

Jerarquización y asignación de prioridades a cuencas hidrográficas de zonas áridas y semiáridas de Chile.

Parte I: Método

Ranking and assignment of priorities to watersheds of arid and semiarid zones of Chile. Part I: Method.

C.D.O.: 116

ANDRES IROUME A. y JORGE GAYOSO A.

Instituto de Manejo Forestal, Universidad Austral de Chile,
Casilla 853, Valdivia, Chile

SUMMARY

A method based on the use of index as a technique to rank and assign priorities to watersheds of arid and semiarid zones of Chile is described. Three criteria and 12 parameters were chosen to represent watershed characteristics and to assign a numerical value to each watershed. The numerical value is used to rank the watersheds and to classify them into priority classes with the assistance of cluster analysis.

The method is described in this paper. The testing and sensitivity analysis results will be described in a future paper.

RESUMEN

Se describe un método basado en el uso de índices para jerarquizar y asignar prioridades a cuencas hidrográficas de zonas áridas y semiáridas de Chile. Se seleccionaron tres criterios y 12 parámetros para representar las características de las cuencas. Su evaluación y combinación permiten asignarle a cada cuenca un valor numérico. Este valor numérico es utilizado para jerarquizar las cuencas y clasificarlas en rangos de prioridad con la ayuda de análisis de conglomerados o cluster.

El método se describe en este documento, mientras que su aplicación y validación se presentará en un próximo.

INTRODUCCION

Los recursos que requieren los proyectos de manejo integral de cuencas y las restricciones económicas de los países en vías de desarrollo obligan a concentrar los mayores esfuerzos en las cuencas prioritarias. Para esto, los encargados de tomar las decisiones deben disponer de algunos elementos de juicio que les permitan jerarquizar las cuencas hidrográficas y seleccionar las unidades hidrológicas prioritarias.

Una jerarquización corresponde a un ordenamiento de unidades hidrológicas de acuerdo a una cualidad que todas ellas posean en un grado variable (Kendall, 1948, citado por Iroumé, 1986). La cualidad seleccionada para comparar las cuencas está estrechamente ligada a los objetivos de manejo. En algunos casos estos objetivos pueden corresponder a la selección de las cuencas más degradadas, en otros a las cuencas con mayor cantidad de bienes y población afectos a crecidas o inundaciones o con mayor posibilidad de desarrollo hidroeléctrico, por ejemplo.

No siempre es fácil representar directamente la cualidad deseada para comparar las cuencas. Esto, pues no existe consenso respecto a los criterios para hacerlo, porque parte de la información necesaria puede no estar disponible o porque la cualidad sólo puede ser representada mediante la integración de varios parámetros (Iroumé y Gayoso, 1988b). Por otra parte, la asignación de prioridades puede diferir entre los distintos grupos u organismos relacionados con los procesos de toma de decisiones (Albrecht, 1979). Para un esquema dado de manejo, algún grupo puede tender a dar mayor importancia, por ejemplo, al desarrollo económico, mientras que otro puede preferir una orientación más conservacionista o proteccionista de los recursos.

Un método para jerarquizar cuencas hidrográficas consiste en el uso de índices numéricos. Este índice puede representar las condiciones físicas, sociales y ecológicas de las cuencas hidrográficas. Para hacerlo se combinan diversas características de las cuencas para producir un valor numérico, el cual se utiliza para

comparar, jerarquizar y asignar las prioridades a las unidades estudiadas (Iroumé y Gayoso, 1988b). Esta técnica se usa frecuentemente en evaluaciones con múltiples objetivos para agregar factores medidos en unidades diferentes (McKee, 1979; Larson, 1979). Es especialmente útil para reducir tanto la escala como la complejidad de un sistema, hasta proporciones que puedan manejarse con los recursos, información y tiempo disponibles. En general, todos los índices condensan información y en este proceso se puede producir una reducción o pérdida de resolución, variabilidad y heterogeneidad del sistema. Sin embargo, esta situación puede ser aceptable si el índice mide o refleja adecuadamente los objetivos que se intenta que represente (McKee, 1979; Hollick, 1981).

Los principales problemas que debe considerar la construcción de un índice incluyen (Iroumé, 1986; Iroumé y Gayoso, 1988b):

1. Selección de criterios y parámetros para representar las cuencas.
2. Combinación de parámetros medidos en unidades diferentes.
3. Asignación del peso o importancia relativa de cada parámetro frente a los demás.
4. Selección del modelo para combinar los parámetros y calcular el índice numérico.

Para seleccionar los parámetros no existe un método específico, ya que por una parte los sistemas se pueden caracterizar mediante diferentes grupos de parámetros (Fullerton, 1979), y por otra, éstos dependen del o los criterios que se utilicen para comparar y jerarquizar las cuencas. Debido a esta situación la información relativa a un grupo en particular de parámetros debe incluir una descripción de los mismos, de modo que pueda establecerse su relación con otros que puedan ser igualmente o más atractivos a otros grupos de interés. Uno solo no representará ni reflejará adecuadamente al sistema, y demasiados presentarán dificultades para manejarlos, medirlos, evaluarlos, combinarlos, etc. (Fullerton, 1979; Neuhold, Porcella e Innis, 1979).

Para poder combinar parámetros medidos en unidades diferentes los valores de éstos deben transformarse de las escalas cardinales a escalas ordinales comunes (Sinden y Worrel, 1979; Olaya, 1985).

Para asignar pesos o ponderaciones a los parámetros tampoco existen reglas específicas, por lo que éstos pueden ser ponderados en forma diferente por las distintas personas o grupos de interés, y todas estas preferencias pueden ser igualmente válidas (Albrecht, 1979; Fullerton, 1979; Larson, 1979). Dependiendo de la importancia relativa

asignada a cada parámetro el valor del índice cambiará. Por lo tanto, es generalmente útil aplicar un procedimiento que use un rango de pesos, dando mayor importancia a unos y luego a otros parámetros. Para cada grupo de pesos se realiza una jerarquización de las cuencas, y para las diferentes jerarquizaciones habrá un cierto número de cuencas que siempre se ubicarán en los primeros lugares. Estas podrán considerarse con mayor seguridad como las unidades prioritarias (McGaughey, 1980).

Una última dificultad corresponde a la selección del modelo para combinar los parámetros y calcular el valor índice. Los modelos más comunes son la suma y el producto ponderados (Larson, 1979), siendo el primero de ellos el que se utiliza en la mayoría de los casos (Iroumé, 1986).

Otros métodos de jerarquización de cuencas basados en la construcción de índices han sido propuestos para ser aplicados al análisis de microcuencas en Venezuela y en las cuencas de los ríos Mataquito y Maule (Dirección de Manejo de Cuencas, 1977; ODEPLAN, 1981), áreas torrenciales (FAO, 1974), cuencas de zonas áridas de Chile (CONAF, 1983) y grandes cuencas en Costa Rica (Olaya, 1985).

En este documento se presenta un método para jerarquizar y asignar prioridades en cuencas hidrográficas de zonas áridas y semiáridas de Chile. El método fue desarrollado dentro del marco del "Estudio de las prioridades de manejo de las cuencas de la I a VII Región", cuyo objetivo principal era el de jerarquizar las cuencas del área en función de la magnitud de los fenómenos de degradación, considerando los bienes que son de interés proteger. Este estudio formó parte del Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017 "Investigación y desarrollo de áreas silvestres en zonas áridas y semiáridas".

En una publicación siguiente se presentarán los resultados de la aplicación de este método para jerarquizar y asignar prioridades a cuencas ubicadas entre las regiones I y VII.

METODO

Criterios de jerarquización. La identificación de los criterios generales usados para representar las características de las cuencas tiene en cuenta el objetivo planteado por el "Estudio de las prioridades de manejo de las cuencas de la I a VII Región". Este contempla una jerarquización considerando la existencia de procesos de degradación en las cuencas y de fenómenos torrenciales en los cauces, y los bienes presentes que son de interés proteger.

Los criterios de jerarquización son los siguientes (Iroumé y Gayoso, 1988b):

a) Evaluación de los daños potenciales. Este criterio permite representar aquellos bienes existentes en las cuencas que son susceptibles de ser afectados por la ocurrencia y magnitud de fenómenos erosivos y torrenciales, y que son de interés de proteger. Se considera para cada cuenca: centros poblados a orillas de cauces, áreas de alto valor agropecuario, embalses de regulación, centrales hidroeléctricas, red vial.

b) Evaluación del riesgo de ocurrencia de fenómenos destructivos. Se analiza para cada cuenca la ocurrencia histórica de: inundaciones, crecidas, deslizamientos.

c) Evaluación del peligro. La degradación de las cuencas y la torrencialidad en los cauces son el resultado de una combinación de condiciones climáticas, geomorfológicas, telúricas y del impacto de la presencia del hombre. Se considera para cada cuenca: clima, morfología, tamaño, aptitud de los suelos, uso actual de los suelos, nivel de cobertura vegetal, nivel de erosión, impacto de la densidad de población.

PARAMETROS SELECCIONADOS

En el cuadro 1 se presentan los parámetros seleccionados para cuantificar los criterios (Iroumé y Gayoso, 1988b).

DESCRIPCION DE LOS PARAMETROS

Población afecta a daños por crecidas e inundaciones: los centros poblados ubicados en las orillas de los cauces son severamente afectados por crecidas e inundaciones, cuya magnitud y frecuencia pueden aumentar debido a la degradación generalizada de las cuencas. Aunque no se disponga de datos para una evaluación económica, se puede prever que cuanto más numerosa es la población que vive en las zonas inundables, mayores serán los daños potenciales (Naciones Unidas, 1977). Las cuencas con mayor población concentrada a orilla de cauces se consideran prioritarias.

CUADRO 1

Listado de parámetros

List of parameters

Criterio	Parámetro	Componentes
I.	1. Población afecta a daños por crecidas e inundaciones.	Número de habitantes en centros poblados a orilla de cauces.
	2. Tierras de alto valor agropecuario.	Superficie regada.
	3. Embalses de regulación.	Capacidad embalsada.
	4. Red vial.	Longitud de la red vial.
	5. Hidroelectricidad.	Potencia instalada. Generación media anual.
II.	6. Inundaciones.	Superficie inundable.
	7. Crecidas.	Relación entre caudales máximos instantáneos y caudales medios mínimos.
	8. Deslizamientos.	Frecuencia de deslizamientos.
III.	9. Sobreuso del suelo.	índice de fragilidad de los ecosistemas.
	10. Deterioro del ambiente asociado a la densidad de población.	Densidad de población.
	11. Precipitación.	Precipitación media anual. Concentración de precipitación.
	12. Tamaño.	Superficie de la cuenca.

Tierras de alto valor agropecuario: especialmente en las zonas áridas y semiáridas, las áreas regadas con los terrenos de mayor valor agropecuario. Sin embargo, debido a que se ubican en las terrazas aluviales de los valles, están expuestas a daños por crecidas e inundaciones (Iroumé y Gayoso, 1987b, 1988a). Se considera que las cuencas con mayor prioridad son aquellas con mayores superficies regadas.

Embalses de regulación: la escasez de agua es una característica de zonas áridas y semiáridas, y su disponibilidad desempeña un papel especialmente importante en relación con las posibilidades de asentamiento y actividad humana (Klohn, 1972). La regulación de excedentes producidos en años o meses húmedos permite su utilización en períodos estivales, tanto para asegurar el agua para bebida, el riego y para generar energía. Sin embargo, los embalses son severamente afectados por la degradación de las cuencas y la torrencialidad de los cauces. El embancamiento, producto del depósito de los caudales sólidos arrastrados por las aguas, disminuye la vida útil de estas obras hidráulicas, poniendo en peligro el aprovechamiento de un recurso escaso. Las cuencas con mayor capacidad embalsada se consideran prioritarias.

Red vial: el desarrollo de los sectores agropecuario, industrial y minero sólo es posible con el desarrollo de una infraestructura vial de apoyo (Olaya, 1985). En Chile la red vial se interrumpe frecuentemente, debido a crecidas, inundaciones y deslizamientos (Iroumé y Gayoso, 1987a), y deben realizarse importantes inversiones para reparar y reconstruir los tramos afectados. Las cuencas con mayor longitud y densidad de caminos se consideran prioritarias.

Hidroelectricidad: debido a que la producción nacional de petróleo está disminuyendo, las necesidades futuras de energía eléctrica deberán satisfacerse, principalmente, a través de un mayor uso de gas, carbón y energía hidráulica. Esta última presenta ventajas, puesto que es renovable, especialmente si se protegen las cuencas hidrográficas, y a que el potencial hidroeléctrico que tiene el país está lejos de ser sobrepasado (ENDESA, 1985). Para el cálculo del parámetro hidroelectricidad se considera tanto la potencia instalada como la generación media anual en cada cuenca. Las cuencas con mayores potencias y generaciones se consideran prioritarias.

Inundaciones: cada cierto tiempo los ríos desbordan causando una elevada cantidad de daños en las propiedades, pérdidas de ingresos e incluso de vidas humanas (Naciones Unidas, 1977; ONEMI,

1980). A pesar de las pérdidas sufridas no han cesado el asentamiento humano ni la ocupación de las llanuras inundables. Por el contrario, las actividades humanas han ido concentrándose en forma creciente en estas zonas (Naciones Unidas, 1977). Debido a esto las cuencas que presentan mayores áreas inundables se consideran prioritarias.

Crecidas: la magnitud y frecuencia de los caudales de crecida provocan severos daños a lo largo de los cauces, afectando núcleos urbanos, puentes, caminos, entarquinando embalses y creando problemas en los puertos, debido a la sedimentación de los estuarios (FAO, 1974). Debido a las características de las cuencas del área de estudio estas crecidas suelen estar asociadas a corrientes de barro, que presentan una enorme fuerza destructiva (Golubev, 1969). La representación del parámetro "crecidas" se realiza expresando la diferencia entre los caudales máximos instantáneos y los medios mínimos, como porcentaje de los últimos. De esta forma se manifiesta la importancia de los caudales de crecida frente a los de aguas bajas. Las cuencas con mayores valores de este indicador se consideran prioritarias.

Deslizamientos: los deslizamientos y otros fenómenos de remoción en masa se producen debido a la acción combinada sobre una misma área de características como presencia de rocas friables, sismicidad, régimen pluvial y topografía (Olaya, 1985). En terrenos susceptibles a la remoción en masa, la deforestación, el sobrepastoreo, la minería y la construcción de caminos, entre otros, tienden a agravar estas manifestaciones de movimientos masivos de tierra. Aun cuando no se disponga de información respecto al volumen de los deslizamientos, el número de estos eventos puede utilizarse para representar el grado de importancia de los procesos de reordenamiento geomorfológico que se producen permanentemente en las cuencas hidrográficas (Iroumé y Gayoso, 1987b). Las cuencas con mayor frecuencia de deslizamientos se consideran prioritarias.

Sobreuso del suelo: Las prácticas agrícolas en suelos de aptitud forestal y ganadera y el sobrepastoreo explican en parte el deterioro de extensas áreas del país (FAO, 1974; IREN, 1979). El parámetro sobreuso se cuantifica utilizando el índice de Fragilidad de los Ecosistemas Naturales de Chile, determinado por IREN (1979). IREN (1979) define fragilidad como la susceptibilidad de los ecosistemas a deteriorarse, producto de un desequilibrio entre las variables geomórficas, climáticas y vegetacionales que los conforman, y del uso que de ellos se hace. Puesto que la escala de este parámetro está direccionada negativamente, a

aquellas áreas con los menores valores les corresponde una mayor fragilidad, y por lo tanto, una mayor prioridad.

Deterioro del ambiente asociado a la densidad de población: los recursos naturales asociados a áreas densamente pobladas son fácilmente deteriorados, ya que las principales causas de la degradación son de origen antrópico (FAO, 1974, 1983; Olaya, 1985). El proceso de deterioro, que una vez iniciado tiende a aumentar aceleradamente, disminuye la productividad de los suelos y aumenta la frecuencia de crecidas, inundaciones y deslizamientos, afectando negativamente a la población (Naciones Unidas, 1977; FAO, 1983; Olaya, 1985; Alvarez, 1986). Las cuencas con mayor densidad de población se consideran prioritarias.

Precipitación: la disponibilidad del recurso agua y la posibilidad de aprovechamiento están directamente relacionadas con los volúmenes que precipitan. La generación de escorrentía y la agresividad de las lluvias para producir erosión están ligadas tanto a la abundancia como a la intensidad de éstas. El suelo, la vegetación y el relieve sólo favorecen o controlan la acción de la precipitación. La cantidad de precipitación se cuantifica a través de la precipitación media anual sobre cada cuenca. La intensidad de las lluvias y su efecto sobre la degradación, por su parte, se pueden valorar para cuencas con superficies mayores a 100 km² utilizando el coeficiente de concentración de precipitaciones de Fournier, que corresponde al cociente entre el cuadrado de la precipitación del mes más lluvioso y la precipitación media anual (López y Blanco, 1976). Las cuencas con mayor precipitación anual y mayor coeficiente de concentración de precipitaciones se consideran prioritarias.

Tamaño: las crecidas e inundaciones en las partes bajas son los efectos finales de la degradación de las cuencas y de la torrencialidad de los cauces. Entre las medidas tendientes a regular las crecidas están la modificación de la vulnerabilidad de los daños mediante una ordenación de las llanuras inundables y la modificación de la crecida misma (Naciones Unidas, 1977). La modificación de la crecida sólo se puede lograr mediante una combinación de medidas tendientes a regular en los cauces la crecida ya formada y en retrasar en las laderas la generación de la misma (Hewlett, 1982). Sin embargo, las características hidrológicas distintas de las cuencas pequeñas permiten fundamentar el control del recurso agua principalmente a través de tratamientos de la tierra y manejo de la vegetación (López y Hernández, 1980). Las medidas de manejo de las cuencas tienden a mejo-

rar la calidad de vida de la población y la utilización de los recursos naturales renovables (Naciones Unidas, 1977). Sin embargo, estas medidas entrañan la adopción, entre otras, de nuevas técnicas de cultivo y nuevas normas para la ubicación de las distintas actividades, por lo que el éxito de la planificación depende en gran parte del interés y apoyo de la mayoría de la población. La participación cívica y de los organismos relacionados con el manejo de los recursos naturales, y el compromiso de éstos con las nuevas medidas, se puede lograr más fácilmente en áreas de menor tamaño. Por estos motivos, las cuencas con menor superficie se consideran prioritarias.

PONDERACION DE CRITERIOS Y PARAMETROS

Las ponderaciones para cada criterio y parámetro se obtuvieron mediante consultas a 22 expertos, siguiendo los procedimientos generales de una técnica grupal (Iroumé y Gayoso, 1988b).

Este método consiste básicamente en presentar a los expertos una serie de cuestionarios, donde éstos plantean sus opiniones respecto al problema que está siendo analizado, y eventualmente cambiarlas en función de las opiniones y antecedentes aportados por los demás. Este procedimiento iterativo termina cuando las opiniones personales no sufren nuevas modificaciones. En el caso de no alcanzarse un consenso absoluto, se procede a la determinación de los coeficientes de ponderación promediando los valores presentados por cada experto (Linstone y Turoff, 1975; Melnick y Gutiérrez, 1982).

Las ponderaciones de los criterios son las siguientes (Iroumé y Gayoso, 1988a):

Criterio	Coefficiente de ponderación (K)
Evaluación de daños potenciales	0.385
Evaluación del riesgo	0.297
Evaluación del peligro	0.318

Los coeficientes de ponderación de los parámetros se presentan en el cuadro 2 (Iroumé y Gayoso, 1988a).

Para el parámetro Hidroelectricidad, el coeficiente de ponderación del componente Potencia Instalada es 0.5, y el del componente Generación Media Anual es también 0.5 (Iroumé y Gayoso, 1988b).

En el caso del parámetro Precipitación, el coeficiente de ponderación del componente Concentración de Precipitaciones es 0.7 y el del componente Precipitación Media Anual de 0.3 (Iroumé y Gayoso, 1988b).

CUADRO 2

Coefficiente de ponderación (k) de los parámetros

Weights (k) of parameters.

Criterio I		Criterio II		Criterio III	
Parámetro	k	Parámetro	k	Parámetro	k
1. Población afecta a daños por crecidas e inundaciones.	0.265	6. Inundaciones.	0.400	9. Sobreuso del suelo.	0.330
2. Tierras de alto valor agropecuario.	0.220	7. Crecidas.	0.350	10. Deterioro del ambiente asociado a la densidad de población.	0.300
3. Embalses de regulación.	0.205	8. Deslizamientos.	0.250	11. Precipitación.	0.260
4. Red vial.	0.160			12. Tamaño.	0.110
5. Hidroelectricidad.	0.150				

TRANSFORMACION DE ESCALAS Y SELECCION DE CLASES

La necesidad de agregar parámetros de diverso carácter, magnitudes y sistemas de unidades lleva a transformar los valores absolutos y a generar valores indexados. Los valores absolutos se convierten a una escala referencial ordinal de diez grados, utilizando la siguiente función:

$$V(i,j) = 10 \frac{VABS(i, j)}{VABSmax(i)} \quad (1)$$

donde V(i,j) es el valor ordinal o valor índice del parámetro i de la cuenca j, VABS(i,j) es el valor absoluto del parámetro i de la cuenca j, y VABSmax(i) el máximo valor absoluto del parámetro j para todas las cuencas.

Para aquellos parámetros a los cuales a menor valor les corresponde una mayor prioridad, la expresión a utilizar es:

$$V(i, j) = 10 \frac{(VABSmax(i) + VABSmin(i) - VABS(i, j))}{VABSmax(i)} \quad (2)$$

donde V(i, j), VABS(i, j) y VABSmax(i) tienen el mismo significado que en ecuación 1, y VABSmin(i) es el mínimo valor absoluto del parámetro j para todas las cuencas.

Los valores ordinales o valores índice permiten diferenciar haciendo abstracción de la escala y unidad empleada en el parámetro fuente. Sin

embargo, un mismo valor índice en parámetros distintos puede corresponder a una importancia relativa diferente, en cuanto al objetivo específico de la priorización. Por esta razón se determinan rangos o clases para los valores índice de los parámetros, de modo de agrupar aquellos valores que originan un efecto similar (Iroumé y Gayoso, 1988a). El manejo numérico de las clases obliga a asignarles una ponderación (Carvajal y Patri, 1979; Olaya, 1985):

Clase	Ponderación pc
1 o de muy baja incidencia	0.04
2 o de baja incidencia	0.12
3 o de incidencia media	0.20
4 o de alta incidencia	0.28
5 o de muy alta incidencia	0.36

Los límites de cada clase se definen de modo de asegurar la presencia de individuos en todas o en la mayoría de las clases, y de tender a acentuar la segregación en los valores extremos. Algunos modelos para definir los rangos de cada clase se presentan en el cuadro 3.

CALCULO DE VALORES INDICES

El valor numérico o "índice de Cuenca" que se asigna a cada unidad hidrográfica se obtiene de la siguiente expresión:

$$IC(j) = \sum_{i=1}^3 VIC(i,j) K(i) \quad (3)$$

CUADRO 3

Modelos para definir rangos de clase.

Models to define class limits.

Clase	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
1	< (VM - 0.50C)	< (VM - 1.0C)	< antilog(logVmi + D)
2	(VM - 0.50C) a (VM - 0.25C)	(VM - 1.0C) a (VM - 0.5C)	antilog(logVmi + D) a antilog(logVmi + 2D)
3	(VM - 0.25C) a (VM + 0.25C)	(VM - 0.5C) a (VM + 0.5C)	antilog(logVmi + 2D) a antilog(logVmi + 3D)
4	(VM + 0.25C) a (VM + 0.50C)	(VM + 0.5C) a (VM + 1.0C)	antilog(logVmi + 3D) a antilog(logVmi + 4D)
5	> (VM + 0.50C)	> (VM + 1.0C)	> antilog(logVmi + 4D)

VM = valor ordinal medio de cada parámetro.
 C = desviación estándar de los valores ordinales de cada parámetro.
 Vmi = valor ordinal mínimo de cada parámetro.
 Vma = valor ordinal máximo de cada parámetro.
 D = (logVma - logVmi)/5.

donde para cada cuenca j, IC es el índice de Cuenca, y VIC y K son el valor índice y el coeficiente de ponderación, respectivamente, del criterio i.

El valor índice para un criterio i cualquiera (VIC) se obtiene expandiendo entre 0 y 10 el valor del criterio, utilizando la expresión general de la ecuación 1. El valor del criterio (VC) se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$VC(i,j) = \sum_{m=1}^1 VIP(j, m) k(m) \quad (4)$$

donde para cada cuenca j, VC es el valor del criterio i, y VIP y k son el valor índice y la ponderación del parámetro m del criterio i en cuestión.

El valor índice para un parámetro m cualquiera (VIP) se obtiene expandiendo entre 0 y 10 el valor del parámetro criterio, utilizando la expresión general de la ecuación 1. El valor del parámetro (VP) se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$VP(j, m) = V(j, m) pc(m) \quad (5)$$

donde para cada cuenca j, VP es el valor del parámetro m, V el valor ordinal del parámetro y pc la ponderación de la clase del subcomponente de ponderación.

Para el caso de los parámetros Hidroelectricidad y Precipitación, ambos con dos componentes, el valor del parámetro se obtiene de:

$$VP(j,m) = \sum_{n=1}^2 [V(j,m,n) pc(m)] p(n) \quad (6)$$

donde VP tiene el mismo significado que en ecuación 5, V y pc son el valor ordinal y la ponderación de la clase del componente, y p(n) es el coeficiente de ponderación del componente m del parámetro en cuestión.

En la ecuación 6 el producto V pc debe expandirse entre 0 y 10, utilizando la expresión general de la ecuación 1, antes de multiplicar por p(m).

La posición jerárquica de las cuencas se determina en función del valor de sus respectivos índices de cuenca. Aquella cuenca con el mayor valor de índice de cuenca ocupará el primer lugar jerárquico, y las demás se ordenarán a continuación en forma decreciente.

SELECCION DE CUENCAS PRIORITARIAS

La selección de las cuencas prioritarias debe provenir de aquellas unidades que ocupan los primeros lugares en el ordenamiento jerárquico. Queda claro que a la cuenca que ocupa el primer lugar jerárquico le corresponde la primera prioridad. Sin embargo, la asignación de prioridades para las cuencas siguientes no es tan inmediata, ya que por ejemplo, a la cuenca que se ubica en segundo lugar no necesariamente le debe corresponder una prioridad secundaria. Por esto, parece lógico agrupar las cuencas en rangos de similar prioridad, lo que puede realizarse mediante un análisis de conglomerados o cluster. Este tipo de análisis permite formar grupos de observaciones que se asocien de acuerdo a algún grado de similitud, el que se cuantifica por medio de un cociente de similitud (Mardia, Kent y Bibby, 1979; Crisci, 1983).

Utilizando los valores de los índices de cuenca, este análisis permite, mediante un procedimiento

iterativo, unir cuencas o grupos de cuencas hasta formar un número deseado de conglomerados. El procedimiento propuesto considera el cálculo del cociente de similitud en base a la distancia euclidiana de los datos estandarizados de los índices de cuenca, y como técnica de agrupamiento la de ligamento simple. Aquel conglomerado que contenga las cuencas con los mayores índices de cuenca se considera como de mayor prioridad.

PROYECCIONES

El modelo propuesto permite jerarquizar y asignar prioridades a cuencas hidrográficas exorreicas en zonas áridas y semiáridas de Chile. Además, este modelo puede ser considerado para abordar este tipo de problemas en cuencas de otras zonas y comparar todas las cuencas exorreicas del país.

Finalmente, debe validarse su aplicación para jerarquizar y asignar prioridades de sub o micro-cuencas de una cuenca prioritaria, considerando para ello ajustes en los parámetros seleccionados y ponderaciones.

En un documento siguiente se presentará una aplicación y validación del método sobre cuencas exorreicas ubicadas entre las regiones I a VII del país.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo del proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017 "Investigación y desarrollo de áreas silvestres en zonas áridas y semiáridas".

BIBLIOGRAFIA

- ALBRECHT, S.L. 1989. "An identification and evaluation of strategies for assessing social implications of alternative actions on public lands", En: L.D. JAMES (ed.) *Proceedings of a Workshop on Index Construction for Use in High Mountain Watershed Management*, Logan, Utah, 111-124.
- ALVAREZ, F. 1986. Algunos antecedentes técnicos para el manejo de cuencas. En: *Seminario Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas, Corporación Nacional Forestal (VIII Región)*, Concepción.
- CARVAJAL, B. y PATRI, J. 1979. "Principios básicos para la obtención de un índice de jerarquización turística aplicado a la Provincia Antártica Chilena", *Informaciones Geográficas Chile*, 26: 65-80.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). 1983. *Identificación y formulación de proyectos de manejo de cuencas para la I Región*. Ministerio de Agricultura, Santiago, 55 pp.
- CRISCI, J.V. 1983. *Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica*. O.E.A. Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico, 132 pp.

- DIRECCION DE MANEJO DE CUENCAS. 1977. *Identificación de microcuencas prioritarias a través de la aplicación de 34 criterios (parámetros)*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Venezuela, Caracas, 16 pp.
- ENDESA (Empresa Nacional de Electricidad). 1985. *Producción y consumo de energía en Chile*. Gerencia de Explotación, Santiago, 114 pp.
- FAO 1974. *Fortalecimiento del Programa Forestal Nacional, Chile. Pautas para la ordenación de cuencas, la corrección de torrentes y la lucha contra la erosión, basado en la labor de L.S. Bote-ro*. FO: SF/CHI 26, Informe Técnico 6, Roma, 81 pp.
- FAO 1983. *Ordenación de las cuencas hidrográficas: participación de las poblaciones de montaña, por J.J. Bochet*. Guía FAO Conservación N° 8, Roma, 219 pp.
- FULLERTON, H.H. 1979. "Resources management: some philosophic boundaries in the organization and use of data". En: L.D. JAMES (ed.) *Proceedings of a Workshop on Index Construction for Use in High Mountain Watershed Management*. Logan, Utah, 1-13.
- GOLUBEV, G. 1969. "Avalanchas y corrientes de barro en Chile", *Informaciones Geográficas Chile* (Número Único 1967): pp. 31-73.
- HEWLETT, J.D. 1982. *Principles of forest hydrology*. The University of Georgia Press, Athens, Georgia, 183 pp.
- HOLLICK, M. 1981. "The role of quantitative decision-making methods in environmental impact assessment", *Journal of Environmental Management*, 12: 65-78.
- IREN (Instituto de Investigación de Recursos Naturales). 1979. *Fragilidad de los ecosistemas naturales de Chile*. Informe N° 40, Corporación de Fomento de la Producción, Santiago, 43 pp.
- IROUME, A. 1986. *Use of indices for determining priorities in watershed management*. A dissertation presented for the Degree of Master of Science, University of Edinburgh, Edinburgh, 71 pp.
- IROUME, A. y GAYOSO, J. 1987a. *Estudio de las prioridades de manejo de las cuencas hidrográficas de la I a VII Región* (Informe de Avance N° 1). *Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017 Investigación y Desarrollo de Areas Silvestres en Zonas Aridas y Semiáridas*. Informe de Convenio N° 122, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 43 pp., anexo y cartografía.
- IROUME, A. GAYOSO, J. 1987b. *Estudio de las prioridades de manejo de las cuencas hidrográficas de la I a VII Región*. (Informe de Avance N° 2). *Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017 Investigación y Desarrollo de Areas Silvestres en Zonas Aridas y Semiáridas*. Informe de Convenio N° 127, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 104 pp.
- IROUME, A. GAYOSO, J. 1988a. *Estudio de las prioridades de manejo de las cuencas hidrográficas de la I a VII Región* (Informe Final). *Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017 Investigación y Desarrollo de Areas Silvestres en Zonas Aridas y Semiáridas*. Informe de Convenio N° 144, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 162 pp.
- IROUME, A. y GAYOSO, J. 1988b. *Metodología para determinar prioridades de manejo en cuencas hidrográficas*. Proyecto FO: DP/CHI/83/017 Investigación y Desarrollo de Areas Silvestres en Zonas

- Aridas y Semiáridas, Documento de Trabajo N° 16, CONAF, PNUD, FAO, Santiago, 81 pp.
- KENDALL, M.G. 1948. *Rank correlation methods*. C. Griffin and Company, London, 473 pp.
- KLOHN, W. 1972. *Hidrología de las zonas desérticas de Chile*. Proyecto CHI-35, PNUD, Santiago, 188 pp.
- LARSON, D. 1979. "General approaches and methodology for construction of indices for natural resources planning and management". En: L.D. JAMES (ed.) *Proceedings of a Workshop on Index Construction for Use in High Mountain Watershed Management*. Logan, Utah, 171-194.
- LINSTONE, H.A. y TUROFF, M. 1975. *The Delphi method: techniques and applications*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 619 pp.
- LOPEZ, F. y BLANCO, M. 1976. *Hidrología forestal (Primera Parte)*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid, 387 pp.
- LOPEZ, J.M. y HERNANDEZ, E.A. 1980. *Manejo integral de cuencas (aspectos hidrológicos forestales)*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de los Andes, Mérida, 27 pp.
- MARDIA, K.V., KENT, J.T. y BIBBY, J.M. 1979. *Multivariate analysis*. London, Academic Press, 521 pp.
- McGAUCHEY, S.E. 1980. "Investment criteria for agricultural and rural development projects: the measurements of their multiple economic and social consequences". In: *Economic analysis of forestry projects: readings*. FAO Forestry Paper 17, Sup. 2, Rome, 1-62.
- McKEE, M. 1979. "Index utilization in natural resources planning: a review and evaluation of techniques". In: L.D. JAMES (ed.) *Proceedings of a Workshop on Index Construction for Use in High Mountain Watershed Management*. Logan, Utah, 195-228.
- MELNICK, S. y GUTIERREZ, G. 1982. *Manual Delphi*. Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Chile, Santiago, 45 pp.
- NACIONES UNIDAS. 1977. *Directrices para la prevención y regulación de las pérdidas debidas a las Inundaciones en los países en desarrollo*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Recursos Naturales/Serie del agua N° 5, Nueva York, 215 pp.
- NEUHOLD, J.M.; PORCELLA, D.B. e INNIS, G.S. 1979. "Selection of variables for evaluation of stream ecosystems in relationship to watershed activities". In: L.D. JAMES (ed.) *Proceedings of a Workshop on Index Construction for Use in High Mountain Watershed Management*. Logan, Utah, 125-144.
- ODEPLAN (Oficina de Planificación Nacional). 1981. *Estudio de las cuencas de los ríos Mataquito y Maule*. P. Universidad Católica (Sede del Maule), SERPLAC VII Región, Talca, 197 pp.
- ONEMI (Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior). 1980. "Las inundaciones". En: *Programa Mapa Nacional de Riesgos y Prevención de Catástrofes (ocurrencia histórica de sismos, inundaciones, incendios urbanos e incendios forestales)*. Informe General (Segunda Parte), Santiago, 87-183.
- OLAYA, A. 1985. *Metodología para determinar prioridades de manejo integral de cuencas hidrográficas y su aplicación en Costa Rica*. Tesis Magister Scientiae, Universidad de Costa Rica-CATIE, Turrialba, 196 pp.
- SINDEN, J.A. y WORREL, A.C. 1979. *Unpriced values*. John Wiley and Sons, New York, 280 pp.