

ZONAS DE ACOGIDA PARA SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE EVALUACIÓN MULTI-CRITERIO

CARLOS SEPÚLVEDA

Cartógrafo Universidad de Chile.
Magister en Cartografía en Estudios Ambientales,
Universidad Tecnológica Metropolitana,
Académico del Departamento de Cartografía,
Universidad Tecnológica Metropolitana
csepulveda@ciren.cl



RESUMEN

Utilizando Análisis Multi-Criterio, ambientalmente se evalúa la determinación de zonas de acogida para suelos degradados en micro-cuenca de la VIII región de Chile. Analizando los resultados, se generan producto cartográfico, base de datos asociada y modelo cartográfico creado, que nos permite a nivel predial una gestión territorial sustentable.

Palabras claves: Evaluación multi-criterio, Suelos Degradados, Ambiental

ABSTRACT

Using Multi-Criteria Analysis, environmentally evaluating zoning host to degraded soils in micro-basin of the VIII region of Chile. Analyzing the results, generate cartographic product, associated database and created mapping model that allows us on the farm a sustainable land management.

Key words: Multi-criteria Evaluation, Degraded Soils, Environmental

Actualmente existe una preocupación por parte de la población, ante el aumento de la escasez de recursos naturales a través de la creciente intervención humana de los paisajes, lo cual hace imprescindible un mejor conocimiento del medio ambiente, para tener una adecuada planificación de las distintas actividades humanas.

La imagen satelital y/o fotografía aérea son una herramienta fundamental en la determinación de diversos temas medioambientales, ya sea en estudio de índole multi-temporal o en la determinación de erosión actual.

Para este estudio se usó mosaico color, generado a partir de fotografía aérea color CANAF-CONAMA. El propósito de esta imagen es el de servir de apoyo para la fotointerpretación de los resultados obtenidos.

Los sistemas de información geográfica permiten el manejo y adecuación de información digital existente, para pasar a configurar temas con variables de entrada, así también los resultados finales tienen cabida para la representación y producción cartográfica final de los resultados.

La técnica Evaluación Multi-Criterio (EMC) facilitó el desarrollo del Modelo Cartográfico creado por el autor, para la consecución de zonas de acogida respecto a suelos degradados a nivel predial, para ello, se debió desarrollar un modelo cartográfico con los diferentes temas, en base a selección de factores y restricciones, más el cálculo de la ponderación de los diferentes factores en una matriz, en la cual se determinaron pesos para cada tema. Para esto se contó con asesoría directa de experto (Ingeniero Agrónomo especialista en suelo), para configurar temas relacionados con la línea de base definida para esta investigación, estos son: suelo, vegetación, uso actual, modelo digital, propiedad rural.

En ese sentido, la principal característica de la evaluación multi-criterio se aplica en la actualidad para la obten-

ción de áreas de acogida respecto de caracterización y restricción de valores, a través de atributos atinentes a recursos naturales, planificación, ordenamiento territorial. Su aplicación permite responder en forma rápida facilitando la caracterización para un uso sustentable de predios rurales.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El recurso suelo, se destaca en que las comunidades se localizan en terrenos de secano. En general, estos suelos casi no disponen de riego, por lo cual la aptitud de estos terrenos es eminentemente silvícola y ganadera. Las zonas arables generalmente corresponden a agricultura de secano y se ubican preferentemente en lomajes de la pre-cordillera y cordillera de la costa.

Dadas estas condiciones, en la ocupación del territorio prevalecen métodos que son desfavorables a la subdivisión. Se establece que los terrenos montañosos no son susceptibles a la subdivisión en relación de terrenos planos. En este sentido la existencia de montañas y sus recursos permitió históricamente la concentración de grandes propiedades, por tanto, el territorio quedó en manos de pocos propietarios. Por su topografía, el uso del recurso tiende a ser extensivo, concentrando los escasos terrenos aluviales en construcciones, comunicaciones y cultivos, siendo ocupados desde sus inicios, por los más pobres del país.

Causas del deterioro del recurso suelo, la demanda extractiva de la población, en un contexto de libre acceso o ausencia de derecho de propiedad, degrada la base del recurso suelo. Esta situación demanda a su vez, familias con amplio número de integrantes para cumplir con los requerimientos de mayor grado de dificultad en cuanto a las exigencias de sobrevivencia.

A pesar que la estructura de la población urbano-rural regional, se mantiene estable, existen datos que refle-

jan la migración hacia los centros urbanos en busca de mejores perspectivas de vida.

Es el mecanismo que permite aliviar la presión sobre los ecosistemas rurales. Esto se deduce que las mayores tasas de natalidad en sectores rurales, no corresponde con el crecimiento poblacional, tendencia que se observa a la par con el incremento progresivo del envejecimiento de la población rural.

Por tanto, al validar esta situación se verifica una débil sustentación para un desarrollo a largo plazo. El problema esencial de la sustentabilidad económica de las comunidades no se resuelve de esta forma, sino que requiere de políticas que aborden concretamente las causas del empobrecimiento local.

Degradación de los recursos naturales, degradación de tierras, desertificación y pobreza.

“La sequía y la desertificación, amenazan la sobrevivencia de más de 1.000 millones de personas, en más de 110 países en el mundo”¹

Se reconoce consenso en relación a que la degradación de tierras es el resultado de la acción antrópica y factores climáticos. En el grupo de acción humana, se distinguen factores como: uso intensivo del suelo, manejo inadecuado, sobrecarga animal, incendios forestales, deforestación, empleo de tecnología no apropiada para ecosistemas frágiles. En cuanto a factores climáticos, se mencionan las sequías extremas que afectan variados países de la región, identificando aún más las consecuencias de la acción antrópica².

El término “Degradación” es empleado como sinónimo

1 Kofi Annan, Secretario General de las Naciones Unidas, 2000.

2 (Conferencia de las partes firmantes de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, 2000)

de desertificación, cuando se habla de degradación de la tierra. Más estrictamente se aplica a la tierra, la capa vegetal y a la biodiversidad y, denota pérdida de la capacidad productiva. “Desertificación” se relaciona generalmente con desierto físico o se alude a áreas desertificadas para referirse a aquellos lugares donde existen precipitaciones, estas se concentran en períodos muy breves del año.

La erosión del suelo comprende en el área de estudio fenómenos de arrastre de partículas de la superficie, como la erosión laminar o de manto, y la erosión lineal de canalículos, y fenómenos de sedimentación.

Línea de Base Ambiental definida, la Línea de Base para esta investigación corresponde a la descripción detallada del área de Influencia para este estudio, en forma previa a la ejecución del proyecto mismo.

El Ambiente está definido por el sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química y/o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural, que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones. Por tanto, la Línea de Base ambiental en esta investigación, la componen coberturas digitales referente a recursos naturales y específicamente del tema suelos que permitió un diagnóstico para conocer y evaluar lo más completamente posible las condiciones previas del sistema global en donde se realizó el estudio.

II. ANTECEDENTES

Conocer el lugar en donde se quiso instalar el proyecto. Sistematizar y valorar los componentes de un territorio, de tal manera de tomar la mejor decisión. Identificar o prever probables problemas que pudiesen haberse presentado. Tomar decisiones del proyecto en forma temprana, minimizando costos y/o errores. Obtener

mejores resultados. El área de influencia del estudio se definió y justificó para cada elemento afectado del medio ambiente, tomando en consideración los aspectos relevantes del estudio y aquellos impactos ambientales potenciales que fueron definidos en los objetivos de esta investigación, correspondiendo a la degradación potencial de suelos y que comprende el área geográfica que cubre la micro-cuenca de los esteros Dañicalqui y Trilaleo en una zona de la comuna de Yungay, en la VIII Región del país, entendiéndose micro-cuenca como una sub-unidad sistémica, en la cual la Teoría General de Sistema afirma que el universo está compuesto de una jerarquía de sistemas concretos, definidos con materia y energía, organizados en subsistemas o componentes coactuantes e interrelacionados y que existen en un continuo común espacio-temporal.

Las definiciones del estudio procuraron un marco conceptual, dentro del cual el contenido de las ciencias biológicas y sociales puede integrarse de manera lógica en el de las ciencias sociales. Esto permitió conocer la estructura y la comprensión de su funcionamiento respecto de la investigación de suelos degradados y cómo funciona la erosionabilidad de suelo y la estabilidad de suelos. La visión sistémica conlleva a la mejor comprensión de los procesos a investigar en este estudio.

III. GENERACION DE CARTOGRAFIA CON EVALUACION MULTI-CRITERIO

La Evaluación Multi-criterio facilitó el desarrollo de Modelos Cartográficos para la consecución de Zonas de Acogida con respecto a Suelos Degradados, para ello, se debió desarrollar flujo de los diferentes temas, con selección de factores y restricciones, más la ponderación de los diferentes temas en una matriz en la cual se determinarán pesos para cada tema, para esta finalidad se contó con participación de profesional Ingeniero Agrónomo, experto en suelos que nos asesoró en la calidad de juicio experto.

Evaluación Multicriterio (EMC) cuenta en la actualidad con numerosos proyectos, desarrollados por esta técnica en la última década, alcanzando valiosos resultados. El utilizar esta poderosa técnica permitió clasificar gran cantidad de datos provenientes de los sistemas de información territorial (S.I.G), facilita el procesamiento y la búsqueda de áreas de acogida óptimas para actividades específicas.

Cabe destacar que los profesionales temáticos establecen inicialmente los parámetros y los límites a ser estandarizados, además de ponderar cada uno de los temas. Por lo tanto, este método facilita y aumenta la velocidad para la toma de decisiones, fue de obligación conocer en profundidad su funcionamiento y restricciones.

Identificación de los criterios, los criterios son variables simples o complejas, entre ellas se encontraron variedad de valores tales como: numéricos, descriptivos, nominales. Estos valores fueron trabajados y convertidos a cinco valores numéricos estándar (1, 2, 3, 4, 9) que representaron del 1 al 4 las diferentes variables encontradas en las bases de datos, más el valor 9 para identificar los sin valor. Para ello, en cada una de las bases de datos, se creó una columna especial denominada “VALOR” con atributos mencionados, esto permitió procesar en los módulos para evaluación multi-criterio.

Los criterios responden a factores y restricciones. Los factores, están relacionados con los objetivos estos nos permiten valorar la aptitud de un área. Cada factor está representado por valores continuos o discretos. Los valores de los factores pueden incrementar o reducir la aptitud. Los factores se estandarizaron dependiendo de los criterios individuales y del estado de los atributos que representan. Las restricciones generan las limitaciones al análisis y procesos produciendo un enmascarado sobre el área geográfica definida en la que el procesamiento por evaluación multi-criterio no actuará.

La selección de los criterios se realizó sobre la base de los objetivos y procesos asociados a cada uno de ellos. En primera instancia se seleccionaron variados criterios en forma libre y de acuerdo a información existente en las diferentes bases de datos, luego se clasificaron y seleccionaron aquellos cuantificables de acuerdo al tema y atributos conducentes a generar zonas de acogida. Esta etapa se discutió y razonó con el Ingeniero Agrónomo especialista en suelos de CIREN, más la literatura de aportes o proyectos que tuvieran alguna similitud en las disciplinas ambientales y de planificación. Puesto que el propósito de este estudio no fue la captura de datos sino la sistematización de la información existente y la creación de un Modelo Cartográfico que obtenga zonas de acogida para suelos degradados y en concordancia con la línea de base respecto de estudios ambientales. (Tabla 1).

Tabla 1.1 Definición de criterios y factores para la evaluación de la aptitud del territorio en referencia a la determinación de suelos degradados en concordancia con línea de base para estudios ambientales.

Criterios (variables)	Factores
Suelos	a.- Capacidad de erosionabilidad b.- Pendiente c.- Drenaje d.- Capacidad de estabilidad
Topografía	a.- Pendiente b.- Exposición c.- Drenes
Cobertura vegetal	a.- Tipo de vegetación
Uso actual (Capacidad agrológico del suelo)	a.- Uso actual del suelo

(FUENTE SEPULVEDA, Carlos, 2009)

Selección de atributos base de datos suelos, respecto de base de dato suelo para capacidad de erosionabilidad se seleccionó el atributo: Textura, además los atributos

de pendiente, drenaje, exposición fueron extraídos del modelo digital de terreno.

En cuanto a la selección de atributos para la capacidad de estabilidad se seleccionaron desde la base de datos de suelos los siguientes atributos: Contenido de arcilla, densidad aparente, materia orgánica.

Selección de atributos base de datos vegetación, de igual manera se procedió a la selección de atributos y la generación de la columna llamada “VALOR” para la base de datos de Vegetación. En la que se transformo un valor descriptivo en la base de datos a un valor numérico, teniendo en cuenta la línea de base relacionada con el tema medioambiental y su connotación respecto de la degradación de suelos.

Selección de atributos base de datos uso actual, se transformo un valor descriptivo en la base de datos a un valor numérico, teniendo en cuenta la línea de base relacionada con el tema medioambiental. En este caso dada la gran variedad de cultivos y no cultivos que encontramos en la zona de estudio es que se designaron algunos valores numéricos adicionales como: 0 y 10. Correspondiendo el valor “0” a tributos que no tiene que ver con cultivos (construcciones en general) y valor “10” atributo para canal.

La estructura de las bases de datos seleccionadas para esta investigación, tanto suelo, vegetación, uso actual. Sufrieron adecuación de atributos para generar nueva tabla con valores numéricos que represente los valores descriptivos definidos en columna llamada “VALOR” con la finalidad de poder homologar y a su vez permitió el procesamiento en los módulos de evaluación multi-criterio.

Tipos de degradación analizada en este estudio, en la zona de estudio se analizó la degradación física, biológica y erosión hídrica, representada por la erosionabilidad y

estabilidad de los suelos, más la vegetación, uso actual de suelos y topografía. Estas variables nos permitieron definir criterios de aptitud de acuerdo al modelo cartográfico creado.

Esta degradación está relacionada con procesos erosivos cuyo tipo es LAMINAR y de RILES. La erosión laminar se refiere a la pérdida imperceptible de la capa de suelos, desarrollándose en forma gradual y los riles corresponden a residuos transportados a través de pequeños canales expuestos en forma perpendicular a la pendiente.

Erosionabilidad de suelos y parámetros seleccionados, respecto de este criterio se determinaron los siguientes parámetros: textura, drenaje, pendiente, exposición. Estos parámetros representan la erosión superficial de los suelos definidos para esta investigación.

La textura del suelo es la proporción en la que se encuentran distribuidas variadas partículas elementales que pueden conformar un sustrato. Según sea el tamaño, porosidad o absorción del agua, en la partícula del suelo o sustrato, puede clasificarse en tres grupos básicos que son: arena, limo y arcillas.

El drenaje externo está dado por el escurrimiento superficial y el drenaje interno por la infiltración y la percolación. Para este estudio se modeló el drenaje superficial y la infiltración fue abordada por otro tema de suelo, que corresponde a la definición de Estabilidad de suelos.

Para el drenaje externo no se encontró atributo que represente este parámetro. Por tanto se desarrolló en esta investigación la siguiente forma de poder representarlo: Primero, con la información de curvas de nivel se generó una cobertura de polígonos que representan micro-cuencas al interior del área de estudio. Segundo, de las curvas de nivel se generó drenes de escurrimiento. Tercero, se interceptaron ambas coberturas dando como resultado las longitudes de escurrimiento que tiene

cada polígono de micro-cuenca. Este valor fue usado y representó el indicador de drenaje. Finalmente se reclasificaron los resultados obtenidos en base a cuatro valores para representar el parámetro drenaje de menos a más. Para expresar la pendiente, la cual se refiere a la inclinación que presenta la superficie del suelo con respecto a la horizontal, se utilizó la fórmula de porcentaje, es decir la diferencia de altura en 100 m horizontales.

Para los fines del presente estudio y referente a valores para tema pendiente, drenaje, exposición, se decidió generar un DEM a partir de las curvas de nivel, la cual proviene del proyecto llamado Laja-Diguillín, escala 1:10.000 que proporcionó curvas de nivel cada 2.50 m.

El DEM es una malla tridimensional de puntos, en la cual cada punto posee coordenadas x, y, z sobre el terreno. Los puntos son equidistantes entre sí en intervalos dependiendo de la escala. Para esta investigación se convirtió el modelo GRID a TIM por dos motivos. Primero, el modelo GRID es una retícula generada y el modelo TIM es una red de triángulos como fase (cara), figura geométrica que se adapta mejor a las ondulaciones del terreno. Y segundo, el software usado para procesar (Idrisi Kilimanjaro) soporta modelos TIM para poder ser importado.

El tema pendiente fue representado por cinco rangos de valores obtenidos del DEM, asignándole valores numéricos del 1 al 5, para finalmente reclasificar en valores de pendiente mayores a 8%. Para este caso será el rango de pendiente entre 9% a 13% y mayores de 13%. La determinación de la pendiente de un terreno va a influir en la remoción de partículas que puede originar el proceso erosivo, ya que junto a la altura y forma de la ladera más la densidad de drenes, determinan una mayor o menor agresividad de escurrimiento superficial.

Para la exposición, influye la temperatura de los suelos, la disponibilidad de agua y procesos físico químico que se dan en éstos, determinando el grado de cobertura

vegetal que se pueda presentar en un suelo, dependiendo de su posición topográfica. Para posición norte, encontramos una menor cobertura vegetal por tanto una mayor radiación solar, pero menos contenido de humedad en el suelo. Ahora para posición sur, encontramos una mayor cobertura vegetal por ende una menor radiación solar, pero mayor contenido de humedad. Y por tanto el grado de cobertura vegetal incide en una mayor o menor protección del suelo ante un proceso erosivo.

Para esta investigación se seleccionaron las laderas con las siguientes posiciones: Norte, Nor-Este, Oeste y Sur-Este, dado que la radiación solar en estas direcciones son mayor y por tanto a mayor radiación, mayor degradación de suelos.

Estabilidad de suelos y parámetros seleccionados, se determinaron los siguientes parámetros: contenido de arcilla, densidad aparente, materia orgánica. Estos parámetros representaron la estabilidad de los suelos definidos para esta investigación.

El contenido de arcilla es un indicador clave de suelos y físicamente se considera un colioide de partículas extremadamente pequeñas y de superficie lisa. El diámetro de las partículas es inferior a 0.002 mm. Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua.

El valor para indicar el contenido de arcilla en la base de datos a usar, viene dado por valores numéricos variables y corresponden a mediciones realizadas a las muestras. De tal manera que, a mayor contenido de arcilla de la muestra, mayor es la capacidad de estabilidad y por tanto el riesgo de erosión es menor (baja o nula) en la medida que el contenido de arcilla aumente en el suelo, el riesgo de erosión se va incrementando en rangos de moderado a severa y muy severa.

La densidad aparente del suelo (peso seco del suelo/volumen) depende de varios factores: la densidad de

las partículas de suelo mineral, la cantidad de materia orgánica, la compactación del suelo, las actividades de animales que excavan en la tierra, tales como lombrices, y la abundancia de raíces de plantas.

La densidad aparente de un suelo se utilizó como medida de la estructura del suelo. Una densidad baja, generalmente, equivale a más porosidad y mayores agregados del suelo. Un suelo de bosque saludable tendrá una densidad baja, lo que corresponde a mayor estabilidad, menos compactación, y probablemente, mayor contenido de humedad que un suelo con una densidad mayor. De tal manera que, a menor densidad aparente de la muestra, mayor es la capacidad de estabilidad y, por tanto el riesgo de erosión es menor (baja o nula) en la medida que la densidad aparente aumente en el suelo, el riesgo de erosión se va incrementando en rangos de moderado a severa y muy severa.

La materia orgánica es un componente esencial del suelo, dado que mantiene las propiedades físicas, químicas y biológicas. Cumple un papel cementante de las partículas, aumentando la estabilidad estructural por el incremento de agregados órgano-minerales. Al aumentar la estabilidad de la estructura disminuye la acción destructiva de la erosión. De tal manera que, a mayor presencia de este componente, mayor es la capacidad de cohesión del suelo y, por tanto el riesgo de erosión es menor (baja o nula). En la medida que el contenido de materia orgánica disminuye en el suelo, el riesgo de erosión se va incrementando en rangos de moderada a severa y muy severa.

Vegetación y uso actual, parámetros seleccionados, respecto de la Vegetación y Uso actual se tomaron los siguientes atributos descriptivos presentes en las bases de datos: área protección para quebradas y esteros, renoval nativo y bosque de protección, plantaciones exóticas, renoval semi denso pino eucalipto y bosque exótico. Todas estas, presentan altos índices de protección del

suelo, por tanto los procesos de análisis y medición de impacto se realizaron fuera de estas áreas donde por vegetación y uso actual, el suelo presenta menores coberturas y por ende su sensibilidad al riesgo de erosión se incrementa.

En el caso de temas de vegetación y uso actual, se investigó para determinar la restricción, dado que la vegetación protege la capa de suelos y de igual forma algunas plantaciones de uso actual. De tal manera que, a mayor cubrimiento del área, mayor es la capacidad de protección y, por tanto el riesgo de erosión es menor (baja o nula) en la medida que la capacidad de protección disminuya en el suelo, el riesgo de erosión se va incrementando en rangos de moderado a severa y muy severa.

Otros parámetros seleccionados, corresponden a temas que fueron determinados y usados como restricción en esta investigación y que se encontraron con atributos en la base de datos uso actual, fueron los siguientes: Canal Laja-Diguillín, Bosque exótico asilvestrado, pino y eucalipto, renoval semi denso, área protección quebrada estero, además de cancha de fútbol, casa, casa patronal, construcciones, escuela.

Todas estas acciones sobre las coberturas de información usadas en esta investigación (definiciones, adecuaciones, transformaciones, generación de modelo digital), se transformaron en la información base a nivel de detalle y por tanto sustento el tema medioambiental y específicamente la degradación de suelos. Con lo cual se configuró y alimentó el modelo cartográfico creado en esta investigación, dando pie a las etapas de procesamiento.

IV. METODOLOGIA

Propiedades y técnica del método, estas enmarcaron la investigación están relacionadas por un lado en dar a conocer y usar nuevas tecnologías para procesar y

relacionar variables territoriales y por otro el interés de investigar su aplicación en estudios medioambientales, orientados a la planificación y/o toma de decisiones. Como asimismo socializar la posibilidad de evaluar los recursos del medio rural, con la finalidad de aportar en los procesos de desarrollo económico conducente a la sostenibilidad ambiental.

El interés fue encontrar una herramienta informática eficazmente desarrollada para este propósito, con diversos módulos de procesamiento, que posibiliten la interacción multidisciplinaria y con la posibilidad de ser alimentada con información digital georreferenciada. Para la consecución de lo planteado se delinearon tres etapas secuenciales:

1. Desarrollo metodológico y creación de un modelo de evaluación de la capacidad del territorio, que consistió en definir métodos, criterios, factores, restricciones y variables territoriales, significativas y cuantificables de la capacidad, con relación a determinadas funciones relacionadas con la degradación de suelos.
2. Generación de un sistema de información territorial en concordancia con el método de evaluación a desarrollar.
3. Creación de un modelo cartográfico, que desarrollo el método de valoración territorial propio, a fin de que sea aplicable a otras micro-cuenca, ampliable a otras unidades geográficas y como resultado la obtención de datos tangibles posibles de usar en la asignación de fomento o incentivo.

Primera Etapa

Criterios de valoración, factores, variables y reglas de decisión, establecer los criterios de la evaluación conlleva a especificar las bases en las que se fundamenta la valoración de los componentes principales, la aptitud,

la restricción y el impacto, que sustentaron la base para generar la capacidad.

Esta definición determinó los límites operativos de la evaluación y supuso un discernimiento del investigador respecto a los aspectos realmente relevantes que merecen ser medidos a lo largo del proceso para establecer la valoración final.

Para los criterios de restricción se indagó y aplicó sistemáticamente en tres aspectos:

Criterio 1. La imposibilidad física. (canales, cuerpos aguas, lugares edificadas)

Criterio 2. Protección natural. (área protección quebradas y esteros)

Criterio 3. Zonas no determinadas. (atributos sin valor de contenido de arcillas, textura, densidad aparente, materia orgánica)

El primer criterio tuvo como finalidad delimitar las áreas que de manera natural excluyen la función a la instalación, son zonas que se restarán del procesamiento

El segundo criterio se realizó con las áreas en que existe una zonificación natural que excluyen en buena lógica, el establecimiento de la actividad.

El tercer criterio, delimito las áreas que, bajo el concepto de no contar con atributos atinentes en estudio (por causa de no haber generado el dato en terreno, o por no haber medido el dato en la muestra) excluyen al objeto de la evaluación.

Los criterios de aptitud, son mucho más heterogéneos y representativos, estando vinculados a características muy precisas del objeto de la evaluación.

En el caso de erosionabilidad de suelos, su tratamiento en la evaluación es la resistencia del suelo a los procesos de desprendimiento y transporte y se ha analizado metodológicamente como las unidades elementales de erosionabilidad estructuradas dentro de micro-cuenca. Así establecido el objeto a evaluar, la aptitud de cualquier punto del territorio en relación a la erosionabilidad se ha considerado bajo dos criterios:

Criterio 1. Calidad de resistencia del suelo

Criterio 2. Calidad de topografía del espacio abarcado en micro-cuenca. En el caso de drenaje, se concretó el objetivo de la evaluación a señalar las mejores localizaciones respecto de micro-cuencas generadas y el mayor valor en longitudes de drenes existentes.

En el caso de estabilidad de suelos, su tratamiento en la evaluación es la medida de cohesión y de resistencia a los esfuerzos cortantes ejercidos por la gravedad y se analizó metodológicamente como las unidades elementales de estabilidad estructuradas dentro de micro-cuenca. Así establecido el objeto a evaluar, la aptitud de cualquier punto del territorio en relación a la estabilidad se ha considerado bajo dos criterios:

Criterio 1. Calidad de cohesión

Criterio 2. Calidad de topografía del espacio abarcado en micro-cuenca

Para cada objeto de evaluación le corresponde una definición de criterios de aptitud y restricción. En lo que se refiere a impacto, para esta investigación en general se acotaron bajo cuatro criterios. Tales criterios son:

Criterio 1. Impacto en la vegetación

Criterio 2. Impacto en el uso actual

Criterio 3. Impacto sobre cuerpos de aguas

Criterio 4. Impacto en lugares edificadas

Con el primero, se pretendió valorar las consecuencias negativas o de protección, en función de la vegetación, El segundo se orientó en medir la incidencia del uso agrario de algunos cultivos respecto del suelo, el tercero y cuarto demarcaron las zonas que no están relacionadas con suelos, como lo son cuerpos de agua y edificaciones. Discernir estos criterios requirió un conocimiento preciso del elemento o la función en relación a la cual se está efectuando la evaluación territorial

Factores y variables territoriales, una vez determinados y definidos los criterios conducentes a la evaluación, se determinaron de acuerdo a ellos, cuáles son los factores que permitieron valorar un espacio en función de ese criterio y relacionados con estos factores determinar las variables geográficas que fueron los instrumentos de esta valoración y sus escalas de medidas.

El proceso implica acotar y trabajar la representatividad de los factores seleccionados en relación a cada criterio.

La determinación de factores conduce a la selección de la información cartográfica, la evaluación implicó en todos sus pasos juicio de valor. Entre los básicos se cuenta la valoración de variables territoriales y la adopción de su escala de medida, usando valoraciones comparativas. El recurso en estos casos, el sistema de jerarquías analíticas, propuesto por SAATY (1977), implica hacer uso de la comparación por pares como rutina dentro del sistema.

Regla de decisión, todo proceso de evaluación, a través de la definición de los criterios, a la determinación de las variables y su medida, implica juicios de valor. Pero explícitamente la forma en que se manejaron los factores en los criterios, la forma en que trabajaron los criterios para establecer el valor de aptitud o el de impacto, o el valorar la capacidad a través de ellos, implica reglas y procesos claramente definidos e integrados y desarrollados a través del modelo cartográfico creado.

Los criterios son los aspectos bajo los cuales se considero el grado de aptitud, fueron medidos a través de varios factores, para cada uno de los casos se estableció qué peso tiene cada factor en el criterio correspondiente. La solución es la suma ponderada, esto implica un juicio sobre la importancia relativa de cada uno de ellos. Ahora la suma ponderada de factores, admitió la capacidad de compensación entre factores.

Segunda Etapa

Técnica evaluación multi-criterio (EMC), puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. El fin básico de las técnicas de evaluación multi-criterio es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto (Voogd, 1983).

1/9 1/7 1/5 1/3 1 3 5 7 9

Extrema	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	Extrema
Menos importante				Más importante		

La matriz es la mejor organización para presentar la relación de criterios y alternativas que define la evaluación.

En esta matriz, los criterios ocupan la columna principal, y alternativas, la fila principal.

Los valores internos de esta matriz son llamados puntuaciones de criterios y representan el valor o nivel de deseabilidad que ha obtenido cada alternativa en cada criterio.

Los criterios, fueron uno de los elementos fundamentales de la evaluación que en este caso fueron definidos como Erosionabilidad de suelo y Estabilidad de suelo en el

cual la adición final de ellos nos entregará las zonas de acogida para suelos degradados.

Un factor es un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración.

El criterio de tipo limitante restringe la posibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada, éste por lo tanto es medido de forma binaria. Ejemplo: cuerpos de agua, canal, lugares edificados, etc.

Método de comparación por pares, el método de comparación por pares de Saaty, establece una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de factores a ponderar, logrando una matriz de comparación entre pares de factores, estableciendo la importancia de uno sobre cada uno de los demás (a_{ij}), posteriormente se determina el eigenvector principal, el cual establece los pesos (w_j) y el eigenvalor que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Saaty, 1980)

La matriz de comparación por pares, es donde se da comienzo al procedimiento de la asignación de valores por pares de factores.

FACTORES	A	B	C	D
A				
B				
C				
D				

En esta matriz de doble entrada se asigna en cada celda un juicio de valor (a_{ij}), que representa la importancia relativa de cada factor (en columna principal) con otros (en fila principal). Por ejemplo, podemos designar que el factor C es tres veces más importante que el factor B, en celda correspondiente a ejemplo (a_{cb}). De este modo,

con la escala establecida por el método, se asignan los juicios de valor a todas las celdas de la matriz. Se debe hacer notar que en la diagonal de la matriz se asignan valores 1, pues denota la igualdad de cada factor consigo mismo.

Se debe destacar que los valores en lado opuesto de la matriz son los inversos. Por tanto, la asignación de juicios de valor en esta matriz se reduce a la diagonal y mitad inferior izquierda de la matriz.

Escala de medida para la asignación de juicios de valor, es una escala de tipo continuo que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta valor máximo de 9 (Saaty, 1980).

Uno de los aspectos más relevantes e interesantes del método de jerarquías analíticas (MJA) es que, éste se diferencia de los demás métodos de asignación de pesos existentes, pues este indica un dato cuantitativo acerca de la consistencia en la asignación de los juicios de valor. Aunque, igual que en los otros métodos de asignación de juicios de valor que se basan en criterios sólidamente establecidos, evidencian un rango más o menos importante de incertidumbre, pues en todo proceso de asignación humana dichos factores son inevitables. A diferencia este procedimiento permite el cálculo del eigenvalor máximo, este valor permite establecer una medida operativa de la consistencia en la asignación de los juicios de valor (λ_{cb}), además si la medida no se considera consistente el método permite reconsiderar la asignación original. La consistencia que ofrece este cálculo es la razón de consistencia (consistency ratio, c.r.), este valor está dado a partir del cociente entre el valor índice de consistencia (consistency index, c.i.) y el índice aleatorio (random index, r.i.), Su fórmula es:

$$c.r. = c.i. / r.i.$$

De la cual se determina que para valores de c.r. mayores o iguales a 0.10 se establecen satisfactorios los juicios de valor asignados. Para mayor información referente a matriz de consistencia (ver Gomez y Barredo, 2005)

Creación de modelo cartográfico, para elaborar el modelo que se aplicará para la obtención de la capacidad de acogida para cada uso que deseamos localizar, el modelo debió contener las secuencias necesarias y los procesos que se debieron realizar. Para ello se determinó en la configuración del modelo, que la “erosionabilidad del suelo”, “estabilidad de suelos” serán los dos grandes temas y que aportarán los factores y restricciones, los temas de “Vegetación”, “Uso actual” serán los que representarán los impactos. Estos mapas son construidos por medio de una secuencia que contempla la selección de variables físicas de aptitud e impacto en un resultado de carácter espacial de tipo raster (imagen), los cuales fueron ordenados en función del Método de las Jerarquías Analíticas (MJA)

Procesamiento, en esta secuencia de procedimiento se realizó con módulo MCE (Multi-Criteria-Evaluation) del programa IDRISI. El MCE contiene dos procedimientos: superposición booleana o mediante la combinación lineal de pesos. En este estudio se aplicó Weighted Lineal Combination, (WLC) para esto se requirió definir el número de restricciones, nombre y peso asignado a estos factores, para ello las imágenes debieron ser normalizados entre 0-255, mediante este proceso todas ellas quedaron en función lineal. Por un lado construimos la capacidad de acogida para la aptitud erosionabilidad del suelo y por otro la capacidad de acogida para la estabilidad del suelo, posteriormente ambas imágenes resultados se debe aplicar proceso RANKING el cual permite ordenarlas en forma descendente. Con estos temas es posible aplicar el procedimiento denominado MOLA (Multi-objective-Land-Allocation) con el cual se obtuvo la imagen final.

V. RESULTADOS

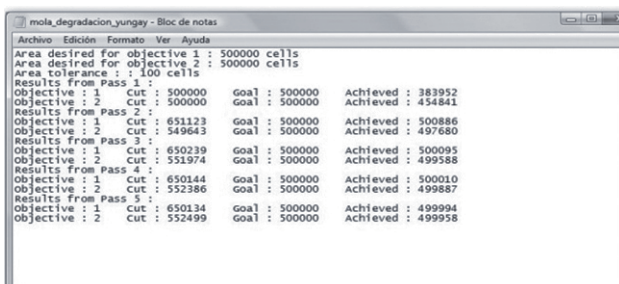
Evaluación multi-criterio (MCE), es un instrumento de apoyo de decisión. En tanto una decisión es una opción entre las alternativas desarrolladas, en este caso las alternativas entregan una asignación de tierras como resultado. Evaluación multi-criterio genera una tentativa producto de combinar un juego de criterios para obtener respuesta compuesta para la decisión según el objetivo propuesto. El método seleccionado para este estudio fue Combinación Ponderada Lineal, en este método cada factor será multiplicado por su peso compensado para luego integrar al resultado los impactos éstos actúan como máscara sobre lo que no será procesado (áreas excluidas). Este procedimiento se caracterizó por la compensación total entre factores y el riesgo medio. Fue muy importante la combinación ponderada lineal, porque en ella se determinaron como factores individuales van a ser compensados el uno en relación con el otro. En este caso, el factor con el peso más alto obtuvo mayor influencia sobre el mapa de conveniencia final.

La compensación es el grado en que un factor pudo ser compensado con otro, este proceso es manejado por el juego de pesos calculado en módulo WEIGHT, para cada factor cuya suma debe dar 1, por tanto se habla de pesos compensados, ellos indican la importancia relativa de cada factor al objetivo en la consideración, por tanto un factor con alto peso debe compensar un valor bajo en otros factores que tengan pesos inferiores.

El procesamiento con MCE incluyó además algún nivel de riesgo asumido, el cual tuvo una gran influencia en el mapa final. Riesgo bajo es el cual el área considerada más conveniente para el resultado final es reducida al mínimo. Para un alto análisis de riesgo es el cual el área considerada más conveniente para el resultado final será maximizada.

Multi-objetivo para asignación de tierras (MOLA), este modulo provee de un procedimiento para la solución de multi-objetivo para la asignación de tierras para los casos con problemas de conflicto de objetivos. Tendientes a determinar en este caso de estudio degradación de suelos. Para esto nos basamos en la información de un conjunto de mapas de aptitud, uno para cada objetivo, estos objetivos fueron conducentes a determinar erosionabilidad de suelo y estabilidad de suelo, las ponderaciones calculadas para cada objetivo y la cantidad de área que se asignará a cada uno. MOLA determino una solución que resulta de los intentos por aprovechar al máximo las adecuaciones de tierras que pueden dar cada objetivo con su peso asignado.

El proceso MOLA requirió de un conjunto de mapas que determinaron idoneidad para cada objetivo. Lo primero es introducir el número de objetivos, a ser incorporados en el análisis, para cada objetivo es necesario introducir un texto descriptivo, un peso a utilizar para cada objetivo, para el caso de este estudio cada objetivo se definió con un 50% de peso, un rango de ruta para las imágenes y los requisitos de área de tolerancia (100) valor por defecto. El área de tolerancia se refiere al punto en que MOLA decidió que ha llegado suficientemente cerca para satisfacer las necesidades de la zona de los objetivos para que realice sus iteraciones. La tolerancia por defecto de 100 celdas indica que MOLA puede detenerse cuando todos los objetivos están a menos de 100 celdas de su área deseada.



mola_degradacion_yungay - Bloc de notas			
Archivo	Edición	Formato	Ver
Area desired for objective 1 : 500000 cells			
Area desired for objective 2 : 500000 cells			
Area tolerance : 100 cells			
Results from Pass 1 :			
Objective : 1	cut : 500000	Goal : 500000	Achieved : 383952
Objective : 2	cut : 500000	Goal : 500000	Achieved : 454841
Results from Pass 2 :			
Objective : 1	cut : 651123	Goal : 500000	Achieved : 500886
Objective : 2	cut : 549643	Goal : 500000	Achieved : 497680
Results from Pass 3 :			
Objective : 1	cut : 650239	Goal : 500000	Achieved : 500095
Objective : 2	cut : 552374	Goal : 500000	Achieved : 499588
Results from Pass 4 :			
Objective : 1	cut : 650144	Goal : 500000	Achieved : 500010
Objective : 2	cut : 552386	Goal : 500000	Achieved : 499887
Results from Pass 5 :			
Objective : 1	cut : 650134	Goal : 500000	Achieved : 499994
Objective : 2	cut : 552499	Goal : 500000	Achieved : 499958

Bloc de notas con resultado de procesamiento interactivo
MÓDULO MOLA: Degradación de suelo.

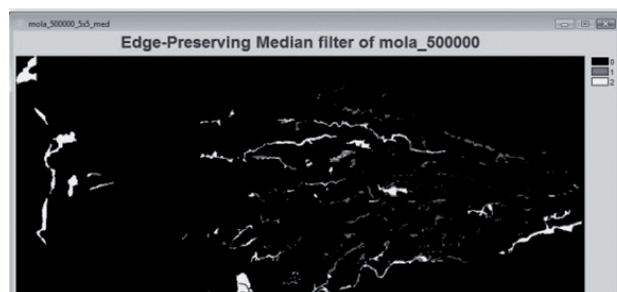


Imagen resultado de procesamiento MÓDULO MOLA:
con post-proceso de filtro medio: Erosionabilidad y Es-
tabilidad de suelo.

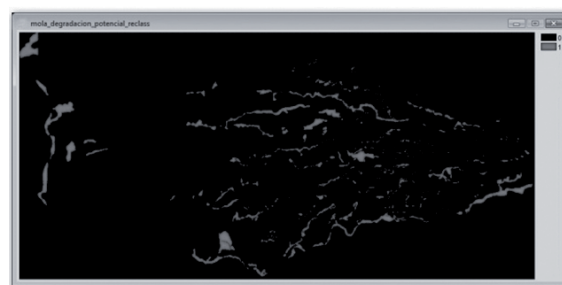


Imagen resultado de procesamiento MÓDULO MOLA:
Degradación de suelo.

**Tratamiento final del resultado en sistema de infor-
mación geográfica**, el resultado final obtenido por el
módulo MOLA es una imagen raster que contiene el
resultado para los dos criterios definidos. Ahora el
objetivo final de esta investigación fue obtener zonas
de acogida para suelos degradados con asignación de
atributos. Estos atributos son por un lado el producto de
la intersección de los polígonos resultantes del modulo
MOLA con el tema de propiedad rural, mediante el cual
se traspasaron atributos tales como: rol, nombre del
dueño, nombre del predio. Y por otro lado el cálculo
de superficie (ha) de los polígonos con degradación de
suelos. Por tanto se puede responder lo siguiente: “tal
propiedad rural contiene o no sectores con degradación
de suelos, si es sí, el área fue identificada en su forma,
debidamente georreferenciada y con atributos en su base
de datos conducentes a su identificación”



Imagen resultado es cobertura importada con polígonos resultante de Degradación de suelo.



Imagen resultado de intersección cobertura degradación de suelo y propiedad rural.

Cargado de áreas a cobertura polígonos degradación de suelo, se realizó posterior a la intersección con temas de propiedad rural, de esta forma cada polígono de suelo degradado obtuvo como atributos los contenidos en tema propiedad rural y de área con degradación de suelos. Este atributo de área representa la superficie de las propiedades atingente a tener sectores con suelos degradados.

Formas de conversión:	480-173	CHAVARRIA HERRERA MARIA MATILDE	GRANEROS DE DAICAL	OFICIAL	SAG	136,929	0,003
Formas de conversión:	1114-3	ZAPATA MARTIN RAUL ENRIQUE	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	INDAP	62,807	0,146
Formas de conversión:	1114-4	FUENTES OTAROLA MANUEL RAUL	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	SAG	119,922	0,003
Formas de conversión:	1114-3	ZAPATA MARTIN RAUL ENRIQUE	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	INDAP	62,807	0,003
Formas de conversión:	1114-3	ZAPATA MARTIN RAUL ENRIQUE	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	INDAP	62,807	0,35
Formas de conversión:	1114-3	ZAPATA MARTIN RAUL ENRIQUE	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	INDAP	62,807	0,023
Formas de conversión:	1114-3	ZAPATA MARTIN RAUL ENRIQUE	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	INDAP	62,807	0,003
Formas de conversión:	1114-3	ZAPATA MARTIN RAUL ENRIQUE	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	INDAP	62,807	0,203
Formas de conversión:	1114-65	VASQUEZ OTAROLA ROBERTO	RINCONADA	OFICIAL	INDAP	11,245	0,003
Formas de conversión:	1114-66	CHAVARRIA HERRERA MARIA MATILDE	SANTA ELENA	OFICIAL	INDAP	59,906	0,199
Formas de conversión:	1114-45	FUENTES OTAROLA JOSE JUAN	DAÑICALQUI	OFICIAL	SAG	120,456	0,365
Formas de conversión:	1114-45	FUENTES OTAROLA JOSE JUAN	DAÑICALQUI	OFICIAL	SAG	120,456	0,003
Formas de conversión:	1114-66	CHAVARRIA HERRERA MARIA MATILDE	SANTA ELENA	OFICIAL	INDAP	59,906	0,23
Formas de conversión:	1114-66	CHAVARRIA HERRERA MARIA MATILDE	GRANEROS DE DAICAL	OFICIAL	INDAP	59,906	0,003
Formas de conversión:	1114-45	FUENTES OTAROLA JOSE JUAN	DAÑICALQUI	OFICIAL	SAG	120,456	0,09
Formas de conversión:	1114-45	FUENTES OTAROLA JOSE JUAN	DAÑICALQUI	OFICIAL	SAG	120,456	0,07
Formas de conversión:	1114-45	FUENTES OTAROLA JOSE JUAN	DAÑICALQUI	OFICIAL	SAG	120,456	0,003
Formas de conversión:	1114-66	CHAVARRIA HERRERA MARIA MATILDE	SANTA ELENA	OFICIAL	INDAP	59,906	0,003
Formas de conversión:	1114-66	CHAVARRIA HERRERA MARIA MATILDE	SANTA ELENA	OFICIAL	INDAP	59,906	0,19
Formas de conversión:	1114-66	CHAVARRIA HERRERA MARIA MATILDE	SANTA ELENA	OFICIAL	INDAP	59,906	0,003
Formas de conversión:	1114-66	CHAVARRIA HERRERA MARIA MATILDE	SANTA ELENA	OFICIAL	INDAP	59,906	0,040
Formas de conversión:	1114-4	FUENTES OTAROLA MANUEL RAUL	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	SAG	119,922	0,026
Formas de conversión:	1114-4	FUENTES OTAROLA MANUEL RAUL	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	SAG	119,922	0,003
Formas de conversión:	1114-4	FUENTES OTAROLA MANUEL RAUL	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	SAG	119,922	0,007
Formas de conversión:	1114-4	FUENTES OTAROLA MANUEL RAUL	FUNDO EL PELLIN	OFICIAL	SAG	119,922	0,003

Base de datos Access, degradación de suelo.
Presentación final zonas acogida suelo degradado, para mostrar y presentar los resultados finales, se conformo la siguiente composición cartográfica: Imagen de fondo, representada por un mosaico color (Fotografía CONAF-CONAMA), cobertura propiedad rural (Color amarillo) y polígonos que representan las zonas de acogida para suelos degradados (Color rojo-oscuro)

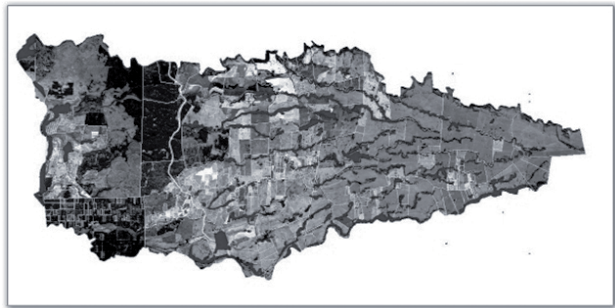


Imagen resultado final cobertura degradación de suelo, propiedad rural e imagen de fondo (Mosaico color)

VI. CONCLUSIONES

Conclusiones

La presente investigación, muestra un acercamiento a comprender la dinámica en la obtención de zonas de acogida para degradación de suelos, en sus criterios de erosionabilidad de suelo y estabilidad de suelo, en micro-cuenca, de los esteros Dañicalqui y Trilaleo en zona de la comuna de Yungay, VIII región de Chile. Para la obtención de cartografía de degradación de suelos con técnica evaluación multi-criterios, que permita visualizar, identificar y cuantificar el territorio, aportando información relevante a ser usada por parte de organismos pertinentes.

Para el área de estudio, como primer análisis se determinaron sectores con mayor riesgo de erosionarse, a

partir de factores obtenidos del modelo digital de terreno, específicamente variables del relieve, como son la pendiente y los niveles de incisión o drenaje natural. Ambas variables dan cuenta de la resistencia del suelo a la agresividad del escurrimiento superficial que se desliza a través de las laderas de las áreas de estudio.

Así las áreas discriminadas por pendientes superiores al 8% conjuntamente con una mayor densidad de drenes naturales, representan sectores con una menor resistencia al escurrimiento y por consiguiente tienen un mayor riesgo potencial que los suelos se erosionen.

Por lo tanto, a mayor pendiente la erosión será mayor debido al aumento de la velocidad del agua y también a mayor densidad de drenes la intensidad de concentración de agua aumenta, y por ende el escurrimiento será mayor.

Aunque la resistencia de un suelo a la erosión depende en parte de su posición topográfica, sus propiedades mecánicas y químicas son los determinantes más importantes; específicamente las texturas, estabilidad de los agregados, contenidos minerales y orgánicos y capacidad de infiltración.

Bajo este prisma, y como un segundo análisis, para el área de estudio se determinaron sectores con mayor riesgo de erosión, considerando las texturas del suelo y variables como el % de materia orgánica; % de arcilla y densidad aparente; que en su conjunto y relacionadas con otras características del suelo expresan la estabilidad de los agregados.

De esta manera las áreas seleccionadas representan sectores con una menor estabilidad de los agregados del suelo, lo cual se relaciona con bajos contenidos de materia orgánica disminuyendo entonces la acción cohesionante de este constituyente para mejorar la resistencia del suelo a la erosión.

Al mismo tiempo, la poca cantidad de materia orgánica contenida en estos suelos desfavorece la granulación y su forma mullida, condición porosa que determina valores altos de densidades aparentes y que también afecta la infiltración y capacidad de retención de agua de estos suelos.

Por otra parte los suelos de estos sectores presentan bajos contenidos de arcilla, lo que junto a un menor contenido de materia orgánica, determina que la combinación de estos componentes para formar agregados sea menor y por tanto la erosionabilidad de estos sectores es mayor.

Por último, el aspecto de protección se centra en los factores relacionados con la cobertura vegetal existente. Así las áreas resultantes de los dos análisis anteriores se confrontaron con factores y restricciones vegetacionales y/o uso del suelo con un grado de protección menor al impacto de la gota de lluvia y la acción del escurrimiento superficial.

De esta forma se obtuvieron sectores con mayor riesgo de erosión, que se ubican preferentemente en terrenos que bordean los cursos de agua naturales donde las pendientes son mayores y la estabilidad de los agregados es menor. En estos sectores la intervención del hombre ya sea a través de la deforestación del renoval nativo o bosque de protección para leña o para aumentar la superficie sembrada y rendimientos, hace que la intensidad del proceso erosivo pueda verse fuertemente incrementada.

Otros sectores se ubican en terrenos de menor pendiente, donde los suelos presentan texturas y agregados menos estables que favorecen un mayor riesgo de erosión. Si a esto se agrega la intensidad de laboreo del suelo en las rotaciones cultivo-pradera y la ausencia de medidas de conservación en estos suelos con bajo contenido de materia orgánica y arcilla; es de esperarse un mayor deterioro del recurso.

Entonces en los sectores que bordean los cursos naturales, ante la acción erosiva de la lluvia, el impacto de una gota de agua en un terreno descubierto separará el suelo, destrozará la granulación y producirá por la pendiente un apreciable transporte de partículas por escurrimiento las que se depositarán en los cauces respectivos.

Asociada a la erosión que se puede producir, la sustentabilidad de estos sectores se verá afectada por la pérdida de nutrientes y disminución de capacidad de retención de humedad, lo cual incidirá directamente en una pérdida de productividad de estos suelos.

Como sabemos, el principal contaminante de las aguas es la sedimentación, por tanto las partículas del suelo perdidas por erosión en las partes altas de la micro-cuenca serán transportadas y depositadas en las partes bajas. Esto producirá embancamientos en canales, inundación y contaminación de terrenos agrícolas, creando condiciones marginales desde el punto de vista de suelos para su uso. Esta última instancia ya se vislumbra en propiedades ubicadas en la parte poniente de micro-cuenca cuyos suelos presentan un drenaje restringido y una cobertura de pastos naturales.

Las coberturas vectoriales usadas a escala 1:10000 son una buena fuente de información, los estudios de recursos naturales a la escala mencionada ya son una realidad en un gran número de instituciones. La riqueza de atributos, hicieron factible la obtención de cartografía para degradación de suelos.

El resultado final obtenido con la técnica de evaluación multi-criterio, es una producción cartográfica que da cuenta y comunica el mensaje a entregar a diversos usuarios, teniendo en cuenta su composición, diseño, simbología y colores, que muestra un buen contraste para la serie cartográfica desarrollada.

La metodología desarrollada en esta investigación, es aplicable a micro-cuencas vecinas o a nivel comunal, dado que actualmente existe información de carácter relevante a escala apropiada en diversos organismos, con lo cual adquiere una connotación a nivel nacional, siendo de utilidad el modelo cartográfico creado por el autor.

Recomendaciones.

Para proseguir con la línea de investigación en el tema abordado por este estudio, se vislumbran los siguientes caminos:

Por un lado se puede modificar la selección y caracterización de factores y restricciones utilizados en este estudio y comparar con los resultados obtenidos.

Además, se puede investigar la cantidad de criterios utilizados a fin de obtener diferencias posibles de comparar.

Por último, investigar en otras formas de procesamiento en los diferentes módulos utilizados por técnicas de evaluación multi-criterios.

VII. BIBLIOGRAFIA

BARREDO CANO, José Ignacio (1996) Sistemas de Información Geográfica y evaluación multi-criterio en la evaluación del territorio. Madrid Ra-Ma

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES. (2005) Modelo de zonificación de distritos de conservación en territorios degradados para planes y programas de conservación de recursos naturales. Santiago, Chile, CIREN

DASGUPTA, P. y K. MÄLER (1991) El ambiente y los nuevos temas del desarrollo”. En Desarrollo y medio ambiente: hacia un enfoque integrador, Joaquín Vial (compilador), CIEPLAN, Santiago, Chile.

HERRERA G, Víctor (2006) Elementos de cartografía y teledetección para ambiente Santiago, Chile, USACH

MORALES, Cesar y PARADA, Soledad. (2005) Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Santiago, Chile.

ORDÓÑEZ GALÁN, Celestino; MARTÍNEZ-ALEGRÍA LÓPEZ, Roberto (2003) Sistemas de Información Geográfica, Aplicación práctica con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemática medioambiental. México, Editorial Alfaomega, 227 p.

.....