + 11,46 (IP)	0,07	26

Ambos modelos de regresión ajustados explican más del 40% de las variaciones observadas (R²). y muestran en términos generales, valores aceptables de R², habida cuenta que, los rendimientos se incrementan en la medida que existan mejores condiciones para el desarrollo radicular. Efectos similares han sido reportados por Delgado *et al* (1.997), los cuales son explicables por las mejores condiciones edáficas en suelos menos perturbados, es decir, dependen de la presencia de características favorables para el desarrollo del sistema de raíces del cultivo en el perfil del suelo, o bien porque las condiciones generales para el enraizamiento, evaluadas a través del IP, se presenten más favorables. Igualmente Delgado y López (1.995) afirman que el rendimiento crece a medida que el suelo ofrece mejores condiciones (alto IP) al cultivo; pero tiende a una asíntota, dada por los otros factores que controlan el rendimiento del cultivo como el potencial genético y clima.

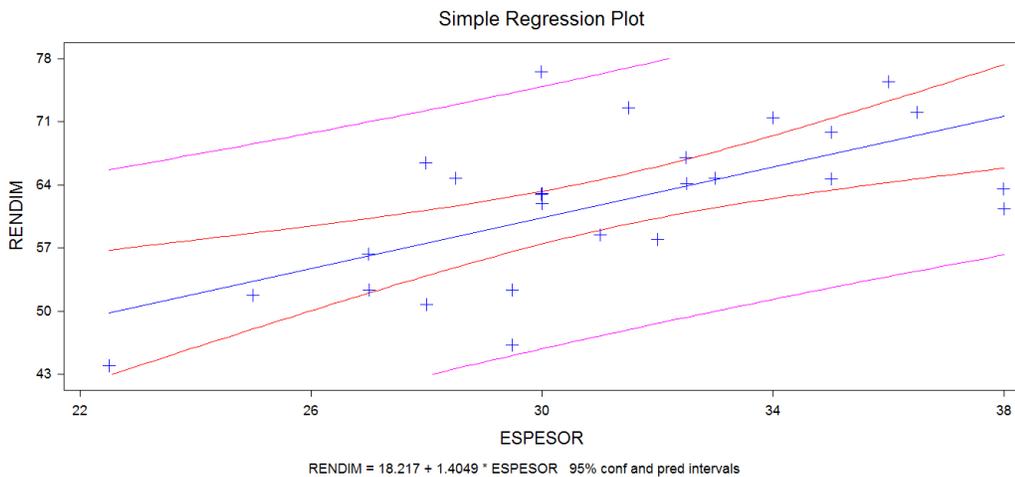


Figura 22. Relación entre las variables espesor del horizonte superficial del suelo y el rendimiento.

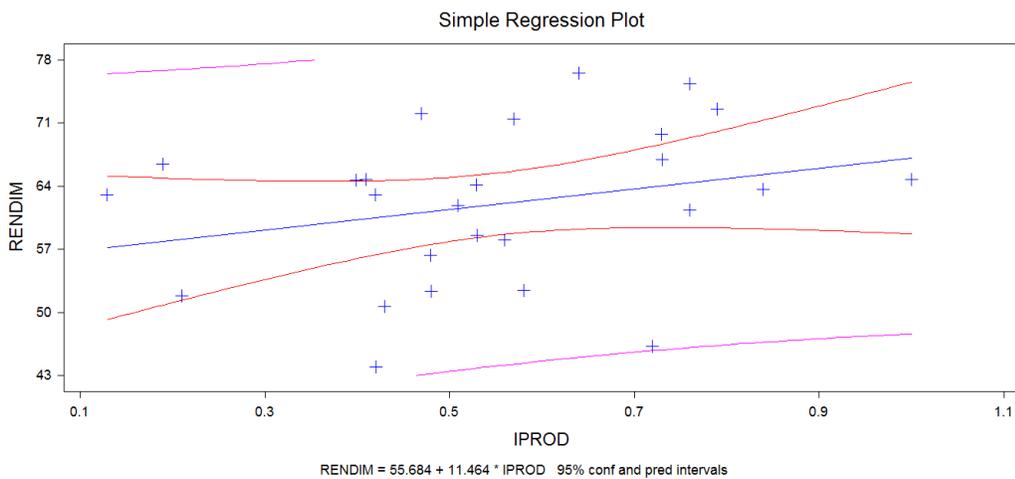


Figura 23. Relación entre las variables IP y el rendimiento.

Finalmente, se estableció la interacción de los promedios por tratamiento y por finca de las variables morfométricas (Figuras 24 al 28) y los valores obtenidos muestran las diferencias evidentes en la mayoría de los casos en crecimiento longitudinal, producción de biomasa o número de tubérculos, respecto a los tratamientos relacionados cada uno con el grado de remoción natural del suelo (espesor del horizonte superficial) a lo largo de la ladera: en la parte superior, intermedia e inferior. Y si bien en algunos casos el comportamiento fue atípico, ello como ya se explicó, que aunque en todas las parcelas existen diferencias en el espesor del suelo superficial, éstas no se manifiestan de manera generalizada en el análisis estadístico y por otro lado, en las respuestas de las variables va a incidir el aspecto genético, calidad de las semillas y el manejo agronómico en general.

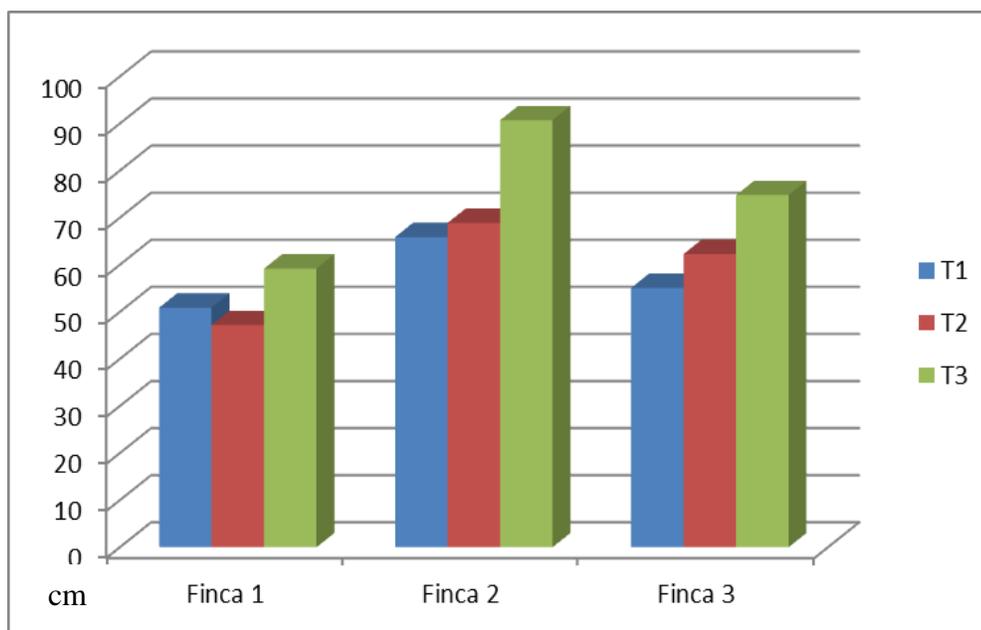


Figura 24. Promedio de tratamiento por fincas (Interacción) en longitud del tallo

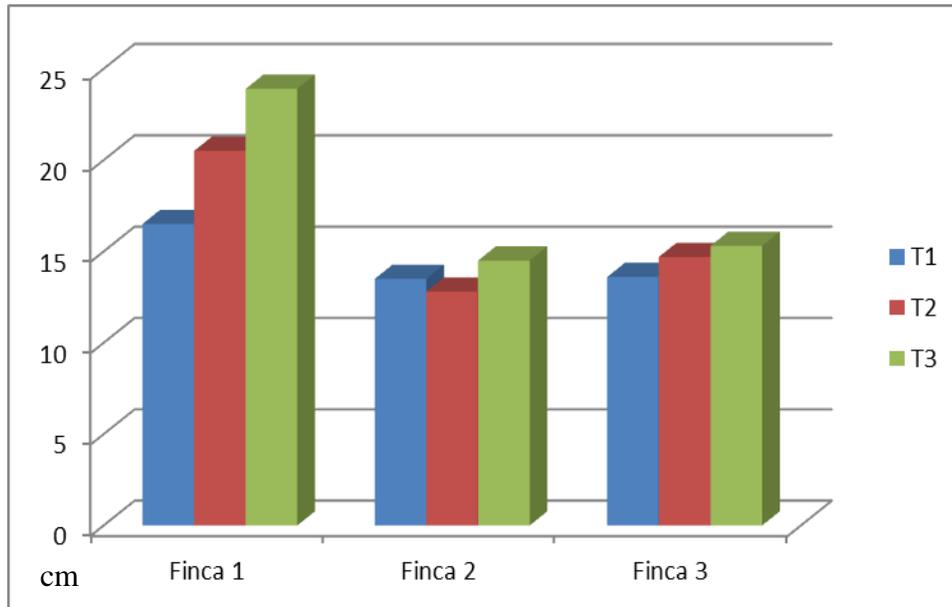


Figura 25. Promedio de tratamiento por fincas (Interacción) en longitud de la raíz

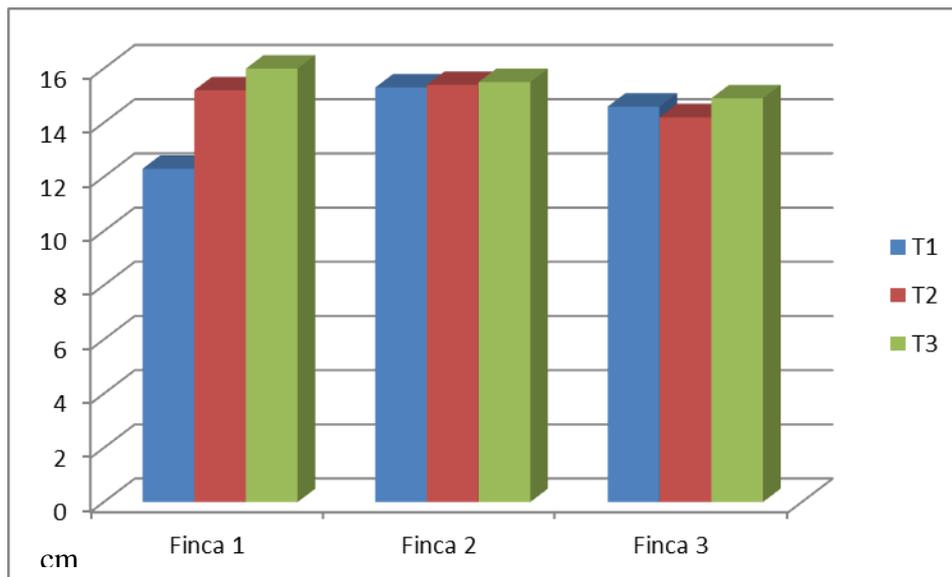


Figura 26. Promedio de tratamiento por fincas (Interacción) en perímetro de los tubérculos

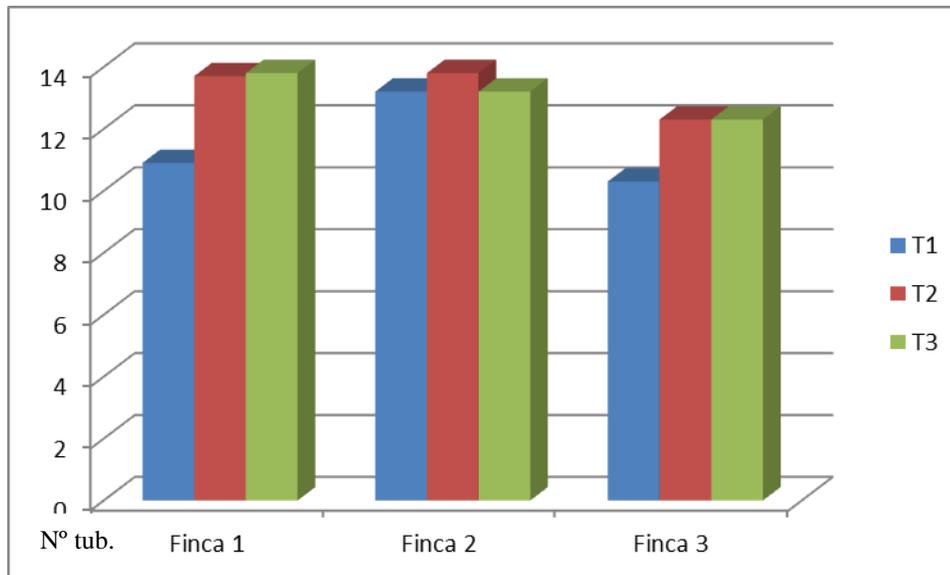


Figura 27. Promedio de tratamiento por fincas (Interacción) en número de tubérculos/planta

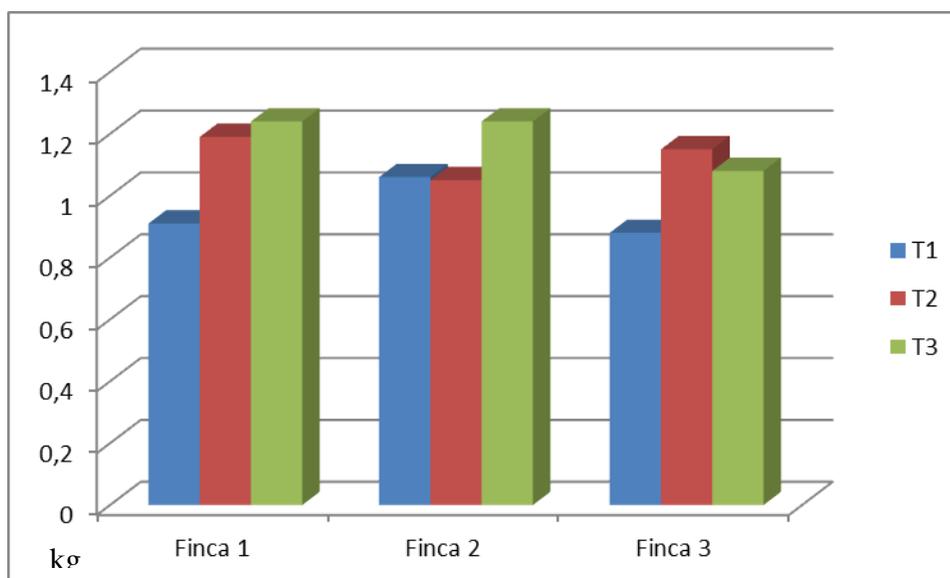


Figura 28. Promedio de tratamiento por fincas (Interacción) en peso de los tubérculos

En efecto, al analizar los resultados puede observarse, de manera generalizada, un incremento tanto en las variables del suelo (espesor e IP) como en las variables del cultivo (rendimiento, longitud del tallo, longitud de la raíz, perímetro de los tubérculos, número de tubérculos/planta y peso de los tubérculos), progresivamente desde el tope hasta la parte más baja, a lo largo de la pendiente del terreno. Ver anexos 3,4 y 5. Estos resultados confirman la relación que existe entre el IP, el rendimiento y el espesor del suelo superficial, efecto que según Delgado (2.003) asume que, bajo determinadas condiciones de clima y manejo, el rendimiento de un determinado cultivo indicador depende de las condiciones del suelo que propician un ambiente edáfico adecuado para el buen desarrollo radical del cultivo respectivo.

CONCLUSIONES

-Los resultados de esta investigación confirman la relación que existe entre el IP, el rendimiento y el espesor del suelo superficial, así se ha verificado con los rendimientos y demás parámetros morfométricos del cultivo indicador, pues estos se incrementan en la medida que existan mejores condiciones para el desarrollo radicular, es decir, dependen de la presencia de características favorables para el desarrollo del sistema de raíces del cultivo en el perfil del suelo. Además, se comprobó que tales condiciones favorables sufren modificaciones a lo largo de las pendientes pronunciadas cultivadas, sometidas a procesos de erosión, debido a los efectos que este proceso genera en las condiciones del suelo.

-En relación al riesgo de erosión, para todas las parcelas la pendiente es el principal factor que potencia la erosión del suelo oscilando entre el 38% y 45%; con bajas tasas de infiltración y alta esorrentía. En consecuencia, presentan de moderado a alto riesgo de erosión con valores de IRE que van desde 0,26 a 0,45.

-La metodología aplicada permite apoyarse en ella para identificar, a nivel de una micro cuenca hidrográfica, las áreas agrícolas actuales o potenciales que se encuentran en condición prioritaria para su tratamiento conservacionista, en función de los riesgos de erosión y la productividad de sus suelos.

-Considerando que los resultados obtenidos en las fincas de referencia, que integran la vertiente objeto de estudio y la microcuenca en general, presentan características similares; se puede inferir que gran parte del área en cuestión califica como de alta prioridad de atención conservacionista, con altos índices de productividad combinados con altos riesgos de erosión. Consecuentemente, la mayor parte de la cuenca tiene requerimientos de conservación altos y

moderados. Aunque la mayoría de los suelos tiene buena capacidad productiva, la pendiente donde se ubican los hace muy susceptibles a la erosión hídrica.

-El tipo de uso recomendable para la mayoría del área es la agricultura semi-intensiva como hortalizas y otros cultivos de ciclo corto, con moderada a alta introducción de prácticas de conservación, las cuales serían, en general surcos en contorno, barreras vivas o biológicas y barreras físicas.

-Se subraya la importancia que representa el ordenamiento y la planificación del uso de la tierra como una acción previa fundamental para garantizar el éxito de los planes y programas de conservación de suelos en regiones montañosas tropicales.

-Se enfatiza que las estrategias fundamentales para la formulación e implementación de los planes y programas de conservación de suelos deben ser la participación efectiva y la negociación entre los actores.

RECOMENDACIONES

-Los resultados obtenidos en este trabajo pueden tomarse como referencia para planes de mejoramiento más detallados. No obstante, con tales fines, es conveniente incluir aspectos socioeconómicos, los cuales no se consideran en la metodología empleada.

-Las relaciones armónicas entre el hombre y su entorno natural debe ser la dirección en la cual deben moverse los individuos, las políticas gubernamentales y los responsables de tomar decisiones en la planificación y gestión de tierras. Entendiéndose esa relación, como el aprovechamiento sostenible y sustentable de

los recursos, que permitan satisfacer las necesidades actuales y futuras de la población

-Se destaca la necesidad de revisar el enfoque técnico de la conservación de suelos de ladera, orientándolo hacia el concepto más amplio de manejo y aprovechamiento sostenible del suelo, el cual integra y armoniza el uso de tecnologías modernas y autóctonas, privilegiando principalmente el uso de técnicas de mejoramiento de suelos y manejo de coberturas vegetales, en lugar de obras y estructuras para el control de escurrimientos en laderas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ataroff, M. y Sarmiento, L. (1.998) Las unidades ecológicas de los Andes de Venezuela. En E. La Marca y P. Soriano (eds). Reptiles de los Andes de Venezuela, Mérida, Venezuela.
- Benítez, J. 2004. Manejo integrado de suelo y agua para un desarrollo agrícola sostenible en América Latina LEISA, vol. 19, p 4.
- Casanova, M. (2.008) Definiciones Fundamentales. Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. [Libro en línea].de la World Wide Web: <http://mazinger.sisib.uchile.d/repositariolap/ciencias>. Consultado el día 4 de Agosto de 2.011.
- Casanova E. y Lobo D. (2010). Relación entre la física y la fertilidad de los suelos. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Maracay. AP 4579, Aragua, Venezuela. World Wide Web: [http://www. mag.go.cr/biblioteca_virtual/a_108_intro](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/a_108_intro). Consultado el día 04 de Abril de 2.014.
- Campo, A. 2006. Estudio integrado de la cuenca del rio Pisque, Cantón Cayambe, Ecuador (en línea) disponible en: [http://www.cepeige.org/Documentos/2003\(5-20\).pdf](http://www.cepeige.org/Documentos/2003(5-20).pdf). Consultado el día 4 de Agosto de 2.011
- Comisión de la Unión Europea. 2002. Hacia una estrategia temática para la protección del suelo (en línea). <http://www.eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2002:01pdf>. Consultado 10 Agosto de 2.011.
- Cuevas, J., Dörner, F., Ellies Sch, A. 2.004 Elementos de Física y Mecánica para evaluar la sustentabilidad de los suelos agrícolas. Revista de las Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal.v.4 n-2.Valdivia dic. 2.004.

- Delgado, F. 2.003. Un protocolo para apoyar la selección de prácticas de conservación de suelos en tierras montañosas tropicales. I Seminario Internacional. Agricultura de Conservación en Tierras de Laderas Manizales, Colombia, 26 al 28 de Noviembre de 2003
- Delgado F. y R. López. 1995. Validación de un modelo erosión - productividad en suelos de Los Andes venezolanos. XIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay.
- Delgado, F. 1997. Sistema para la evaluación y clasificación de tierras agrícolas y prioridades de conservación de suelos en áreas montañosas tropicales. Un enfoque metodológico. Serie Suelos y Clima N° SC-73. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- Delgado F., R Terrazas y R. López. 1997. Planificación de la conservación de suelos en cuencas altas, utilizando relaciones erosión- productividad. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Mérida. Venezuela.
- Díaz, J., Moreno, J., Larreal, M., Marval, L., Rodríguez, R., y Chirinos, J. Aplicación de un índice de productividad en dos unidades de suelo y su relación con el cultivo sorgo, Baja Guajira, municipio Páez, estado Zulia, Venezuela. Revista UDO Agrícola. V.9(4) 2.009.
- Eurosur, s.f. El suelo recurso natural renovable? [en línea]. World Wide Web:http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif49.htm. Consultado el día 10 de Agosto de 2.011
- FAO-PNUMA, 1.980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia.
- FAO. UNEP, 1994. Erosión de suelos en América Latina. Suelos y Aguas. p. 33-52.
- FAO, 1999. Integrated crop and land management in the hilly terrains of Central América: concepts, strategies and technical options. Integrated Crop Management. Technical Series, Vol. 2. Roma, Italia.

- Ferrer y López 2.004 Capacidad de retención de humedad de un Inceptisol de los Andes Venezolanos y su afectación por la pérdida de suelo superficial y la adición de abono orgánico. Revista Forestal Venezolana. v.48 n-1 Enero-Junio.
- FUCEMA (2.009) Normas nacionales sobre el control de la degradación de los suelos. World Wide Web: webmaster@fucema.org.ar. Consultado el día 4 de Agosto de 2.011 de
- Henao, J. 1998. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas. Universidad Santo Tomás – USTA, Santafé de Bogotá, D. C. 395 p.
- Holdridge, L. 1979. Ecología basada en zonas de vida. IICA; San José. pp 13-14.
- Imperatori, K. y Monsalve, M. (2.000). Diagnóstico Biogeográfico de la Poligonal B Guirigay del Monumento Natural Teta de Niquitao con fines de Zonificación y Plan de Ordenamiento. MARNR, Instituto Nacional de Parques y Universidad de los Andes.
- Jiménez, F. 2005. Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales. CATIE Recursos, Ciencia y decisión. N° 2.
- Jiménez, L, Noguera, N. y Larreal M. 2004 Cambios en la productividad de un Ultisol degradado mediante la aplicación de estiércol bovino. Revista de la Facultad de Agronomía.v 21 n-3. Caracas jul. 2.004.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.Doran, J.W., Cline, R.G.,Harris, R.F.,and Shuman, G.E..1.997 Soil quality: a concep, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am.-.61:4-10.
- Latham, M. 1995. Role of international agricultural research in conservation farming. p. 25-32. En: A. Maglinao y A. Sajjapongse (eds). International Workshop on Conservation Farming for Sloping Uplands in Southeast Asia: Challenges, Opportunities and Prospects. IBSRAM Proceedings N° 14. Bangkok, Tailandia.

- Lobo D. y Pulido M. (2.008). Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología. Consultado el día 04 de Abril de 2.014 de la World Wide Web: [http://www. mag.go.cr/biblioteca virtual/a 108_intro](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/a108_intro).
- López, R. 2.000. Degradación del suelo, Causas, Procesos, Evaluación e Investigación. Serie Suelos y Clima N° 75. CIDIAT, Universidad de los Andes, Venezuela.
- MAG, 2.008. Agricultura conservacionista. . [en línea]. World Wide Web: [http://www. mag.go.cr/biblioteca virtual/a 108_intro](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/a108_intro). Consultado el día 23 de Agosto de 2.011.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y Recursos Naturales Renovables. (1.992).Plan de Ordenamiento y Reglamento de la Zona Protectora de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Guanare, Boconó, Tucupido, La Yuca y Masparro. Decreto 2336. Venezuela, 1.995.
- Melchiori, Ricardo; Albarenque, Susana; Schulz, Guillermo; Kemerer, Alejandra; Bedendo, Dante. (2.009). Determinación de zonas de manejo mediante relevamiento de suelos y herramientas informáticas. *Congreso Argentino de AgroInformática (CAI 2009)*, Argentina.
- Mejía J., Dal Pozzo, F., Montilla, P. y Torres G. Evaluación cuali-cuantitativa de la erosión hídrica en la microcuenca Aguas Calientes, estado Mérida, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, v.51 (2) 2.010. Mérida, Venezuela.
- Méndez, E. 1.999. Planificación y Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. CIDIAT. Mérida- Venezuela.
- MPPA, 2.012. Climas Secos del Estado Trujillo. Dirección General de Cuencas Hidrográficas. Caracas. Author.

- Mozo, P. 1999. Ecología y conservación de recursos naturales renovables “Conservación de Cuencas Hidrográficas” primera edición. Santa Fe de Bogotá, D. C. Colombia, 164 p.
- Muñoz, F. 2007. Manejo de Cuencas Hidrográficas Tropicales. CCE-L-Loja. Ecuador, 206 p.
- Páez, M.L. 1994. Clasificación de suelos por riesgos de erosión hídrica con fines de planificación agrícola. Revista de la Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. 20:83-100.
- Peña, N., Pacheco L., Romero C., Suniaga, V. y Rodríguez H. (2006). Clasificación de suelos con fines agrícolas. Una propuesta metodológica para la aplicación del reglamento parcial de la Ley de Tierras y Desarrollo Rural. Agricultura Andina. Vol. 11. Diciembre 2006.
- Pineda, N., Jaimes, E., Hidalgo, B., Mendoza, J., González J. y Rodríguez H. (2009). Clasificación de tierras agrícolas con fines de conservación de suelos en parcelas de uso hortícola, subcuenca Alto Motatán, Mérida-Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2009, 26: 532-554
- Ramírez, G.S. 2005. Productividad y Riesgo de Erosión del Suelo como factores importantes en la Gestión de Cuencas Tropicales. Caso de estudio: Cuenca del Río Petaquire, Venezuela. Tesis de maestría no publicada. Universidad Central de Venezuela. Maracay.
- Rodríguez, E 2012. La Degradación de los suelos en Venezuela. Opinión, Diario Los Andes. Trujillo. Sábado 27 de Septiembre de 2008.
- Rodríguez, O.S. 2010. Conservación de suelos y agua. Una premisa del desarrollo sustentable. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 469 p.
- Soil Conservation Society of America (SCSA). 1982. Resource Conservation Glossary. Ankeny, Iowa, USA.

- Sulbarán, S. 2.010. Impacto del cambio en el manejo de tierras con viña de secano del área mediterránea sobre la suplencia de humedad al cultivo y sobre los procesos de degradación del suelo: caso de la cuenca del Angia. Memoria presentada para optar al grado de Doctor. [Material en línea]. World Wide Web: http://www.thesis.enxarxa.net/tesis_udl/AVAILABLE/TDX-07722110-htm. Consultado el día 10 de Diciembre de 2.010.
- Swift, M., B.T. Kang, K. Mulongoy y P.W. Woomer. 1991. Organic matter management for sustainability soil fertility in tropical cropping systems. p. 307-326. En: Evaluation for sustainable land management in the developing world. IBSRAM Proceedings N° 12, volumen 2. Bangkok, Tailandia.
- Torres, D. Florentino, A. y López, M. 2.006. Indicadores e índices de calidad del suelo en un Ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico, Venezuela. Revista Bioagro. v.18 n-6 Enero-Junio.
- Valero, L. (2.004). Productividad del suelo y riesgo de erosión como base para la planificación de las tierras en cuencas altas, con base en el Riesgo de Erosión y la Productividad del Suelo. Caso: micro cuenca El Royal, Municipio Rangel, Estado Mérida. Tesis de maestría, no publicada. Universidad de los Andes, Mérida.
- Valero, L. Delgado, F y López R. (2.010). Planificación del uso de la tierra en cuencas altas con base en el riesgo de erosión y la productividad del suelo. Revista Geográfica Venezolana, v.51 (1) 2.010. Mérida, Venezuela.
- Villatoro, M. y Sancho, F. (1.999). Evaluación de la productividad de tres suelos, mediante el modelo Quefts y el Índice de Productividad de Pierce. Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR. XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de Suelos, Argentina.

ANEXOS

Anexo N° 1

Densidad aparente

Tratamiento	Muestras	Peso húmedo en Kg.	Peso seco en Kg.	Volumen en Lts.	Densidad aparente en Kg/Lt
Finca El Higuerón, sector Visún. Las Mesitas.	1	9,80	8,13	6,20	1,31
	2	8,40	6,87	5,55	1,24
	3	7,15	5,67	4,84	1,17
	4	5,90	4,71	3,53	1,33
	5	10,80	8,58	5,14	1,67
	6	7,75	6,39	4,12	1,55
	7	10,30	8,20	6,11	1,34
	8	9,00	7,47	5,41	1,38
	9	8,60	6,80	5,17	1,32
	Promedio				
Finca El Mirador, sector Loma de Visún. Las Mesitas.	1	10,90	8,75	6,38	1,37
	2	8,75	7,11	6,44	1,10
	3	9,60	7,87	6,55	1,20
	4	7,00	5,52	4,95	1,12
	5	11,54	9,56	7,85	1,22
	6	8,90	7,62	5,68	1,34
	7	6,90	5,89	3,57	1,65
	8	9,15	7,74	5,58	1,39
	9	9,10	7,50	6,16	1,22
	Promedio				
Finca Loma del Rancho, sector Miraflores. Las Mesitas.	1	4,16	3,33	1,75	1,90
	2	5,28	4,56	3,00	1,52
	3	4,60	3,78	2,50	1,51
	4	5,28	4,47	2,34	1,91
	5	4,62	3,88	2,30	1,69
	6	4,61	3,96	2,03	1,93
	7	5,20	4,25	2,50	1,70
	8	4,94	4,20	2,60	1,62
	9	4,91	4,23	2,74	1,54
	Promedio				

Anexo N° 2

Propiedades físicas y químicas de los suelos, micro cuenca La Coneja

Muestra	Textura				R humedad g/Kg		D.A. Kg./Lt.	Vol % Frag. > 2mm	pH	M.O. g./Kg.
	a	A %	L	Clase textural	33 KPa	1500 KPa				
K1	54	14	32	Fa	24,88	13,02	1,90	10,59	5,6	3,06
K2	60	14	26	Fa	22,49	10,80	1,52	7,77	5,8	2,21
K3	52	16	32	F	24,13	12,89	1,51	8,24	6,1	3,33
K4	54	20	26	Fa	24,50	13,26	1,91	13,30	5,7	3,61
K5	58	20	22	FAa	21,79	11,53	1,69	14,29	5,8	3,00
K6	54	16	30	Fa	22,21	12,56	1,93	9,76	5,7	3,56
K7	54	18	28	Fa	25,80	13,03	1,70	5,26	5,6	2,72
K8	54	20	26	Fa	20,97	10,97	1,62	11,11	5,7	3,45
K9	52	18	30	F	23,71	12,31	1,54	14,87	5,5	3,49
M1	52	18	30	F	26,56	12,94	1,37	12,63	6,4	3,90
M2	48	20	32	F	24,90	14,23	1,10	15,38	5,6	4,87
M3	50	30	20	F	23,70	13,66	1,20	12,72	5,2	5,11
M4	50	18	32	F	25,15	14,43	1,12	11,76	6,1	4,86
M5	46	26	28	F	24,58	15,26	1,22	15,38	5,2	4,64
M6	48	20	32	F	25,89	14,33	1,34	5,99	5,3	4,96
M7	50	24	26	FAa	25,35	14,30	1,65	12,57	5,1	4,45
M8	48	22	30	F	26,41	14,47	1,39	5,45	5,4	5,02
M9	54	20	26	Fa	32,26	14,35	1,22	6,12	5,5	2,41
R1	60	8	32	Fa	25,11	8,80	1,31	10,00	5,8	1,78
R2	52	14	34	Fa	27,19	12,58	1,24	9,89	5,9	1,21
R3	54	12	34	Fa	28,46	10,50	1,17	10,00	6,0	2,18
R4	52	14	34	Fa	27,18	12,10	1,33	8,42	5,7	2,30
R5	52	14	34	Fa	28,72	11,66	1,67	7,18	6,1	2,10
R6	60	12	28	Fa	25,24	10,06	1,55	6,90	5,7	1,97
R7	48	18	34	F	27,27	13,59	1,34	7,89	5,8	3,15

Análisis de parcelas

Continuación Anexo N° 2

	Muestra	Textura				R humedad g/Kg		D.A. Kg./Lt.	Vol % Frag. > 2mm	pH	M.O. g./Kg.
		a	A %	L	Clase textural	33 KPa	1500 KPa				
Análisis	R8	50	12	38	F	25,56	11,04	1,38	5,18	5,9	2,11
	R9	54	16	30	Fa	26,15	12,17	1,32	6,38	5,9	2,30

Anexo N° 3

Valores de las variables del suelo y el cultivo de papa (promedio de nueve repeticiones)

Finca El Higuero

	T ₁			T ₂			T ₃		
Repeticiones	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Variables:									
Suelo: Espesor(cm).	32	29,5	35	38	32,5	35	38	36,5	36
IP	0,93	0,72	1,00	0,84	0,73	0,73	0,76	0,47	0,76
Cultivo:									
Longitud del tallo (cm)	46	49,9	56,9	46,6	44,5	50,4	55	64,6	58,1
Longitud de la raíz (cm)	15,2	15,4	18,8	18	21	22,5	22,1	29,5	20,2
Número de tubérculos/ planta	8,8	8,9	15	13,8	13,6	13,8	12,8	14,5	14
Diámetro de los tubérculos (cm)	11,6	11,9	13,4	15,4	14,6	15,7	15	15,7	17,2
Peso de los tubérculos/ planta (Kg)	0,77	0,82	1,15	1,13	1,19	1,24	1,09	1,28	1,34
Rendimiento Mg/Ha.	43,31	46,13	64,69	63,56	66,94	69,75	61,31	72,00	75,38

Anexo N° 4

Valores de las variables del suelo y el cultivo de papa (promedio de nueve repeticiones)

Finca El Mirador

	T ₁			T ₂			T ₃		
Repeticiones	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Variables:									
Suelo: Espesor(cm).	30	29,5	28	32	30	27	33	34	31,5
IP	0,64	0,58	0,43	0,56	0,42	0,48	0,40	0,57	0,79
Cultivo: Longitud del tallo (cm)	65,3	69,3	63	69,2	79,8	57,8	99	89,5	83,5
Longitud de la raíz (cm)	13,1	12,6	14,7	12,4	12,3	13,8	15,6	14,3	13,5
Número de tubérculos/planta	14,2	15,3	10,1	13,9	14,4	13,1	13	13,2	13,3
Diámetro de los tubérculos (cm)	17,7	13	15,1	15,5	17	13,7	15,9	15,5	15,2
Peso de los tubérculos/planta (Kg)	1,36	0,93	0,9	1,03	1,12	1,0	1,15	1,27	1,29
Rendimiento Mg/Ha.	76,5	52,31	50,63	57,94	63	56,25	64,69	71,44	72,56

Anexo N° 5

Valores de las variables del suelo y el cultivo de papa (promedio de nueve repeticiones)

Finca Loma del Rancho

	T ₁			T ₂			T ₃		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Repeticiones	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Variables:									
Suelo: Espesor(cm).	25	27	22,5	28	28,5	30	31	30	32,5
IP	0,21	0,48	0,42	0,19	0,41	0,13	0,53	0,51	0,53
Cultivo: Longitud del tallo (cm)	58,2	53,7	53,5	64,2	60,5	61,7	70,9	81,7	72
Longitud de la raíz (cm)	12,1	13,5	15,1	15,3	14,4	14,5	14,3	17,2	14,4
Número de tubérculos/planta	10,3	10,4	10,3	11,5	13,1	12,1	11,7	12	13,2
Diámetro de los tubérculos (cm)	14,7	15,6	13,6	14,5	14	14	14,2	15,6	14,8
Peso de los tubérculos/planta (Kg)	0,92	0,93	0,78	1,18	1,15	1,12	1,04	1,1	1,14
Rendimiento Mg/Ha.	51,75	52,32	43,88	66,38	64,69	63	58,5	61,88	64,13

Anexo N° 6

Volumen de fragmentos gruesos

Finca	Muestras	Volumen total de fragmentos en cm ³	Volumen de fragmentos < 2mm en cm ³	% de fragmentos gruesos
El Higuerón, sector Visún. Las Mesitas.	R1	400	360	10,00
	R2	455	410	9,89
	R3	450	405	10,00
	R4	475	435	8,42
	R5	390	362	7,18
	R6	435	405	6,90
	R7	380	350	7,89
	R8	425	403	5,18
	R9	470	440	6,38
	Promedio			7,98
El Mirador, sector Loma de Visún. Las Mesitas.	M1	372	325	12,63
	M2	390	330	15,38
	M3	338	295	12,72
	M4	340	300	11,76
	M5	325	275	15,38
	M6	167	157	5,99
	M7	175	153	12,57
	M8	275	230	5,45
	M9	245	230	6,12
	Promedio			10,89
Loma del Rancho, sector Miraflores. Las Mesitas.	K1	387	346	10,59
	K2	412	380	7,77
	K3	425	390	8,24
	K4	375	325	13,30
	K5	420	360	14,29
	K6	410	370	9,76
	K7	380	360	5,26
	K8	405	360	11,11
	K9	405	345	14,80
	Promedio			10,57