

CAPÍTULO I

1. Fundamentación Teórica:

1.1. La erosión

Erosión es un término amplio aplicado a las diversas maneras como los agentes móviles (agua, viento, glaciares) desprenden y transportan los productos de la meteorización y de la sedimentación.

De los agentes geomorfológicos erosivos, el agua es el más importante, tanto el área afectada que corresponde a todas las tierras emergidas y con algún relieve, como por la magnitud del desgaste de la superficie terrestre a largo plazo. El agua es responsable de la erosión pluvial, marina, lacustre, pero sobre todo la erosión fluvial, determinada por las aguas corrientes o esorrentía y de la cual se observan huellas en todas las regiones y climas del globo.

El desgaste y modelado de la superficie terrestre producido por la esorrentía y demás agentes móviles, pueden llevarse a cabo como un proceso normal (erosión geológica) o en forma anormal (erosión acelerada del suelo), según las condiciones imperantes en cada región y de acuerdo a la intervención positiva o negativa del hombre, (Villota H, 2005).

1.2. Los agentes geomorfológicos y los procesos morfodinámicos

Todos los elementos móviles, determinados por las fuerzas de cambio, capaces de obtener (desprender), transportar y depositar los productos incoherentes de la meteorización y de la sedimentación, se conoce como agentes geomorfológicos, siendo los más importantes: el agua de lluvias y de esorrentía; las olas, corrientes costeras y de marea; los glaciares; el viento. A éstos pueden agregarse los animales y el mismo hombre.

Estos agentes son los responsables directos de la mayoría de los procesos geomorfológicos exógenos que afectan a la superficie terrestre, ya sea degradándola o bien construyendo nuevos paisajes, (Villota H, 2005).

1.3. Procesos de degradación o denudativos

La denudación (del latín: danudalio = acción de denudar) se refiere a la meteorización de las masas rocosas continentales expuestas y al desgaste del regolito resultante, por acción combinada de la fuerzas de desplazamiento y de los agentes geomorfológicos, con el consecuente remodelado y paulatina reducción de la superficie terrestre.

El término tiene un sentido más amplio que el de erosión, por cuanto abarca la totalidad de los procesos que contribuyen al remodelado y reducción de los relieves iniciales, esto es: la meteorización de las rocas, la remoción en masa y la erosión en todas sus formas, (Villota H, 2005).

1.4. Meteorización de las rocas

De acuerdo con Hardy, F. 1970, citado por (Villota H., 1991), la meteorización comprende la desintegración y descomposición de las rocas coherentes e incoherentes en productos solubles e insolubles, algunos de los cuales se recombinan para formar minerales secundarios de diverso grado de complejidad.

Se trata de un proceso estático o “in situ” que puede ser analizado desde dos puntos de vista, uno geomorfológico y otro pedológico.

Según el primero, la meteorización tiende a predisponer las rocas coherentes, próximas a la superficie terrestre, al ataque de los agentes geomorfológicos, o sea, es la etapa de preparación de los materiales rocosos para su denudación y la consiguiente evolución del modelado del relieve.

En el lenguaje de geomorfólogos, geólogos e ingenieros, el producto final de la meteorización es simplemente el regolito, término que abarca el manto completo de meteorización, incluidos materiales mezclados, redistribuidos y hasta depositados en la superficie terrestre.

De acuerdo con el punto de vista pedológico, la meteorización de los materiales iniciales es un proceso que precede a la formación del suelo en rocas consolidadas y la acompaña en rocas no coherentes y en material de suelo. Ello implica que para la formación de los suelos, la meteorización, concebida como un conjunto de procesos físico y geoquímicos, debe ir seguida o acompañada de otros procesos exclusiva o casi exclusivamente pedoquímicos, además de los procesos biológicos-bioquímicos (en parte asociados a la actividad de la materia orgánica), los dos últimos de ocurrencia principal en el solum de los suelos, es decir en los horizontes A y B, que ocupan la parte superior del regolito.

1.5.Erosión Geológica

Es un proceso normal, inevitable y universal que consiste en el desgaste y remodelado del paisaje terrestre original a largo plazo, en su medio natural, sin la intervención humana.

Esta clase de erosión se viene manifestando desde que los continentes surgieron del océano por los procesos tectodinámico. Se debe principalmente a la acción del agua, el viento, las variaciones de temperatura, gravedad y glaciares.

Bajo condiciones naturales estables, la erosión geológica en zonas montañosas o colinadas tropicales de clima húmedo, es lo suficientemente lenta como para permitir el desarrollo de los suelos en constante rejuvenecimiento, con horizontes más o menos definidos, y para sostener una continua cobertura vegetal protectora.

A la erosión geológica se debe la mayor parte del modelo actual del relieve, el cual se reconoce en primer instancia sobre diferentes imágenes de la superficie terrestre por las características morfológicas de los patrones de drenaje, cuya forma, densidad,

profundidad de disección y uniformidad dependen de factores litológicos, estructurales, topográficos y climáticos. De otro lado, también se sostiene que las formas del relieve con litología variada están influenciadas no por la resistencia de la roca a la meteorización derivado de cada roca a la meteorización, sino por el efecto de la escorrentía sobre las propiedades del manto de meteorización derivado de cada roca.

En los sistemas de drenaje de zonas montañosas, colinadas, altiplanos, etc., determinados por erosión geológica, cada segmento constituye un valle erosional, generalmente en forma de V, en cuyas laderas e interfluvios no se observa truncamiento de los suelos, no remoción laminar de sus horizontes superiores, sino una cobertura más o menos uniforme de herbáceas, pastos, arbustos o árboles. Esto es un factor que hay que tener en cuenta cuando se trate de diferenciar los rasgos de la erosión natural y la erosión acelerada, (Villota H, 2005).

1.6.Erosión Acelerada

La erosión acelerada, que afecta principalmente al suelo, es un proceso denudativo más fuerte y rápido que la erosión normal o geológica, debido a un cambio brusco en las condiciones imperantes de una zona, cambio que se debe en gran parte a las actividades del hombre.

Es indudable que la actividad humana puede alterar las condiciones de los suelos y originar un desequilibrio ecológico, pero se considera que también existen ciertos factores naturales capaces de iniciar una erosión de las mismas características, tales como:

- a) Los grandes cambios climáticos durante el Pleistoceno
- b) Las deforestaciones externas producidas por tormentas eléctricas

- c) La remoción en masa estimulada por movimientos sísmicos o volcanismos y la subsecuente exposición a la acción de la escorrentía, tanto de la cicatriz de despegue como de la superficie cubierta con los detritos coluviales.
- d) Los microclimas secos de las laderas de sotavento determinados por la configuración de los relieves montañosos.
- e) El avance de los desiertos hacia zonas productivas, por la acción eólica.

En la erosión acelerada, la proporción de suelo removido se incrementa enormemente en un tiempo relativamente corto, hasta el punto de que la pérdida del mismo o bien sobre pasada a la meteorización y desarrollo de éste, originando laderas y cimas casi continuamente desnudas, con afloramientos de la roca subyacente, o si no se manifiesta como patrones de cárcavas, barrancos y surcos que truncan los perfiles de suelos formados con anterioridad en condiciones normales, (Villota H, 2005).

1.7. Formas de Erosión del Suelo por la lluvia y Escorrentía

La erosión de los suelos por el agua puede ser en lámina, en surcos y en cárcavas.

1.7.1. Erosión laminar.

Se refiere a la remoción más o menos uniforme de una lámina delgada de suelo de una superficie inclinada, sin que se formen claramente canales de desagüe.

En la erosión laminar intervienen dos procesos erosivos fundamentales: a) el desprendimiento de partículas de suelo por la lluvia y b) el alejamiento de dichas partículas desde su emplazamiento primitivo por escurrimiento difuso.

Cuando cae un aguacero sobre un suelo desnudo, el efecto mecánico del impacto de las gotas de lluvia constante en romper los agregados del suelo, produciendo saltación de partículas cuesta abajo, o sea erosión pluvial. Parte del agua de las lluvias se infiltra a mayor o menor velocidad según permeabilidad de los materiales; el resto “escurre” por la superficie, en las cimas e interfluvios en un patrón difuso de

canalículos independientes que pueden cambiar de curso después de cada aguacero. El conjunto de canalículos produce sobre toda la superficie afectada un arrastre uniforme de las partículas sueltas de suelo, a modo de película, las que eventualmente se acumulan en la base de las laderas; ésta es la erosión laminar.

Este tipo de erosión sólo llega a determinarse cuando el horizonte A de los suelos es removido totalmente, y aflora el horizonte B o el C, generalmente de colores más claros, originado en las cimas de las montañas y colinas, en los interfluvios y áreas convexas de terrenos ondulados las denominadas calvas de erosión.

Cuando alcanza un grado severo, puede aflorar roca continua, o un “empedramiento”, a partir de los elementos más gruesos que no pudieron ser transportados, (Villota H, 2005).

1.7.2. Erosión en surcos.

Se desarrolla a partir de la erosión laminar con la cual no tiene un límite definido; la remoción del suelo ocurre en mayor cantidad a lo largo de pequeños canales formados por alguna concentración de la escorrentía.

Ocurre en suelos poco permeables o con pendientes empinadas, o cuando la intensidad y duración de los aguaceros son altas, en cuyo caso los canalitos difusos pueden llegar a conectarse unos con otros hasta encausarse y entallarse cuesta abajo, mediante socavamiento y transporte de partículas de suelos hasta el pie de las laderas. Aquí, el desprendimiento de partículas se origina principalmente por la energía del flujo de agua y no por erosión pluvial. Esos estrechos, superficiales (menos de 33 centímetros de profundidad) e intermitentes cursos de agua son los surcos de erosión, que son lo suficientemente pequeños como para “borrarse” con uso de los implementos corrientes de labranza, (Villota H, 2005).

1.7.3. Erosión en cárcavas.

Es una erosión en surcos muy avanzada, que disecta profundamente el suelo que no puede nivelarse con los instrumentos de labranza ordinarios. Este tipo de erosión ocurre cuando el escurrimiento en un declive aumenta en volumen o velocidad, lo suficiente como para disectar profundamente el suelo, o bien cuando el agua concentrada corre por los mismos surcos el tiempo suficiente para ocasionar entalladuras profundas; también por alimentación subsuperficial.

Por consiguiente, la intensidad y la amplitud de la formación de cárcavas guardan una íntima relación con la cantidad de agua de escurrimiento (intensidad de los aguaceros) y la velocidad de ésta; además, están reguladas por las características de los suelos (permeabilidad, cohesión), del relieve; del clima y de la cobertura vegetal protectora.

Las cárcavas pueden acrecer sus dimensiones de profundidad, amplitud y longitud gracias a diversos procesos que pueden ocurrir aislada o simultáneamente.

De ese modo las cárcavas pueden tener dimensiones muy variadas, desde estrechas y poco profundas (menos de un metro), hasta muy amplias y de varios metros de profundidad (30 x 15m o mayores aún).

El perfil transversal de las cárcavas puede ser en V o en U, según que los materiales afectados sean de texturas finas o compactas y resistentes a la entalladura, o en su defecto de texturas más gruesas, con menos cohesión y menos resistencia al socavamiento.

Un patrón intenso de cárcavas, surcos y calvas de erosión laminar, que inhabilitan un terreno para cualquier explotación agropecuaria y que le comunican al paisaje un aspecto desolador, recibe el nombre de tierras malas o “band lands”, (Villota H, 2005).

1.7.4. Movimientos en masa.

Al movimiento de material de la superficie causado por la gravedad se llama movimiento de masa, que algunas veces tiene lugar respectivamente, como grades deslizamientos de tierra; a menudo se efectúan imperceptiblemente, como el lento resbalamiento del suelo a lo largo de terrenos de suave pendiente. Es un tipo de ajuste que los materiales de la tierra hacen en relación con su ambiente físico. Otros agentes como el agua superficial, la del subsuelo, el viento, el hielo, actúan unidos a la gravedad, para realizar la degradación o nivelación de la tierra, (Villota H, 2005).

1.7.4.1. Factores del movimiento de masa

La gravedad proporciona la energía requerida para el movimiento, pendiente abajo, de los escombros superficiales y de las rocas; algunos otros factores como el agua aceleran la efectividad de la gravedad y facilitan su trabajo.

Inmediatamente después de un aguacero copioso se puede presenciar un deslizamiento de tierra sobre una ladera empinada.

En muchos depósitos sin consolidar los espacios porosos entre los granos individuales se llenan parcialmente con agua y parcialmente con aire; mientras persiste esta situación la tensión superficial de la humedad, da cierta cohesión al material; pero cuando sobreviene una lluvia fuerte y obliga al aire a salir de los espacios porosos, se destruye por completo la tensión superficial, se reduce la cohesión del material del suelo y toda la masa se vuelve más susceptible. El agua de los poros se encuentra bajo presión, la cual tiende a apartar los granos individuales o las unidades de rocas, disminuyen la fricción interna o la resistencia del material al desplazamiento. En esta otra forma, el agua nuevamente al movimiento de masa.

La gravedad puede mover material sólo cuando es capaz de vencer la resistencia interna del material que le impide moverse. Entonces, cualquier factor que reduzca esta resistencia hasta el punto en que la gravedad pueda intervenir, contribuye al movimiento de masa. La acción erosiva de una corriente superficial, o un glaciar

pueden acentuar la pendiente y facilitar el movimiento de masa, en climas fríos, el congelamiento y descongelamiento alternadas de los materiales terrestres pueden ser suficientes para ponerlos en movimiento, (Villota H, 2005).

1.7.5. Erosión de cursos permanentes.

Los bordes y fondos de ríos y arroyos son las zonas de la cuenca más susceptibles a la erosión en virtud de su proximidad al cauce ya que deben soportar la máxima energía de las crecientes, ya que son los lugares de traslado y concentración de escurrimientos. La erosión de márgenes se produce en el pie del río debido a la acción erosiva de la corriente que desestabiliza la base y produce el desmoronamiento del resto de la margen, en forma similar al mecanismo descrito para la erosión en cárcavas. Este mecanismo se da típicamente en los sectores cóncavos de meandros o curvas de ríos de llanura, y es responsable del avance (también llamado corrimiento de meandros) del meandro sobre otras tierras.

1.8. Factores que contribuyen a las pérdidas de suelo.

(Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973). Mencionan que el proceso de la erosión consta de una fase de desprendimiento y otra de transporte y deposición, procederemos a evaluar los cuatro principales factores que contribuyen a las pérdidas de suelo.

1.8.1. Factor climático

Los principales factores climáticos que influyeron en el escurrimiento y en la erosión son la lluvia, la temperatura, la energía solar y el viento. La lluvia es el más importante. La temperatura en las zonas templadas ejerce su influencia primariamente mediante las variaciones de la absorción del agua por el suelo. En invierno, el suelo se congela a profundidad variable, lo cual impide la filtración. La temperatura determina si la precipitación será en forma de lluvia o de nieve. También derrite la nieve y da origen al escurrimiento, el cual causa erosión en los microcanales o en la capa superficial deshelada no protegida. En el resto del año, la temperatura como

índice de la energía solar, juega un papel significativo en el proceso de evapotranspiración que regula la cantidad de agua del suelo al tiempo de la precipitación. Las pérdidas de suelo por erosión están correlacionadas con la intensidad de la precipitación sólo cuando la humedad efectiva del suelo al tiempo de la precipitación se considera como uno de los parámetros. La humedad efectiva del suelo varía inversamente con el cuadrado de la temperatura (F°).

El viento afecta al proceso de la erosión, primariamente por el ángulo y la velocidad de impacto de las gotas de agua de lluvia. También influye en la evapotranspiración y por consiguiente en el contenido de humedad del suelo. Limitando nuestra atención en la precipitación como lluvia, encontramos que la cantidad, la intensidad y la distribución de la lluvia ayudan a determinar la acción dispersante de la lluvia en el suelo, la cantidad y la velocidad del escurrimiento y las pérdidas debidas a la erosión.

Una gran lluvia total puede no causar excesiva erosión si la intensidad es baja. De manera análoga, una lluvia intensa de muy corta duración puede no causar mucha pérdida de suelo porque no cae cantidad suficiente de agua de lluvia para producir escurrimiento. Por otra parte, cuando la capacidad y la intensidad son altas en una tormenta, el escurrimiento y la erosión serán de serias proporciones. Esto es especialmente cierto si la precipitación está distribuida de modo que las lluvias caen cuando el suelo no tiene protección de plantas, (Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973).

1.8.2. Relieve.

Las características de la pendiente son también factores importantes en la determinación de la cantidad del escurrimiento y de la erosión. La erosión no es, en general, un problema de las tierras muy llanas. Pero cuando la topografía se hace ligeramente ondulada, la erosión comienza a ser un problema serio. El grado y la longitud de la pendiente son dos características esenciales de la topografía implicadas

en el escurrimiento y en la erosión. La uniformidad de la pendiente es a menudo importante en la relativa facilidad o dificultad para un control adecuado de la erosión. De las dos características de la pendiente, el grado es, en general, más importante que la longitud desde el punto de vista de la gravedad de la erosión. Los experimentos han demostrado que en pendientes menores de 10 % el valor de la erosión se duplica a medida que el grado de la pendiente se duplicaba. La curva de la erosión en función de la pendiente para una lluvia dada tiene ligeramente la forma de una S (Neal, 1938). Las pérdidas en las pendientes más abruptas no aumentan en la misma proporción que las pérdidas en pendientes más suaves, (Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973).

1.8.3. El factor vegetación

Una buena cubierta vegetal, así como un denso césped o un bosque espeso, compensa los efectos del clima, de la topografía y del suelo en la erosión. Este hecho se destaca particularmente en los resultados de las Estaciones Experimentales Federales para la Conservación del Suelo y del Agua. Un buen césped de gramíneas ha reducido a menos de una tonelada de pérdida de suelo por año en suelos que van desde el migajón limoso muy permeable hasta el casi impermeable migajón en pendientes que varían desde 4% hasta 30%. Naturalmente, la producción agrícola no permite cubrir todo el terreno con árboles y pasto.

Pero aún en condiciones de cultivo, la vegetación juega un papel de gran significación en el control de la erosión. Los efectos principales de la vegetación se clasifican en cuatro categorías: 1) interceptación de las lluvias por la cubierta vegetal; 2) disminución de la velocidad de escurrimiento y de la acción cortante del agua; 3) efectos de las raíces en aumentar la granulación, la porosidad y las actividades biológicas asociadas con el crecimiento vegetativo y su influencia sobre la porosidad del suelo, y 4) la transpiración del agua que conduce a la desecación del suelo, (Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973).

1.8.3.1. Intercepción de las lluvias

La interceptación de las gotas de lluvia por la cubierta vegetal afecta de dos modos la erosión del suelo. Primero, parte del agua interceptada no llega al suelo, sino que es evaporada directamente en las hojas y los tallos. Esta agua no puede contribuir al escurrimiento y no es un factor de erosión. Segundo, la cubierta vegetal absorbe el impacto de las gotas de lluvia y aminora los efectos destructivos de la lluvia sobre la estructura del suelo. En 1880, Wollny Bayer, 1938, demostró que de 12 a 55 % de la precipitación total era interceptada por las cubiertas vegetales y no llegaba a la superficie del terreno directamente. El porcentaje de interceptación dependía del tipo de cultivo y del número de plantas por unidad de área. Según datos posteriores los porcentajes de interceptación variaban de 7 a 45%. Estos resultados señalan que el efecto de cubierta de la vegetación contra el impacto de las gotas de agua es un factor importante en la disminución de pérdidas de suelo por erosión, (Bayer L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973).

1.8.3.2. Disminución de la cantidad y velocidad del escurrimiento

La vegetación aumenta la capacidad de almacenamiento de lluvia en el suelo, porque la transpiración de las plantas es un factor de importancia en la eliminación del agua de los suelos. En consecuencia, el escurrimiento para una lluvia dada disminuye. Una cubierta vegetal es muy eficaz para disminuir el escurrimiento cuando aquélla está en crecimiento. Durante los meses de invierno en la zona templada, cuando faltan grandes áreas de superficie de hojas para interceptar las gotas de lluvia y para transpirar el agua, la vegetación funciona principalmente disminuyendo la tasa de escurrimiento. También puede proteger el suelo contra la congelación y con ello mantener una buena tasa de filtración. Cualquier capa vegetal es un impedimento para el escurrimiento del agua. Una vegetación de buena densidad bien distribuida no sólo disminuirá la velocidad del agua que corre por la pendiente, sino que también tenderá a evitar una rápida concentración del agua. Al reducir la velocidad del escurrimiento y evitar la concentración del agua, disminuirá la acción cortante del agua.

El hecho de que el efecto de la vegetación en la velocidad del agua es mayor que el efecto en el valor total del escurrimiento es raramente apreciado. Estos efectos se muestran claramente por ejemplo la diferencia entre el pasto de gramíneas y el maíz con respecto a la velocidad de escurrimiento es el doble de la diferencia entre estos dos cultivos con respecto al escurrimiento total. Además, aunque el escurrimiento total en la avena y en el pasto azul es casi el mismo, la velocidad de la primera es más del doble que en el segundo. Cuando la velocidad de escurrimiento disminuye por la vegetación, hay más tiempo para la filtración, lo cual reduce el escurrimiento total.

Un buen césped de gramíneas resiste la acción del agua. Esto se muestra en el hecho de que canales de desagüe de terrazas estabilizados por el césped se encuentran entre los mejores y que muchas terrazas evacuan en viejos pastos. La utilización de canales de gramíneas para conducir el agua en una pendiente es un testimonio de las cualidades de resistencia del césped al escurrimiento (Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973).

1.8.3.3.Efectos de las raíces y efectos biológicos

Los efectos de las raíces y los efectos biológicos deben estudiarse juntos, pues unos y otros contribuyen a una granulación estable y a una mayor porosidad. Además cuando hay una buena cubierta de vegetación, por ejemplo, de césped o forestal, hay abundante población biótica, especialmente de las raíces de la tierra. La influencia de la acción de ligadura de las raíces en la erosión de los suelos es evidente en la técnica experimental de Weaver para medir la resistencia de los suelos a la acción erosiva consistía en someter pequeñas muestras de suelos a la acción erosiva del agua aplicada en cantidad de 48 litros por minuto a presión de 47 g/cm^2 con una manguera. Las muestras de suelo en su estructura natural fueron tomadas unos 10 cm de profundidad; el área total de la superficie era de $0,5 \text{ m}^2$.

Estos datos señalan las diferencias que pueden expresarse entre los diferentes cultivos en sus efectos para mantener el suelo unido contra la acción erosiva del agua de lluvia y del agua de escurrimiento, (Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973).

1.8.4. El factor suelo

Los efectos de las propiedades del suelo sobre la erosión causada por el agua se manifiestan de dos modos. Primero, algunas propiedades determinan la rapidez de penetración de la lluvia en el suelo; segundo, hay propiedades que resisten la dispersión y la erosión durante la lluvia y durante el escurrimiento. Aunque estas dos fases del factor suelo están claramente relacionadas, la primera es, con mucho, la más importante, (Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973).

1.8.4.1. Aceptación de la lluvia

La capacidad de un suelo para aceptar la lluvia depende: 1) del estado de la superficie del suelo en porosidad de aeración; 2) del contenido de humedad del suelo al tiempo de la lluvia, y 3) de la permeabilidad del perfil. Los dos primeros factores son importantes para la rapidez de filtración del suelo. La permeabilidad del perfil expresa la intensidad de transmisión del agua a través del suelo y está relacionada con la porosidad de aireación.

El contenido de humedad del suelo al principio de la lluvia influye en la intensidad de filtración más que ningún otro factor en los primeros veinte minutos. La intensidad de filtración varía aproximadamente en razón inversa de la raíz cuadrada del contenido de humedad del suelo al principio de la lluvia. (Wischmeier y Smith, 1958) mencionados por (Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973), reconocieron la importancia de la humedad del suelo al tiempo de la lluvia e incluyeron un índice de precipitación antecedente en su ecuación de pérdida de suelo.

1.8.4.2. Resistencia a la dispersión

Las principales propiedades del suelo que afectan a la erosión en el escurrimiento están relacionadas con la facilidad de dispersión. Existen dos condiciones estructurales de la superficie del suelo que afectan a la dispersión. Cuando el suelo está seco y algo compactado, el primer incremento de la lluvia produce disgregación en la superficie y una alta densidad de escurrimiento. A medida que la lluvia continúa después de que esta capa de suelo suelto ha sido eliminada, se forma una superficie compactada húmeda que disminuye la densidad de escurrimiento a pesar del mayor valor total de este. La resistencia de la capa húmeda aumenta con el contenido de arcilla.

Si la intensidad de la precipitación excede la capacidad de filtración cuando el suelo está flojo y friable, como ocurre en los campos recién cultivados, las pérdidas de suelo son en general altas. No hay ligazón entre los granulitos, y el suelo se erosiona hasta la base de la capa aflojada. En este caso, la granulación acelera la erosión en vez de retrasarla.

En consecuencia, parece que al principio de las lluvias largas e intensas y en todo el curso de las tormentas cortas, el suelo se erosiona por el aflojamiento y la acción del golpeo de las gotas de agua de lluvia sobre el suelo. El material fino es arrastrado durante esta fase de la erosión. Cuando más granular y resistente es el suelo al afloramiento y a la dispersión, menor es la densidad del escurrimiento. Si la tormenta continúa y el escurrimiento aumenta, en cantidad y en velocidad, la erosión del suelo depende de la coherencia de las partículas de la superficie inmediata con las que se encuentran por debajo de ellas. En este caso, un suelo muy granular probablemente será más erosionado por unidad dada de escurrimiento que uno que tenga la superficie suave y compacta.

La mayor facilidad de erosión de los agregados sueltos comparada con la de una superficie compactada se ve perfectamente en subsuelos de arcilla descubiertos. Cuando tales áreas expuestas están húmedas, hay un estado apreciable de compactación y coherencia entre las partículas; la densidad del escurrimiento no es grande. Sin embargo, después de una larga sequía con solo alguno que otro chubasco, la superficie de estas áreas se deshace y queda en estado de gruesa agregación. La siguiente lluvia fuerte arrastrará fácilmente esta capa aflorada en la zona compactada.

Además de las condiciones de superficie descritas, hay una situación de humedad extrema que se ve a menudo en suelos abundantes en limo y de mediana pendiente. En los periodos de lluvia continua de baja intensidad, estos suelos se saturan de agua y quedan con muy baja cohesión. Si una lluvia torrencial cae en tales suelos, el escurrimiento será grande y la erosión muy intensa. Esta condición existe a menudo en los suelos ondulados con losa de arcilla en el medio oeste, (Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973).

1.8.5. Sistema de producción.

En un sentido amplio, los sistemas de producción son las formas en que la sociedad hace uso de los recursos naturales de una cuenca, especialmente en este caso nos interesa la relación sociedad-naturaleza vinculada al uso y manejo de las tierras. Deben incluirse en este caso las interacciones del sistema agropecuario con el resto de los sectores de una sociedad (urbano, suburbano, industrial, extractivo, etc.) ya que es la interacción del conjunto la que define las formas de uso en un momento determinado de la evolución social.

Cada sistema de producción incide de manera distinta sobre los demás componentes del sistema, pudiendo responder a las condiciones ecológicas del área, o estar definido por otros factores: económicos, de mercados, gustos personales, asesoramiento técnico, etc., que pueden hacer que la intensidad del proceso de erosión se vea modificada.

El aspecto más directo del uso y manejo de los suelos sobre la erosión se relaciona con el efecto de protección de la superficie del suelo por la vegetación o restos de ella. Otros aspectos del uso y manejo de las tierras tienen relación con la presión de uso sobre ambientes naturales o semi naturales como las sierras, los piedemonte, las zonas boscosas y las riberas de los ríos y arroyos. La eliminación de la vegetación, el sobrepastoreo o la quema indiscriminada son factores que aceleran los procesos erosivos, e incrementan las tasas de sedimentación de tierras. La contaminación de cursos superficiales con nutrientes derivados de fertilizantes fosforados, con pesticidas y otros agroquímicos es otra de las consecuencias del incremento de los procesos erosivos. La sobreexplotación de áridos (arena para la construcción) o la minería a cielo abierto en ambientes serranos son otros de los factores que implican serios impactos ambientales negativos por el posible incremento en las tasas de erosión, en la degradación de cursos de agua y en la probable contaminación por fuente puntual. La disminución del nivel de base del río Cuarto por erosión de fondo, es una de las consecuencias importantes de los desajustes en el uso y manejo de tierras tanto en la región serrana, como en las cuencas agrícolas y en el propio lecho del curso, (Baver L.D.; Gardner W.H.; Gardner W. R, 1973).

1.9. La cuenca como unidad territorial.

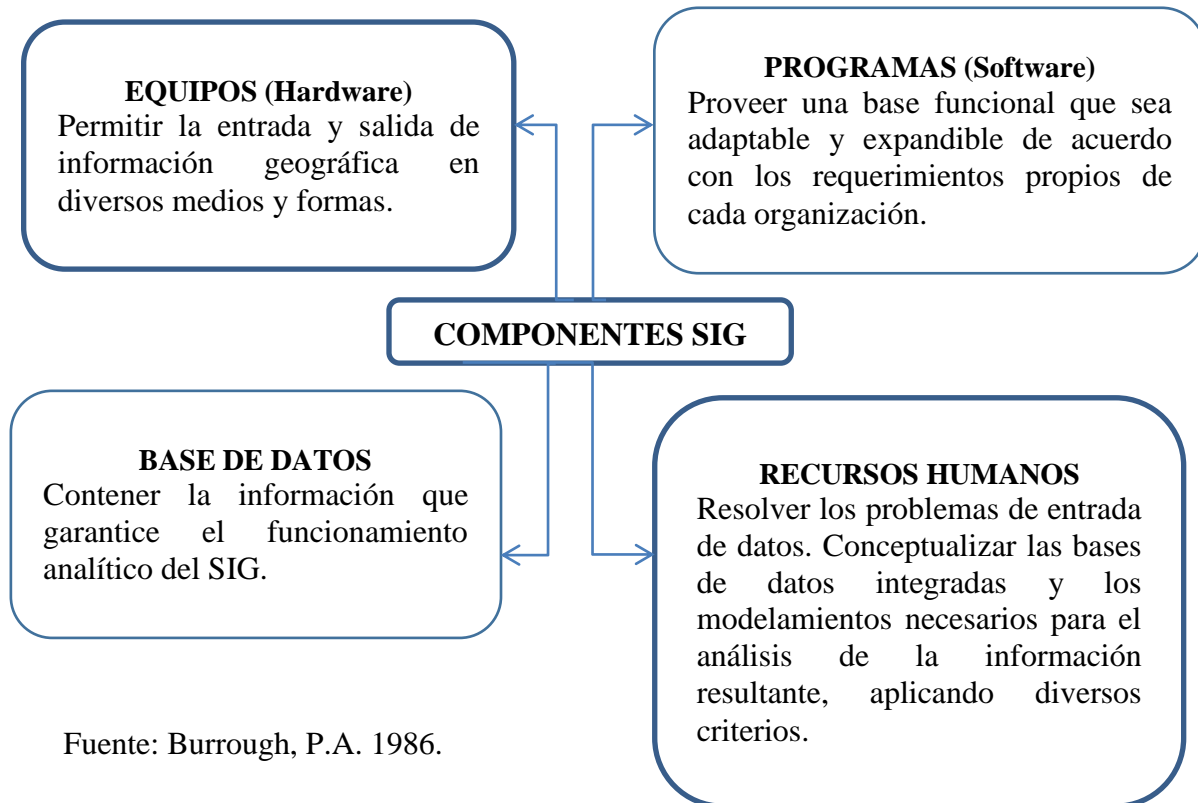
En términos estrictos, una cuenca es el área drenada por una corriente fluvial y sus tributarios. Sus componentes están definidos por el relieve, es decir, por la altitud y cambios en la altitud: canales o cursos principales y tributarios, laderas, divisoria de aguas y nivel de base. Las cuencas y sus canales se organizan a nivel jerárquico: subcuencas y órdenes de cauces. Sin embargo, la cuenca no encierra la idea de homogeneidad a ninguno de los niveles subordinados. La delimitación de subcuencas está dada por la organización de los cauces, no así por las demás características del terreno. En tanto unidad territorial, y a efectos de poder manejar o gestionar el recurso agua en forma eficiente, es preciso considerar aspectos tales como pisos altitudinales (por los cambios en precipitación y temperatura), formas del relieve y suelos (por los cambios en las rocas y materiales superficiales), uso del suelo y

cambio de uso de suelo, cambios en la riqueza y abundancia en la biota, sistemas productivos y aptitud para los mismos, y organización social y política para el manejo de recursos. Todos estos componentes pueden ser inventariados, analizados y cartografiados utilizando SIG y otras técnicas complementarias. (Burgos A. L., Bocco G., Sosa Ramírez J., 2015).

1.10. Sistema de Información Geográfica.

Un sistema de información geográfica es una herramienta de cómputo de manejo de bases de datos que los codifica, almacena y recupera, transformando y desplegando datos espaciales desde el mundo real, para diferentes propósitos (Burrough,P.A. 1986). Según (Aronoff (1989)), los SIG pueden definirse como un conjunto de tecnologías de información (equipos y programas) y procedimientos que permiten el manejo de datos e información de carácter geográfico, o espacial, y sus atributos relacionados.

Gráfico N° 1 Componentes de una Sistema de Información Geográfica.



Fuente: Burrough, P.A. 1986.

1.10.1. Mapas temáticos

A medida que los mapas se han vuelto más complejos, ha ido aumentando la presentación de subconjuntos de la información original. Éstos son los mapas para fines especiales, de distribución o temáticos. Pueden mostrar la distribución espacial de una variedad casi ilimitada de características, y “su objetivo es la representación gráfica de los patrones y relaciones espaciales, en la medida en que es posible relacionarlos con el espacio geográfico y transformarlos en símbolos cartográficos.” (Lehmann y Ogrissek, 1988).

La mayoría de los mapas temáticos se ocupan de un único tema, aunque cada uno de ellos puede mostrar varias subcategorías del tema en cuestión. Para concentrarse mejor en un tema específico, estos mapas abandonan a veces la precisión espacial; entonces se denominan cartogramas y con frecuencia ilustran rutas de transporte, como las rutas aéreas, las redes de metro, etc.

Debido al amplio abanico de temas que abarcan y a la creciente tendencia a generarlos con computadoras, este tipo de mapas está aumentando muy rápidamente, a la vez que se afirma cada vez más su importancia para los SIG.

Muchos mapas temáticos se encuentran en el comercio, pero la mayor parte, con mucho, se prepara para un fin específico, por ejemplo para una investigación, o para ilustrar una zona particular en una publicación, o como ayuda para algunos tipos de proyectos de planificación. También está creciendo con rapidez la producción de atlas temáticos. Por lo general, éstos tratan distintos temas de forma individual, o bien muestran una variedad de temas en relación con determinadas zonas o países.

1.10.2. El análisis de riesgos

El análisis de riesgos se refiere a la predicción de un determinado nivel de riesgo y la definición de sus atributos en coordenadas espaciales y temporales específicas. El análisis de riesgos viene recomendándose desde hace mucho tiempo como una herramienta para la gestión de riesgos.

Los mapas de riesgo son fundamentales para el diseño de programas de mitigación y para la aplicación de medidas de mitigación como la zonificación urbana y los

reglamentos de construcción. En la práctica, el análisis de riesgos como metodología ha reflejado los enfoques establecidos por la investigación y las prioridades de las agencias responsables de la gestión de los riesgos. Ya que existen diferentes enfoques sobre el riesgo, que van desde el concepto de que riesgo es sinónimo de amenaza, hasta conceptos holísticos de escenarios de riesgos, el análisis de riesgos puede entenderse de muchas maneras.

En muchos casos, el análisis de riesgos se limita a producir mapas de la distribución espacial y temporal de las amenazas y sus atributos. Bajo la denominación generalizada de mapas de riesgo se producen mapas de amenaza sísmica, amenaza de deslizamientos y de inundaciones, etc. El análisis de la distribución, frecuencia, topología y magnitud de amenazas, sin embargo, representa una evaluación de amenazas y no de riesgos propiamente dichos, ya que no se toma en cuenta la vulnerabilidad, (Maskrey A. 1998).

1.10.3. La aplicación de los SIG al análisis de riesgos

(Maskrey A. 1998) menciona en su libro. Antes de la disponibilidad amplia de tecnología informática en los años, los análisis de riesgos fueron realizados utilizando técnicas analógicas, como la superposición manual de mapas temáticos. Esa técnica había sido utilizada durante muchos años para producir mapas de las amenazas ambientales; por ejemplo, para identificar polígonos donde existan terrenos aptos para la construcción, en zonas que no sufran de inundaciones. La misma técnica fue utilizada en 1982 para producir el Plan de Protección Sísmica de Lima Metropolitana, mediante la superposición de capas cartográficas sobre la vulnerabilidad física de las construcciones (altura de las construcciones, materiales de construcción, estado de conservación, etc.) con información sobre la vulnerabilidad social y económica.

Técnicas analógicas de este tipo, sin embargo, tienen fuertes limitaciones para el análisis de riesgos, debido al impedimento físico de no poder superponer más que un número pequeño de mapas. Como tal, resultan insuficientes para manejar grandes volúmenes de datos o para realizar operaciones espaciales más sofisticadas. Por otro

lado, la información que se produce es fundamentalmente estática en carácter, dado el tiempo y recursos requeridos para redibujar manualmente los mapas.

Es poco sorprendente, entonces, la introducción de sistemas digitales de información, como los SIG, para el análisis de riesgos. Un SIG puede capturar datos geográficos en diferentes formatos; por ejemplo, mapas analógicos digitalizados, imágenes de satélite y datos alfanuméricos georreferenciados, y puede también almacenar grandes volúmenes de datos en un formato digital en diferentes estructuras de bases de datos. Los SIG permiten la integración de números ilimitados de capas temáticas, utilizando diferentes algoritmos para llevar a cabo operaciones espaciales.

También permiten la representación gráfica de la información geográfica en muchos formatos diferentes, incluyendo pero no limitándose a mapas temáticos. En términos institucionales, los SIG permiten centralizar e integrar información normalmente dispersa en diferentes formatos, en diferentes organizaciones, para producir "nueva" información de acuerdo a las necesidades de diferentes aplicaciones y usuarios. En contraste a las técnicas analógicas, los SIG ofrecen sistemas dinámicos de información, en los cuales los datos pueden ser actualizados periódicamente o continuamente.

El uso de los SIG para el análisis de riesgos ofrece una serie de ventajas: puede ser barato, si es que hay una selección adecuada de equipos; puede multiplicar la productividad, reducir costos y dar resultados de más alta calidad que técnicas manuales, irrespectivo de los costos involucrados; puede, asimismo, facilitar la toma de decisiones y mejorar la coordinación entre agencias. Adicionalmente, puede mejorar la amplitud y profundidad de los análisis de riesgos, orientar los procesos de desarrollo, y asistir a planificadores en la selección de medidas de mitigación y la implementación de acciones de preparativos y respuesta. El uso de un SIG puede ahorrar tiempo en la preparación de mapas y facilitar la evaluación de diferentes estrategias de desarrollo, referente a usos de tierra existentes y potenciales. Mediante

la combinación de diferentes fuentes de información, un SIG puede descubrir información nueva y valiosa sobre los riesgos, que permita ayudar a los planificadores a evaluar el impacto de las amenazas en actividades de desarrollos existentes y propuestas.

1.10.4. El diseño de modelos espaciales de riesgo

Para analizar riesgos en un ambiente SIG, el riesgo tiene que representarse como un modelo espacial. En el modelo espacial en un SIG, los fenómenos del mundo real se representan como entidades espaciales (puntos, líneas, polígonos, superficies o redes). Un fenómeno que no puede representarse por algún tipo de entidad espacial no puede incorporarse en un modelo espacial. Cada entidad espacial tiene que ser georeferenciada, para mostrar dónde se ubica el fenómeno. Los modelos espaciales también tienen que poder representar los atributos del fenómeno, indicando qué cosa se encuentra en un lugar determinado. Finalmente, en los modelos espaciales hay que expresar la topología de las entidades espaciales, y las relaciones entre sus atributos. Ya que el riesgo no sólo tiene atributos espaciales sino también temporales, los modelos espaciales de riesgo, normalmente, tendrían que incluir una referencia temporal. En otras palabras, un modelo espacial de riesgo debería tener la capacidad de representar y analizar el riesgo en sus dimensiones espaciales, temporales y semánticas. Normalmente, el proceso de desarrollo de una aplicación SIG se inicia con el diseño del modelo espacial, el cual se sustenta, a su vez, sobre un modelo conceptual del fenómeno por representarse. Según la literatura disponible, es evidente que en muchas aplicaciones los modelos espaciales de riesgo y los procedimientos utilizados para la integración de los datos no tienen un sustento conceptual explícito, sino que se basan en definiciones pragmáticas y operativas del riesgo. La documentación sobre los modelos de riesgo, a menudo, se reduce a un listado de los atributos incorporados en la aplicación como capas temáticas con poco sustento conceptual de su significado. El diseño de un modelo espacial, sin embargo, no puede llevarse a cabo autónomamente y sin referencia al desarrollo de teorías y marcos conceptuales sobre el riesgo. Cualquier modelo espacial se nutre implícita o

explícitamente de una u otra teoría del riesgo. Las limitaciones de un modelo espacial para representar el riesgo, normalmente, reflejan las limitaciones de los modelos conceptuales de riesgo subyacentes. Para poder analizar los escenarios de riesgo, entonces, es preciso el diseño de modelos espaciales que se alimenten de los enfoques sociales u holísticos del riesgo y que sean capaces de analizar no sólo los aspectos físicos, sino también los aspectos sociales, económicos, culturales y políticos del mismo planteados por (Maskrey A. 1998).

1.11. Geomática

La Geomática nació de la necesidad de integrar las ciencias de la medición de la Tierra con la informática. La palabra Geomática está compuesta de dos ramas GEO- por Geoide y MATICA- por Informática. Es decir estudio del Geoide o globo terrestre a través de la informática (tratamiento automático de la información)

Disciplina enfocada en el desarrollo y utilización de aplicaciones informáticas destinadas a la producción y manipulación de información referenciada geográficamente para apoyar en la toma de decisiones. También se puede decir que la geomática comprende la ciencia, ingeniería y arte que se emplea en la colecta y manejo de información geográficamente referenciada. La información geográfica juega un papel protagónico en actividades tales como monitoreo ambiental, manejo de recursos terrestres y marinos, transacciones de bienes raíces, monitoreo de presas, campos petrolíferos y minas, navegación de embarcaciones y aeronaves, oceanografía, y turismo, (Herrera y H. Bernard, 2001).

1.12. Estudios relacionados.

Elaborado por (Espinoza L., 2002). El proceso de elaboración del suelo por la erosión hídrica en la cuenca del Rio Tolomosa, es uno de los principales problemas que sobresale en el cuadro ambiental local; con el objetivo de zonificar las áreas erosionadas en la cuenca del rio Tolomosa, se ha elaborado la cartografía temática relacionada con el proceso erosivo, como la agresividad pluvial, riesgo a la erosión y conflictos de uso empleando imágenes de satélite Landsat de 1997. La zonificación

de las áreas erosionadas, se ha realizado mediante cruces de los mapas temáticos con el empleo de sistemas de información geográfica ILWIS.

También podemos encontrar el Estudio de Priorización de Cuencas de la Cordillera del Tunari para su Intervención dirigido por (PROMIC, 1995). En donde inician sus actividades en la cuenca Taquiña en 1991, efectuando en diagnostico básico

Y el manejo a nivel experimental de esta cuenca, denominada cuenca piloto.

Posteriormente las variables mínimas identificadas en la cuenca piloto (geología, geomorfología, uso, cobertura y pendiente) son extrapoladas (transferidas a nivel regional) a las 39 cuencas de la cordillera del Tunari para su posterior tratamiento a través de un análisis espacial.

El modelo de análisis espacial diseñado específicamente para la Cordillera del Tunari, utilizando técnicas avanzadas de análisis en el Sistema de Información Geográfica ILWIS, permite obtener un mapa de riesgos de erosión y degradación de tierras, que a su vez fue considerado como la base para la priorización de cuencas en la Cordillera del Tunari. Así como una priorización de áreas de influencia, ambas mediante la utilización de índices, que relacionan el estado particular de cada cuenca y su relación con la cordillera (para la priorización de cuencas), y el estado real de cada área de influencia y su relación con la superficie de las 36 áreas de influencia.

CAPÍTULO II

2. Materiales y Métodos.

2.1. Descripción del área de estudio.

La sub cuenca del Río de la Vitoria está ubicada 10 km al Oeste de la ciudad de Tarija. La sub cuenca del Río de la Vitoria ocupa una superficie de 60.7 km², el río de la Vitoria se considera un afluente del río Guadalquivir, (nombre que recibe el Río Grande de Tarija en su tramo superior).

Según datos de COSAATL, 2007 el Rincón de la Vitoria tiene un Caudal Máximo de 334 l/s, Mínimo 90 l/s y Promedio 230 l/s 2. Obras de Captación: a 12 km. al oeste de la ciudad a una altura de 2200 msnm., Presa de Derivación: Rincón de la Victoria del año 1989.

La parte alta de la sub cuenca de la Vitoria está sujeta a protección estricta, no permitiéndose actividades agrícolas o ganaderas aguas arriba de las tomas de agua.

Su pendiente es escarpada 50 – 60 % de forma irregular, la pedregosidad superficial es mucha de 40%, el drenaje superficial es rápido, la erosión hídrica es de grado ligero (Molina J., Herbas C., Mendoza J., 2002).

Temperatura y Precipitación

Presenta un clima templado con temperaturas máximas que varían desde los 18 °C hasta los 32 °C, con notable influencia de vientos fríos del sur (surazos o heladas) entre junio a septiembre. La precipitación oscila entre 600 a 1.250 mm, donde los meses con mayor precipitación son de diciembre a marzo.

Las riadas pueden presentarse ocasionalmente de enero a marzo en las comunidades de Bella Vista, San Pedro de Sola y Rincón de la Victoria; cuando se presentan, estas comunidades son arrasadas en sus zonas ribereñas, con pérdida de extensas zonas de cultivo, ganado e incluso viviendas rurales, SG/OEA, PEA, SERNAP,2004.

Geomorfología y Suelos

Las laderas, se caracterizan por sus zonas escarpadas, fuertes pendientes y barrancos, donde se concentra la humedad y se desarrolla una vegetación característica. En estas laderas y quebradas se originan los cauces de los principales cuerpos de agua, que suministran del líquido a la ciudad de Tarija. Los pequeños Valles que se presentan normalmente están acompañados por profundos cañadones; las partes bajas de los Valles son amplias deposiciones de sedimentos fluvio-lacustres fuertemente erosionados y disectados, con presencia de planicies, terrazas y colinas residuales que limitan al oeste con la serranía de Sama. Los suelos son profundos de textura franco-arenosa a franco-limosa, con cantidades variables de fragmentos gruesos y baja cantidad de materia orgánica; en las márgenes de los ríos son arenosos y pedregosos. Las características del suelo y la disponibilidad de agua permiten una variada producción agrícola, SG/OEA, PEA, SERNAP, 2004.

Vegetación

Son bosques semihúmedos siempre verdes, en las laderas y quebradas, entre alturas que varían desde los 1.990 a 3.000 m.s.n.m., se tiene una representación del piso superior de bosques Tucumano-Bolivianos, con sus máximas representaciones en las comunidades del Rincón de la Victoria, San Pedro de Sola y Calderillas (Pocewicz, 2000).

En las partes altas de esta ecoregión se encuentran pequeños bosques mixtos de quewiña (*Polylepis hieronymi* y *P. crista-galli*), chirimolle (*Escallonia resinosa*) y aliso (*Alnus acuminata*). En altitudes menores están los bosques de pino de cerro (*Podocarpus parlaorei*) entremezclados con aliso (*Alnus acuminata*), sauco (*Fagara coco*), espinillo (*Duranta serratifolia*) y varias especies de epífitas (*Tillandsia* spp.).

En los relevamientos de vegetación realizados en los bosques Tucumano-Bolivianos y en las zonas ribereñas de los ríos Sola y Rincón de la Victoria se identificaron 140 especies, donde las más representativas son las familias Gramineae, Asteraceae, Bromeliaceae, Solanaceae y Labiatae, SG/OEA, PEA, SERNAP, 2004.

Fauna

Se constituyen en hábitats de varias especies de fauna; destacándose los venados (*Hippocamelus antisensis*), que en periodo de invierno bajan desde las serranías de Sama en busca de alimento. Otros mamíferos como el gato de los pagonales (*Felis colocolo*) y aves como el mirlo de agua (*Cinclus schulzi*), la coludita de la quewiña (*Leptasthenura yanacensis*) y el carpintero de la quewiña (*Oreomanes fraseri*) dependen de este hábitat para sobrevivir (Dupret, 1999), SG/OEA, PEA, SERNAP, 2004.

Actividad productiva

De los bosques representativos del piso superior del Tucumano-Boliviano, aledaño a la comunidad del Rincón de la Victoria, se extraen constantemente ramas de guayabo (*Eugenia* sp.) y helechos (adiantaceae) para adornar los ramos de flores que se venden en la ciudad de Tarija. De estos bosques también se extrae leña de quewiña (*Polylepis hieronymi*, *Polylepis crista-galli*) y troncos de pino de cerro (*Podocarpus parlatoarei*) para utilizarlos en la construcción de viviendas, postes de luz o para la construcción de herramientas de labranza; además, en época seca, cuando está escaso el forraje los comunarios traen a pastear a su ganado. Estas actividades no planificadas están provocando perjuicios en el desarrollo de los árboles y en la cobertura del bosque en general, SG/OEA, PEA, SERNAP, 2004.

En las laderas y cerros, hasta donde lo permite su accesibilidad y la disponibilidad de cobertura vegetal, se practica el pastoreo de ganado vacuno y ovino, especialmente en las quebradas que cuentan con bastante y variada vegetación.

La ganadería se constituye en una actividad complementaria y como fuente de ahorro familiar, movilizable en cualquier momento; en este sentido la crianza de ganado no responde a una lógica de manejo pecuario pues el objetivo del campesino no es obtener buenos resultados zootécnicos y un ingreso elevado, sino maximizar el número de animales y con él la reserva de su ahorro. Las condiciones bióticas permiten la crianza de bovinos, caprinos y en menor proporción ovinos. Los

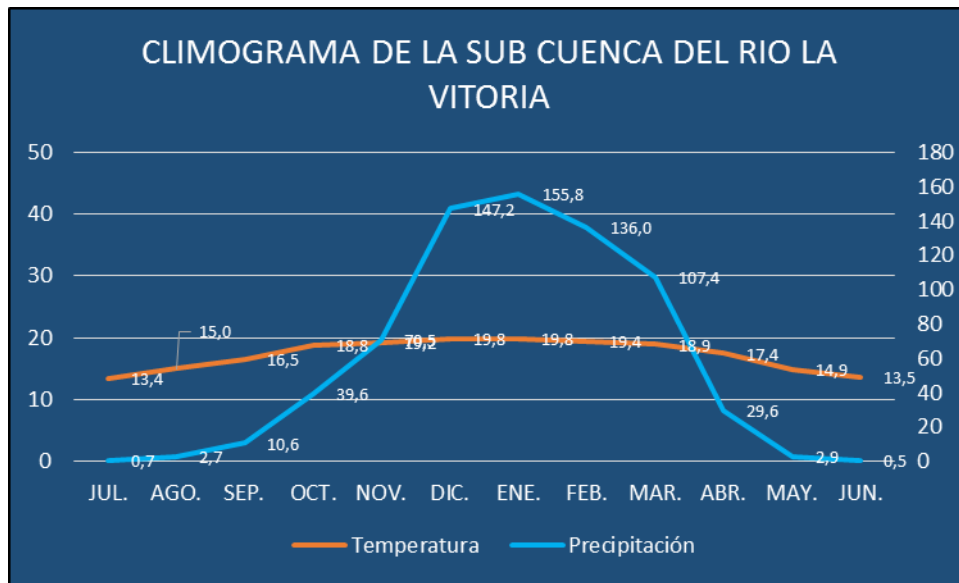
subproductos principales son la leche, carne y queso, los que se comercializan en los mercados de la ciudad de Tarija.

Zonas de pie de monte y valles aluviales, próximos al valle de Tarija y ciudad propiamente. Esta zona se caracteriza por tener fincas o propiedades medianas y grandes, de 5 a 20 ha. la mayor parte cuenta con riego, en tierras de buena calidad con carácter intensivo, con importantes excedentes destinados al mercado (Beck et al., 2001). Estos sistemas se caracterizan por una importante inversión en insumos como ser jornales, agroquímicos, mecanización. Los principales cultivos son papa, maíz, avena, maní, hortalizas, diversas flores y frutales (durazno, pera, ciruelo), SG/OEA, PEA, SERNAP, 2004.

Balance hídrico sub cuenca Rio la Vitoria.

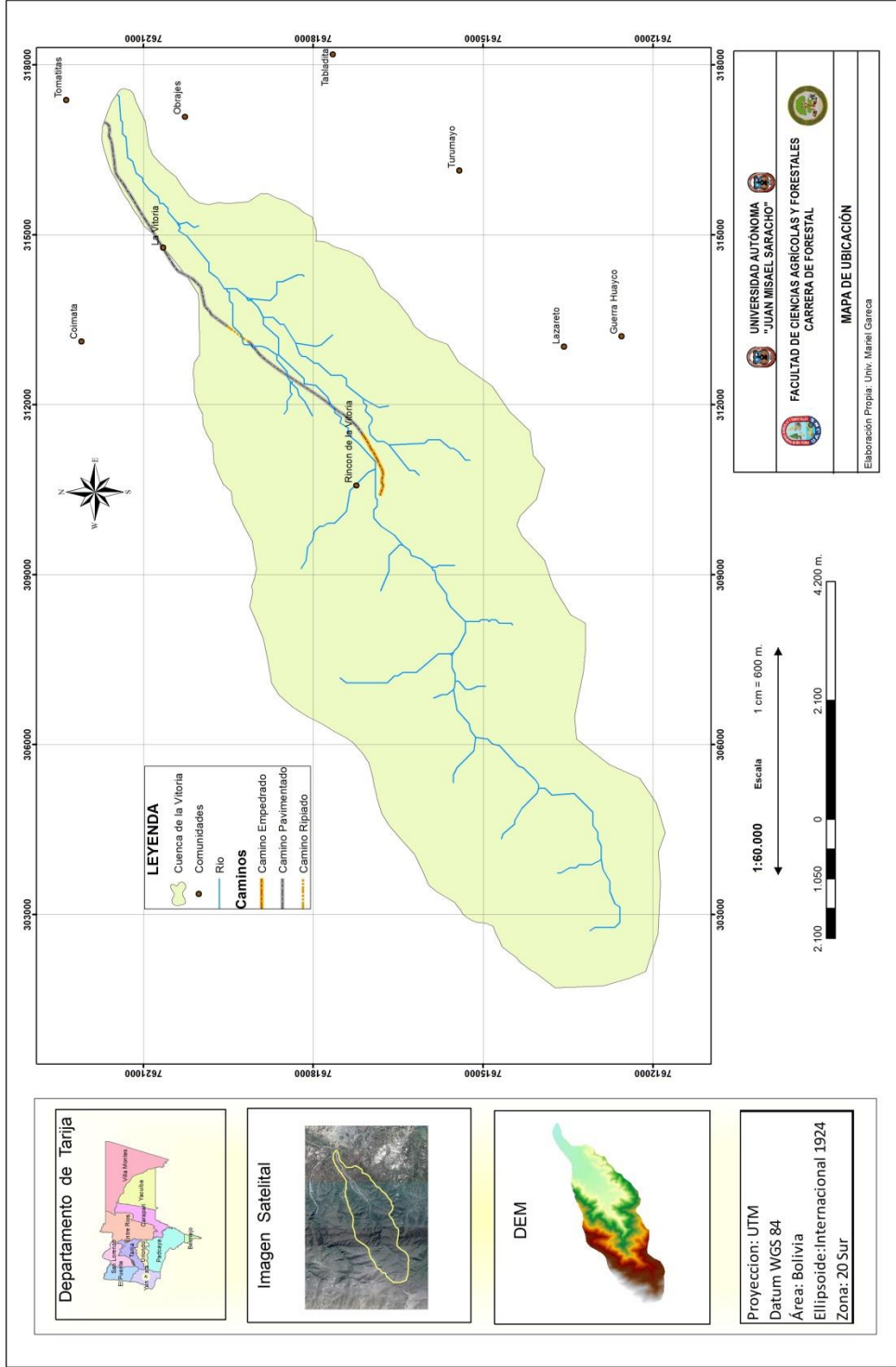
De acuerdo al gráfico los meses de mayor precipitación y temperatura convergen desde octubre-marzo, mientras los meses de déficit de abril a septiembre. Algo muy notorio es que los meses pico de precipitación se mantienen por solo tres meses diciembre, enero y febrero, por el contrario los meses más secos se mantienen constantes por alrededor de los seis restantes meses. Esto simplemente da a entender que el almacenamiento de los acuíferos se ve limitado y la demanda se prolonga por un tiempo incapaz de poder satisfacer.

Gráfico N° 2 Climograma de la sub cuenca del Río la Vitoria.



Fuente: Elaboración propia, datos SENAMHI, medias periodo 1980/2016

Mapa N° 1



2.2. Materiales.

Materiales de campo y gabinete.

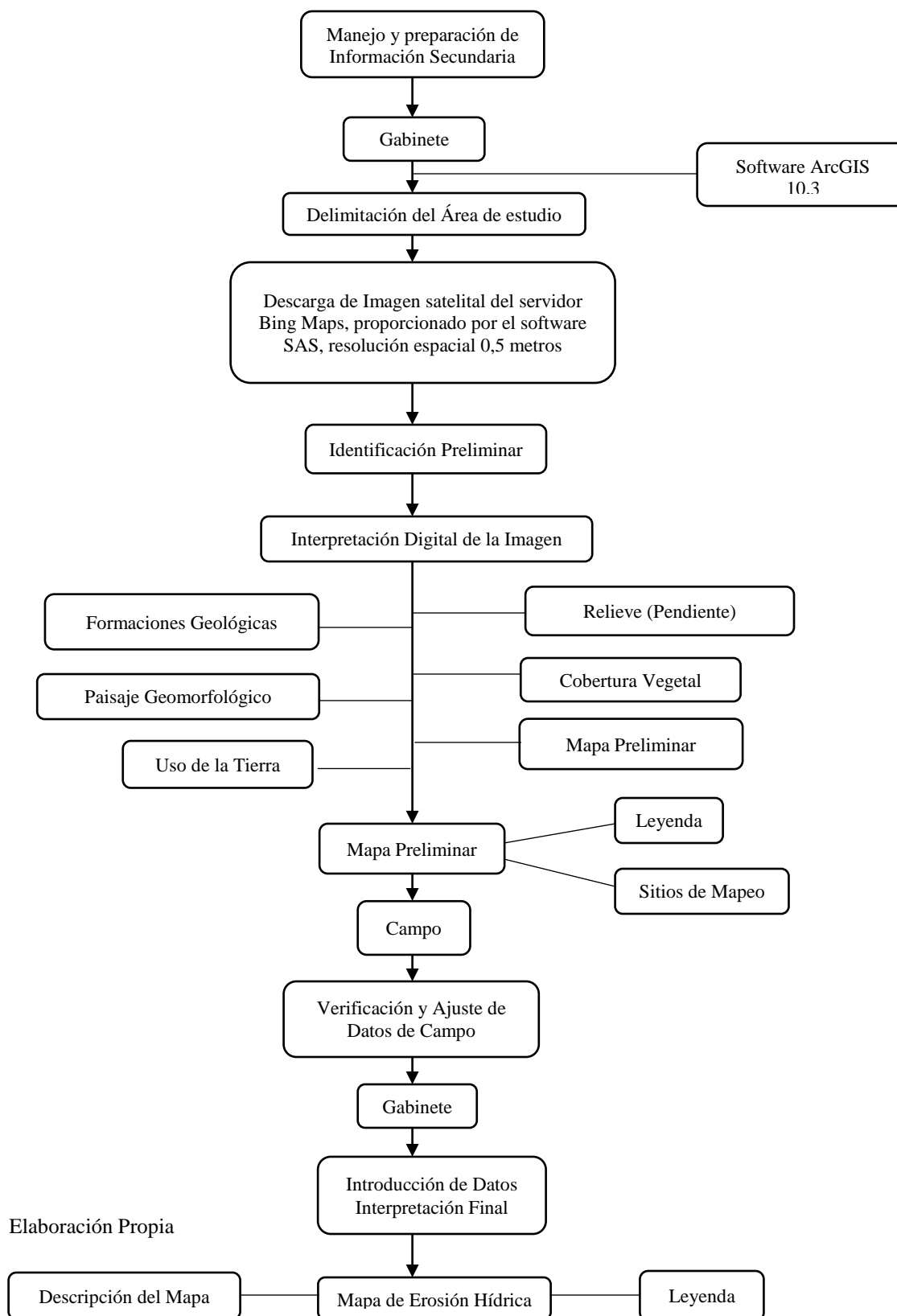
- ❖ Mapa Base
- ❖ Cámara fotográfica.
- ❖ GPS
- ❖ Material de escritorio (lapiceros, borrador, papel escritorio)
- ❖ Software ArcGIS 10.3
- ❖ Imagen satelital del servidor Bing Maps, proporcionado por el software SAS Planet, año 2013.
- ❖ DEM (modelo digital de elevación) del servidor ASTER GDEM
- ❖ Software google Earth pro
- ❖ Software SAS PLANET

2.3. Metodología.

2.3.1. Primera fase:

De acuerdo al siguiente esquema metodológico.

Gráfico N° 3 Esquema Metodológico Erosión Actual



En esta parte del proceso se indagó en cuanto la información que debería tener para la realización del proyecto: como por ejemplo la información vectorial, como también la información raster, las cuales son:

Información raster:

1 DEM (modelo digital de elevación) del ASTER GDEM.

Este modelo puede ser adquirido en formato *GeoTiff* y coordenadas *UTM (Universal Transversal Mercator)*, sistema de referencia *WGS84*, con una resolución de 30 m/píxel.

Imagen satelital del servidor Bing Maps, proporcionado por el software SAS PLANET.

Información vector:

-Límite de la RBCS

-Poblaciones.

-Ríos primarios y secundarios.

-Vías primarias y secundarias.

Trabajo en Gabinete

Se hizo el proceso en gabinete, con el software de sistemas de información geográfica ARCGIS 10.3

Primeramente, se realizó la delimitación de la sub cuenca a una escala de trabajo de 1:2000. Una vez delimitada se procedió a la valoración de la presencia y grado de intensidad de las distintas formas de la erosión mediante interpretación de la imagen satelital del servidor Bing Maps, proporcionado por el software SAS Planet a escala 1:10000. El grado de intensidad fue definido de acuerdo a lo presentado por Gómez y Alarcón, 1975, en el libro de León Peláez J.D. 2001.

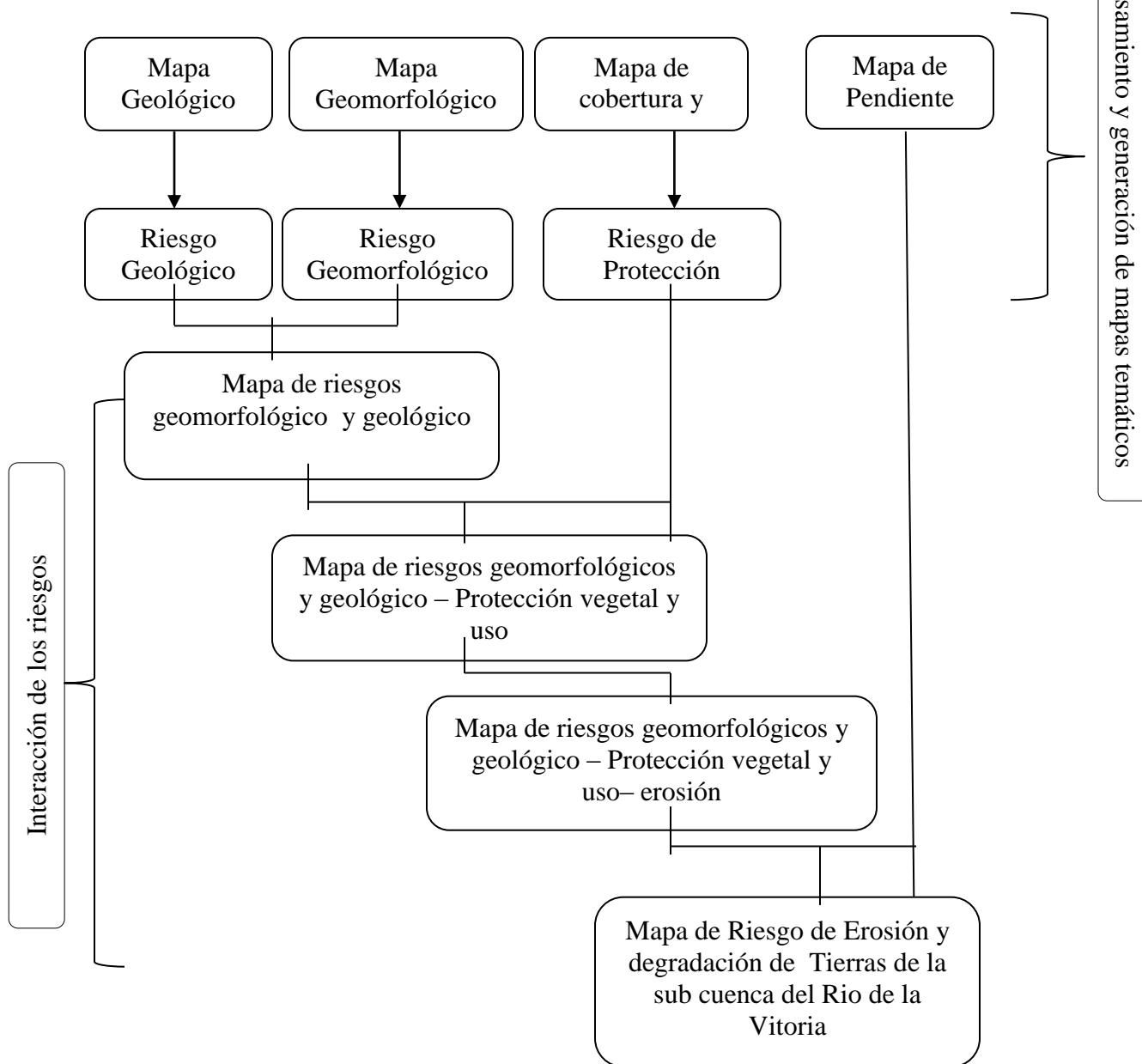
Terminado el mapa preliminar se realizó la corroboración de lo descrito en campo, dando puntos de muestreo representativos para determinar la veracidad de lo anteriormente descrito.

Finalizado el trabajo de campo se procedió con las correcciones y ajustes de información y así terminado se elaboró la leyenda correspondiente de acuerdo a las

categorías presentes. Terminando así con el mapa de Erosión Actual (Mapa N°1) el primer objetivo propuesto.

2.3.2. Segunda fase: se procedió de acuerdo al siguiente esquema metodológico

Gráfico N° 4 Esquema Metodológico Riesgo de Erosión Hídrica



Esta fase esta subdivida en:

2.3.2.1. Procesamiento y generación de mapas temáticos de riesgos.

En esta parte se generaron los diferentes mapas temáticos de vegetación y uso, geológico, geomorfológico y de pendiente que reúnen los parámetros necesarios para determinar el grado de riesgo y protección que los mismos le otorgan a la zona.

Análisis del riesgo a la erosión a partir de las características geológicas.

Una vez generado el mapa geológico (mapa N°1 anexos) a partir de la carta geológica a escala 1:50000 se valorizo con los parámetros mostrados en los cuadros 1 y 2, cada uno de estos parámetros tiene un valor de riesgo geológico que es asignado utilizando conceptos basados en la teoría de conjuntos dispersos. Según esta teoría, el grado de pertenencia de cada individuo (parámetro), corresponde al grado de compatibilidad con el concepto del conjunto disperso. En otras palabras si el concepto del conjunto disperso es el riesgo geológico a la erosión hídrica, entonces se asignan valores que van de 0 a 1. Cuanto más se acerca al concepto (de riesgo alto) más cerca del valor 1 y cuando más aleja del concepto central (riesgo bajo), más cerca del valor 0. Por motivos de entendimiento y mejor representación estos valores se sustituyeron de 1 a 5. Si está más cerca al concepto se le asigna 5 y cuanto más lejos a este se asigna 1. Como resultado tenemos el mapa de estimación del riesgo geológico y de suelos.

Parámetros utilizados para la estimación del riesgo geológico (Rg)

Cuadro. 1

Grado de riesgo	Dureza	Granulometría	Drenaje
1	Muy duro	Muy fina	Muy baja
2	Duro	Fina	Baja
3	Moderado	Mediana	Moderada
4	Blando	Gruesa	Alta
5	Muy blando	Muy gruesa	Muy alta

Fuente: Inibreh, 2011

Cuadro. 2

Grado de riesgo	Permeabilidad	Deleznabilidad	Fracturamiento
1	Muy baja	Muy baja	Muy bajo o nulo
2	Baja	Baja	Bajo
3	Moderada	Moderada	Moderado
4	Alta	Alta	Alto
5	Muy alta	Muy alta	Muy alto

Fuente: Inibreh, 2011

Análisis del riesgo a la erosión a partir de las características geomorfológicas (Rgm)

Se valorizaron los parámetros de acuerdo al cuadro 3 en el mapa geomorfológico (mapa N°2 anexos), que fue producto de la caracterización geomorfológica a partir del realce de la imagen satelital SAS Planet. En este caso también se aplicó la teoría de conjuntos dispersos, Según esta teoría, el grado de pertenencia de cada individuo (parámetro), corresponde al grado de compatibilidad con el concepto del conjunto disperso. En otras palabras si el concepto del conjunto disperso es el riesgo geológico a la erosión hídrica, entonces se asignan valores que van de 0 a 1. Cuanto más se acerca al concepto (de riesgo alto) más cerca del valor 1 y cuando más aleja del concepto central (riesgo bajo), más cerca del valor 0. Por motivos de entendimiento y mejor representación estos valores se sustituyeron de 1 a 5. Si está más cerca al concepto se le asigna 5 y cuanto más lejos a éste se asigna 1 Por efecto tenemos el mapa de estimación del riesgo geomorfológico.

Parámetros utilizados para la estimación del riesgo geomorfológico (Rgm).

Cuadro. 3

ORIGEN	LITOLOGÍA*	RELIEVE	FORMA	MOVIMIENTOS. EN MASA	ESTRUCTURA	GRADO DE RIESGO
1: Estructural, glacial	1: Esa, Eth	1: Plano a casi plano	1: Cóncavo,	1 : Ninguno	1: Fuerte	1: Muy bajo o sin riesgo
2: Fluvio- glacial coluvio- aluvial	2: Qcf	2: Ligeramente inclinado	2: Recta Valle en U	2: Desprendimientos, Reptación	2: Moderado a fuerte	2: Bajo
3: Denudativo, estructural denudativo	3: Qt, Ois, DsrStb	3: Muy inclinado Mod. escarpado	3: Terraceada, Compleja	3: Terracetas	3: Moderado	3: Moderado
4: Aluvial	4: Eca, Skr, SccOci, Qa	4: Escarpado	4: Convexa, Quebrado	4: Deslizamientos, Desplomes, Sofusión	4: Débil	4: Alto
5: Fluvio- lacustre	5: Qfl, Tgh	5: Muy escarpado			5: Sin estructura	5: Muy alto
	* Ver leyenda geológica					

Fuente: Inibreh, 2011

Análisis del riesgo a la erosión a partir de las características de protección vegetal y uso (Rvu).

Primeramente se elaboró el mapa de vegetación y uso (Mapa N°3 anexos), de acuerdo a los diferentes estratos encontrados a partir de la imagen satelital SAS Planet. Consiguientemente se valorizaron utilizando conceptos basados en la teoría de conjuntos dispersos donde esta nos plante asignar valores del 1 al 5 a los parámetros que en este caso son presentados en el cuadro 4, 5 y 6. Analizados estiman el mapa de riesgo de protección vegetal.

Parámetros utilizados para la estimación del riesgo de protección vegetal y uso.

Cuadro. 4 Grado de protección.

Grado de Protección	Descripción	Cobertura%	Clase de formación
1	Muy denso.	Mayor a 80	Bosque
2	Denso	60 80	Arbustal/matorral
3	Semidenso	40 60	Vegetación herbácea
4	Ralo	Menor a 40	

Fuente: Inibreh, 2011

El grado de protección de la vegetación está en función del tipo de formación, la descripción y el porcentaje de cobertura que presenta, de acuerdo a estas características el suelo adquiere una mayor menor protección superficial.

Cuadro. 5 Profundidad de enraizamiento

Grado de Profundidad	Profundidad radicular	Clase de formación	Función
1: Profundo	> 100 cm.	Bosque	> Anclaje y estabilidad
2: Moderadamente profundo	50 – 10 cm.	Arbustal/matorral	Anclaje y estabilidad menor
3: Superficial	< 50 cm.	Vegetación herbácea	Poco o ningún anclaje y estabilidad

Fuente: Inibreh, 2011

La profundidad de enraizamiento es un factor estabilizador del suelo que conforme a la profundidad radicular y clase de formación determinan la el grado de estabilizador de suelo.

Cuadro. 6 **Grado de alteración.**

Grado de alteración	Unidades de Uso
1: Bajo	Afloramientos rocosos, Pastoreo continuo en humedal, Silvopastoril con bovinos y extracción de leña, silvopastoril en matorrales de ladera.
2: Moderado	Bosque implantado, Pastoreo extensivo con ganado bovino y ovino, Pastoreo extensivo con ganado bovino, Pastoreo extensivo con ganado mixto
3: Alto	Pastoreo extensivo de caprinos y ovinos en áreas erosionadas
4: Muy alto	Agrícola Intensivos con cultivos Anuales y Perennes, Agrícola Extensivos con cultivos Anuales y Perennes, Pastoreo extensivo en matorral xeromórfico de sustitución con ganado bovino,

Fuente: Inibreh, 2011

Análisis del riesgo a la erosión a partir de las características de la pendiente (P)

Otra variable de influencia en el riesgo a la erosión es la pendiente, por lo cual se elaboró el mapa de pendiente (Mapa N°4 anexos) a partir de 1 DEM (modelo digital de elevación) del ASTER GDEM. Este modelo fue adquirido en formato GeoTiff y coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator), sistema de referencia WGS84, con una resolución de 30 m/píxel. Y a la vez fue valorizado en relación al cuadro 7.

Cuadro. 7 **Parámetros utilizados para la estimación del riesgo de la pendiente**

Grado de riesgo	Rangos	Definición
1	0 - 5 %	Plano a ligeramente ondulado
2	5 - 15 %	Ondulado
3	15 - 30 %	Fuertemente ondulado a moderadamente escarpado
4	30 - 60	Fuertemente escarpado
5	60 <	Extremadamente escarpado

Fuente: Inibreh, 2011

Fase de campo

Obtenidos los mapas temáticos preliminares consiguientemente se organizaron salidas de campo, previamente planificadas en gabinete y seleccionadas por su representatividad para nuestro fin.

Posteriormente con los datos recabados en campo se procedió con la corrección y ajustes de los mapas preliminares, para la posterior sobre posición.

2.3.2.2. Interacción de los riesgos.

En esta fase de trabajo con los mapas temáticos ya obtenidos se procedió con ayuda del software ArcGIS a la rasterización, formato adecuado para el posterior cruce de mapas. Cada mapa en forma raster presentaba un tamaño de pixel de 30.

Estimación de riesgos según características geomorfológicas y geológicas.

Se super posicionaron en forma matricial los mapas de riesgo geológico (**Rg**) con el mapa de riesgo geomorfológicos (**Rgm**), empleando la herramienta Weighted Overlay del software ArcGIS que permite calcular un análisis de criterios múltiples entre varios rasters para obtener un mapa de riesgo geomorfológicos – geológico (Mapa N°5).

Cuadro N° 8 **Matriz de cruce del riesgo geomorfológico - con riesgo geológico**

		RIESGO GEOLÓGICO				
G E O M O R F O L Ó G I C O	Grado de riesgo	1	2	3	4	5
	1	1	1	2	2	3
	2	1	2	2	3	4
	3	2	2	3	4	4
	4	2	3	4	4	5
	5	3	3	4	5	5

Equivalencias:
 1.- Riesgo muy bajo
 2.- Riesgo bajo
 3.- Riesgo moderado
 4.- Riesgo alto
 5.- Riesgo muy alto

Fuente: Inibreh, 2011

Estimación de los riesgos según características geológicas - geomorfológicas y protección vegetal y uso.

En base al anterior cruce de mapas y con la misma herramienta Weighted Overlay se superpone el mapa de riesgo geomorfológicos – geológico con el mapa de riesgo de cobertura vegetal y uso (Rvu), obteniéndose el mapa de riesgos geológico-geomorfológico-riesgo cobertura vegetal y uso (**Rggvu**) (Mapa N° 6).

Cuadro N° 9 **Matriz de cruce del riesgo geológico – geomorfológico con el grado de protección vegetal y uso**

		GRADO DE PROTECCIÓN				
G E O M O R F O L Ó G I C O	Grado de riesgo	1	2	3	4	5
	1	1	1	2	3	4
	2	1	2	2	3	4
	3	1	2	3	4	4
	4	2	3	4	4	5
	5	3	4	4	5	5

Equivalencias:
 1.- Riesgo muy bajo
 2.- Riesgo bajo
 3.- Riesgo moderado
 4.- Riesgo alto
 5.- Riesgo muy alto

Fuente: Inibreh, 2011

Estimación de los riesgos a la erosión según características geológicas - geomorfológicas - protección vegetal - uso y pendientes.

Finalmente se realizó el cruce entre mapa de riesgos geológico-geomorfológico-riesgo cobertura vegetal y uso (**Rggvu**) con el mapa de pendiente, de este modo se obtuvo el mapa de riesgo a la erosión hídrica de la sub cuenca del río de la Vitoria (Mapa N°3). Este método de identificación de Riesgo presentado por el Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CIASS) utilizado en numerables ocasiones nos da la confiabilidad de una aproximación más exacta.

Cuadro N° 10 Matriz de cruce del riesgo geológico – geomorfológico - protección con pendientes

		PENDIENTES					Equivalencias:
		0 - 5 %	5-15%	15-30%	30-60%	>60 %	
G E O M O R F O L O G I C O	P R O T E C C I O N	1	1	2	2	3	3
		2	2	2	3	3	4
		3	2	3	3	4	4
		4	3	3	4	4	5
		5	3	4	4	5	5

1.- Riesgo muy bajo
2.- Riesgo bajo
3.- Riesgo moderado
4.- Riesgo alto
5.- Riesgo muy alto

Fuente: Inibreh, 2011

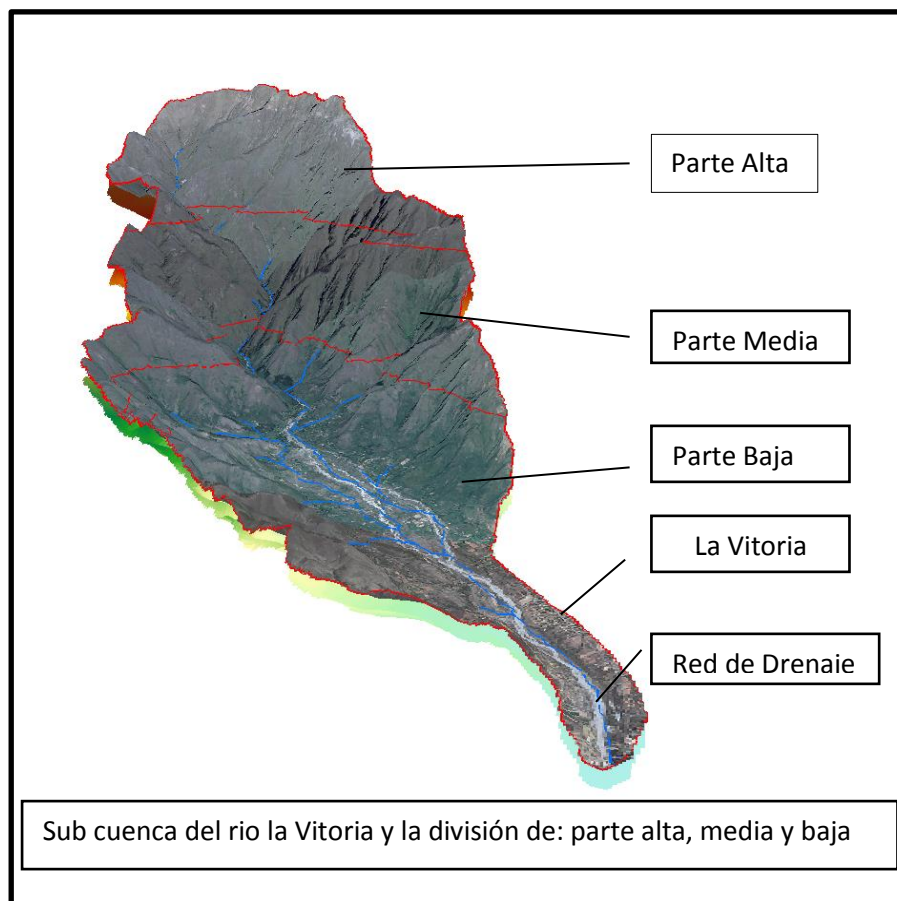
CAPÍTULO III

3. Análisis de Resultados.

Para hacer un análisis funcional de este trabajo se partirá de las partes de una cuenca que es la unidad fundamental en la planificación lo que facilitara el futuro planteamiento de gestión de manejo.

Con este fin se define a una cuenca como unidad de planificación ésta se encuentra dividida en tres partes: Parte alta, media y baja (Mapa N°7) las cuales a su vez con características bien definidas le dan sincronía que concuerda con todo el proceso erosivo de la cuenca.

Gráfico N°5 Partes de la sub Cuenca Del Río la Vitoria.



Parte alta: esta se sitúa generalmente en las partes más altas de la cuenca, normalmente con poca vegetación, fuertes pendientes, suelos poco profundos y roca consolidada estas son meteorizadas por el agua y el viento y posteriormente removidas y trasladadas a zonas más bajas, esta área no es apta para cultivos u otro trabajo silvopastoril y en todo caso es más óptimo para obras de protección que ayudan a estabilizar las zonas inferiores.

Parte media: presenta suelos más profundos que la parte superior lo que permite una mayor cobertura y mayor diversidad de estratos vegetales, pendientes menores que reducen la fuerza de traslado de los sedimentos extraídos de la parte alta haciendo su primeros depósitos de materiales de mayores dimensiones, por lo general esta parte suele ser de transporte (intermedia). No apta para cultivos pero sí para programas de plantaciones de protección, silvopastoriles y en algunos casos comerciales.

Parte baja: zona fundamentalmente deposicional de materiales finos a medianamente gruesos contribuyendo así a la formación de suelos más profundos en donde la vegetación es más rica en diversidad y formaciones superiores, y con la pendiente baja hace que esta zona sea más apta para la producción agrícola.

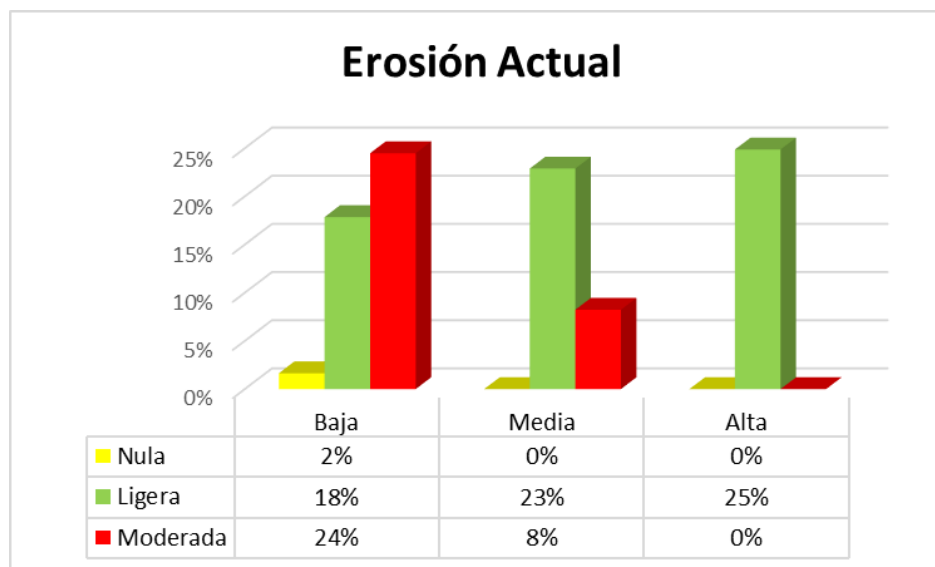
3.1. Erosión actual

Cuadro N° 11 Descripción del rango de erosión

DESCRIPCION DEL RANGO DE EROSION			
Partes de la Cuenca	Nula	Ligera	Moderada
Parte Baja	104,78	1133,52	1553,87
Parte Media	0	1453,27	522,64
Parte Alta	0	1578,93	0
Total ha	104,78	4165,72	2076,51
Total %	1,7	65,63	33

Fuente: Elaboración propia

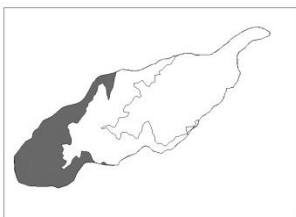
Gráfico N°6 Grado de Erosión actual en las partes de la cuenca



Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Grado de erosión parte alta

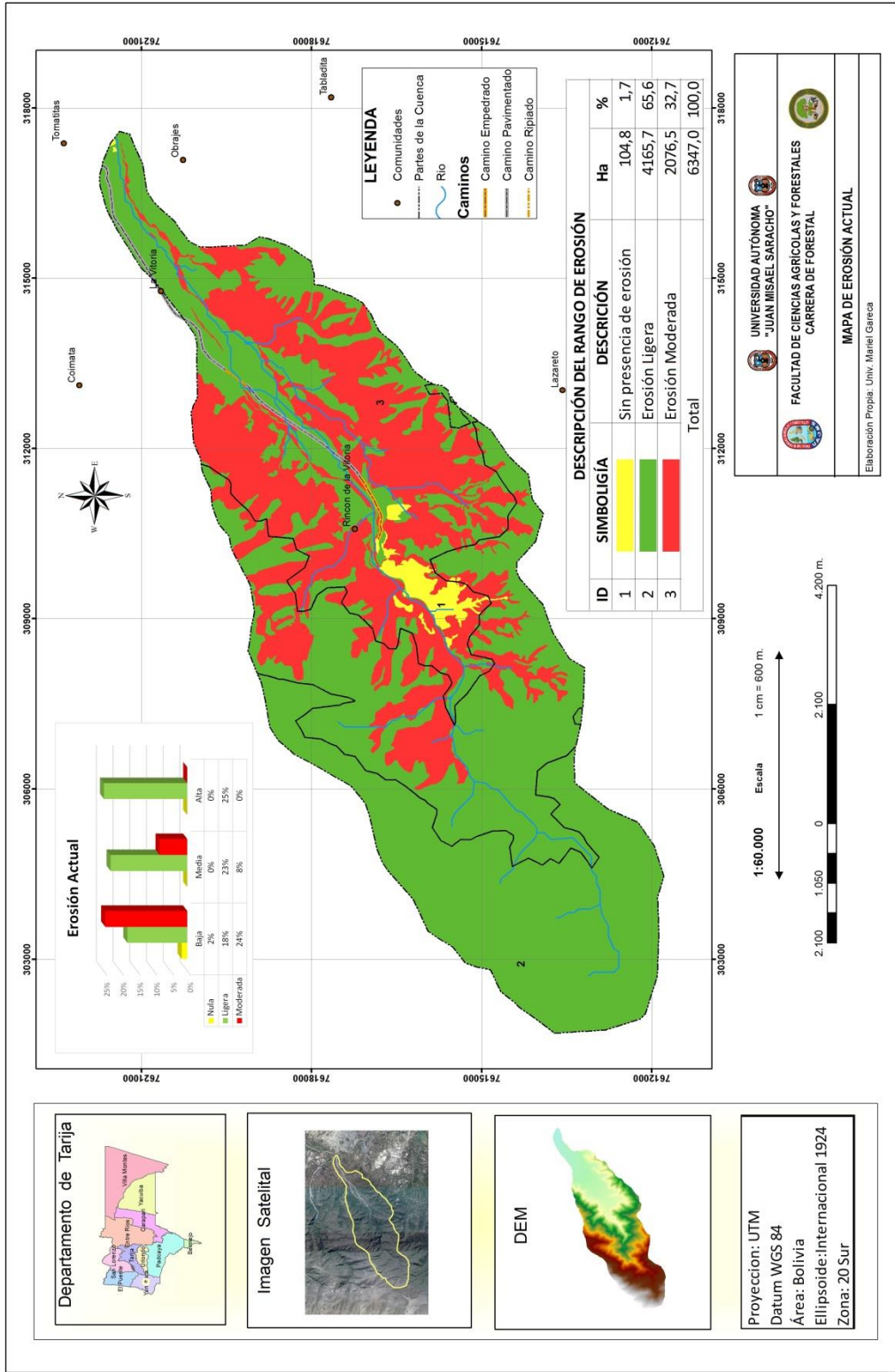
Erosión ligera 1578,93 ha (25%).



El área se encuentra localizada en la parte sudoeste de la cuenca, ocupa en su totalidad la parte alta.

Por su geología se encuentra en la formación Sama (unidad 1, mapa N° 1 anexos) y una pequeña porción de la formación Iscayachi con presencia de limolitas, cuarcitas y areniscas, gris blanquecinas a violáceas y gris verdosas. Se aprecia un paisaje montañoso de Serranías altas moderadamente disectadas muy escarpadas (unidad 2, mapa N° 2 anexos). Este tipo de formación aporta una relativa estabilidad para evitar la presencia de movimientos en masa, por el contrario el paisaje y pendientes mayores a 30% (unidad 4, mapa N° 4 anexos) provoca en este caso pequeños surcos en algunas laderas, pero quien juega un papel muy importante es este caso es el uso que es extremadamente limitado por estar ubicado dentro de la Reserva Biológica de la Cordillera de Sama siendo monitoreados y resguardados por COSSALT y SERNAP, de esta manera aunque existan suelos

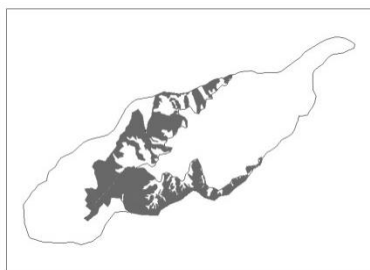
Mapa N° 2



poco profundos se percibe vegetación herbácea rala graminoide baja sin sinusia (unidad 14, mapa N° 3 anexos) que evitan la aparición de grandes surcos y una erosión laminar severa. En este caso si se sigue manteniendo el resguardo se puede mantener estable con el tiempo.

3.1.2. Grado de erosión parte media

Erosión ligera 1453,27 ha (23%).

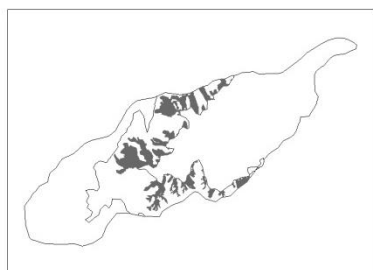


La unidad ubicada en la parte central sud de la cuenca, es una de las unidades de mayor dimensión ocupando más de la mitad de la superficie de la parte media.

Paisajes montañosos de serranías altas, Medias, bajas de fuertemente a moderadamente disectadas y extremadamente a moderadamente escarpadas, también se encuentra en pie de montes, valles estrechos (unidad 1,2,13, mapa N° 2 anexos) propiciando surcos de reducidas dimensiones y erosión laminar moderada a severa, acompañada de pendientes que superan los 30 y 60% (unidad 4,5, mapa N° 4 anexos) provocando la aparición de algunos pequeños movimientos en masa de forma aislada.

Al igual que en la parte alta pertenece a las formaciones Sama e Iscayachi (unidad 1,2, mapa N° 1 anexos) en menor proporción mostrando limolitas, cuarcitas y areniscas, gris blanquecinas a violáceas.

Existe la presencia de vegetación herbácea rala, gramínea baja sin sinusia (unidad 14, mapa N° 3 anexos). El uso también es limitado por estar dentro de la Reserva Biológica Cordillera de Sama reduciendo así la presencia de agentes erosivos, como ganado y malas prácticas de cultivo.



Erosión moderada 522,64 ha (8%).

Localizada en la parte centro sud de la cuenca en su mayoría con exposición este, abarca un 8% de

la superficie total y un poco menos de la mitad de la parte media de la cuenca.

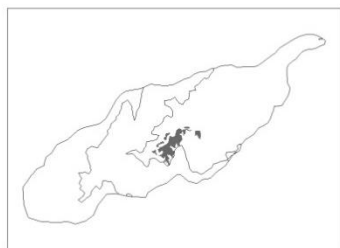
De acuerdo al mapa geológico está ubicada en la formación Sama (unidad 1, mapa N° 1 anexos) conformada por cuarcitas y areniscas, gris blanquecinas a violáceas. Fisiográficamente Montañoso con Serranías altas fuertemente disectadas, extremadamente escarpadas (unidad 4, mapa N° 2 anexos) con pendientes mayores a 60 (unidad 5, mapa N° 4 anexos) y es donde se aprecian surcos en mayor número y cantidad.

La vegetación predominante conformada por un bosque semi denso mayormente siempre verde estacional o de transición constituido en algunas agrupaciones de aliso y ligustro, localizadas en cañadones y quebradas. También se observa en vegetación herbácea densa, graminoide intermedia con sinusia arbustiva (unidad 17, mapa N° 3 anexos), erosión laminar moderada a severa con algunos deslizamientos por las fuerte pendientes.

Aun con grandes pendientes la zona no muestra grandes rastros de erosión esto por contar con una buena cobertura vegetal y estar restringida al uso normal de agricultura y pastoreo.

3.1.3. Grado de erosión parte baja

Sin presencia de Erosión a ligera 104,78 ha. (2%).

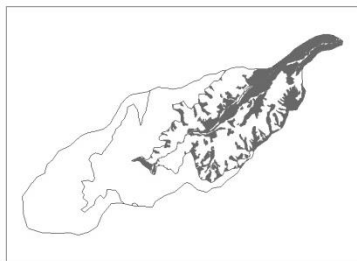


Ubicado en la zona central de la cuenca prácticamente al ingreso de los predios de COSSALT de dónde se realiza la captación de agua.

Solo presenta la Fm Sama de Cuarcitas y areniscas, gris blanquecinas a violáceas (unidad 1, mapa N° 1 anexos). Paisaje montañoso de serranía baja moderadamente disectadas, moderadamente escarpadas y valle estrecho ligeramente disectado (unidad 3, 11 mapa N° 2 anexos) con pendientes de 15 a 30% (unidad 3, mapa N° 4 anexos) moderadamente escarpado.

Se categorizó esta área particularmente por contener una vegetación arbórea densa implantada densa mayormente siempre verde (unidad 3, mapa N° 3 anexos) de pinos y ciprés no obstante la materia orgánica que recubre el suelo no deja percibir rastros de erosión que aun con cierta pendiente el desgaste por esorrentía no es notorio.

Erosión ligera 1133,52 ha. (18%).



Se sitúa en la parte noreste y centro de la cuenca en la comunidad de la Vitoria y parte del Rincón de la Vitoria.

Desde el punto de vista geológico esta unidad presenta una amplia variedad de formaciones por un

lado en las zonas más elevadas la Fm. Sama (unidad 1, mapa N° 1 anexos) con cuarcitas y areniscas, gris blanquecinas a violáceas y la Fm. Iscayachi (unidad 2, mapa N° 1 anexos) con Areniscas, limolitas y cuaracitas, gris verdosas.

En las partes bajas Dep. aluvial (unidad 3, mapa N° 2 anexos) presenta material suelto de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas y Dep. de terraza (unidad 4, mapa N° 2 anexos) con material semi consolidado de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, que tienden a presentar erosión laminar.

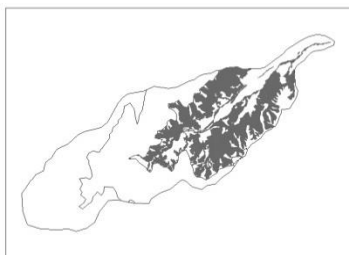
Presenta serranías baja, moderadamente disectadas, moderadamente escarpadas (unidad 3, mapa N° 2 anexos) de pendientes entre 15-30 % (unidad 3, mapa N° 4 anexos) que descienden hacia la llanura de pie de monte moderadamente disectada a ligeramente escarpada (unidad 10, mapa N° 2 anexos) que presenta erosión en surcos ligera.

También se encuentra en la Llanura Aluvial y Llanura Fluvio Lacustre en forma de Terrazas Reciente Plana y Terrazas Fluvio Lacustre Ligeramente Disectada Moderadamente Plana (unidad 7, 9 mapa N° 2 anexos), en las terrazas se puede notar una erosión laminar moderada igualmente se puede atribuir esta erosión a la poca vegetación en este caso vegetación herbácea rala, graminoide intermedia con sinucia arbustiva en la cual el uso ganadero extensivo (unidad 16, mapa N° 3 anexos)

también provoca cierto grado de erosión, mientras en la zona de riberas de playas se denota deslizamientos en grado ligero.

Esta unidad también presenta cultivos no irrigados a irrigados (unidad 7, 8 mapa N° 3 anexos) que se encuentra interconectados con el área de infraestructura.

Erosión moderada 1553,87 ha. (24%).



Localizada en la parte central este de la cuenca ocupa poco más del 50 % de la parte baja en gran medida en la comunidad del Rincón de la Vitoria.

El paisaje predominantemente montañoso de serranías bajas, medianas moderadamente disectadas moderadamente escarpadas (unidad 1, 3, mapa N° 2 anexos) con pendientes que van desde 15 a 60% (unidad 3, 4 mapa N° 4 anexos) en combinación con llanuras aluviales y llanuras fluvio lacustre ligeramente disectadas y moderadamente planas (unidad 6, 9 mapa N° 2 anexos) con pendientes de 5 a 15% (unidad 2, mapa N° 4 anexos). Y se aprecian desde surcos moderados, erosión laminar a deslizamientos aislados.

Por su geología se encuentra en la formación Sama (unidad 1, mapa N° 1 anexos) y una pequeña porción de la formación Iscayachi (unidad 2, mapa N° 1 anexos) con presencia de limolitas, cuarcitas y areniscas, gris blanquecinas a violáceas y gris verdosas.

Todo este paisaje se encuentra cubierto de bosque semi denso mayormente siempre verde estacional o de transición, matorral ralo mayormente caducifolio y vegetación herbácea densa graminoide intermedia con sinusia arbustiva (unidad 4,9,10,15 mapa N° 3 anexos).

Existe un mayor desgaste de la cubierta vegetal debido al uso ganadero extensivo y cultivos no irrigados que disminuyen la protección de la vegetación.

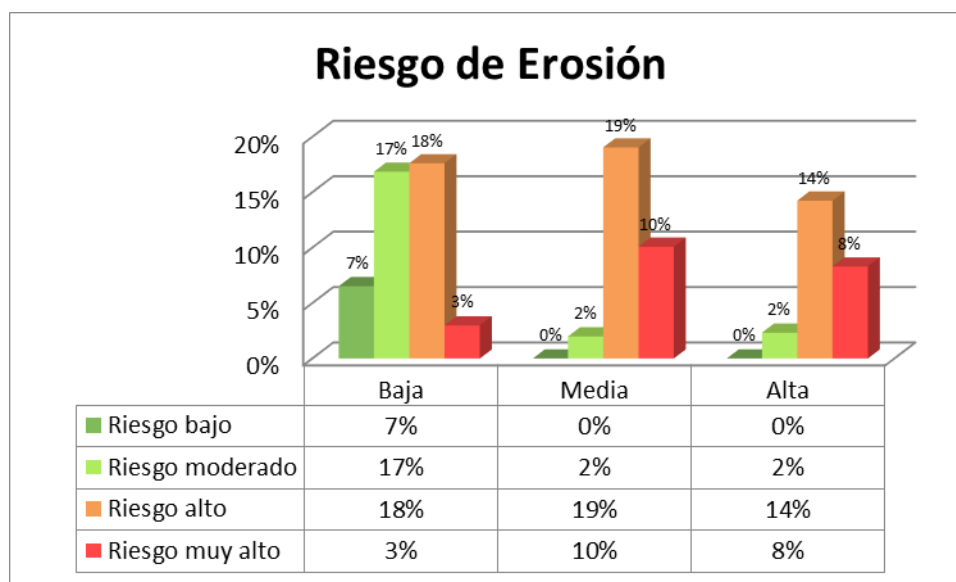
3.2. Riesgo a la erosión hídrica

Cuadro N° 12 Descripción del Riesgo a la Erosión Hídrica

ID	RIESGO	Parte Baja	Parte Media	Parte Alta	ha	%
2	Riesgo Bajo	414,22	0	0	419,41	7%
3	Riesgo Moderado	1070,31	126,64	147,95	1339,71	21%
4	Riesgo Alto	1117,82	1208,96	904,13	3230,91	51%
5	Riesgo Muy alto	189,82	640,31	526,85	1356,98	21%
Total					6347,007	100%

Fuente: Elaboración propia

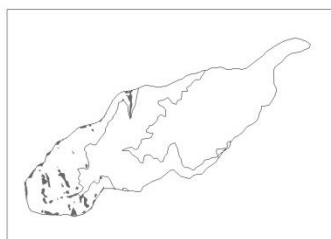
Cuadro N°7 Grado de Riesgo en las partes de la cuenca



Fuente: Elaboración propia

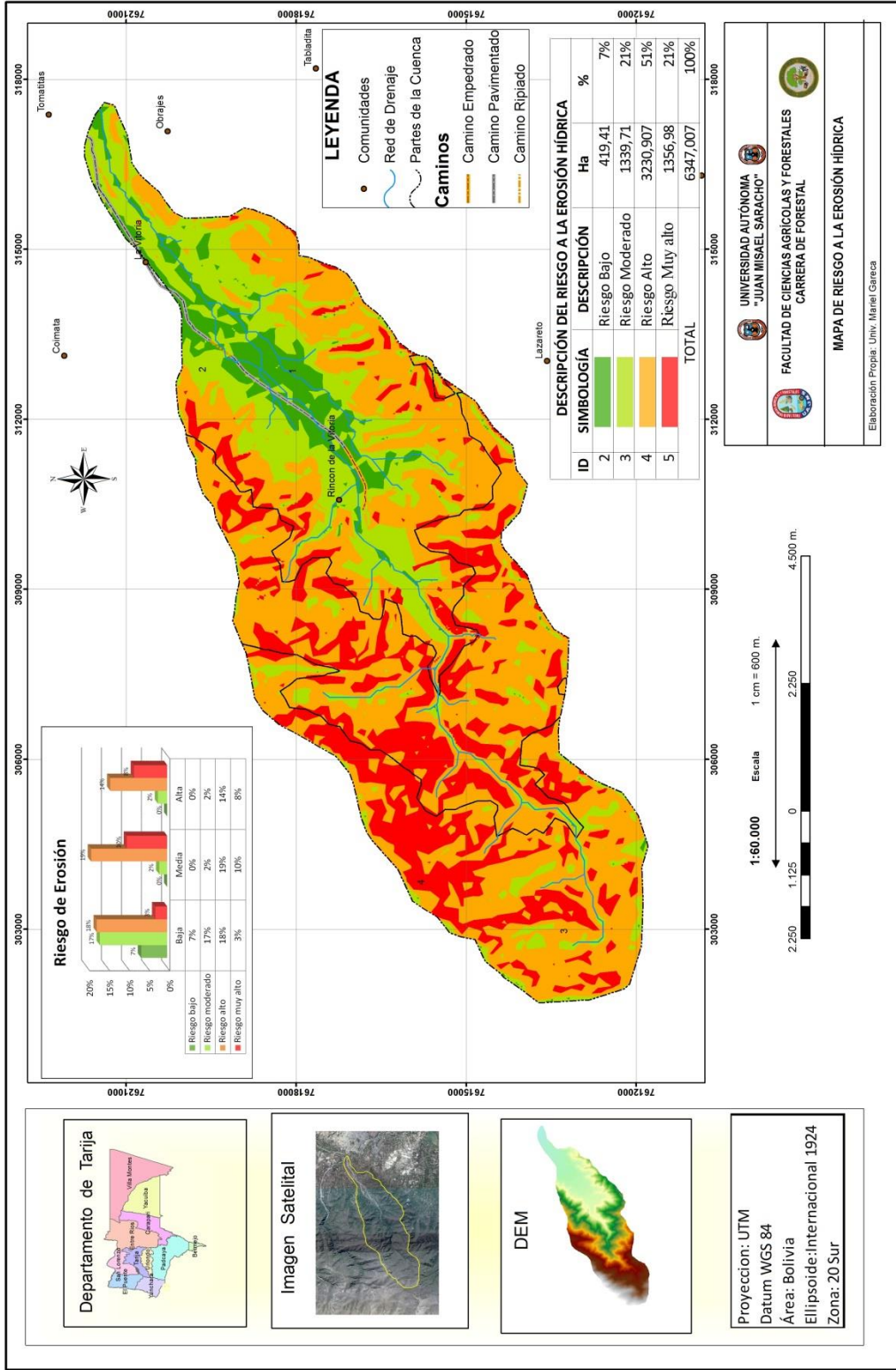
3.2.1. Grado de riesgo a la erosión parte alta

Riesgo Moderado 147,95 ha. (2%) del total.



Se encuentra disperso en la parte sudoeste de la cuenca y por la reducida superficie no llega a constituir un valor muy representativo de la parte alta.

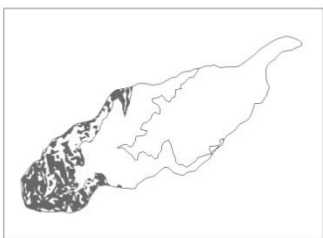
Mapa N° 3



La formación Sama (unidad 1, mapa N° 1 anexos) le otorga un riesgo bajo por su alta dureza y muy baja delezabilidad.

En contraposición el cuadro geomorfológico montañoso de serranías altas moderadamente disectadas a muy escarpadas (unidad 2, mapa N° 2 anexos) con una débil estructura aumentan el riesgo a moderado y es entonces con la vegetación herbácea rala graminoide baja sin sinusia sin intervención humana (unidad 14, mapa N° 3 anexos) que reafirma su riesgo moderado.

Riesgo Alto 904,13 ha. (14%) del total.

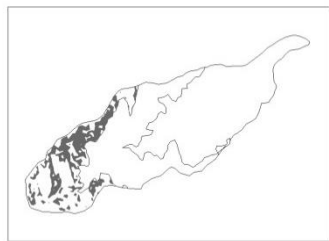


Se localiza en la parte sudoeste de la cuenca particularmente las zonas periféricas, ocupa poco más de la mitad de la superficie de la parte alta.

Se atribuye un riesgo alto por el paisaje montañoso de serranías altas moderada a fuertemente disectadas muy escarpados (unidad 2,4 mapa N° 2 anexos) con pendientes entre 30 a 60 % (unidad 4, mapa N° 4 anexos).

Por la parte geológica perteneciente a la Formación Sama (unidad 1, mapa N° 1 anexos) le da una relativa estabilidad que a su vez pierde por la alta permeabilidad que en consecuencia aumenta el escurrimiento superficial. No obstante la vegetación herbácea rala graminoide baja sin sinusia (unidad 14, mapa N° 3 anexos) no ofrece una buena protección aun sin ser intervenida por actividades humanas.

Riesgo Muy alto 526,85 ha (8%) del total.



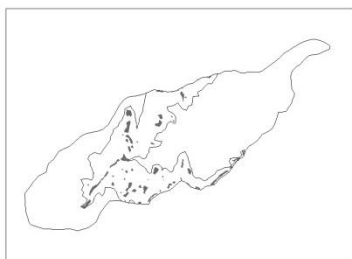
Geográficamente posicionada en las periferias de la parte alta con exposición este, ocupa poco menos del cincuenta por ciento de la parte alta.

Se podría decir que al pertenecer a la formación Sama (unidad 1, mapa N° 1 anexos) su alta dureza le dé la

estabilidad necesaria. Pero por encontrarse en una estructura montañosa de serranías altas fuertemente disectadas y extremadamente escarpados (unidad 4, mapa N° 2 anexos) de pendientes superiores a 60% (unidad 5, mapa N° 4 anexos) le atribuye un riesgo muy alto y al contar con una vegetación herbácea rala graminoide baja sin sinusia (unidad 14, mapa N° 3 anexos) e incluso suelos sin ninguna estructura.

3.2.2. Grado de riesgo a la erosión parte media

Riesgo Moderado 126,64 ha. (2%) del total.



Se sitúa en la parte sud central de la cuenca en forma dispersa, no ocupa un gran porcentaje de influencia.

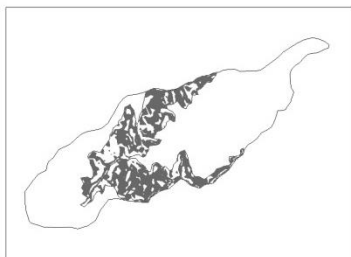
En esta parte media las condiciones de la vegetación tienden a variar favorablemente reduciendo el riesgo pero, no obstante el paisaje montañoso impera

otorgando riesgos altos.

Se definen serranías medias, altas moderadamente disectadas y moderada a muy escarpadas (unidad 14, mapa N° 2 anexos) con pendientes que van desde 15 a 30 % (unidad 3, mapa N° 4 anexos).

Por consiguiente la vegetación herbácea rala graminoide baja e intermedia sinusia arbustiva (unidad 14, 17 mapa N° 3 anexos) que aporta una moderada protección no es intervenida por ninguna actividad productiva.

Riesgo Alto 1208,96 ha. (19%) del total.



Ocupa más del cincuenta por ciento de la parte media y ésta ubicada en parte central sud, con exposiciones de este a oeste.

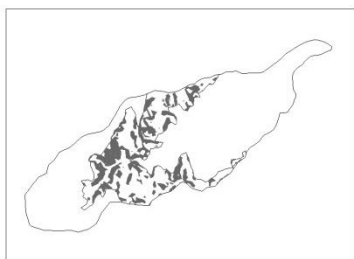
Desde el punto de vista geológico la Formación Sama (unidad 1, mapa N° 1 anexos) e Iscaachi (unidad 2, mapa N° 1 anexos) de

relativamente buena dureza pero muy alta permeabilidad, granulometría mediana le otorga moderado.

Presenta una vegetación desde herbácea rala a semi densa graminoide baja a un bosque semi denso (unidad 6, 14, 17 mapa N° 3 anexos) eco localizado en vertiente poco pronunciadas. No obstante no le atribuye un riesgo menor al moderado.

En todo caso son las extremas pendientes superiores a 60% (unidad 5, mapa N° 4 anexos), un paisaje moderadamente disectado a fuertemente disectado (unidad 1,3,4 mapa N° 2 anexos) lo que le otorga un riesgo muy alto.

Riesgo Muy alto 640,31 ha. (10%) del total.



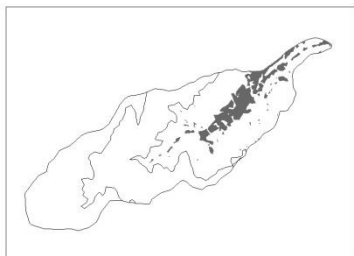
Localizado al igual que el riesgo alto en la zona central sud de la cuenca ocupa una superficie relativamente menor al cincuenta por ciento de la parte media.

Está localizada dispersamente en la parte media puesto que se les atribuye a las pendientes superiores a 60% (unidad 5, mapa N° 4 anexos) pertenecientes a serranías altas fuertemente disectadas y extremadamente escarpado (unidad 4, mapa N° 2 anexos), una estructura débil con algunos desprendimientos haciendo más susceptible a la acción meteorizante y posterior remoción.

No obstante la pobre vegetación herbácea rala graminoide baja (unidad 14, mapa N° 3 anexos) en algunos casos suelo desnudo no aportan la suficiente protección.

3.2.3. Grado de riesgo a la erosión parte baja

Riesgo Bajo 414,22 ha (7%) del total.

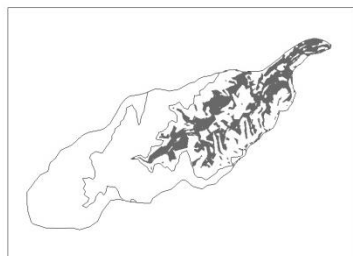


Geográficamente limitado a la parte central sud de la cuenca más propiamente al intermedio de la comunidad de la Vitoria y Rincón de la Vitoria.

Correspondiente a Depósitos de Terraza y Depósitos Aluviales (unidad 3,4 mapa N° 1 anexos) localizados en Llanuras Aluvial, Fluvio lacustre conformada por terrazas recientes ligeramente disectadas, planas a ligeramente onduladas y una pequeña porción de llanuras de pie de monte (unidad 7, 10 mapa N° 2 anexos). Estas características definen un riesgo moderado a alto por tener suelos muy blandos, una granulometría media a fina y una moderada permeabilidad.

Pero en este caso el matorral ralo mayormente caducifolio, estacional o de transición conjuntamente con la vegetación herbácea densa graminoide intermedia (unidad 9, 16 mapa N° 3 anexos) y la pendiente plana a ligeramente ondulada (unidad 1, mapa N° 4 anexos) la que interpone un gran peso a la protección y reducción de erosión por escorrentía.

Riesgo Moderado 1070,31 ha. (17%) del total.



Se sitúa en la parte central sur de la cuenca propiamente en la zonas cultivables y urbanización.

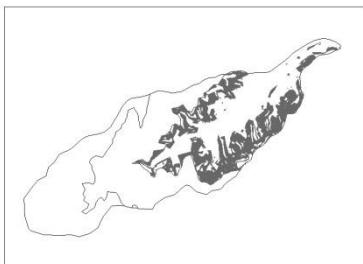
Pertenece a la Formación Iscayachi y Depósitos de Terraza (unidad 2,4 mapa N° 1 anexos) el cual le brinda suelos de granulometría media, drenaje y permeabilidad moderada.

Conforman paisajes de llanura de pie de monte, llanuras fluvio- lacustres moderadamente disectadas (unidad 10,11,12 mapa N° 2 anexos) con pendientes desde plano a ligeramente onduladas (unidad 1, mapa N° 4 anexos).

Es también la vegetación la que contribuye a la protección estando constituida por Bosque Semi Denso y matorral ralo Mayormente Caducifolio Estacional o de Transición (unidad 5,6,9 mapa N° 3 anexos). Estabilizando el suelo y protegiéndolo de la erosión laminar.

En este caso es el uso le da una moderada inestabilidad a causa de los cultivos (unidad 7,8 mapa N° 3 anexos), el pastoreo extensivo y en la urbanización (unidad 1, mapa N° 3 anexos) los trabajos de desmonte y aplanamiento.

Riesgo Alto 1117,82 ha. (18%) del total.

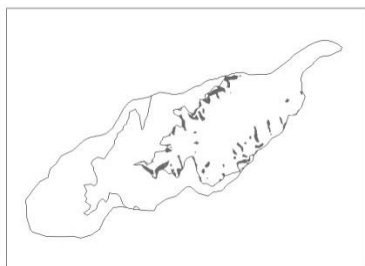


Ubicado en la zona céntrica de la cuenca con sus mayores exponentes con exposición oeste.

Predominantemente montañoso de serranías media a bajas moderadamente disectada y fuertemente escarpadas (unidad 1,3, 5 mapa N° 2 anexos) con pendientes superiores al 30% (unidad 5, mapa N° 4 anexos) asignado un riesgo alto.

Es la vegetación de bosque semi denso mayormente caducifolio verde estacional o de transición juntamente con vegetación herbacea (unidad 6,15,16 mapa N° 3 anexos) la que mitiga el riesgo sin embargo se contrapone al uso ganadero extensivo limitado en algunos sectores de la reserva, reafirmando el riesgo alto.

Riesgo Muy alto 189,82 ha. (3%) del total.



Se encuentra notoriamente disperso en la parte central de la cuenca, no presenta gran representatividad porcentualmente.

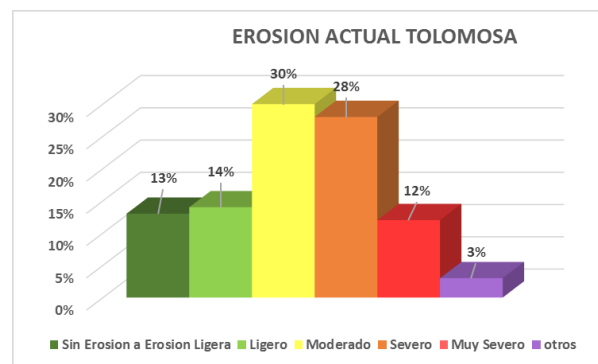
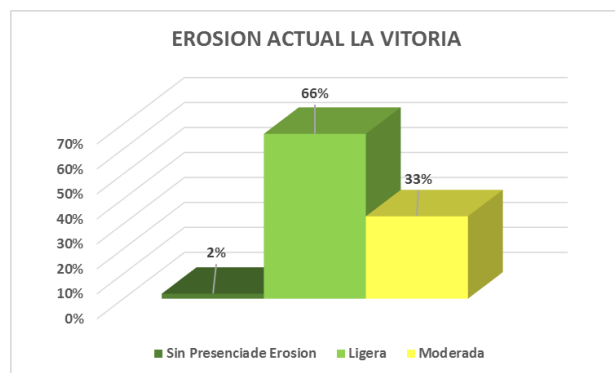
Un paisaje montañoso de Serranías media y baja Moderadamente Disectada Moderadamente Escarpado (unidad 1,5 mapa N° 2 anexos) correspondiente a pendientes superiores a los 60% (unidad 5 mapa N° 4 anexos), lo que aumenta exponencialmente la escorrentía, los desprendimiento y la poca retención de suelo.

La vegetación se ve limitada a herbácea rala graminoide baja sin sinusia (unidad 14 mapa N° 3 anexos), no ofrece la suficiente protección que en este caso necesita la zona.

Comparación con el trabajo realizado por L. Espinoza, 2002, titulado Propuesta de Zonificación de Áreas Erosionadas en la Cuenca del río Tolomosa.

Erosión Actual.

Gráficos N° 8 y 9 Comparación Erosión Actual Vitoria- Tolomosa



Fuente: elaboración propia

Fuente: L. Espinoza

La Vitoria presenta 104,8 ha sin presencia de erosión, ésta se encuentra localizada al interior de la concesión de COSAALT, por consiguiente el uso es estrictamente restringido en igualdad con Tolomosa el uso que se da está en concordancia con el uso potencial. Otra característica importante es la vegetación arbórea densa (Figura N°1) la cual aporta buena estabilidad al suelo y gran cantidad de materia orgánica mejorando así la infiltración, como así la vegetación de matorral semidenso en Tolomosa. Todas estas características impiden la formación de surcos y no se evidencia erosión laminar.

Por otra parte la erosión ligera concentra 4165,7 ha más del 50% de su superficie, caracterizada en la parte alta por pendientes superiores a 60%, en menor proporción de 5- 30% al igual que Tolomosa, solo se diferencia que en esta unidad las pendientes descienden hasta terrenos casi planos de terrazas. Semejante a Tolomosa todo este paisaje de serranía y terrazas se encuentra protegido por pastizales, matorral semidenso a denso lo que otorga una protección moderada (Figura N°11).

Las formas y procesos de erosión que se observan son laminar ligera a moderada y surcos de grado ligero al igual que en Tolomosa.

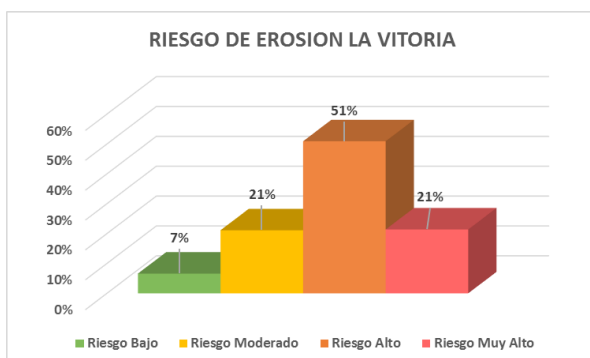
En tanto la erosión moderada de 2076,5 ha equivale a un 32,7% semejante a Tolomosa se localiza en paisajes de ladera (Figura N°8) con disección variable (ligeramente disectadas a muy disectadas), con una litología de cuarcitas y areniscas de la Fm. Sama, predomina el relieve muy escarpado (>60% de inclinación) de la misma manera que en Tolomosa le aporta un riesgo alto (dominante).

Dos aspectos favorables, son el predominio del pastoreo extensivo disperso adecuado a la potencialidad de los suelos y la protección moderada que le atribuye una vegetación herbácea densa y un matorral semidenso a denso.

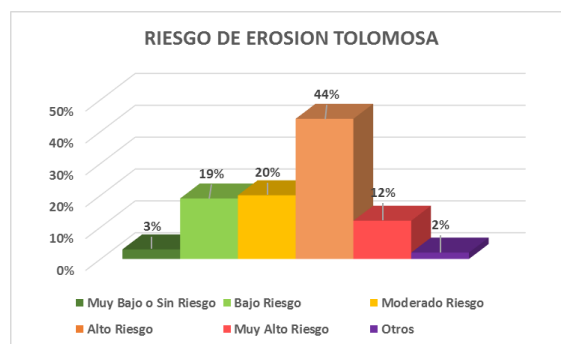
Por otra parte la Vitoria en relación a Tolomosa no cuenta con una gran extensión de llanura fluvio-lacustre, que es donde ocurren los procesos más severos de erosión caracterizada por suelos de materiales blandos, deleznales de granulometría fina y alto fracturamiento.

Riesgo de Erosión:

Gráficos N° 10 y 11 Comparación Riesgo de Erosión Vitoria- Tolomosa



Fuente: elaboración propia



Fuente: L. Espinoza

Teniendo en cuenta la categoría de riesgo bajo de 419,41 ha equivale un 7 %, que en comparación con Tolomosa es de menor proporción, está vinculada a la formación geológica deposito aluvial (Qa) formadas por depósitos de arenas, limos, arcillas y fragmentos variables que dieron origen a terrazas recientes, las cuales por sus características geomorfológicas especialmente la forma y grado de la pendiente (<2%)(Figura N°12), ausencia de movimientos en masa y estructura del suelo, además del grado de protección de la vegetación que corresponde a un matorral semi

denso y vegetación herbácea semidensa le otorga un riesgo bajo. Encuentra gran similitud con las características de Tolomosa.

El riesgo moderado que ocupa 1339,71ha y alrededor de 21% un porcentaje muy similar con Tolomosa se caracteriza principalmente por su relieve inclinado a moderadamente escarpado (riesgo moderado a alto) el cual conforma un paisaje de llanura de piedemonte (Figura N°7) y terraza fluvio-lacustre (Figura N° 9) de riesgo moderado, que en comparación con Tolomosa que presenta paisajes más escarpados. Otro rasgo fundamental es la protección vegetal alta a moderada adquirida por vegetación herbácea semi densa con sinucia arbustiva o bosque denso a semidenso (Figura N°11). El factor que aumenta el riesgo es el material semi consolidado de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas de delezabilidad moderada, granulometría media y permeabilidad moderada.

En tanto el riesgo alto de 3230,90 ha ocupa al igual que Tolomosa aproximadamente el 50% de superficie total, esta similitud se le puede atribuir a las características de la unidad de alto riesgo. Conformadas por rocas duras, de granulometría fina, estabilidad alta, delezabilidad muy baja y permeabilidad alta de la Fm. Sama que determina un muy bajo riesgo geológico, pero al igual que Tolomosa la características geomorfológicas y especialmente el relieve con pendientes muy escarpadas (>60%) el riesgo sube a alto. La vegetación también juega un rol importante en el caso de la Vitoria la vegetación herbácea rala o matorral semidenso conjuntamente con el pastoreo extensivo en la parte baja le aporta una protección baja a moderada, en cuestión de la parte alta al encontrarse dentro de la concesión de COSAATL la vegetación herbácea rala se encuentra protegida (Figura N°5) .

El riesgo muy alto ocupa 1356,98 ha que es el 21% de la superficie total un tanto mayor que en Tolomosa. Esta categoría de riesgo es particularmente diferente a la otra cuenca en cuestión puesto que se localiza en las zonas de mayores pendientes (>60%) y fuerte a muy fuerte disección (Figura N°4), por otro lado en Tolomosa se

concentra en los depósitos fluvio-lacustres que favorece a los procesos erosivos, en ambos casos les otorga un riesgo muy alto. Para reafirmar esta categoría se encuentra la poca o escasa protección vegetal de herbácea rala en las zonas de cabecera.

CAPÍTULO IV

4. Conclusiones y Recomendaciones

La situación actual de la cuenca nos demuestra que se encuentra relativamente estable al no presentar erosión severa ni muy severa, siendo la de mayor predominancia la erosión ligera. En el caso del riesgo éste es notoriamente influenciado por la pendiente y en algunos casos la vegetación escasa, es el riesgo alto con más del 50 % de superficie el que impera en la cuenca.

En cumplimiento con los objetivos se detallará a continuación una síntesis de los resultados y comparación de los mismos con el trabajo realizado por L. Espinoza titulado Propuesta de Zonificación de Áreas Erosionadas en la Cuenca del río Tolomosa, importante referente debido a la cercanía y similitudes ecológicas del área de estudio.

Erosión Actual:

Erosión Moderada, ocupa 2076,51ha equivalente al 33% de la cuenca. Las zonas que corresponden a esta erosión son principalmente desde serranías bajas, medias y colinas, son sus pendientes pronunciadas las que provocan una gran fuerza en el escurrimiento formando surcos moderados y erosión laminar moderada a alta sobre todo en la parte media de la cuenca.

Erosión Ligera, corresponde a 4165,72 ha reuniendo el 66% del área total de la cuenca. La erosión ligera puede llegar a ser imperceptible debido a que no son removidas grandes cantidades de suelo, el suelo formado es removido casi instantáneamente predominantemente en las partes altas con poca cobertura vegetal.

Sin presencia de erosión, 104,78ha que sólo hacen el 1% pero que en este caso es el área con mejores condiciones formada por una masa boscosa densa y una capa orgánica ideal mejorando la infiltración y evitando el escurrimiento.

En comparación con la cuenca de Tolomosa no presenta erosiones severas y muy severas, teniendo en cuenta que la sub cuenca del río la Vitoria se encuentra alrededor del 50% dentro de la Reserva Biológica de la Cordillera de Sama y a su vez dentro de la concesión a COSAALT, la cual le brinda la protección en cuanto al uso que también favorece el mayor aumento de la cobertura.

Por otra parte la Vitoria en relación a Tolomosa no cuenta con una gran extensión de llanura fluvio-lacustre, que es donde ocurren los procesos más severos de erosión caracterizada por suelos de materiales blandos, deleznales de granulometría fina y alto fracturamiento.

Riesgo de Erosión:

El Riesgo muy alto se encuentra definido principalmente por la pendiente muy escarpada a extremadamente escarpada y su disección fuerte que presenta las serranías, conjuntamente con la escasa vegetación herbácea, ocupa el 21 % de la superficie total con 1356,98 ha de la cuenca. Como ya se mencionó la sub cuenca de la Vitoria no presenta gran extensión de llanura fluvio-lacustre el factor de gran influencia como se menciona en el documento, sin embargo las unidades geomorfológicas similares de serranías

Las unidades correspondientes al riesgo alto equivalen al 51 % total que en superficie viene siendo 3230,907 ha, son también muy influenciadas por las pendientes altas localizadas particularmente en las laderas que son recubiertas por una cobertura herbácea densa y boscosa semi densa esto en las partes media y alta.

Mientras que en las partes bajas en las terrazas de pie de monte o llanuras fluvio lacustre ligeramente onduladas, el riesgo moderado con 21% el más representativo debido al uso agrícola y ganadera extensiva y sus suelos blandos, es la vegetación herbácea con sinusia arbustiva y matorral semi denso lo que le aporta la estabilidad necesaria.

El riesgo bajo se concentra principalmente en la llanura aluvial, ocupa aproximadamente el 7 % de la superficie total con 419,41 ha. Al tratarse de paisajes planos la pendiente tiene muy poca influencia, y es la vegetación arbustiva densa y herbácea densa la que le atribuyen estabilidad.

Recomendaciones

Para optimizar mejor las recomendaciones se darán de acuerdo a la subdivisión de las partes: Parte alta, media y baja (mapa N° 9).

Parte alta. Presenta erosiones de ligera, pero no optante riesgo alto y muy alto por esta razón se recomienda mantener y restablecer la cobertura vegetal. De acuerdo a sus condiciones de suelos poco profundos y elevada altitud la vegetación herbácea la más correspondiente.

Parte media- intermedio media-baja. Presenta erosión ligera y moderada y un riesgo alto a muy alto, por tanto se recomienda controlar la erosión y riesgo reduciendo el escurrimiento superficial mediante aumento de la cobertura vegetal utilizando variedades y plantas resistentes principalmente nativas, aumentar la infiltración del agua en el suelo, particularmente las zonas de recarga y facilitar la retención de la escorrentía superficial por medio de zanjas de infiltración para regular el régimen hídrico y evitar al sedimentación en la parte baja.

Parte baja. Muestra una erosión moderada a ligera y riesgo bajo a moderado particularmente por ser zona de cultivos y pastoreo extensivo, se recomienda mejorar la producción agrícola mediante almacenamiento del agua en embalse o cosecha de agua, siendo ésta una de la principales problemáticas de las comunidades y así con mejor calidad de producción se reducirá la expansión de la frontera agrícola.

Por otra parte es recomendable generar espacios de educación ambiental, uso eficiente y múltiple del agua para las comunidades.