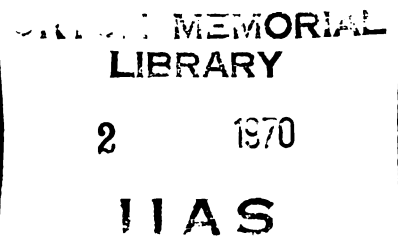


ESQUEMA PROPUESTO PARA LA INVESTIGACION SOBRE CUENCAS
HIDROGRAFICAS EN CHILE

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Manuel Contreras Salas



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Departamento de Ciencias Forestales
Turrialba, Costa Rica
Enero, 1970

ESQUEMA PROPUESTO PARA LA INVESTIGACION SOBRE CUENCAS
HIDROGRAFICAS EN CHILE

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar el grado de
Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:


Kenton R. Miller, Ph.D.

Consejero


C.V. Plath, Ph.D.

Comité


Eugenio Herrera, M.P.I.A.

Comité

Charles J. Campbell, M.S.

Comité

Enero, 1970

A mis padres
y
hermanos

A Isabel
y
Alberto

AGRADECIMIENTOS

El autor desea dejar constancia de sus sinceros agradecimientos a su Consejero Principal, Kenton R. Miller, especialista de FAO en Manejo de Areas Silvestres, por su constante ayuda y apoyo en la realización de esta tesis.

A los miembros del Comité Consejero: C.V. Plath, Eugenio Herrera y C.J. Campbell por sus valiosas sugerencias.

Se quiere dejar especial constancia del reconocimiento hacia Charles J. Campbell quien inició al autor en el campo del Manejo de Cuencas, durante su estadía en Turrialba como Consultor del Proyecto 80 PNUD/FAO/IICA. Al mismo tiempo ayudó en el diseño y preparación de la tesis, como en la revisión de literatura. También hizo los arreglos de la investigación realizada en Estados Unidos. En Arizona asesoró y ayudó al autor tanto profesional como personalmente.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos que facilitó la investigación en las Estaciones Experimentales de Rocky Mountain Forest y Range Experiment Station del Servicio Forestal.

Al Centro de Enseñanza e Investigación y a la Zona Sur del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas por haberle permitido sus estudios de post-grado y las facilidades brindadas para la realización de su tesis.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Molina, provincia de Talca, Chile. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional, Santiago. Ingresó a la Universidad de Chile en 1961, graduándose de Ingeniero Forestal en 1967.

Desde 1963 prestó sus servicios como Ayudante en la Cátedra de Matemáticas en la Escuela de Ingeniería Forestal. En 1967 ingresó como Jefe de Trabajos al Departamento de Manejo Forestal de la misma Escuela.

En enero de 1969 ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica, como estudiante del Departamento de Ciencias Forestales. Finalizó sus estudios en enero de 1970.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
CAPITULO PRIMERO: INTRODUCCION	1
A. Introducción al tema	2
B. Justificación	6
C. Objetivos	7
D. Material y Método	8
CAPITULO SEGUNDO: LA INVESTIGACION SOBRE CUENCAS HIDROGRAFICAS	9
A. Incremento en rendimiento de agua de una cuenca	12
1. Manejo de la vegetación	13
a. Bosques	14
b. Vegetación arbustiva	19
i. Tratamientos mecánicos	23
ii. Tratamientos químicos	24
iii. Tratamientos por quemas controladas	25
c. Vegetación freatofítica.....	26
2. Manejo de la nieve	28
a. Manipulación de la vegetación	29
b. Medidas estructurales	33
3. Riezos producidos por tratamientos	37
a. Peligros de inundaciones	38
b. Disminución de la calidad de las aguas	39
c. Pérdida del hábitat de la fauna	40
B. Rehabilitación de áreas erosionadas	42
1. Investigación básica	45
2. Investigación aplicada	46
C. Prevención de inundaciones	59
D. Estudios de aludes	66
E. Otras investigaciones	70

CAPITULO TERCERO: RECOMENDACIONES SOBRE INVESTIGACION A REALIZAR EN CHILE	75
A. Breve descripción geográfica del país	75
1. Topografía	77
a. Cordillera de los Andes	77
b. Cordillera de la Costa	78
c. Depresión intermedia	79
2. Hidrografía	80
a. Zona Norte Grande	81
b. Zona Norte Chico	81
c. Zona Central	82
d. Zona de la Frontera	82
e. Zona de los Lagos	83
f. Zona de los Canales	83
B. División del país en áreas de investigación	83
1. Areas A	84
2. Areas B	85
3. Areas C	86
4. Areas D	86
Mapa de áreas de investigación	87
5. Areas E	88
6. Areas F	88
7. Areas G	88
C. Recomendaciones sobre investigación	89
1. Aumento del rendimiento de agua proveniente de las cuencas	89
2. Rehabilitación de áreas erosionadas	91
3. Prevención de inundaciones	92
4. Estudios sobre aludes	93
5. Investigaciones sobre neblinas	94
D. Cuencas piloto de experimentación	95
1. Precipitación	96
2. Absorción y almacenamiento del agua en el suelo ..	99
3. Inventario hidrológico de la vegetación	100
4. Medición del escurrimiento	101

E.	Desarrollo de la investigación	107
1.	El caso sin limitaciones	107
a.	Elección de sitios e instrumentación para cuencas	108
b.	Instalación y calibración de cuencas piloto .	109
c.	Investigación y personal	110
d.	Resultados y aplicación	110
2.	El caso de Chile	111
a.	Elección de sitios e instrumentación para cuencas piloto	112
b.	Instalación y calibración de cuencas piloto .	113
c.	Investigación y personal	113
d.	Secuencia de desarrollo de la investigación .	114
CAPITULO CUARTO: ORGANISMO PARA LA INVESTIGACION SOBRE CUENCAS HIDROGRAFICAS		118
A.	Convencimiento de las instituciones	119
B.	Creación de un Organismo	121
1.	Justificación de la creación de un Organismo	122
2.	Organización	123
3.	Origen de los proyectos	126
4.	Tipos de proyectos	126
a.	Proyectos propios	126
b.	Proyectos cooperativos	127
c.	Proyectos contratados	127
5.	Líneas de comunicación	128
6.	Materiales y presupuestos	129
a.	Equipos	129
b.	Transporte	130
c.	Personal	131
d.	Presupuesto de instalación de una cuenca piloto	131
i.	Inversión	132
ii.	Costo de operación	134

7. Personal científico	135
a. Hidrólogos	136
b. Fisiólogos vegetal	137
c. Ingenieros hidráulicos	137
d. Ecólogos	137
e. Edafólogos	138
f. Economistas	138
g. Ingenieros Forestales	138
RESUMEN	140
SUMMARY	142
LITERATURA CITADA	144
APENDICE	152

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
1	Intercepción de la lluvia por rodales de diferentes edades	14
2	Evapotranspiración anual en diferentes especies con una precipitación promedio de 556 mm para tres años	15
3	Efecto de la reforestación sobre el escurrimiento de una cuenca. Chenongo county, New York	17
4	Evapotranspiración de vegetación arbustiva y pas - tos en épocas seca y lluviosa del año. San Dimas Experimental Forest, California	19
5	Relación entre la precipitación y el consumo de agua por la vegetación arbustiva. Arizona	20
6	Aumento del rendimiento de agua de una cuenca al ser tratada con herbicidas. Place County, California	22
7	Escurremientos observados en nieve tratada con dos tipos de carbón aplicados con distintas intensidades. Berthoud Pass, Colorado	36
8	Comparación de erosión y escurrimiento bajo cubierta de bosques y pastos. Vernon, Oklahoma	48
9	Comparación del hábito de crecimiento de las raíces de tres especies de tres sitios diferentes. Manitou Experimental Forest, Colorado	51
10	Efectos de tres intensidades de pastoreo sobre las características de las raíces de tres especies herbáceas. Manitou Experimental Forest, Colorado ...	54
11	Comparación entre parcelas bajo protección y sobre pastoreada con respecto a escurrimiento y erosión. Taheza, Madagascar	55
12	Efecto de cuatro intensidades de corta sobre la sedimentación de una cuenca. Fernow Experimental Forest, West Virginia	58

<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
13	Densidad y rendimiento de agua de tres estratos diferentes de una turba. Medicine Bow Mountains, Wyoming	71
14	Efecto del uso recreativo en la compactación, materia orgánica y contenido de humedad del suelo en tres sitios de acampar. Rocky Mountain National Park, Colorado	74
15	Resumen de estudios a realizar por áreas de investigación, Chile	95
16	Número mínimo de pluviómetros por superficie según tamaño de las cuencas	98
17	Descargas máximas y mínimas para varios tipos de vertederos y canales de aforo. Gasto expresado en litros por segundo	104

INDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Regresiones entre rendimientos de agua de dos cuencas, antes y después del tratamiento de una de ellas	16
2	Producción mensual de agua de una cuenca antes y después de remover la cubierta boscosa	18
3	Incremento del rendimiento de agua de una cuenca al cambiar la vegetación arbustiva por pradera	22
4	Influencia de sistemas de corta de rodales de <u>Picea</u> sp. en la acumulación de la nieve. Fraser Experimental Forest, Colorado	30
5	Cantidad de nieve acumulada y tiempo de fusión bajo cuatro tipos de cubierta arbórea. Adirondack, New York	30
6	Acumulación máxima de nieve en claros adyacentes a dos rodales de <u>Pinus ponderosa</u> Laws. Beaver Creek Watersheds, Arizona	31
7	Acumulaciones de nieve bajo rodales de <u>Pinus contorta</u> Dougl con tres tipos de tratamiento y cuatro exposiciones. Big Horn Mountains, Wyoming	32
8	Temperatura horaria promedio de arroyos de una cuenca desforestada y una control antes y después de la corta. Coast Rouge, Oregon	41
9	Cobertura con pastos perennes al comienzo y al final de pastoreo con dos tipos de uso. Sierra Ancha Experimental Forest, Arizona	56
10	Diagramas esquemáticos de dos tipos de salida de estaciones de aforo (broad-crested weir y sharp-crested weir)	102
11	Vista de frente de un vertedero con su instrumento e instalación	105
12	Organigrama de la estructura administrativa del Organismo propuesto	125

CAPITULO PRIMERO

INTRODUCCION

Ultimamente se ha venido sintiendo la preocupación de instituciones nacionales como universitarias, de salud y de obras públicas por los crecientes problemas entre otros de polución de aguas, contaminación atmosférica, sedimentación de cauces de ríos y embalses y erosión. Pero ha venido adquiriendo especial importancia todo aquello relacionado con los efectos provocados por el agua y su movimiento sobre la tierra, que debido a acciones emprendidas por el hombre con el fin de labrar los suelos, o extraer productos forestales para el consumo de la comunidad han llegado a producir serios problemas.

Para solucionar estos problemas y aprovechar en mejor forma la utilización de los recursos naturales, tierra, vegetación y agua, y lograr un mayor bienestar de la comunidad, se realizan programas que tienden a mejorar situaciones existentes como educación, salud, bienestar, caminos, productos para consumo, aprovechamiento de energía hidráulica y otros. Todos estos aspectos son tratados como un todo, dadas las estrechas relaciones existentes entre ellos y así lograr el máximo beneficio.

La mayoría de las actividades humanas dependen directa o indirectamente de la disponibilidad de cantidades suficientes de agua. Así la agricultura, la industria y la población requieren de este recurso para su subsistencia. En su afán por mejorar, el hombre se ha encontrado que necesita de ciertos conocimientos indispensables para lograr lo que se ha propuesto y es principalmente en las relaciones entre agua, suelo y plan

ta donde ha encontrado los mayores vacíos. Para solucionar este problema se ha visto la necesidad de buscar las respuestas a sus interrogantes lo que ha hecho por medio de la investigación de estos fenómenos.

Lo que se pretende en esta obra es dar una visión de cómo conocer las interrogantes planteadas, como por ejemplo qué repercusiones tendría apacentar un exceso de animales en una superficie receptora de aguas sobre las crecidas del río al cual escurren? o bien, se contará con mayor cantidad de agua disponible para el hombre al cortar un bosque y poner una pradera? Con esta información disponible de las áreas cuyos escurrimientos vierten a un río o lago, áreas que presentan los problemas antes mencionados -cuencas, se espera tomar las medidas en ellas que lleven a lograr en mejor forma el aprovechamiento de los recursos para aumentar el bienestar de la comunidad- manejo de cuencas. Ello se logrará con el tratamiento coordinado de todos los factores que influyen en la producción de bienes provenientes de estas áreas. En esta forma se podrán evitar, en gran medida, los problemas que actualmente se aprecian y que tienen su causa en desequilibrios de la relación suelo, planta y agua.

A. Introducción al tema

En los últimos años se ha venido sintiendo en América Latina los efectos de la irracional utilización de los recursos naturales, llegando en la mayoría de los casos a la extinción radical de alguno de ellos. No escapa a este problema, la utilización de los recursos provenientes de las cuencas hidrográficas, llegando a provocar un desequilibrio ecológico con sus graves consecuencias. No es raro ver hoy día cauces de ríos a niveles más elevados que los que tenían años antes a causa de la sedi-

mentación ocurrida por la erosión en los cursos superiores. Este fenómeno impide el aprovechamiento de las corrientes como medio de transporte, como también la utilización directa de las aguas en procesos industriales y los sistemas de purificación para consumo de la población se complican. Estos y otros problemas traen consigo consecuencias económicas de consideración para una nación, como es la disminución de la vida útil de las represas, elevados costos de tratamientos de aguas, recargo en los medios de transporte y la pérdida irrecuperable de grandes cantidades de tierras fértiles.

No sólo existen problemas producidos por la erosión, sino que últimamente se ha dejado sentir la necesidad de mayores cantidades de agua para el consumo de la población. Esto sucede principalmente en los grandes centros urbanos, que con su crecimiento demográfico e industrial, las fuentes de abastecimiento se hacen insuficientes, lo que nos lleva a pensar en la forma de lograr una mayor cantidad de ella a través de un manejo adecuado de las cuencas receptoras.

Los problemas que se presentan en los cursos de aguas, erosión o exceso de evapotranspiración, debe ser solucionado principalmente en las cuencas receptoras por medio del control de escurrimiento superficial.

Las medidas que deben tomarse en las cuencas deben obedecer a un plan de manejo que contemple, ya sea producción maderera, forrajera o de agua, protección, vida silvestre o recreación. Este plan debe contemplar los efectos secundarios que se producirán al llevarlo a cabo, así si el objetivo es la obtención de agua, no debe descuidarse el posible incremento

de la erosión al tratar la vegetación.

Un plan de manejo de una cuenca hidrográfica debe tender a lograr los objetivos que de ella se tengan. Así esta acción puede incluir plan taciones para aminorar la erosión, disminuir el escurrimiento superficial, influir sobre el tiempo de flujo del agua o mejorar su calidad. Por otra parte se puede remover, cortar o defoliar la vegetación para incrementar el rendimiento de agua de la cuenca o aplicar medios artifi ciales y mecánicos, para reducir las máximas crecidas y mejorar la cali dad de las aguas.

Para realizar un diagnóstico adecuado de la situación y poder em prender un plan de acción, se requiere de gran cantidad de información que es producto del trabajo coordinado de varias disciplinas. Es necesario conocer la geomorfología de la cuenca, su geología, aspectos de suelos y vegetación y la climatología e hidrología del área. Algunos de estos factores son independientes de la acción del hombre, pero otros pueden ser influidos y es sobre ellos donde debe actuar para lograr modificaciones del medio que le permitan alcanzar sus objetivos. Los fac tores que el hombre puede modificar son el tipo y densidad de la vegeta ción, clase y volumen de materia orgánica que cubre el suelo, estructura y propiedades hidrológicas del suelo y las características hidráulicas de los cauces de las corrientes.

La vegetación es el medio moderador de la acción del clima sobre el suelo y por medio de la modificación de su estructura se puede alcanzar una mayor infiltración y mayor capacidad de almacenamiento de agua; evi tar una alta evaporación desde la superficie; provocar pérdidas de agua

desde horizontes inferiores debido a la transpiración de las plantas; interceptar la lluvia y a través de la cubierta orgánica evitar el desprendimiento de partículas por la fuerza del impacto de las gotas. Es necesario cuantificar estos efectos para hacer las modificaciones que permitan lograr los objetivos del manejo. Ello requiere de investigación, muchas veces de larga duración, como es el caso de calibraciones de cuencas o la espera de los efectos de una reforestación.

La investigación a realizar puede llevarse a cabo por áreas de características semejantes, eligiendo cuencas representativas y así poder obtener de ellas la solución a problemas que afecten al área. Es conveniente indicar lo que se entenderá por cuencas de investigación, cuál es su extensión y qué papel juega dentro del desarrollo de regiones de un país.

Una cuenca de investigación normalmente se refiere a superficies dentro de las cuales se pueden distinguir subcuencas de pequeño tamaño, de 10 a 100 ha más o menos, con el fin de realizar en ellas tratamientos que no impliquen un costo muy elevado. Se ha dado una cifra como indicación pero se quiere hacer notar que este tamaño es muy variable dependiendo de factores como disponibilidades de dinero y tipos de estudios que se quieran realizar. Con esta definición de cuenca se quiere dejar en claro que no corresponde a extensas áreas cuyas aguas son tributarias de ríos que a su vez son afluentes de uno principal, como sería el caso de la cuenca del río Maule.

Como cualquier tipo de investigación, la que se realiza en cuencas tiene que obtener resultados positivos en la solución de un determinado

problema antes de que se puedan aplicar ciertos tratamientos en forma extensiva en una región. Por consiguiente, la investigación en este caso se hace en pequeños sectores de tal forma que un resultado desfavorable a los objetivos que se tengan no impacte negativamente la economía de una región completa. Tal sería el caso de los efectos de la reforestación de una región semiárida en donde la disponibilidad de agua limita el desarrollo agrícola. Para contestar a esta pregunta es necesario conocer previamente qué papel juega una plantación forestal en el ciclo hidrológico del lugar.

B. Justificación

Chile no escapa a la generalidad latinoamericana en cuanto a las ya impostergables decisiones que se deben tomar con respecto al manejo de sus cuencas hidrográficas. Los efectos de la falta de manejo racional de ellos se vienen dejando sentir cada vez con mayor agudeza, a causa de la sequía que afectó al país en los últimos tres años o por las inundaciones que en el invierno de 1969 ocurrieron en la zona central y sur. Esto acompañado con efectos de erosión, embancamientos de ríos y represas, están afectando en forma negativa la economía de la nación. Por tal motivo es necesario comenzar a la brevedad posible los estudios de los recursos a tratar, para lo cual es indispensable contar con una política de investigación en este campo. Así mismo se debe contar con una organización encargada de llevarla a cabo, con un personal especializado y con el conocimiento del estado de la investigación en los países que están a la vanguardia en este campo. Esto último facilitará la investigación en Chile

y permitirá elaborar planes de acción para las necesidades de cada área del país.

La falta de información disponible en el campo de la investigación en cuencas hidrográficas, especialmente en los países latinoamericanos, es un factor que contribuye al desconocimiento existente respecto a lo que se realiza en este campo. Por tal motivo se hace necesaria la reco pilación de lo mucho que hay disperso y así dándolo a conocer se ayuda ría en gran manera a que se tomara conciencia de la in vestigación en cuencas y de lo que significa un buen manejo de las mis mas.

C. Objetivos

Este estudio tiene por finalidad, a través de una revisión del estado de la investigación en los países de larga trayectoria en esta materia, indicar la forma en que se realizan estos trabajos en diferentes áreas y con diferentes fines. Basado en estos antecedentes se analiza rán los diversos aspectos a estudiar en Chile, las prioridades dentro de ellos y la aplicación que tendrán los resultados. Conocido lo que debe rá hacerse, será necesario un organismo destinado a ejecutarlo, para lo cual se determinará una estructura, el personal necesario en cuanto a ca lidad y la forma en que deberá operar.

Se tratará de contribuir modestamente a la divulgación de parte de la obra realizada en investigación sobre cuencas por medio de la recopi lación de algún material. Con ello se ayudará a los interesados en este campo a conocer los objetivos que actualmente persigue la investiga -

ción y algunos resultados obtenidos. Al mismo tiempo se dará a conocer las fuentes a que puede recurrir en el caso de profundizar en la materia.

D. Material y Método

Esta tesis no pretende hacer una investigación común a las ciencias biológicas, sino más bien se sigue el modelo de las ciencias sociales en el cual, de las observaciones realizadas se deducen una serie de principios de los cuales se hace una inferencia a un caso específico, que es el caso de Chile.

La forma en que se desarrolló este trabajo fue a través de observación personal y estudio de las investigaciones que se realizan y han realizado en el suroeste de Estados Unidos, como así mismo por revisión bibliográfica de otras áreas de características diferentes. Esta revisión se hizo principalmente en base a material recolectado por el autor. Con este motivo se realizó una visita de estudios a Estados Unidos que duró dos meses. Tuvo programada su estadía en estaciones experimentales de los estados de Arizona, Nuevo México, Colorado y Wyoming, las que pertenecen al Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station del Servicio Forestal de los Estados Unidos (ver apéndice No. 1). Con el material recolectado se hizo una revisión detallada de cada una de las líneas de investigación en cuencas, que en ese país se realizan, con el fin de dar a conocer este aspecto y aplicarlo al caso de Chile.

Con los antecedentes obtenidos se determinaron áreas de investigación en base a aspectos climáticos y los estudios que en ella se deben hacer. Luego se planteó la forma de desarrollo de la investigación en -

cuencas, aspectos de una cuenca piloto e instrumentación. Finalmente se estructuró un organismo que tenga la responsabilidad de la ejecución de este trabajo, basado en instituciones existentes en Chile.

CAPITULO SEGUNDO

LA INVESTIGACION SOBRE CUENCAS HIDROGRAFICAS

Los problemas que representa la mala utilización de los recursos provenientes de las cuencas hidrográficas pueden ser solucionados por medio del manejo de ellos, de tal forma que se logre con la mayor eficacia posible los productos que la comunidad necesita. Entre ellos se encuentran agua, madera, pastos, vida silvestre y recreación. Todos afrontan una demanda que aumenta cada día, como consecuencia del crecimiento de la población. Desafortunadamente el manejo de una cuenca se complica al tratar de obtener dos o más productos simultáneamente, por ser muchas veces productos competitivos. El caso de producción de agua y madera a la vez es un buen ejemplo de este tipo de productos.

El manejo de las cuencas hidrográficas requiere del conocimiento de factores que influyen en el ciclo hidrológico. La base de este ciclo es la precipitación en cualquiera de sus formas: lluvia, nieve, rocío, granizo o neblina. Los de mayor importancia por la cantidad de agua que proporcionan a la superficie terrestre son la nieve y la lluvia. Antes que la precipitación alcance los suelos comienzan a actuar factores como vegetación y luego las características físicas de los suelos, cuyas interrelaciones determinan la cantidad de agua aprovechable para el hombre. Para un mejor entendimiento del proceso y poder influir en él, es conveniente llegar a conocerlo en detalle.

Aunque los objetivos del manejo de cuencas son considerar los problemas del uso de la tierra y del agua sobre una base de estrecha interrelación de los factores que componen estos recursos, la investigación se ha

visto en la necesidad de tratarlos separadamente para su mejor comprensión. Así se puede mencionar la existencia de estudios tendientes a obtener un mayor rendimiento de agua proveniente de una cuenca, los que afectan el escurrimiento superficial que puede provocar erosión e inundaciones. Luego esta necesidad de separación en campos de investigaciones netamente metodológica.

En líneas generales se puede decir que la investigación sobre cuencas hidrográficas se hace para lograr uno de los siguientes objetivos: mayor rendimiento de agua proveniente de una cuenca para el uso de la población y la industria; rehabilitación de áreas degradadas a causa de la erosión o agotamiento debido a la aplicación de malas técnicas de cultivos; prevención de inundaciones; y prevención de aludes. En cada uno de estos objetivos se investiga para conocer aspectos hidrológicos como infiltración de agua en el suelo cubierto de bosque, matorral, pastos o cultivos intensivos; se determina la intercepción de la precipitación por diferentes tipos de cobertura vegetal y la cantidad de agua perdida por esta razón; características de la precipitación; evaporación desde la nieve caída; retención del agua en el suelo; pérdidas por evapotranspiración en diferentes tipos vegetales; y estudios relacionados con sedimentación, escurrimiento y erosión. En terrenos cultivados se determina el efecto de técnicas que permitan una buena conservación del suelo.

Todas las investigaciones nombradas y un gran número de otras que se pueden realizar, necesitan de conocimientos básicos para su comprensión. Es pues muchas veces indispensable, para solucionar un problema específico del manejo de cuencas, realizar estudios básicos como aspectos fisiológicos de las plantas o aspectos de hidrología de los suelos.

La intención de este capítulo es dar una visión de lo que es la investigación sobre cuencas hidrográficas y los principales factores que influyen en el manejo de ellas. Aquí se tratarán las investigaciones que se realizan para lograr los objetivos antes nombrados: mayor rendimiento de agua, rehabilitación de áreas erosionadas, prevención de inundaciones y prevención de aludes. Todos estos estudios se llevan a cabo en una cuenca experimental o cuenca piloto.

Una cuenca piloto es definida como el eslabón necesario entre la investigación y la aplicación extensiva de prácticas de manejo en las cuencas (10). En ella se pueden evaluar los tratamientos para determinar sus efectos sobre las variables que se quieran considerar. Así se puede constatar la factibilidad de aplicación y prever los resultados que se obtendrán.

A. Incremento en rendimiento de agua de una cuenca

La mayoría de los tipos de vegetación que cubren una cuenca usan grandes cantidades de agua para sus procesos fisiológicos. Las investigaciones que actualmente se realizan para lograr una mayor producción de este recurso tienden a disminuir la cubierta vegetal, cambiar su composición o su estructura. Esto tiene como fin recuperar parte del agua utilizada por las plantas.

Previo a cualquier tipo de tratamiento se hace una evaluación hidrológica de la cuenca que contemple aspectos como precipitación, absorción y almacenamiento de agua y medición de la producción de agua. La precipitación es la fuente de agua de una cuenca y se necesita conocer el tipo predominante, su distribución, cantidad y variabilidad. Existen va -

rias formas de lograr esta información y en lugares de poca accesibilidad se pueden hacer extrapolaciones de estaciones de medición adyacentes al área de estudio.

La absorción y almacenamiento de agua por el suelo es un punto más complejo a desarrollar, ya que depende del tipo de precipitación, tipo de suelo, su material de origen, la topografía existente y características de la vegetación. Por otra parte la medición de la producción de agua de una cuenca, efectuada en forma continua en los torrentes, permite evaluar los efectos de la modificación de los factores que influyen esta producción (17).

Los tratamientos para lograr un incremento en el rendimiento de agua en una cuenca han tenido especial atención en encontrar los medios para la manipulación tanto de la vegetación como de la nieve caída. Para dar una mayor ordenación a este estudio se presentará esta división.

1. Manejo de la vegetación

En Estados Unidos, país que está a la vanguardia en este tipo de investigación, el manejo de la vegetación se hace en base al tipo existente, determinado por las condiciones climáticas y sus características fisiológicas. Así se divide la investigación en áreas de bosque, vegetación arbustiva y vegetación freotofítica (crece a orillas de los cursos de agua).

a. Bosques

Las características de un bosque son de elevarse de 15 a 30 metros de altura en promedio, con una capacidad de intercepción de la precipitación y extracción de la humedad del suelo superior a otros tipos de vegetación debido a su estructura anatómica.

La intercepción de la precipitación varía según sea la intensidad y densidad de la vegetación. El cuadro 1 da una idea clara de este efecto, al tomarse ejemplos de diferentes edades que determinan densidades también diferentes (51).

CUADRO 1: INTERCEPCION DE LA LLUVIA POR RODALES DE DIFERENTES EDADES, AUSTRIA (1902)

Especies	Edad	Lluvia que penetra a través de las copas expresadas en porcentajes a diferentes intensidades (mm) *				
		5	5-10	10-15	15-20	20
Fagus silvatica	28	29,2	43,1	54,9	67,0	71,2
Picea sp.	61	62,0	76,3	80,8	86,7	89,6
Fagus silvatica	84	63,7	71,7	80,0	81,3	---

Fuente: Molchanov, A.A. The hydrological role of Forests. Translated from Russian by Israel Program for Scientific Translations. Washington D.C. U.S. Department of Agriculture and National Science Foundation. 1963. p. 17.

Como se aprecia en el cuadro 1 hay variación en la intercepción de la precipitación, de acuerdo a las edades de las especies, aspecto im -

* El cuadro no expresa la unidad de tiempo en la intensidad de lluvia.

portante a considerar en las intervenciones a realizar, por las repercusiones en el escurrimiento superficial posterior.

Con respecto a la cantidad de agua transpirada por los árboles, existen diferentes apreciaciones de los autores, al no estar de acuerdo en los métodos utilizados para su medición. Como antecedente está el cuadro 2 extraído del mismo autor Molchanov (51).

CUADRO 2: EVAPOTRANSPIRACION ANUAL EN DIFERENTES ESPECIES CON UNA PRECIPITACION PROMEDIO DE 556 mm PARA TRES AÑOS. MOSCU
(1946 - 1949)

Tipo de bosque	Evaporación total al año en mm de precipitación		
	Transpiración	Ev. desde suelo	Total
Pinus sp.	173	79	252
Picea sp.	225	86	311
Betula sp.	300	55	355
Quercus sp.	452	89	541
Quercus sp. con Acer sp.	414	83	497

Fuente: Molchanov, A.A. The hydrological role of forests. Washington D.C. U.S. Department of Agriculture and Nacional Science Foundation. 1963. 280 p.

La extracción del agua del suelo y la intercepción ocasionada por los bosques se puede disminuir por medio del taleo de ellos o la tala total. Se han hecho varias investigaciones al respecto. Entre ellas se puede indicar la realizada en las cuencas de Workman Creek, Arizo-

na (64), donde se encontraban las siguientes características: una cubierta boscosa de coníferas; elevación sobre el nivel del mar fluctúa entre 1.980 m y 2.220 m; la profundidad del suelo varía desde unos pocos centímetros a cerca de 4 metros; la precipitación promedio anual es aproximadamente de 800 mm, de los cuales el 69 por ciento cae en la época lluviosa; el escurrimiento de los años de pretratamiento (1939-1953) fluctuó entre 81 mm y 86 mm. En una de las cuencas se cortó 0,6 por ciento el área basal en forma de raleo y una tercera se removió un tercio de la vegetación en las partes húmedas. En los cinco y diez años siguientes de tratamiento no se encontró una diferencia estadísticamente significativa, salvo en el tercer caso en que se logró un gran aumento en el incremento de agua. La figura 1 proporciona los datos y los resultados.

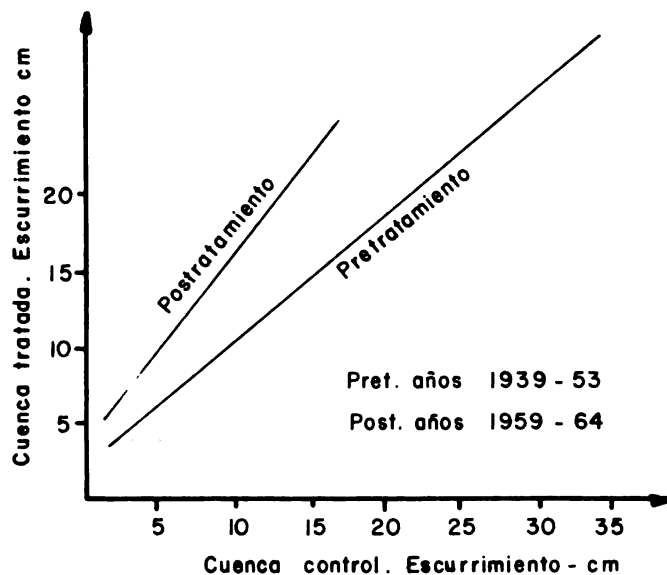


Figura 1: Regresiones entre rendimientos de agua de dos cuencas, antes y después del tratamiento de una de ellas. Rich, L.R. Preliminary water yields after timber harvest on cattle creek, Arizona watersheds. Arizona Watershed Symposium Proc. v. 12 no. 11. 1968.

Otra forma de constatar los efectos de la cubierta boscosa en el rendimiento de agua en una cuenca es por medio de la reforestación de áreas denudadas y previamente calibradas. Así, en el estado de Nueva York se ha recolectado información hidrológica desde 1932 con el fin de constatar estos efectos (67). En 1933 se plantó el 47 por ciento del área de la cuenca con coníferas. Se hicieron mediciones diarias de escurrentía entre los años 1934 y 1957, las que se correlacionaron con la precipitación.

CUADRO 3: EFECTO DE LA REFORESTACION SOBRE EL ESCURRIMIENTO DE UNA CUENCA. CHENANGO COUNTY, NEW YORK.
(1934 - 1956)

Año	Precip. (plgs)	Escurr. (plgs)	Año	Precip. (plgs.)	Escurr. (plgs)	Año	Precip. (plgs)	Esc. (plgs)
1934	34,07	19,00	1942	32,51	12,91	1950	36,3	21,97
36	48,84	33,69	44	39,28	20,42	52	44,01	23,42
38	35,24	17,59	46	39,85	25,99	54	35,41	16,54
40	32,13	18,24	48	39,41	22,96	56	44,75	23,14

Fuente: U.S. Department of the Interior. Geological Survey water-Supply Paper No. 1602. 1961.

El cuadro 3 indica que hay una reducción de 4,18 pulgadas en el escurrimiento. Este valor obtenido se basa en el promedio de las observaciones.

En el Laboratorio Hidrológico de Coweeta (77), se cortaron todos los árboles de un área de drenaje. Luego todos los años se cortaron los renovables con el fin de determinar el grado de utilización de agua por el bos

que. La figura 2 muestra los efectos.

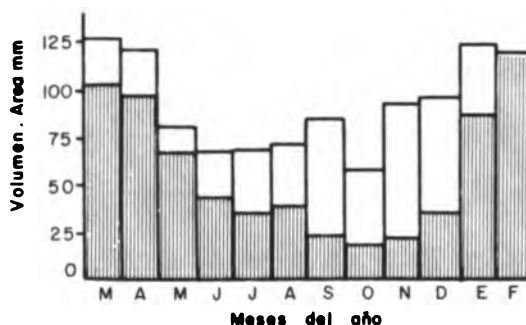


Figura 2: Producción mensual de agua de una cuenca antes y después de remover la cubierta boscosa. Coweeta Hydrology Laboratory. U.S. Forest Service. Southeastern Forest Experiment Station. 1957. p. 4.

Este tipo de práctica no es recomendable de hacer extensivamente, ya que debe considerarse una suficiente protección del suelo para evitar problemas como erosión y aumento violento de las corrientes de agua por altas intensidades de lluvia.

La forma de remoción de la vegetación usada con más frecuencia es la corta de árboles con los procedimientos usuales, ya que va acompañado de la utilización comercial del producto extraído. Existen árboles que por su tamaño pequeño o mala calidad se dejan sobre el terreno siendo éste un costo sin retribución. En caso de especies no comerciables se utilizan productos químicos que permitirán cambiar totalmente la cubierta vegetal, ya sea por pastos u otras especies que consuman menor cantidad de agua. También se utilizan productos químicos para eliminar árboles individualmente.

Como conclusión de esta sección se puede decir que el método que se utilice debe estar de acuerdo a los resultados que se quieran obtener de él, sin olvidar los costos y productos que se puedan sacar. Será necesario determinar económicamente el método o combinación de ellos que al aplicarlos produzcan el mayor beneficio por producto obtenido.

b. Vegetación arbustiva

Se describirá como tipo de vegetación arbustiva aquella que presente especies leñosas que por su tamaño y forma no tienen características comerciales, salvo aquéllas que se utilizan para extracción de productos químicos de sus hojas o cortezas. Se presentan en climas más bien secos con una precipitación anual que fluctúa entre 300 y 600 mm. La distribución de la precipitación se caracteriza por una época del año seca que puede llegar a 6 meses de duración. Esta vegetación es generalmente resistente al fuego y aún su reproducción puede ser favorecida por la escarificación de la semilla a causa del calor (56).

El consumo de agua de este tipo de vegetación varía con el grado de disponibilidad que tenga. Tratamientos a sectores húmedos de una cuenca, tienen mayor posibilidad de obtener un incremento en el rendimiento de agua. Experiencias realizadas en San Dimas Experimental Forest (66) convirtiendo vegetación arbustiva a pasto demostraron disminuciones en evapotranspiración, según sea la época del año y la disponibilidad de humedad para las plantas a causa de las lluvias como se presenta en el cuadro 4.

CUADRO 4: EVAPOTRANSPIRACION DE VEGETACION ARBUSTIVA Y PASTOS EN EPOCAS SECA Y LLUVIOSA DEL AÑO. SAN DIMAS EXPERIMENTAL FOREST, CALIFORNIA.

1952 - 1956

Epoca lluviosa del año	No. días	Evt. en veg. arb. plg. profun.	Evt. en pasto plg. profun.
52-53	141	5,7	9,6
53-54	173	8,6	9,6
54-55	182	10,2	12,1
55-56	183	8,0	9,1

Epoca seca del año	No. días	Evt. en veg. arb. plg. profun.	Evt. en pasto plg. profun.
52	186	16,3	8,4
53	210	13,3	6,5
54	213	14,8	5,9
55	183	10,4	7,5
56	204	10,2	7,9

Fuente: Journal of Forestry. 59(3):177. 1961.

La diferencia vista entre la estación seca y la húmeda se debe principalmente a la falta de disponibilidad de agua para los pastos y a la extracción de aguas más profundas por parte de la vegetación arbustiva.

Rich (1951), en estudios realizados en cuencas de Arizona, encontró que los requerimientos de agua de las plantas difieren de la disponibilidad que de ella tengan (80) y que como en el caso presentado en el cuadro 5, el consumo anual puede ser mayor que la precipitación existente.

CUADRO 5: RELACION ENTRE LA PRECIPITACION Y EL CONSUMO DE AGUA POR LA VEGETACION ARBUSTIVA.

ARIZONA
(1951)

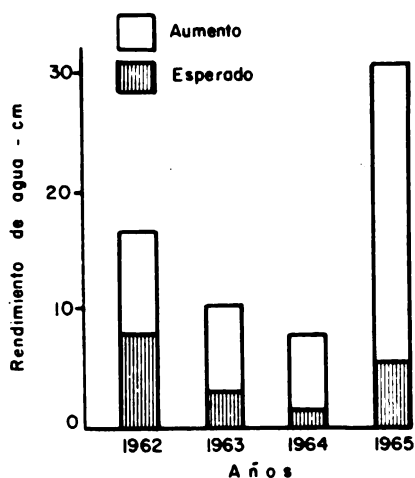
Período	Precip. en plg.	Uso de agua en plg.
Octubre	0,59	5,46
Nov.-Mayo	17,55	4,85
Abril-Mayo	1,00	10,28
Junio	0,11	8,54
Julio-Sept.	7,55	24,76
TOTAL	26,80	53,89

Fuente: Warnock, B.H. and Gardner, J.L. Water yield in relation to environment in the southwestern United States. Committee on Desert and Arid Zones Research. 1960. p. 30.

La explicación a estos resultados es la existencia de aguas subterráneas provenientes de otras cuencas, lo que le permite a la vegetación disponer de la suficiente cantidad de agua para su consumo en las épocas secas del año.

Para constatar el incremento de la producción de agua de una cuenca, es necesario medir las respuestas de éstas a los diferentes tratamientos aplicados. Tal como en el caso de la vegetación arbórea, se citarán algunos ejemplos en que se dan resultados cuantificados de tratamientos destinados a una mayor producción de agua.

El estado de Arizona es el lugar en que más investigaciones en este campo se ha realizado, especialmente por sus condiciones de aridez. En Three Bar Watersheds (57) se establecieron, en 1956, cuencas experimentales para la medición de los efectos en la producción de agua por la conversión de vegetación arbustiva a pastos. La zona se encuentra entre -- 1000 y 1600 m.s.n.m. y tiene una precipitación promedio anual de 620 mm. con variaciones entre 400 y 900 mm. La precipitación invernal alcanza a un 72 por ciento del total anual. Se aplicaron cuatro tratamientos anuales de herbicida para eliminar la capa vegetal arbustiva. El incremento de agua se hizo evidente 19 meses después lográndose de 8 a 25 cm más de agua. (Véase la figura 3).



Incremento de 39 Has.
 Período de flujo para cada año
 contando a partir de 12 de julio
 a 30 de junio

Figura 3: Incremento del rendimiento de agua de una cuenca al cambiar la vegetación arbustiva por pradera. Three Bar Watersheds, Arizona Water for Peace Proc. v. 2 no. 759. 1967.

Otra experiencia realizada en Sierra Nevada en California Central (42), que se presenta en el cuadro 6, en que previo al tratamiento se calibraron cuencas de características geológicas e hidrológicas semejantes - durante 6 años. Se eliminó químicamente la vegetación arbustiva lográndose un incremento promedio anual de 12,5 cm en el rendimiento de la cuenca.

CUADRO 6: AUMENTO DEL RENDIMIENTO DE AGUA DE UNA CUENCA AL SER TRATADA CON HERBICIDA.
 PLACER COUNTY, CALIFORNIA
 1963 - 1966

Año	Control (cm)	Sin trata. (cm)	Actual (cm)	Aumento (cm)
63-64	6,25	7,50	17,47	9,97
64-65	15,62	15,37	41,32	25,95
65-66	4,45	5,35	12,95	7,60

Fuente: Water Resources Research. 4(1):66. 1968.

Los aumentos en el rendimiento de agua son atribuidos a la reducción del consumo debido al cambio de la cubierta vegetal, trayendo consigo un aumento del flujo subterráneo. En algunos casos este incremento se ha debido al aumento del flujo superficial con o sin erosión (60).

Para aplicar tratamientos destinados a eliminar la vegetación arbustiva existen varios métodos. Se pueden dividir en mecánicos, químicos y quemas. Los métodos mecánicos y químicos son más utilizados, ya que las quemas necesitan de un control extremo para evitar daños, pudiendo producir ciertos cambios en la estructura del suelo, como también ayudar a la reproducción de especies no deseables. Sólo se utiliza para eliminar los despojos producidos por la aplicación de los métodos químicos y mecánicos.

i. Tratamientos mecánicos

El sistema de "cabling" o "chaining" (3), ha sido muy utilizado para eliminar la vegetación por el Servicio Forestal de los Estados Unidos. Consiste en arrastrar un cable de dos pulgadas de diámetro o una cadena de ancla de barco entre dos tractores oruga de por lo menos 150 HP. Los tractores separados aproximadamente a unos treinta metros al avanzar arrancan de raíz la vegetación. Este sistema es efectivo con vegetación densa, alcanzando entre un 50 y 80 por ciento de eficacia en vegetación medianamente densa. Tiene restricciones de utilización debido a la topografía del terreno y a la presencia de rocas de tamaño considerable. Luego del tratamiento es conveniente quemar los restos de la vegetación después de haber sido apilados.

Otro tipo de implemento mecánico es el "bulldozer", que se utiliza con diferentes aditamentos para sacar arbustos individualmente. Entre los

implementos se puede mencionar una barra que empuja al árbol hasta derri-
barlo y una hoja inferior que corta sus raíces. Hay otro tipo basado en
el mismo principio y desarrollado por el Servicio Forestal de Estados U-
nidos que posee una hoja y barra de mayor longitud y con inclinación hi-
dráulica.

El empleo de un "arado desraizador" (root plow) (38), dio muy bue-
nos resultados en la limpia de Prosopis sp., en Arizona, donde el área
estaba cubierta de una densa masa de esta especie de aproximadamente 5 m
de altura y tallos no superiores a 15 cm de diámetro. Este arado debe a-
coplarse a un tractor del tipo Caterpillar D7, que provisto de un "bull-
dozer" en su parte delantera, derriba previamente los arbustos.

ii. Tratamientos químicos

El uso de herbicidas aún está en estado experimental y puede ser el
más barato de los tratamientos. Existen diferentes tipos de compuestos
que han sido probados y cuyos resultados están de acuerdo a las especies
tratadas, concentraciones usadas y épocas de aplicación (5). Se han a-
plicado herbicidas en forma de pulverización al follaje por medio de he-
licópteros o desde tierra (55). También se hacen tratamientos a cada ár-
bol por medio de inyecciones en el tronco (40) o aplicaciones al suelo.
Algunos productos son letales para las plantas solo por aplicaciones en
las raíces y otros en las hojas (43). Se requiere investigar para cada
especie una serie de productos químicos para poder determinar el efecto
que producen y su forma de aplicación.

Los compuestos del fenol han sido los más estudiados. Se ha encon-
trado que los de mayor actividad han sido las sustituciones por 2, 4, 5

triclora (2, 4, 5-T) en el anillo principal del fenol. Las sustituciones en ácido benzoico son compuestos muy activos al ser aplicados en raíces u hojas. Como ejemplo de estos compuestos está el 2, 3, 6 ácido tricloro benzoico (2, 3, 6-TBA).

Existen una serie de otros compuestos como las sustituciones en fenilureas que son activos solo en aplicaciones a las raíces. Un nuevo grupo de herbicidas son las triazinas de los cuales algunos compuestos son activos en raíces y otros en aplicación foliar.

iii. Tratamientos por quemas controladas

El tratamiento por medio de quemas controladas es un método de eliminación de la cobertura vegetal, que requiere condiciones muy especiales de densidad, temperatura ambiental alta y vientos considerables. Todos estos factores hacen el uso del fuego muy peligroso. Es utilizado mayormente en la eliminación de despojos o deshechos producidos por el empleo de otros métodos de control.

Las quemas controladas son una práctica que merece especial cuidado, ya que sus efectos secundarios pueden traer consecuencias no deseables para el fin con que se está tratando una cuenca. Es necesario considerar la reducción causada por el fuego, de la capa orgánica que cubre la superficie, lo que trae consigo el movimiento del suelo con las lluvias intensas debido a la pérdida de la capa protectora (44). Experiencias realizadas en Three Bar Watersheds, Arizona (58), dieron un notable incremento del arrastre de sedimentos en el primer año después de la quema, disminuyendo gradualmente en los cuatro años siguientes hasta alcanzar el nivel que tenía antes del tratamiento.

c. Vegetación freatofítica

Se entiende por plantas freatofíticas aquéllas que crecen en planos de inundación o a lo largo de cursos de agua y cuyas raíces tienen acceso permanente a una fuente de agua. Como sujetos de este estudio se consideran especies desde arbustivas leñosas bajas hasta árboles (63).

Este tipo de vegetación utiliza cantidades de agua considerablemente mayores que una cubierta de pasto, en las mismas condiciones de napa freática. Se ha estimado que las pérdidas de agua producidas por la vegetación freatofítica en diecisiete estados del oeste de Estados Unidos alcanzaría a 31 billones de m^3 anualmente. Desde las riberas del Coldwater Canyon, en California, el promedio de consumo de agua por ha desde el 15 de Julio al 31 de Octubre de 1932 fue 12,48 m^3 por día (37).

El tratamiento a seguir para evitar estas pérdidas de agua sería cambiar la vegetación arbustiva o arbórea freatofítica por alguna clase de pasto que impida en cierto grado el crecimiento de la especie eliminada. También hay que considerar la evapotranspiración de una especie herbácea que tiene continuo acceso al agua. Vale referirse de nuevo a la experiencia realizada en San Dimas Experimental Forest (66). En ella se encontró que en la época lluviosa del año, el pasto tenía un mayor consumo de agua, por disponer constantemente de ella. Por consiguiente, es necesario considerar solo especies herbáceas cuyas raíces no penetren en profundidad.

Existen formas de realizar la comparación de consumo de agua entre freatofíticas herbáceas y arbóreas. Entre éstas están la utilización de lisímetros, pozos para constatar fluctuaciones de la napa freática o téc

nicas que permitan evaluar la evaporación sin perturbar el estado natural de la muestra (15, 16).

En 1927, Walter White (21), midió las fluctuaciones de la napa en pozos excavados en Escalante Desert, Utah. En ellas vio que las napas fluctuaban según la ubicación de las concentraciones de freatofitas. Llegó a constatar que el nivel del agua comenzaba a bajar entre las 9 y 11 horas para llegar a su punto más bajo entre las 18 y 19 horas. Después de la puesta del sol la napa comenzaba a subir su nivel. Una vez que las plantas cesaron su crecimiento a causa de las primeras heladas, la fluctuación de la napa cesó. Experiencias semejantes hechas con posterioridad llegan a las mismas conclusiones y aún midiendo las pérdidas de agua (26, 27).

Hay opiniones en contra de la remoción de esta vegetación por diferentes razones. Unos dicen que las freatofitas detienen el arrastre de sedimentos que pueden ir a llenar represas o tanques. Esto es cierto, ya que la velocidad de las aguas disminuye al encontrar los tallos y con ello aumenta la sedimentación. Otro factor en contra que se puede hacer notar es el aumento que experimenta la temperatura del agua al dejarla desprovista de la sombra de la vegetación ribereña. Este aumento trae consigo un desequilibrio para el medio de la fauna acuática, lo que provoca serios trastornos.

Una vez más es necesario repetir que cualquiera que sea el objetivo del tratamiento, es necesario considerar los resultados positivos y negativos para determinar si son convenientes o no las medidas a tomar.

Los tratamientos aplicados a la vegetación freatofítica son semejantes al caso de vegetación arbustiva, es decir, medios mecánicos y quími -

cos. Hay que agregar una nueva forma de tratar que es típica de esta vegetación y es por medio de la disminución del nivel de la napa freática (37). Esto se consigue previniendo inundaciones de las riberas de los ríos por medio de canalizaciones y diques. En esta forma se cambia el medio natural de vida de las plantas, impidiéndoles su subsistencia.

2. Manejo de la nieve

Existen regiones en el mundo en que el abastecimiento de agua para el consumo de la población proviene esencialmente de la fusión de las nieves caídas durante el invierno. La demanda de agua llega a su máximo en meses de sequía debido al alto consumo de la agricultura y la industria. Se hacen necesarias costosas obras para almacenar agua para esta época, las que requieren de grandes cantidades de reserva. A través del manejo de la nieve, aplicando ciertas técnicas, se podrá incrementar el volumen de agua proveniente de la cuenca y aún en ciertos casos lograr un flujo en la época seca.

La investigación que se ha realizado hasta hoy ha tenido especial interés en conocer cual es la contribución de la nieve a la producción anual de agua de una cuenca y las formas en que ésta se puede aumentar. Se han ensayado técnicas de manejo de la vegetación para hacer variar el medio que circunda a la nieve. En esta forma se influye en la radiación solar sobre la nieve, los vientos que contribuyen a una mayor evaporación y en la cantidad de nieve interceptada por la vegetación (45). En lugares desprovistos de vegetación se construyen defensas contra el viento - provocando una mayor acumulación de la nieve y por ende una menor evaporación desde su superficie (79).

Para ordenar la investigación que se realiza sobre el manejo de la nieve para incrementar la disponibilidad de agua de una cuenca, se dividirá en aquélla que tiene que ver con la manipulación de la vegetación y aquélla que se realiza sobre la línea de vegetación. Esta última, como ya se dijo, se basa en efectos producidos por barreras artificiales sobre la acumulación de la nieve y la disminución de la evaporación por acción del viento, o por la disminución del albedo de la nieve agregando compuestos oscuros a su superficie.

a. Manipulación de la vegetación

Uno de los principales puntos que se han investigado en este campo es la influencia de la vegetación en la acumulación de nieve, en el tiempo de fusión y contribución de nieve fundida al escurrimiento total de la cuenca. La influencia del bosque en la acumulación de la nieve depende principalmente de la densidad que éste tenga. Así en Fraser Experimental Forest (45) se estudió este efecto, llegando a la conclusión que manteniendo variables como exposición y elevación constantes, la acumulación de la nieve varía con el tipo e intensidad de disminución de la vegetación. Para mayor claridad se puede ver la figura 4 en que en los tres tratamientos realizados se sacó un 60 por ciento del volumen, variando sólo la distribución de la corta.

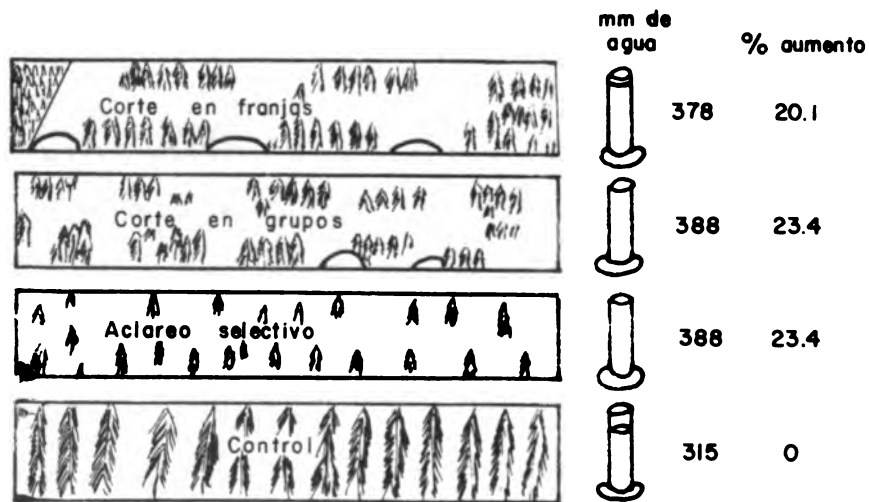


Figura 4: Influencia de sistemas de corta de rodales de Picea sp. en la acumulación de nieve. Fraser Experimental Forest, Colorado. U.S. Forest Service. Station Paper RM-8. 1960. p. 8.

Trabajos de investigación semejantes a los ya vistos, han estudiado otras variables que influyen en el problema que se está tratando (32). A si, en la región de Adirondack, en New York (47), se determinó la influencia de diferentes tipos de vegetación en la acumulación de nieve y su tiempo de fusión. Se midió en distintas fechas la cantidad de nieve acumulada en términos de producción de agua para latifoliadas maderables, coníferas maderables, renoval de latifoliadas, renoval de coníferas y terreno desnudo. (Ver figura 5).

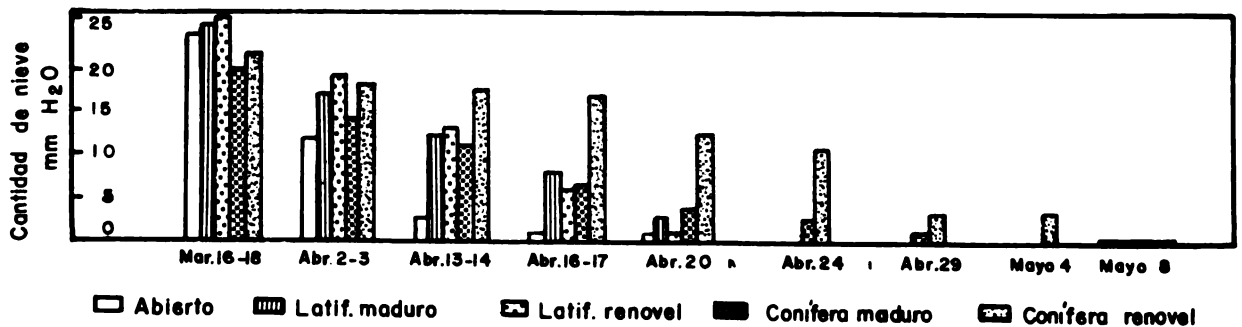


Figura 5: Cantidad de nieve acumulada y tiempo de fusión bajo cuatro tipos de cubierta arbórea. Adirondack, New York, U.S. Forest Service. Station Paper NE - 138. 1960. p. 6.

En la figura 5 se observa que bajo el renoval de latifoliada es donde se acumula mayor cantidad de nieve. Las mediciones dieron un mayor número de días a la fusión de la nieve bajo un dosel de renoval de coníferas.

Con respecto a la influencia de la cubierta vegetal en la acumulación de la nieve y el escurrimiento superficial en la cuenca, se pueden citar otros trabajos como por ejemplo el efecto de una vegetación arbustiva (39) sobre estas variables, u observaciones de acumulación de la nieve con respecto a la vegetación, elevación e insolación (19, 29).

Existen otros aspectos interesantes en la investigación sobre la influencia de la vegetación en la producción de agua a partir de la fusión de la nieve. Tal es el caso del efecto de la vegetación en la acumulación de nieve en claros adyacentes a ella. En el Beaver Creek Watershed Project, Arizona (20), se determinó este efecto en un rodal de Pinus ponderosa Laws. Se estudiaron rodales de 18 m de altura con área basal de 19 m² por ha y de 6 m de altura y 14,3 m² por ha de área basal. Se hicieron mediciones a sotavento (socaire) a distancias expresadas en unidades de altura del rodal (ver figura 6).

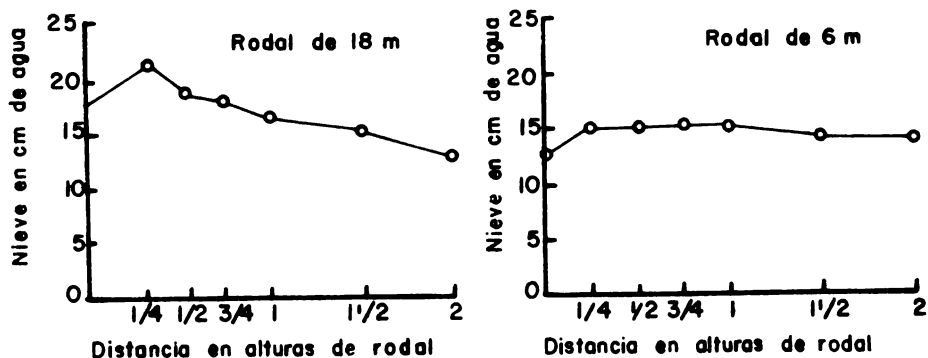


Figura 6: Acumulación máxima de nieve en claros adyacentes a dos rodales de Pinus ponderosa Laws. Beaver Creek Watersheds, Arizona. Noviembre de 1963 a Abril de 1964. U.S. Forest Service. Research Note RM-53. 1965. p. 3.

Como se aprecia, existe una mayor acumulación de nieve en el caso del rodal de mayor altura. Esto se debe a la acción que ejercen los árboles sobre el viento, que al disminuir su velocidad impide el transporte horizontal de la nieve induciendo a una mayor acumulación en este lugar (54). La observación de importancia en este estudio fue que la nieve desaparecía más allá de dos veces la altura, sin producir escurrimiento, con excepción de tormentas fuertes. Este hecho está demostrando que hay una evaporación considerable desde la superficie de la nieve debido al viento.

Otra variable de importancia a considerar en el manejo de la vegetación para aumentar la acumulación de nieve y determinar el tiempo de fusión, es la exposición en que se encuentra el rodal. Un estudio de este tipo fue hecho en Big Horn Mountains, Wyoming (7), donde la vegetación de coníferas fue cortada en bloques de una relación ancho-largo de 1:1,5. El tamaño de estos bloques fue de 2, 4 y 8 ha respectivamente. En cada exposición, es decir, norte, este, sur y oeste se hicieron estos tres tipos de cortas para medir la acumulación de la nieve.

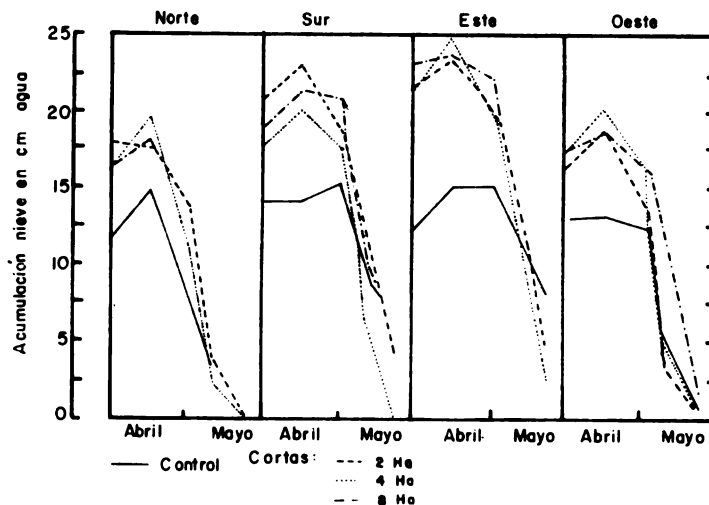


Figura 7: Acumulaciones de nieve bajo rodales de Pinus contorta Dougl. con tres tipos de tratamiento y cuatro exposiciones, Big Horn Mountains, Wyoming. 1960-1961. Journal of Forestry 63(2):90. 1965.

Se observa en la figura 7 que hay una mayor acumulación de nieve en los espacios producidos por las cortas con respecto al control. Se encontró que la exposición este presenta una respuesta superior en cuanto a acumulación de nieve que las demás exposiciones, pero su fusión terminó de producirse de 12 a 14 días antes que en el rodal sin cortar.

Todas las investigaciones en este campo tienden a determinar la influencia que tiene cada una de las variables que actúan en la producción de agua por medio de la fusión de la nieve. Esta influencia se puede cuantificar y relacionar a través de una función matemática que permita conocer los resultados o productos de un tratamiento aplicado. Una mejor forma de expresar el problema es conocido el producto que se necesita, cuáles serán las medidas e intensidades que se deben aplicar al manejo de la vegetación.

b. Medidas estructurales

La mayor parte de la investigación destinada a encontrar la forma de obtener mayor rendimiento de agua a partir de la nieve ha estado dirigida a conocer la relación existente entre vegetación y nieve. Pero en aquellas áreas desprovistas de vegetación se puede inducir artificialmente la acumulación de nieve y demorar su fusión por medio de barreras contra el viento. Esta medida tiende a aumentar el escurrimiento superficial y a incrementar la napa freática (72).

Estudios que se han realizado sobre esta materia han demostrado que la evaporación directa de la superficie de la nieve es pequeña, no alcanzando a más de un 4 por ciento del total de la nieve fundida (48). El

problema surge al existir vientos de velocidades superiores a 30 kilómetros por hora, lo que provoca una erosión eólica de la nieve dejándola expuesta a la acción del aire y la radiación, produciendo una alta evaporación y sublimación. Estas pérdidas pueden reducirse reteniendo la nieve en el lugar de caída y disminuyendo la superficie expuesta a la acción de los vientos secos.

Se ha experimentado con la construcción de diferentes tipos de barreras artificiales para poder contestar a interrogantes como cuál es la altura óptima, cuál es la separación entre ellas y cuál será la capacidad de retención de nieve. Para determinar el efecto que producen diferentes tipos de espaciamiento se hicieron estudios en el Medicine Bowl National Forest, Wyoming (6). El área en estudio está ubicada sobre praderas de topografía más o menos plana y a una altura de 2400 m.s.n.m. Basado en datos climáticos se construyeron barreras de 45 m de largo separadas por una distancia de 75 m entre cada una. Análisis de probabilidad de que sucedieran las condiciones de precipitación esperadas para este tipo de separación llevaron a construir otras dos series separadas a 32,5 m y a 98 m respectivamente. La acumulación de nieve fue superior entre las barreras separadas a 98 m alcanzando su máximo esperado. En los dos restantes espaciamientos solo alcanzó a un 78 por ciento del máximo esperado. Las diferencias entre barreras de igual espaciamiento no fueron estadísticamente significativas.

Se han estudiado otras variables que influyen sobre el efecto de las barreras en la acumulación de nieve, como es el caso de densidad o grado de paso del viento a través de ella. Este efecto se verificó construyendo barreras de 2,4 m de altura y compuesta de tablillas colocadas a cier

ta distancia una al lado de otra (28). Así ambos tipos tenían en la mitad superior una densidad del 43 por ciento y en la mitad inferior, una 21,5 por ciento y la otra 14,5 por ciento. Las barreras fueron ubicadas con un espaciamiento de 30 metros. Se encontró que en el caso de la barrera con 21,5 por ciento de densidad, la acumulación de nieve estaba entre 1,5 y 10 veces la altura detrás de ellas. El máximo de acumulación fue de 80 cm entre 2,5 y 5 veces la altura. En el caso de la barrera de 14,5 por ciento de densidad, la acumulación estaba entre 2 y 12 veces la altura con un máximo de 50 cm entre 3,5 y 6 veces la altura. Esta experiencia está demostrando la influencia del viento en la economía de la nieve en una cuenca.

También se ha comprobado que la tasa de fusión de la nieve puede ser controlada, dentro de ciertos límites, con la aplicación de materiales de colores oscuros a su superficie. El objeto de estas aplicaciones es disminuir la energía reflejada y permitir una mayor absorción para la fusión de la nieve. Estudios teóricos indican que podría aumentarse entre un 35 y 40 por ciento la tasa de fusión si el albedo de la nieve fuera reducido de 0,5 a 0,1 (48). En una investigación en Berthoud Pass, Rocky Mountains, Colorado (50), se aplicó carbón negro a la superficie de la nieve que cubría lisímetros cilíndricos para constatar este efecto. El carbón utilizado fue de dos tipos y se aplicaron con dos intensidades. Así se obtuvieron cuatro tratamientos, cuyos resultados se pueden observar en el cuadro 7.

CUADRO 7: ESCURRIMIENTOS OBSERVADOS EN NIEVE TRATADA CON DOS TIPOS DE CARBON APLICADOS CON DISTINTAS INTENSIDADES BERTHOUD PASS, COLORADO 1966

Días Mayo-	Neo Spectra 14 gr.	Royal Spectra 14 gr.	Neo Spectra 10 gr.	Royal Spectra 10 gr.	Control
17	4501	4222	4368	4350	1245
18	5143	4940	5356	4860	1832
19	5324	5708	5195	5618	2168
20	5512	4685	5127	5555	1658
21	7094	7691	7168	6790	2643
22	6483	6252	6543	----	2374

Promedio lisímetros tratados: 5567 gr. Promedio lisímetros control: 1987 gr.

Fuente: Megaham, H.W. et. al. Net, allwave radiation as an index of natural snowmelt and snowmelt accelerated with albedo reducing materials. International Hydrology Symposium. Fort Collins. Sept. 1967.

El análisis estadístico de los resultados demostró que no hay diferencia significativa ni en los tipos de carbón usado ni en las tasas de aplicación. Como se puede observar, la rapidez de fusión de la nieve fue aumentada en 2,8 veces con el tratamiento.

Como conclusión de estas experiencias efectuadas para modificar el proceso natural de escurrimiento a partir de la fusión de la nieve, se puede decir que es necesario calcular el espaciamiento de las barreras en fun -

ción de las condiciones climáticas y de la cantidad de agua extra requerida. A través de un análisis económico, ya sea marginal o costo-beneficio, se puede determinar la inversión óptima a realizar para una cierta cantidad adicional de agua. R.D. Tabler (72) hizo un trabajo de este tipo, para lo cual llegó a formular una función de producción de agua teniendo como variables independientes la separación entre barreras, densidad de las mismas y probabilidad de precipitación. Con esta función de producción pudo obtener una función de costos y una de beneficios y así aplicar el análisis marginal y lograr su óptimo económico.

3. Riesgos producidos por tratamientos

Cada una de las medidas tendientes a perturbar el equilibrio natural del medio ambiente puede traer consigo problemas imprevisibles y de difícil solución. Las diferentes variables que actúan en el medio ambiente están íntimamente relacionadas entre ellas, de tal forma que al variar una se producen modificaciones en las otras. Estas variaciones secundarias son las que se necesitan constatar y evitar en aquellos casos que sean perjudiciales. En los tratamientos para incrementar la producción de agua de las cuencas es donde se provocan los mayores desequilibrios del medio ambiente como son aquéllos provocados por cortas de raleo del bosque, que dejan las superficies desnudas en cierto grado y propensas a la erosión. El arrastre de la capa superficial del suelo provoca la pérdida de su fertilidad, deteriora la calidad de las aguas que pueden ser aprovechadas y se producen acumulaciones de sedimentos en lugares no deseados. Existen muchos otros riesgos al modificar un ecosiste-

ma, los que se tratarán de presentar en las siguientes divisiones: peligros de inundación; disminución de la calidad de las aguas; pérdida del hábitat de la fauna.

a. Peligros de inundaciones

Aunque las áreas que se manejan con el fin de incrementar el rendimiento de agua no se caracteriza por una gran precipitación, este factor debe tenerse en cuenta por la intensidad que pueda presentar. La eliminación de parte de la capa vegetal arbórea o de toda, en casos en que es reemplazada por pastos, provoca una alteración de la estructura del suelo y con ello una pérdida de la capacidad de infiltración. Como ejemplo cabe citar el caso de una cuenca en Coweeta Hydrology Laboratory (77) en que se eliminó la cubierta boscosa para instalar una pradera artificial. Previo a la eliminación del bosque, la tasa de infiltración excedía a 18 cm por hora. Luego de la sustitución, la tasa bajó a 1,4 cm por hora. Esta ilustración muestra los cambios que se presentarán en el escurrimiento superficial en casos de lluvia de alta intensidad, produciendo la crecida de los caudales en forma desacostumbrada.

El grado de intensidad de un tratamiento de la vegetación estará de terminado por la capacidad del suelo para almacenar agua o bien, por la realización de obras civiles necesarias para dirigirlas a una represa de almacenamiento. En la aplicación extensiva de este tipo de tratamiento deben considerarse estas consecuencias y reducirse a áreas de dimensión pequeña.

b. Disminución de la calidad de las aguas

El objetivo de los tratamientos descritos es obtener una mayor cantidad de agua aprovechable para el consumo de la población. Es por esta razón que el agua debe tener una cierta calidad que permita ser usada con el menor costo posible de tratamiento. Pero las medidas tomadas para eliminar, total o parcialmente la vegetación de una cuenca y reemplazarla por una pradera, trae consigo problemas de sedimentación, los que se deben ya sea a la falta de cobertura o a las obras de infraestructura realizadas para aplicar estas medidas. Es necesario tener presente en el re conocimiento previo de los suelos, su erosionabilidad para determinar las formas de extracción de los deshechos o productos. Así por caminos de ex tracción es donde ocurre un mayor transporte de sedimentos, debiéndose considerar un cuidadoso planeamiento de estas vías. Al mismo tiempo es necesario adoptar medidas tendientes a rehabilitar en la forma más rápida posible las áreas intervenidas. Entre estas medidas se pueden mencionar siembra de áreas críticas con pastos, remoción de puentes y una estrecha vigilancia que asegure la pronta solución de problemas que puedan incrementar la presencia de sedimentos en el agua.

La aplicación de herbicidas para tratar la vegetación puede traer consigo la contaminación de toda la producción de agua de una cuenca. La existencia de variados tipos de herbicidas y su uso en diferentes dosis, requieren estudios que determinen el efecto en la contaminación de las a guas antes de ser aplicados extensivamente. En Arizona se estudió el efecto residual de aplicaciones de "picloran", un herbicida orgánico (14),

en que se vio la relación existente entre la contaminación de aguas y la cantidad de precipitación caída. Se encontró que la concentración del herbicida era proporcional a la lluvia caída y detectándose tras hasta diez meses después de la aplicación. Paralelamente con estos estudios será necesario conocer qué concentración encontrada en el agua es nociva para la vida silvestre o consumo humano, como también su efecto sobre zonas cultivadas y regadas con estas aguas.

c. Pérdida del hábitat de la fauna

El manejo de un área implica muchas veces romper el equilibrio natural existente, lo que hace variar las condiciones propias del hábitat de la fauna del lugar. Este aspecto tiene especial importancia en el caso del manejo para incrementar la producción de agua de una cuenca, que está basado en la variación de la cubierta vegetal lo que produce efectos en las condiciones de vida de la fauna. La destinación de áreas para incrementar la producción de agua y producir praderas para forraje de ganado afectará sin duda las condiciones de vida del venado u otras especies similares, haciéndoles emigrar o extinguir en casos extremos. Es pues conveniente investigar los efectos de estos tratamientos sobre el desarrollo de la vida silvestre y tratar de encontrar los métodos que ayuden a mantenerla o aumentarla, según sean los requerimientos.

Un efecto interesante y poco estudiado, por considerarse falto de consecuencias, es el producido por las variaciones de temperatura que pueden experimentar las corrientes de agua al eliminar su vegetación

ribereña. Esta variación de temperatura puede afectar el normal desarrollo de la vida acuática llegando a hacer desaparecer especies. La interacción entre temperatura, algas, residuos orgánicos, oxígeno disuelto y peces es muy compleja, de tal modo que un pequeño aumento de temperatura tiene efectos sobre algunos de ellos. No sucede lo mismo cuando la temperatura disminuye. Brett (9) señaló que una especie de salmón aclimatado a 20°C moría al subir la temperatura del agua a 24°C por un corto tiempo. Con el fin de constatar esta variación al despejar la vegetación de las riberas de las corrientes de agua, se midió en una cuenca forestada las temperaturas durante los quince primeros días del mes de Agosto del año 1965. Las cuencas están ubicadas en Toledo, Oregón (12) y son de características semejantes. Una de ellas fue desprovista de vegetación en el año -- 1966 dejando la otra como control. Las temperaturas promedios diarias de los años 1965 y 1966 se presentan en la figura 8.

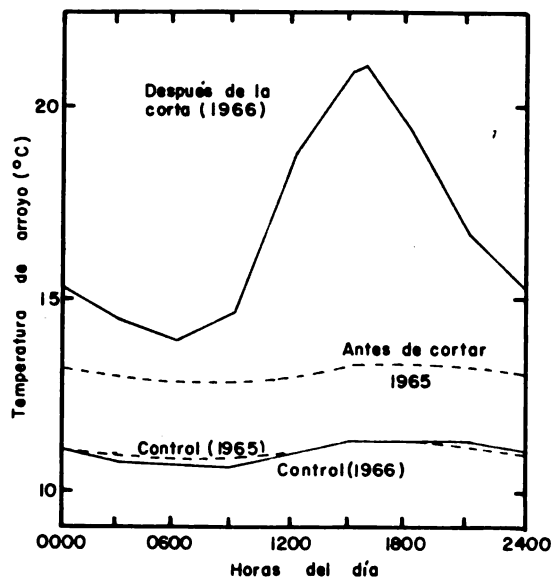


Figura 8: Temperatura horaria promedio de arroyos de una cuenca desforestada y una control antes y después de la corta. Coast Range, Oregon. 1965-1966. Journal of Soil and Water Conservation. 22(6):244. 1967.

La variación de la temperatura se debe a factores como vegetación colindante, topografía, características del cauce, aguas subterráneas, velocidad y cantidad de aguas en la corriente. Principalmente los cambios de temperatura se deben a la cantidad de agua y a la insolación recibida por ella. Así los pequeños arroyos son más afectados por la falta de sombra al sacar la vegetación ribereña.

Luego de esta breve revisión de los efectos secundarios que pueden traer consigo los tratamientos aplicados para incrementar la producción de agua de una cuenca hidrográfica, se ve la necesidad de investigar sus alcances para evitar consecuencias no deseadas. Esta investigación se puede realizar conjuntamente con el tratamiento principal en una cuenca piloto, antes de ser aplicado extensivamente. En esta forma se evitarán se - rios problemas, que muchas veces pueden causar daños irreversibles, es de cir, que una vez producidos no tienen solución.

B. Rehabilitación de áreas erosionadas

Existe un equilibrio natural entre las fuerzas que actúan para modelar la superficie terrestre, aunque es un equilibrio dinámico, ya que hay un movimiento de partículas de suelo debido a la lluvia y el viento que es relativamente lento. La cobertura vegetal densa de los suelos, ya sean pastos o árboles, hacen posible que este movimiento sea lento y por otra parte contribuyen a la formación de suelos.

La falta de alimentos sobre la tierra ha empujado al hombre a despojar los suelos de su vegetación natural y roturarlos para hacer posible nuevos cultivos que satisfagan sus necesidades. Este rompimiento del e -

quilibrío natural hace que el impacto de la lluvia sobre el suelo desprenda partículas que serán arrastradas por el agua en la medida que los des-niveles lo permitan. No sólo la acción del agua es causa de este movi - miento, sino que aquellos terrenos de baja cohesión entre sus partículas, hacen posible que el viento las arrastre, llegando a transportar grandes masas de suelos en tiempos relativamente cortos.

La erosión del suelo se hace crítica cuando el hombre se ve en la necesidad de cultivar superficies en las laderas de las montañas, sin tomar las medidas precautorias que impidan que las aguas provenientes de la precipitación adquieran una velocidad de arrastre de material. En estos ca-sos se llega a observar una erosión acelerada que puede transportar colinas enteras hacia niveles inferiores.

Son ya muy conocidos los efectos negativos que provoca la erosión de los suelos, no solo en el lugar donde ocurre, sino que a través de todo el curso de movimientos de las aguas hasta llegar al lugar de sedimentación. En este transcurso provoca la incapacidad de los suelos erosionados para efectuar cultivos, eleva los cauces de los ríos impidiendo su navegabili-dad y causando inundaciones y afecta estructuras como represas disminuyendo su vida útil a causa de la sedimentación. Por último al llegar al mar estas aguas cargadas de sedimentos empobrecen la fauna marina del lugar y dificultan la utilización de obras portuarias, llegándose algunas veces al abandono de ellas.

Las pérdidas económicas que provoca la erosión no son constatables - en forma inmediata, sino que tardan en manifestarse. Partiendo de un cultivo, año a año al agricultor se le hace más costoso mantener un rendi -

miento constante de suelos que pierden su fertilidad, lo que le lleva al abandono del lugar. En casos de ríos que pierden su navegabilidad, las consecuencias económicas negativas que produce en los usuarios del transporte fluvial son cuantiosas. Hay ejemplos cuantificados de este fenómeno. Se citará el caso del valle del Tennessee, en que por el hecho de hacer posible la navegación por el río del mismo nombre con obras de protección y esclusas, durante el año 1964 sus usuarios ahorraron 26 millones de dólares con respecto a lo que habrían gastado transportando por medios terrestres (74).

Como se ha expresado el problema de la erosión, con sus diferentes causas, se hace más crítico en las cuencas receptoras de la precipitación, por sus pendientes relativamente pronunciadas. Esta situación sólo se puede solucionar tratando cada área de acuerdo a sus posibilidades. Así, las zonas más escarpadas deben estar bajo pastizales o bosques. Las laderas cubiertas por pastos no deben ser sometidas a un pastoreo intensivo que provoque el apisonamiento del suelo y pérdida de cubierta protectora. En esta forma cada área necesita de un manejo que mantenga el equilibrio entre las fuerzas que impiden el arrastre de materiales.

Para alcanzar los objetivos que se dé al manejo de las cuencas hidrográficas, se requiere del conocimiento de la capacidad de los suelos para sostener diferentes tipos de vegetación y la forma de su uso. Este conocimiento necesita de información detallada de suelos y de su relación con planta y agua, como así mismo de ciertas obras civiles indispensables para mantener o restituir el equilibrio natural. La forma de lograr este conocimiento es a través de la investigación y experimentación, que llevarán a conocer medidas aplicables en forma extensiva en las áreas afectadas.

1. Investigación básica

Al desarrollar la investigación para conocer los efectos de las diferentes medidas a aplicar con el fin de controlar un proceso de erosión y rehabilitar las áreas afectadas para su utilización, es necesario conocer datos básicos sobre el lugar de estudio. Ellos son la precipitación con su distribución en el tiempo y en el área, conjuntamente con las características de los suelos que permitan comprender los procesos hidrológicos bajo diferentes coberturas vegetales. Así se podrán estudiar aspectos como infiltración del agua en un suelo cubierto por bosque, pastos, cultivos o vegetación arbustiva; procesos de intercepción de esta vegetación; pérdidas de agua por evapotranspiración de la cubierta vegetal; capacidad de almacenamiento del agua en el suelo; y estudios del movimiento del agua en el suelo.

Conocida la información básica para comprender los efectos de las medidas a aplicar en áreas con problemas, se comenzarán a desarrollar en forma práctica. Las experiencias comprenderán métodos para disminuir peligros de erosión; métodos para controlar el escurrimiento superficial y el movimiento del suelo en pendientes con poca vegetación; métodos económicos para rehabilitar áreas erosionadas; cantidad de sedimentos arrastrados bajo diferentes condiciones de vegetación; y densidad de cobertura requerida para mantener la estabilidad del suelo (49). Se pueden agregar otras investigaciones que se irán haciendo necesarias por problemas específicos que se presenten.

2. Investigación aplicada

Con el fin de ordenar esta sección, se ha hecho una división entre investigación básica e investigación aplicada, entendiéndose esta última como el estudio de los efectos de medidas prácticas aplicadas en la cuenca para solucionar problemas. Tales serían obras de ingeniería aplicables al control de cárcavas, aspectos silvícolas como plantaciones y sus efectos, elección de especies apropiadas para la reforestación y consecuencias de prácticas de extracción de maderas.

Los estudios destinados a conocer los efectos que tiene la vegetación, en sus diferentes formas sobre el proceso de erosión, están basados principalmente en mediciones de escorrentía y sedimentación. Con este fin se deben construir estructuras que permitan medir tanto la cantidad de agua que escurre, como la cantidad de suelo que trae en suspensión. En una cuenca normalmente todas estas mediciones se realizan a través de vertederos.

Las áreas erosionadas se pueden rehabilitar proporcionándoles una cobertura vegetal que aminore el efecto del impacto de la lluvia, disminuya el escurrimiento y le proporcione la materia orgánica suficiente para la formación de un nuevo suelo. Esta nueva vegetación se puede lograr, según sean los casos, por protección del área con trabajos adicionales al suelo, reforestación o siembra de pastos. Todas estas formas deben ser probadas, ya que las respuestas son difíciles de prever como se verá más adelante, por la gran cantidad de variables que están en juego en los procesos hidrológicos.

La reconstitución de la cubierta vegetal por la sola protección del área consiste en dejarla libre de la acción del hombre y animales para que se cubra nuevamente de vegetación por sí sola. Tal sería el caso de ciertas áreas tropicales húmedas, en que la rapidez de crecimiento de la vegetación permite de un año a otro tener una buena cubierta protectora que impida la erosión. Este tipo de experiencia se hizo en Lac Alaotra, Madagascar (30), en que las pérdidas de tierra bastante apreciables en una parcela experimental, 4 toneladas por há disminuyeron a 1,1 toneladas por há al año siguiente para llegar a ser nulas en el tercer año, sólo protegiéndola de la acción de animales y cultivos.

En cada situación de rehabilitaciones de áreas se necesita constatar el efecto de diferentes tipos de vegetación a instalar y llegar a la elección de la especie más apropiada. Por los objetivos que se tengan en cuanto a la producción de la cuenca, hay casos en que se necesitará una especie que proteja lo suficiente al suelo y no consuma gran cantidad de agua, como sucede en zonas en que este elemento es de primordial necesidad. Otro caso será aquél en que por condiciones del lugar, se pueda extraer madera sin perjudicar la protección del suelo, luego habrá que encontrar una especie que cumpla con estos dos objetivos. Con este fin se han comparado diferentes parcelas en Vernon, Oklahoma (1), determinando la capacidad de especies herbáceas y arbóreas para detener la erosión y la escorrentía que produce. El cuadro 8 indica las mediciones que se hicieron con diferentes tipos de cubierta vegetal.

CUADRO 8: COMPARACION DE EROSION Y ESCURRIMIENTO BAJO CUBIERTA DE
BOSQUES Y PASTOS
VERNON, OKLAHOMA

Cobertura	Pendiente %	Precipita- ción en cm	Pérdida de suelo en ton/há	Escorrentía % de precip.
Bosque	12,5	112,8	0,025	0,8
Bosque, piso quem.	12,5	112,8	0,47	2,6
Yerba	8,75	107,4	0,52	1,5
Yerba	16,5	123,9	0,00	0,7
Bosque	5,20	85,1	0,42	0,13
Bosque, piso quem.	5,20	85,1	0,54	5,06
Yerba	7,70	83,6	0,10	1,5

Fuente: Ayres, Q.C. La erosión del suelo y su control. Barcelona, Omega, 1960. p. 51.

Se puede observar que ambos casos proporcionan una buena protección, haciendo la salvedad de que la hierba tiene que ser muy bien manejada, ya que el pastoreo influye decisivamente en su capacidad para detener erosión y escurrimiento.

Normalmente en áreas demasiado degradadas es indispensable ayudar a la repoblación vegetal por medio de trabajos en el suelo, que consisten en la construcción de canales antierosivos y plantaciones en curvas de nivel. Estos trabajos tienen como finalidad disminuir la velocidad de escurrimiento del agua, evitando así el arrastre de las plantas o semillas que cubren el área. En Teheza, Madagascar (30) se hizo la comparación entre

dos parcelas, una con este tipo de trabajos y una control. Se observó que las pérdidas de tierra disminuían desde el segundo año llegando a un 35 a 40 por ciento menos que la parcela testigo. Este mismo tipo de trabajo, pero sólo canales antierosivos fueron construídos en los faldeos del volcán Irazú, Costa Rica, para poder realizar reforestación luego de violentas erupciones que cubrieron de cenizas el área. Paralelamente a las ventajas ya dichas, estas obras permiten proteger obras localizadas en la base de las pendientes y disminuir las descargas violentas de las cuencas que pueden provocar inundaciones.

La reforestación de un área con problemas es complicada por diferentes tipos de dificultades. Normalmente no se conoce la adaptabilidad de las especies a las condiciones del lugar. Las especies nativas que allí crecían han perdido su medio adecuado por la degradación del suelo. Las zonas semiáridas son las más difíciles de reforestar por las condiciones de humedad imperantes. Una planta pequeña no tiene resistencia suficiente para soportar una sequía larga y cuando llegan las lluvias deben soportar una gran cantidad de escurrimiento superficial, que pone en peligro su estabilidad en el sitio (81).

La selección de las especies adecuadas para contener la erosión, debe pasar por dos etapas de investigación, una de ellas es su adaptabilidad y la otra que cumpla con los requisitos de poder mantener el suelo en su lugar. Para constatar el primer aspecto se deben comparar varias especies, que puedan subsistir en las condiciones de clima y suelo imperantes. De aquí se verá la que mejor responde a estas limitantes del medio. Para el segundo aspecto, o sea que mantenga en buena -

forma el suelo, deben estudiarse las características de crecimiento de las raíces.

El conocimiento de los sistemas radiculares ayuda a comprender la forma en que las plantas estabilizan el suelo y utilizan el agua que hay en él. Estas experiencias se realizan por medio de excavación del terreno en que crecen, estudiando aspectos como textura del suelo, profundidad de la napa, tamaño y condiciones de las plantas, profundidad de penetración y distribución radial de las raíces, zonas de mayor concentración y tipo de desarrollo de las raíces. En Manitou Experimental Forest, Colorado (8), se estudió la distribución de las raíces de tres especies arbóreas en tres sitios diferentes. En el cuadro 9 se pueden observar algunas variaciones en el hábito de crecimiento de las raíces según sea el sitio.

Se ve que el Populus tremuloides tiene una mayor capacidad para extenderse radial y superficialmente, en cambio las dos especies coníferas penetran a mayor profundidad.

En el volcán Irazú, Costa Rica, se evaluaron dos especies utilizadas en los trabajos de reforestación después de las erupciones ocurridas entre 1963 y 1965 (59). Su finalidad fue determinar a través de las características de crecimiento de las raíces de Eucalyptus globulus Labill y Buddleia nítida Perst, su capacidad para estabilizar las cuencas erosionadas. Por medio de un análisis estadístico de las muestras tomadas se llegó a la conclusión que no hay una diferencia significativa entre los hábi

CUADRO 9: COMPARACION DEL HABITO DE CRECIMIENTO DE LAS RAICES DE TRES ESPECIES EN TRES SITIOS DIFERENTES
MANITOU EXPERIMENTAL FOREST, COLORADO

SITIO A					
Especies	Edad (años)	Altura (m)	Diámetro (cm)	Max.prof. (m)	Max.extensión radial (m)
<i>Pseudotsuga menziessi</i>	80	6,40	14,0	1,52	3,96
<i>Populus tremuloides</i>	70	7,92	11,4	1,52	9,48
<i>Pinus ponderosa</i>	85	5,80	11,4	1,52	3,05
SITIO B					
<i>Pseudotsuga menziessi</i>	72	7,32	12,7	1,46	6,40
<i>Populus tremuloides</i>	97	11,60	21,7	1,28	14,63
<i>Pinus ponderosa</i>	63	7,61	12,7	1,71	6,10
SITIO C					
<i>Pseudotsuga menziessi</i>	60	6,70	10,2	0,85	3,05
<i>Populus tremuloides</i>	110	6,70	17,8	0,76	6,10
<i>Pinus ponderosa</i>	75	5,80	12,7	0,85	5,80

Fuente: U.S. Forest Service. Station Paper RM-37. 1958. p. 13.

tos de crecimiento de ambas especies. Ante esta igualdad entre las especies para sostener el suelo se estimó que debido a las características del Eucalyptus globulus, en cuanto a calidad de madera, lo hacen más ventajoso en una reforestación por su utilización comercial en la zona.

El control de cárcavas, en un proceso de erosión acelerado, requiere de obras civiles que permitan la introducción de especies vegetales para la completa estabilización de los suelos. Lo más común es la construcción de diques de contención que transforman la turbulencia producida en el agua por las cárcavas en un flujo más tranquilo, al disminuir la velocidad de escurrimiento. Esto trae consigo un aumento de la sedimentación dentro del dique que lo llenará rápidamente. En él se podrá efectuar la implantación de una cubierta vegetal sin peligro de que sea arrastrada. La distancia de ubicación entre varios diques de contención para estabilizar completamente una cárcava está determinada por varios factores que son difíciles de controlar. Se incluyen por ejemplo, tipo de material que viene en arrastre, la velocidad del flujo de agua que va variando con el cambio del cauce, y el tipo de dique. Todos estos fenómenos será necesario conocerlos antes de construir los diques, aunque muchos pueden ser determinados empíricamente. Pero al no considerar algunos factores variará la realidad de la situación. Por ejemplo, estudios recientes (35) han demostrado que la pendiente de compensación es influida no sólo por la pendiente del cauce sino por el ancho del mismo en donde se hará la estructura y por la altura del vertedero.

Con el objeto de evaluar los efectos de estructuras se hizo un estudio en Pike y San Isabel National Forest, Colorado (34). Las estructuras habían sido instaladas entre 20 y 25 años antes. La forma de constatar -

los efectos fue a través del control del estado actual de los diques con fotos tomadas en los años de 1930. Dentro de ciertos límites de sedimentación en el dique se consideró el éxito o el fracaso de la estructura. En algunos casos se encontró que en los primeros años se logró un éxito en la contención de la cárcava, pero luego por deterioro del material se destruyó. En esta forma se logró una lista de ejemplos de diques de contención de diferentes tipos y su eficacia con el fin de no cometer errores semejantes en trabajos futuros y utilizar sólo las buenas características de cada uno de ellos.

Existen otras investigaciones que se pueden realizar para determinar las causas de erosión y formas de contenerla. Una de las principales causas de erosión y degradación de los suelos es la intensidad con que son pastoreadas las áreas cubiertas por vegetación herbácea. Así se han hecho investigaciones destinadas a conocer el efecto de diferentes intensidades de pastoreo sobre las características de las especies y su abundancia dentro de la comunidad. Schuster (68) ensayó tres tipos de pastoreo sobre una pradera de tres especies herbáceas principales de diferente palatabilidad, encontrando una reducción del sistema radicular como así mismo un cambio de abundancia en las especies. El cuadro 10 indica las variaciones con intensidad de pastoreo.

CUADRO 10: EFECTOS DE TRES INTENSIDADES DE PASTOREO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS RAÍCES DE TRES ESPECIES HERBACEAS
MANITOU EXPERIMENTAL FOREST, COLORADO

— Disminuye palatabilidad —									
Especies	A			B			C		
	Sin	Mode- rado	Fuerte	Sin	Mode- rado	Fuerte	Sin	Mode- rado	Fuerte
Penetra- ción de raíces en cm.	138	125	82	109	130	82	38	38	48
Extens. lateral de raí- ces en cm.	29	23	17	30	29	20	13	27	15

Peso promedio de 12 muestras en gramos:

Sin pastoreo: 25,48 Moderado: 21,44 Fuerte: 15,11

Fuente: Ecology 45(1):65-66. 1964.

Como se puede apreciar, el pastoreo disminuye notablemente la capacidad de la cubierta herbácea para estabilizar el suelo, debido a la reducción del sistema radicular. Por otra parte favorece el crecimiento de especies no deseadas para el apacentamiento del ganado.

El mismo efecto del pastoreo visto en el caso anterior puede medirse directamente a través de la escorrentía y la sedimentación en una cuenca. En 1952 en San Luis Experimental Watershed, New Mexico (1), se comenzaron

a manejar áreas degradadas por medio del control del pastoreo. El área cubierta por hierbas era de 3 a 5 por ciento del total. Con uso de sólo el 55 por ciento del total de los pastos se pudo constatar que al cabo del tercer año la cubierta se había incrementado de un 6 a 12 por ciento. La sedimentación se redujo entre 0,2 y 0,7 acre-foot^{*}. No se encontró cambio significativo en el escurrimiento.

En Taheza, Madagascar (30), se estudió el efecto del sobrepastoreo sobre el escurrimiento y la erosión. Para ello se utilizaron una parcela testigo en mal estado y una pradera. La primera se puso bajo protección y la segunda se sometió a pastoreo (ver cuadro 11).

CUADRO 11: COMPARACION ENTRE PARCELAS BAJO PROTECCION Y SOBREPASTOREADA CON RESPECTO A ESCURRIMIENTO Y EROSION
TAHEZA, MADAGASCAR
1962 - 1966

Años		62-63	63-64	64-65	65-66
Precipitación en mm		646	532	812	915
Escurrimiento anual en mm	Sobrepastoreo	55	31	62	125
	Protección	88	37	58	101
Escurrimiento medio en %	Sobrepastoreo	9	6	8	14
	Protección	14	7	7	11
Escurrimiento máximo en %	Sobrepastoreo	24	20	25	34
	Protección	35	23	20	28
Pérdidas de tierra en ton/há	Sobrepastoreo	1.7	1.1	3.1	4.8
	Protección	4.0	1.3	1.5	2.9

Fuente: Bois et Forest des Tropiques No. 119. p. 7. 1968.

* Acre-foot: es una unidad utilizada para medir volúmenes normalmente de escurrimiento. Equivale a 1 pié de profundidad por un acre de superficie. En sistema métrico es 0,1223 m de profundidad por há.

El escurrimiento y las pérdidas de suelo son mayores en un comienzo en la parcela bajo protección, en la cual la cubierta vegetal estaba en mal estado. A partir del tercer año se puede observar que el escurrimiento es menor que en la parcela con sobrepastoreo a causa del incremento de la cubierta vegetal.

Hay casos en que el efecto del pastoreo no tiene consecuencias negativas como fue constatado en un estudio realizado en Sierra Ancha Experimental Forest, Arizona (65). Con dos intensidades de pastoreo, 80 y 40 por ciento de remoción del pasto, se encontró una disminución de la cubierta vegetal en la de mayor intensidad. No hubo otras consecuencias. Hay que hacer notar que sólo se pastoreó en las temporadas de primavera y otoño con el fin de permitir la regeneración de los pastos. Se puede observar la incidencia del pastoreo en la disminución de la cobertura vegetal en la figura 9.

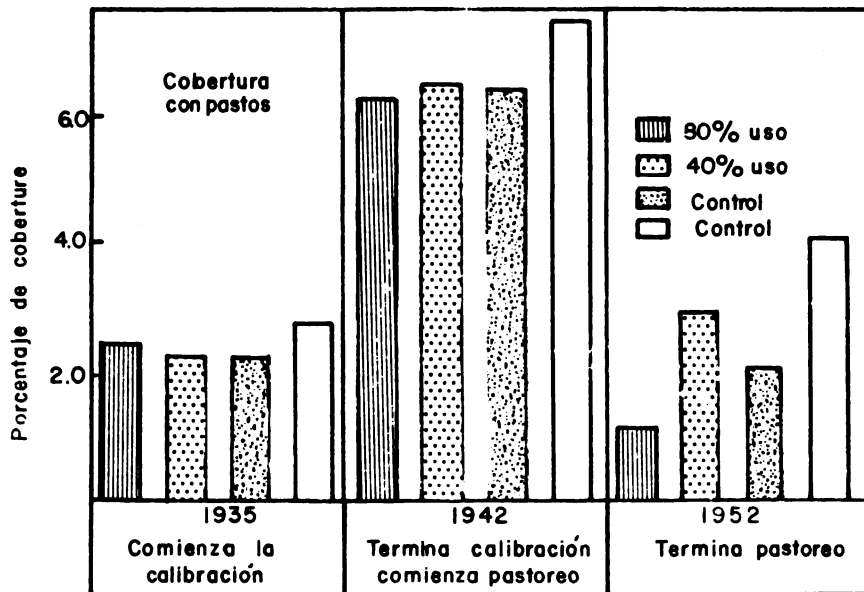


Figura 9: Cobertura con pastos perennes al comienzo y final de pastoreo con dos tipos de uso. Sierra Ancha Experimental Forest, Arizona. Journal of Range Management 16(6):325. 1963.

Una de las principales causas de erosión en cuencas cubiertas de bosques es la explotación de los árboles. Aunque no se deje grandes superficies descubiertas, la necesidad de arrastrar las trozas y construir caminos para la extracción provocan grandes pérdidas de tierra. Hay ciertas áreas que permanecen relativamente estables bajo severas medidas de explotación y en otras la erosión comienza con mucha facilidad. Tanto erosión producida en caminos de maderero como por arrastre de las trozas necesita ser controlada con una buena planificación del proceso. Los resultados pueden evaluarse a través de estudios de sedimentación producidos en las diferentes formas encuestadas. Así se podrá estudiar el efecto de una práctica de maderero sobre la erosión como el realizado en Boise Basin Experimental Forest, Idaho (33). Se estudiaron variables como intensidad de corta, área denudada por arrastre de trozas y por construcción de caminos, tamaño de tractores usados, cantidad de flujos de agua desde las áreas y cantidad de sedimentación. Se obtuvieron los siguientes resultados generales:

- La corta por selección de árboles individuales produjo 1,4 veces mayor cantidad de suelo expuesto a erosión que la corta por grupos de árboles.
- El 7,2 por ciento del área total (787 há) fue perturbada por caminos y arrastre de trozas. Se tomaron medidas para evitar al máximo la denudación.
- Los caminos de maderero contribuyen en mayor forma a producir erosión.
- Luego de utilizados los caminos fueron sembrados de pastos, produciendo una rehabilitación total.

De este tipo de investigaciones se obtienen guías prácticas para hacer una buena planificación de la explotación forestal, evitando al máximo posible las pérdidas de terrenos causados por la erosión.

En Fernow Experimental Forest, West Virginia (36) se estudió el efecto de la intensidad de corta del bosque sobre la erosión y calidad del agua proveniente de la cuenca. Se calibraron durante seis años previos al tratamiento cinco cuencas, de las cuales una quedó como control. Las cuatro restantes fueron sometidas a distintas intensidades de aclareo, con un solo camino de arrastre cuidadosamente planeado para evitar en lo posible la extracción de sedimentos (ver cuadro 12).

CUADRO 12: EFECTO DE CUATRO INTENSIDADES DE CORTA SOBRE LA SEDIMENTACION DE UNA CUENCA
FERNOW EXPERIMENTAL FOREST, WEST VIRGINIA

Intensidad de corta	Sedimentación p.p.m.
<u>Comercial</u> : se cortó todo sobre diámetro de 15 cm.	56.000
<u>Diámetro límite</u> : Se cortó todo sobre diámetro de 43 cm.	5.200
<u>Selección extensiva</u> : se cortó sobre 28 cm solo lo comercial.	210
<u>Selección intensiva</u> : se cortó sobre 13 cm de diámetro muy se leccionado.	25
<u>Control</u>	15

Fuente: Journal of Soil and Water conservation 19:25. 1964.

También se llegó a estimar que la pérdida de suelo equivalía a -- 0,025 cm de profundidad en toda la cuenca o bien a 180 toneladas por ha de camino. Esta cifra da una idea aproximada del efecto que tienen los caminos de maderero sobre la erosión, ya que se estima que el mayor porcentaje de pérdida se debe a ellos y a la corta de árboles solo una pequeña parte en el primer tiempo.

La investigación sobre la erosión, sus problemas y las formas de tratarlos en el manejo de cuencas hidrográficas, requiere ser guiada a la solución de los más urgentes problemas que se presenten. De sus logros se tratará de enseñar a los dueños de tierras y al público en general, el concepto de lo que es la erosión y las relaciones existentes entre todos los factores que permiten el equilibrio entre suelos y vegetación.

C. Prevención de Inundaciones

El control de rendimiento de agua de una cuenca es un problema difícil de solucionar por las situaciones conflictivas que se presentan entre las personas que utilizan este recurso dentro de una cuenca. Aquellos que poseen sus actividades agrícolas en las partes superiores están influyendo en las de más abajo por el grado de utilización de agua en sus cultivos. Estos últimos, que son los más numerosos, están sujetos a restricciones de agua en ciertos casos o a sufrir las consecuencias de inundaciones en otros.

Las inundaciones han ocurrido desde tiempos inmemoriales, con la -

modelación de la superficie terrestre. Desde que el hombre ha llegado a ocupar las riberas de ríos y las áreas de las cuencas recolectoras de agua el problema se ha tornado grave. Las inundaciones año tras año vienen provocando pérdidas de vidas y cuantiosas pérdidas económicas. Son muchos los ejemplos que se pueden mencionar de los cuales se tiene una información más o menos exacta de estas pérdidas. Se puede recordar la inundación que produjo el río Kansas, en Estados Unidos el año 1951 (22), que alcanzaron a 1.000 millones de dólares, con cerca de 35.000 casas inundadas y más de 250 mil personas sin hogar. Estimaciones del U.S. Soil Conservation Service indicaban que para el año 1952, sólo las pérdidas en la agricultura por causa de las inundaciones ascendían a 557 millones de dólares, para un 52 por ciento del área de Estados Unidos.

Grandes campañas de protección contra inundaciones se han llevado a cabo en todos los países. La mayoría de ellas consisten en obras civiles de grandes costos y no muy larga duración, por el hecho de no haber considerado otros factores que juegan un rol importante en el proceso hidrológico. Esto es la restitución del equilibrio hídrico de un área. Para mayor comprensión es necesario ir a las causas principales de las inundaciones.

Los flujos de agua que provocan inundaciones pueden ser causados - por lluvias demasiado prolongadas, por fusión rápida de la nieve caída en época de invierno, o por lluvias cortas e intensas. Todos estos fenómenos inciden en la falta de absorción del agua por parte del suelo, lo que determina la escorrentía del lugar. En casos en que la cubierta vegetal no proporciona al suelo una estructura que permita una buena infiltración, como sucede con cultivos agrícolas y pastos, el problema de i

nundaciones se hace crítico. Esta falta de infiltración en el suelo trae consigo al mismo tiempo un aumento de la capacidad erosiva del flujo superficial de agua, sedimentando cauces de ríos, que permiten cada día menos capacidad de agua. El problema de las inundaciones en este caso ya tiene dos causas: aumento del flujo de agua y disminución de la capacidad de los cauces para contenerlo. Esto provoca un fácil desborde de los ríos, anegando planicies ribereñas en donde se realizan cultivos y hay poblaciones.

Una parte principal de la prevención de inundaciones es el desarrollo de prácticas de conservación de suelos en las cuencas receptoras, que deben ser desde una cobertura total con bosque, a prácticas agrícolas con estructuras especiales para evitar problemas de erosión. Las medidas que se tomen están de acuerdo a la capacidad de uso de los diferentes suelos.

Un ejemplo interesante, por su magnitud e impacto económico, es el desarrollo del valle del Tennessee en Estados Unidos, para evitar continuas inundaciones y la recuperación de áreas totalmente degradadas por el mal uso de los suelos. Desde 1905 (73), se han construido treinta y cuatro represas y reforestado 8,98 millones de há (72). Este programa ha traído consigo no sólo la prevención total de las inundaciones, sino que un desarrollo económico proporcionado por producción de electricidad, industrias madereras, sistemas de transporte acuático, otras industrias y agricultura. Este es un ejemplo difícil de imitar, pero está indicando lo que puede producir un buen programa de conservación de suelos y aguas, costoso pero rentable tanto para sector público como privado.

Los daños provocados por el agua en las inundaciones son relativamente temporales; el problema sucede con los sedimentos que vienen en arrastre y llega a ser difícilmente solucionado. Existen en la actualidad dos tipos de trabajos en la prevención de inundaciones que son: obras de ingeniería y manipulación de la vegetación de las cuencas. Los primeros y más comúnmente usados están destinados a la protección de ciudades, riberas o bien a absorber los flujos excesivos de agua. Todas estas obras están sometidas a las fuerzas de las crecidas de los ríos, ya que no atacan las causas de ellas sino que son meramente protectoras. En este sentido las obras civiles tienen una utilidad momentánea, disminuyendo rápidamente su eficacia para llegar a ser inútiles o ser destruidas por acción de las aguas y la sedimentación. Los trabajos que se realizan con la vegetación de las cuencas receptoras para tratar de regular los flujos de agua y evitar la alta sedimentación, son los que realmente atacan la raíz del problema. Esto no quiere decir que las obras civiles son inútiles, sino que ambos tipos de obras son complementarias y no necesariamente debe dejarse una por otra, ya que lo que se realice tendrá poco o ningún efecto.

Lo que interesa en este estudio es el tipo de trabajo que es necesario realizar en una cuenca con respecto a la vegetación para prevenir inundaciones y un alto arrastre de sedimentos. Para poder ver cuál es el efecto que provocará la manipulación de la vegetación se requiere conocer, a grandes rasgos, la forma en que una cubierta vegetal puede actuar para reducir una inundación. La influencia de la vegetación en el ciclo hidrológico se puede resumir en los siguientes puntos:

- Por medio de su follaje evita que parte de la precipitación llegue al suelo.
- La hojarazca que cubra la superficie del suelo evita el desprendimiento de partículas, por el impacto de las gotas de lluvia.
- Los sistemas radicales mejoran la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua en los suelos.
- En algunos casos actúan sobre la tasa de fusión de la nieve.
- Ayuda a eliminar el agua del suelo en períodos entre tormentas, lo que permite una mayor cantidad de agua absorbida.

Se requiere cuantificar estas relaciones con diferentes tipos de cobertura vegetal, para aplicar en el terreno medidas tendientes a disminuir los peligros de inundaciones. Se encontrarán especies, tipos de plantaciones, e incluso obras para instalar una buena cubierta protectora. En este sentido se ha venido investigando y se ha encontrado que una cubierta forestal es la que provoca una mayor protección a las cuencas, ya que produce mayor efecto sobre las características enumeradas anteriormente, es decir, infiltración, intercepción, porosidad del suelo, remoción del agua del suelo y disminución del arrastre de sedimentos.

La utilidad de los bosques en el control del escurrimiento superficial es observada en mejor forma en zonas cálidas de fuertes tormentas. Como ejemplo está la inundación del valle La Cañada, California (75), en que a raíz de una quema se eliminó la vegetación de 1950 ha. Un mes más tarde una tempestad azotó la zona produciéndose escurrimientos de 17 a 28 m³ por segundo y por milla cuadrada. Las cuencas cercanas, con la misma cantidad de precipitación tuvieron escurrimientos muy inferiores. Otro ejemplo de la utilidad del bosque es un experimento realizado en Co -

weeta Hydrology Laboratory (54), en donde una cuenca de 9,3 há cubiertas de bosques fueron cortadas. De ellas 2,2 há se destroncaron y se sembraron de maíz, el resto se destinó a pastoreo. Al tercer año de cultivo, una lluvia de 42 mm a razón de 100 mm por hora produjo un escurrimiento de 11,10 m³ por segundo y milla cuadrada. Bajo estas mismas condiciones de lluvia en el mismo terreno cubierto de bosques con anterioridad se había producido un escurrimiento de 1,41 m³ por segundo y milla cuadrada.

La investigación respecto a factores que influyen en las inundaciones en una cuenca se refiere principalmente a aspectos básicos, ya que las medidas aplicadas a las cuencas completas se hacen con el fin de solucionar un problema presente y no como una simple experimentación. Sin embargo las primeras medidas se debieron tomar como una experimentación, ya que no se conocía en detalle los resultados que se obtendrían. Entre otras fuentes de experimentación se pueden citar:

- Interpretación de relaciones bosque-suelo e inundaciones.
- Efectos que producen los distintos tipos de cobertura del piso forestal.
- Tipos de escurrimiento y las causas que lo ocasionan.
- Escurrimiento y drenaje.
- Escurrimiento subterráneo.

Otro tipo de investigación que se ha realizado es la predicción de inundaciones en una cuenca, basado en ecuaciones que relacionan algunas características de las cuencas. Un estudio de este tipo se realizó en los Montes de San Gabriel y San Bernardino en el sur de California (2). Con un

análisis de regresión múltiple se relacionaron variables como sedimentación total en diques, máximo escurrimiento de una cuenca durante una tormenta, máxima precipitación durante 24 horas en la tormenta, área de la cuenca, densidad promedio de cubierta vegetal, cubierta quemada por incendios y pendientes de la cuenca. A través de todas estas variables se determinó cuáles influyen y la ecuación matemática que las relaciona en los siguientes aspectos: erosión de la cuenca, efectos de quema en acumulación de sedimentos, escurrimiento máximo y efectos de quemas sobre escurrimiento máximo.

Estudio semejante al anterior fue el realizado en Ephrain Creek Watershed, Utah (46), en que se clasificaron tres clases de sitio según cobertura vegetal. En cada uno de ellos se midió la capacidad de infiltración de los suelos para así determinar su potencial de escurrimiento. Esta determinación proporciona en primer lugar una estimación del efecto de la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y en segundo lugar los volúmenes de agua que se esperarán con una determinada precipitación.

En el caso de las inundaciones es donde se puede demostrar con mayor facilidad los beneficios de las obras de prevención, en base de una disminución de los costos o pérdidas provocadas por daños a poblaciones o agricultura. Se verá el caso de la cuenca del río Reventado en Costa Rica (41), en que a raíz de las erupciones del volcán Irazú entre los años 1963 a 1965 se produjo la destrucción de toda la cubierta vegetal produciendo grandes inundaciones y arrastre de lodo. Para realizar las obras de protección de la localidad de Cartago se asumieron los costos de la remoción de sedimentos si no se hiciera ningún trabajo. Este cos-

to ascendía a 5,3 millones de dólares correspondientes a la remoción de 4.700.000 m³ de sedimentos durante los próximos 20 años. Se recomendó ante esta situación la construcción de una presa que evitaría este movimiento de material con un ahorro de alrededor de 2 millones de dólares. Pero actualmente sólo se ha llevado a cabo una reforestación de la cuenca con la construcción de presas pequeñas y la plantación de kikuyo (Penisetum clandestinum) habiéndose logrado hasta la fecha una normalización del gasto del río sin volver a poner en peligro a la ciudad de Cartago. El costo de estos trabajos ha ascendido a aproximadamente 140 mil dólares.

D. Estudios sobre aludes

Las medidas tomadas para controlar los aludes han sido desarrolladas mayormente en Europa y Estados Unidos. Es en estos lugares donde tienen mayor importancia, tanto por su clima como por la gran cantidad de gente que acude a las montañas a practicar deportes de invierno. Por otra parte, hay zonas montañosas intensamente pobladas que peligran por posibles aludes. Así mismo los medios de comunicación pueden ser destruidos con facilidad.

El control de los aludes se hace normalmente con la construcción de estructuras, sobre todo en aquellos lugares ubicados sobre la línea de vegetación. Los países europeos se han visto en la necesidad de reforestar las áreas desbastadas por la explotación, fuego y pastoreo con el fin de restablecer la acción protectora de los bosques contra los aludes. Para ello ha sido necesario la construcción de barreras para prote

ger la reforestación, habiéndose probado diferentes formas y sistemas.

Para comprender mejor el problema de los aludes se verá la formación de éstos y los diferentes tipos que se presentan. Existen dos tipos de origen de aludes determinados por las características mecánicas de la nieve en el punto de origen. Están aquellas que presentan una baja cohesión interna y que se mueve como masa amorfa. En otro extremo están los aludes cuya nieve posee una alta cohesión dejando en su punto de origen una quebradura en la superficie. Naturalmente existen entre estos dos extremos diferentes grados de cohesión, dándose una clasificación más amplia a los aludes.

El origen de los aludes con características de una baja cohesión es su acumulación en pendientes mayores a aquéllas que permiten un equilibrio estable. Este equilibrio inestable es roto en cualquier momento por factores como reducción de su baja cohesión interna o una superficie lubricada por agua de fusión. Este tipo de alud se caracteriza por comenzar en un punto o en una pequeña área. La formación de un alud con mayor cohesión entre las partículas de nieve se debe a un desequilibrio entre la masa que tiende a deslizarse pendiente abajo y los obstáculos que la detienen, ésto es entre la masa y la superficie de deslizamiento. Este equilibrio estático puede romperse, ya sea por aumento del peso del estrato de nieve a raíz de una nueva precipitación, por el peso de un esquiador o simplemente por la vibración provocada por un ruido fuerte. Así se produce un desprendimiento de una gran masa dejando una quebradura en la nieve en la zona de ruptura (78).

Para que se produzca el deslizamiento, la superficie de contacto en tre la tierra y la nieve tiene que ser lo suficientemente libre de obs - táculos para que permita el movimiento. Así todas las irregularidades - del terreno tienen que ser rellenadas de nieve para que exista esta zona de deslizamiento. Hay superficies de laderas de cerros que producen con mayor facilidad los aludes, como son las superficies cubiertas de pas - tos o de pocos accidentes. El caso opuesto es la existencia de muchos - accidentes en la superficie, ya sean grandes rocas o vegetación arbórea, que impide el deslizamiento de la nieve. Las obras de prevención de ava lanchas se basan principalmente en la formación de esta superficie con obstáculos, ya sean del tipo estructuras o con la plantación de árboles.

Existen otras variables en la provocación de aludes, como la orien - tación de las pendientes y su ángulo. Las pendientes que reciben una mayor insolación producen cambios en las características de la nieve produ ciendo aludes acuosos que son los más devastadores. Otro aspecto que influye en los aludes es la posición de la pendiente con respecto a los vientos dominantes, siendo las áreas de sotavento centros de grandes acu mulaciones de nieve. Esta característica es campo propicio para los des lizamientos, acompañado de la falta de compactación de la nieve, que produce la ausencia de vientos sobre la superficie.

Con los antecedentes vistos sobre las situaciones propicias y for - mas en que se producirá un alud, se ve la forma en que serán atacados estos problemas y hacia donde irán dirigidos los estudios tendientes a prevenir estos fenómenos. Como ya se indicó, la forma de evitar el proble - ma es construyendo barreras artificiales y con la plantación de árboles.

Estas dos medidas, tal como en casos de erosión e inundaciones, van acompañadas para alcanzar un éxito total. Aunque se dijo que los bosques eran la medida más eficaz en la prevención de aludes, las barreras artificiales ayudarán a la protección de las plantas en su primera etapa de vida o bien, evitarán que bosques maduros sean destruidos por deslizamientos producidos sobre la línea de vegetación y cuya fuerza no puede ser detenida por las plantaciones de árboles (76).

Las investigaciones que tienden a encontrar los tipos de barreras más apropiados para impedir los aludes, estudian las características de forma y resistencia, la ubicación en que producirá un mayor efecto, materiales que se deben usar, como así mismo los costos que implica este tipo de construcciones (23). Basado en la ubicación de las estructuras se puede indicar cuál es su propósito. Así, hay estructuras ubicadas en la zona de partida de aludes y que tienden a evitar su movimiento. Estas serán estructuras de control de aludes en todas sus formas. Habrán también estructuras que servirán para proteger, ya sea un área o específicamente otro tipo de construcción como torres de alta tensión, o un camino (24).

Otra forma de encaminar las investigaciones en el control de aludes es por medio de la provocación de ellas en momentos en que se pueden controlar sus efectos. Normalmente es usada esta forma en lugares de gran afluencia de público o prácticas del esquí en donde un alud puede producir pérdidas de vidas. La forma en que se producen artificialmente los deslizamientos de nieve es con la aplicación de cargas explosivas a lugares críticos de formación, ya sea por medio de dinamita o con cañones que lanzan proyectiles. Cada caso tendrá su aplicación y es necesario -

determinarlo a través del estudio de los factores que lo producen.

La influencia que tienen los bosques como preventivos de aludes es conveniente conocer en profundidad, ya que la forma como los árboles estabilizan la nieve en pendientes pronunciadas es desconocida aún (24). Por observaciones realizadas en plantaciones, se ha visto que las de mayor densidad poseen mayor capacidad para evitar la formación de aludes, pero es conveniente constatar aquellas formas de distribución de los árboles que produzcan un mayor efecto. Otro aspecto a conocer son formas de plantación en estas áreas que por ser azotadas continuamente por deslizamientos no permiten la instalación del bosque.

E. Otras investigaciones

Para manejar cuencas hidrográficas a veces se requiere de otros tipos de informaciones muy específicas y de importancia para medidas a tomar. Se puede mencionar estudios sobre calidad de aguas provenientes de ciertos tipos de suelos y vegetación, efectos del uso recreativo sobre ciertas características de humedad del suelo y vegetación, influencias de las quemas sobre características hidrológicas de una cuenca y muchos otros. En esta sección sólo se describirán unas pocas para dar una idea de cuál es el tipo de estudio, pero recalcando que son muchos más y que se presentarán según sean los problemas a solucionar.

Un caso bastante específico fue el estudio realizado en Wyoming (71), acerca de las propiedades hidrológicas de terrenos turbosos. Sus características eran las de tener una profundidad máxima de 190 cm y - 3800 ± 300 años de edad. Análisis de polen indicaban que la actual vege

tación que origina la turba es semejante a la que creció en un principio. La producción vegetal anual de materia seca alcanza a 1.700 kg por ha. Se tomaron muestras de densidad y producción de agua de tres estratos diferentes. La producción de agua se determinó por succión a dos presiones diferentes (ver cuadro 13).

CUADRO 13: DENSIDAD Y RENDIMIENTO DE AGUA DE TRES ESTRATOS DIFERENTES DE UNA TURBA
MEDICINE BOW MOUNTAINS, WYOMING

	Profundidad de la turba en cm		
	0-13	13-25	36-48
Densidad gr/cc.	0,160	0,208	0,216
Producción de agua cc/cc			
0,00-0,10 baras de succión	0,223	0,140	0,076
0,10-1,00 bara de succión	0,277	0,318	0,273

Fuente: Soil Science 101(4):263. 1968.

La tasa de conductibilidad del agua a 46 cm y a 91 cm de profundidad fue de 0,0239 cm y 0,0161 cm por día respectivamente. Tanto la densidad como la retención de agua están determinadas por el grado de descomposición de la materia orgánica, hecho importante para conocer las disponibilidades de agua de una turba.

Muchas veces las fuentes de corrientes de agua están rodeadas de turbas. Es importante conocer la influencia que tenga esta formación vege-

tal en la calidad de las aguas para la utilización que de ellas se haga. En el mismo sitio del caso anterior se determinaron las características de las aguas provenientes de la turba (70), llegando a conclusiones como una baja concentración de minerales excepto fierro. Presenta una gran variedad de colonias de bacterias que hacen esta agua no apta para el consumo humano. La relación del número de colonias en la turba con respecto a agua proveniente directamente del suelo es de 172 a 11 en promedio. Las concentraciones de minerales permanecieron constantes a través de - tres meses de muestras, en circunstancias que el agua proveniente del suelo mismo llega a una alta concentración cuando la napa freática alcanza el mínimo.

La capacidad de retención de la hojarazca en un suelo cubierto de vegetación afecta directamente el suministro de agua al suelo y con ello el crecimiento de plantas. El conocimiento de esta característica física - de las hojarazcas es importante para la regeneración natural de las especies arbustivas y arbóreas que protegen las cuencas. En Tonto National Forest, Arizona (25), se estudió este fenómeno en dos especies, Arctostaphylos pringlei Parry y Quercus turbinella Greene, ambas en una misma condición de sitio. Se encontró que Arctostaphylos contenía 2,00 gr de agua por gr de hojarazca en peso seco y 5,1 mm de agua como capacidad de retención. En cambio Quercus sólo 1,80 gr de agua por gr de hojarazca y una capacidad de retención de 4,8 mm de agua.

En esta forma se puede ver que las investigaciones a realizar en una cuenca son múltiples y variadas, partiendo de efectos producidos por relaciones naturales, como son algunos estudios vistos, hasta los efec -

tos producidos por la relación hombre-medio. Entre estos últimos se puede mencionar el fuego como un factor perturbador de la hidrología de un lugar.

Finalmente se verá el caso extremo de esta relación hombre-medio que es la alteración que provoca la presencia del hombre en áreas destinadas a usos recreativos. El uso intensivo de áreas destinadas a la recreación del hombre normalmente produce la deterioración del medio. Reduce el crecimiento de plantas, compacta el suelo, disminuye infiltración, aumenta escurrimiento superficial y destruye la capa vegetal del suelo. En Rocky Mountain National Park, Colorado (18), se estudió este efecto en tres lugares de acampar distribuidos de tal forma que comprendieran un rango amplio de condiciones fisiográficas, climáticas, suelo y vegetación. Se tomaron muestras de sitios muy usados, moderadamente usados y poco usados determinándose la compactación del suelo, la cantidad de materia orgánica y la humedad del suelo. El cuadro 14 muestra las diferencias encontradas en los tres sitios seleccionados.

Se observa una correlación negativa entre el contenido de materia orgánica y la compactación del suelo. Este factor es significativo en la selección de sitios para la recreación. En promedio la compactación aumenta con el uso y disminuye la cantidad de humedad en el suelo.

CUADRO 14: EFECTO DEL USO RECREATIVO EN LA COMPACTACION, MATERIA ORGANICA Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO EN TRES SITIOS DE ACAMPAR.

ROCKY MOUNTAIN NATIONAL PARK, COLORADO

Factor	Uso	Sitio No.1	Sitio No.2	Sitio No.3	Promedio
Densidad gr/cc	Alto	1,60	1,49	1,30	1,46
	Moderado	1,50	1,30	1,15	1,32
	Bajo	1,03	0,97	1,00	1,00
Contenido de mat. orgánica (%)	Alto	2,1	4,1	4,5	3,6
	Moderado	1,9	5,3	3,5	3,5
	Bajo	3,8	7,6	4,0	5,1
Contenido de humedad (%)	Alto	4,49	5,07	7,72	5,76
	Moderado	6,55	7,37	6,84	6,92
	Bajo	8,46	14,51	11,29	--

Fuente: Journal of Soil and Water Conservation 22(5):196. 1967.

CAPITULO TERCERO

RECOMENDACIONES SOBRE INVESTIGACION A REALIZAR EN CHILE

Vistos ya los diferentes tipos de investigación que se efectúan sobre cuencas hidrográficas, se pueden determinar los aspectos que son necesarios considerar para el caso de Chile. Para ello se da una visión general de la geografía del país, considerando su relieve e hidrografía, lo que permitirá conocer la magnitud del problema del manejo de cuencas. Basado principalmente en las condiciones climáticas se hace una división del país en áreas destinadas a diferentes tipos de investigación, ya que es la dependencia entre vegetación, precipitación y suelos la que gobierna las posibilidades de hacer modificaciones a las relaciones del ciclo hidrológico. Con la descripción de las características más relevantes y los problemas de cada una de las áreas identificadas, se indica en forma general, los tipos de estudios a realizar en cada una de ellas. Finalmente se llega a indicar en qué consiste una cuenca piloto y su dependencia con la investigación, como así mismo los primeros estudios sobre los recursos en ella existentes y la instrumentación requerida.

A. Breve descripción geográfica del país *

Chile es un país en el que se pueden encontrar una gran variedad de condiciones climáticas debido a su configuración topográfica y su exten-

* Descripción basada en Geografía Económica de Chile. v. 4. Corporación de Fomento de la Producción. Chile. 1965 y Los Recursos Hidráulicos de Chile. Naciones Unidas. México. 1960.

sión en latitud. Se extiende entre $17^{\circ} 12'$ y $56^{\circ} 32'$ de latitud sur, lo que equivale a 4300 Km de longitud aproximadamente. El ancho promedio del país es de 188 Km teniendo como mínimo 95 Km en la latitud del río Choapa y un máximo de 400 Km en la latitud de Punta Arenas, en el extremo austral del territorio. El relieve es accidentado por la existencia de dos cordones montañosos que se extienden paralelamente de norte a sur dejando entre ellos una depresión. El cordón montañoso que presenta las mayores cumbres es la Cordillera de los Andes y se encuentra en la parte este del país. En el oeste está la Cordillera de la Costa. Se hará una descripción de cada uno de estos tres accidentes del país, dividiéndolo en zonas de cierta homogeneidad en cuanto a clima y vegetación. Las zonas indicadas son:

Zona Norte Grande: Se extiende entre el límite con Perú, 18° de latitud sur y el río Copiapó, 26° de latitud sur aproximadamente.

Zona Norte Chico: Corresponde a una zona de transición entre el desierto y la zona central del país. Está ubicada entre 26° y 32° latitud sur.

Zona Central: Desde el río Petorca, 32° y río Itata 36° latitud sur.

Zona de la frontera: Desde el río Itata al río Toltén, 36° a 39° latitud sur.

Zona de los Lagos: Desde el río Toltén al Seno de Reloncaví, 39° a 42° latitud sur.

Zona de los Canales: Comprende toda la zona al sur de 42° latitud sur.

1. Topografía

a. Cordillera de los Andes

La Cordillera de los Andes separa a Chile de Bolivia y Argentina. Se caracteriza por tener una altura elevada de 3.000 a 4.000 metros en promedio sobre la parte norte del país y disminuir hacia el sur sumergiéndose en el océano en el extremo austral. En el Norte Grande su configuración es una pendiente en forma de plano inclinado que va desde los 2.400 metros a mesetas ubicadas a 4.000 metros de altitud. Existen en esta zona volcanes que alcanzan alturas de 6.000 metros. El Norte Chico no presenta el volcanismo de la zona anterior, encontrándose valles en el interior con praderas utilizables para ganadería. Aquí la altura de la cordillera es notable, llegando a cerca de 7.000 metros en el monte Ojos del Salado. Se encuentran nieves eternas, llegando la línea de equilibrio de los glaciares a 5.000 metros. En la zona Central las montañas disminuyen su altura hacia el sur, como así mismo la línea de las nieves eternas que llegan a 3.000 metros de altura. Hay considerables extensiones cubiertas por hielos eternos que forman glaciares. El área comprendida entre 36° y 39° latitud sur, o sea Zona de la Frontera, la altura media está bajo los 2.000 metros sobrepasando sólo algunos volcanes los 3.000 metros. Esta zona se caracteriza por contar con los primeros lagos de origen glaciar. La zona siguiente es la de los Lagos en la cual es notoria la presencia de volca

nes con forma de conos casi perfectos de alrededor de 4.500 metros de altura. Al pie de estos volcanes normalmente se encuentran lagos de ori - gen glaciario. Algunas veces las lavas obstaculizan la salida de un valle llegando a formarse un lago cuyo desague presenta una serie de cascadas. Los volcanes en su mayoría se encuentran en actividad produciéndose erup - ciones con cierta periodicidad. Por último en el extremo sur del país se encuentra la Zona de los Canales, ubicada a partir de 42° latitud sur. La cordillera sigue disminuyendo en altura notándose un desarrollo de - los glaciares que ocupan no menos de 4.000 Km². La cordillera divide la zona de Magallanes en una vertiente atlántica y una pacífica hacia la Pa - tagonia.

b. Cordillera de la Costa

Junto al océano y a lo largo de Chile se levanta la Cordillera de la Costa. En el Norte Grande, 18° a 26° latitud sur, forma una franja de - 50 Km de ancho alcanzando su cumbre mayor 3.000 metros de altura. Se levanta abruptamente junto al mar formando acantilados de 500 metros más o menos. En el Norte Chico se caracteriza por una serie de cordones transversales que cruzan desde la costa a los Andes dejando una serie de va - lles entre ellos. En la Zona Central se inician las altas cumbres de la Cordillera llegando frente a la provincia de Santiago a 2.000 metros de altura. Desde esta zona hasta llegar a la Región de la Frontera comien - za a decrecer confundiéndose en lomajes suaves en la parte sur. Tiene - como rasgo común la presencia de quebradas y valles, estos últimos pro - ducto de ríos que cruzan el valle Central. Al sur del río Bío-Bío, la

Cordillera adquiere nuevo vigor hasta el río Imperial. En esta zona alcanza 1.500 metros de altura y toma el nombre de Cordillera de Nahuelbuta. Se caracteriza por culminar en relieves bastante horizontales. Hacia el sur pierde toda su significación como cordillera desapareciendo en el seno de Reloncaví. Reaparece en la Isla de Chiloé, alcanzando como máximo 800 metros de altura.

c. Depresión intermedia

Entre los dos cordones cordilleranos descritos queda una depresión intermedia. En el Norte Grande se forma una planicie ubicada a 1.000 metros de altura en promedio y de una gran aridez que corresponde al desierto de Atacama. Su fisionomía es más bien plana destacando cerros en forma de islas en lugares de relleno. No presenta como el resto de los desiertos del mundo zonas de dunas ni rocas en forma de hongos por la erosión eólica. Se encuentran un gran número de valles secos ocasionados por esporádicas avenidas producidas por lluvias también esporádicas. En el Norte Chico se pierde esta depresión central para dejar paso a una serie de valles dejados por los cordones montañosos que unen la Cordillera de los Andes con las planicies costeras. Los valles se caracterizan por terrazas fluviales, la mayoría aptos para una agricultura de riego. Al sur de estos cordones montañosos transversales se extiende el Valle Longitudinal, que es una extensa y angosta faja que llega hasta Puerto Montt, aproximadamente 900 Km. Este valle fue formado por depósitos de materiales provenientes de la Cordillera de los Andes y arrastrados en su mayor parte por las corrientes fluviales. En estos valles originados por relle

nos fluviales sobresalen cerros en forma de islas nuevamente. El ancho del valle tiene en promedio 40 Km para llegar en ciertas partes a tener menos de 1 Km. Al sur de San Fernando se enancha hasta alcanzar su máximo frente a Talca con 80 Km. Conjuntamente con estas formas de origen fluvial, aparecen accidentes de tipo volcánico caracterizados por lomajes suaves. En la Zona de la Frontera la depresión intermedia comienza a ondularse por formaciones de arcillas de origen glacial. El material de superficie de muchos sectores está constituido por suelos derivados de cenizas volcánicas. A partir del río Bueno la depresión intermedia vuelve a tomar un aspecto más o menos plano. Los rellenos de esta zona son de origen glacial y fluvioglacial, apareciendo típicos paisajes ocasionados por antiguas morrenas. Esta depresión central desaparece en el Seno de Relocaví, al sur del cual aparecen un gran número de islas.

2. Hidrografía

Chile, por sus características topográficas no posee ríos de longitudes considerables, pero sí de mucha pendiente, siendo ésto un factor propicio para la instalación de plantas hidroeléctricas. Pero también es un factor propicio para que la fuerza con que se desplaza el agua arrastre grandes cantidades de sedimentos. La hidrografía del país puede dividirse, tal como se ha hecho con el relieve, en las siguientes zonas: Norte Grande, Norte Chico, Zona Central, Zona de la Frontera, Zona de los Lagos y Zona de los Canales.

a. Zona Norte Grande

Area desértica que se caracteriza por mínimas precipitaciones. Sus ríos no son caudalosos y debido a la ausencia de barreras naturales en el extremo norte, los cursos de agua pueden llegar al mar. No sucede lo mismo hacia el sur en que cordones montañosos impiden que crucen haciendo que sus aguas se pierdan en la tierra o se evaporen. El principal río de la zona es el Loa que recorre 440 Km hasta encontrar una falla en el relieve y llegar al mar. En la parte superior de la Cordillera de los Andes nacen varios cursos de agua que una vez en el desierto se pierden en los salares. Los ríos de esta área poseen un regimen que llega a un máximo gasto en meses de verano, debido a las lluvias que ocurren en la cordillera durante esta estación. Crecen violentamente sus aguas y bajan con igual intensidad cuando las tormentas arrecian en el sector cordillerano.

b. Zona Norte Chico

Los ríos de esta zona tienen un caudal permanente, obteniendo sus aguas de las lluvias de invierno y de los deshielos de las nieves en los meses de noviembre y diciembre. Estos ríos de zonas semi-áridas experimentan crecidas violentas, como así mismo sequías temporales, fenómenos que afectan en forma considerable a la agricultura que se realiza en los valles.

c. Zona Central

Aquí se encuentran ríos torrentosos que provocan graves problemas de erosión en las riberas de sus cauces, ya que en la parte central del valle longitudinal llevan un curso divagante provocando amplios lechos a su paso. Su régimen es producto de la fusión de las nieves andinas y las lluvias invernales, lo que les da como características marcadas fluctuaciones. Los máximos gastos los trae en los meses de verano, que es cuando más agua se ocupa en el riego de extensas áreas agrícolas de la Zona Central del país. En la parte sur ya comienzan a ser influenciados por las lluvias de invierno y algunos a recibir la influencia moderadora de los lagos. Estos ríos son de cursos más suaves y sus aguas más claras debido en parte a la presencia de los bosques de las áreas precordilleranas. Otra característica que presentan es el aporte de aguas que experimentan de las napas freáticas, lo que permite un uso de ellos bastante intenso en obras de riego.

d. Zona de la Frontera

En esta zona se acentúa la influencia de las lluvias en el régimen de los ríos. Los cauces están encajonados y sus aguas son limpias. Las épocas de mayor crecida ocurren en temporada invernal. Algunos afluentes de los ríos principales cuentan con la acción moderadora de los lagos que les proporcionan un régimen constante a lo largo del año.

e. Zona de los Lagos

Estos ríos se encuentran influenciados por los lagos que los originan, factor que les proporciona un caudal más o menos constante a través del año y con sus máximas crecidas en invierno. En esta parte de Chile no se realizan obras de riego, debido al régimen pluvial, siendo normalmente usados para la navegación por embarcaciones de pequeñas dimensiones.

f. Zona de los Canales

Ríos de cauces encajonados en la cordillera y que alcanzan rápidamente el mar. Son ríos de grandes caudales y de pendiente muy pronunciada, lo que proporciona un gran potencial hidroeléctrico. A veces tienen su origen en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes.

B. División del país en áreas para la investigación

Con una visión de lo que significa el sistema montañoso del país y las características accidentadas que posee, como así mismo el sistema fluvial que lo cruza de este a oeste, se podrá indicar con mayor facilidad las zonas para efectuar posibles investigaciones en cuencas hidrográficas. Estas áreas estarán determinadas por las características de precipitación del lugar, ya que es el agente modelador de la superficie terrestre de mayor importancia. Al mismo tiempo es un factor determinante en la generación de la cubierta vegetal y las características de los suelos, aspectos relevantes en el proceso hidrológico de las cuencas. Aunque factores como el viento, la temperatura y la gravedad pue-

den desprender y transportar partículas del suelo, es el agua la que transporta los mayores volúmenes de materiales. Por otra parte, los procesos de infiltración y escurrimiento están estrechamente relacionados con el tipo de precipitación, vegetación y características de los suelos, aspectos que determinan la cantidad de agua con que el hombre puede disponer para su consumo. En esta forma, cada área a investigar tendrá sus propias características con respecto a la relación agua-suelo y planta y sus propias medidas a tomar para alcanzar lo que el hombre de ella requiera.

El clima de Chile y las cantidades de precipitación que ocurren anualmente es en extremo variado, tanto en latitud como en longitud. En latitud varía de casi 9 mm de precipitación en el extremo norte hasta 2.800 mm en promedio anual en la zona de Aysen, latitud 45° sur (52), y de allí decrece hacia el extremo austral. Estas precipitaciones experimentan variación en longitud debido al efecto de las dos cordilleras que atraviesan en sentido longitudinal el país, las que provocan ya sea sombra de lluvias o precipitaciones de tipo orográfico. En esta forma, se pueden diferenciar áreas de precipitación y que corresponderán a las áreas de investigación.

1. Areas A

Corresponden a este tipo de áreas todas aquellas vertientes cordilleras que por su elevación reciben débiles precipitaciones anuales. Se encuentran en el Norte Grande y en contraste con el desierto seco, aquí caen entre 150 y 200 mm anualmente con una distribución entre los me

ses de diciembre y marzo. Se ubican entre 2.500 y 3.500 metros de altitud. La vegetación de esta área está compuesta de pastizales aptos para la ganadería. La temperatura promedio anual es de aproximadamente 10°C con una variación diaria considerable debido a la ausencia de nubosidad que allí se encuentra. Durante el día hay una intensa radiación solar y por las noches grandes pérdidas de calor. Esta área tiene una baja importancia hidrológica por la precipitación que experimenta y lo limitado de su vegetación debido a su altura. Sólo se encuentran valles encajonados y pequeños que poseen microclimas aptos para cultivos agrícolas.

También se pueden considerar en estas áreas sectores comprendidos en el extremo austral, que debido a su alta latitud tienen temperaturas promedio anuales no mayores de 9°C. Además por sus condiciones de ubicación con respecto a la Cordillera de los Andes, en la parte oriental, la precipitación es baja no siendo mayor a los 400 mm en promedio.

2. Areas B

Áreas semiáridas con precipitaciones invernales de fuerte intensidad. Las lluvias van aumentando en cantidad desde el norte, que tiene 90 mm, al sur que alcanza 300 mm en promedio anual. La cantidad de lluvia caída no tiene mayor importancia para la agricultura, ya que sólo es posible la existencia de plantas efímeras. Por otra parte la intensidad de las precipitaciones ocasionan algunas veces grandes daños por los escurrimientos superficiales provocados. Estas áreas B son semejantes en cuanto a precipitación con áreas tipo A, sólo variando la temperatura que posee y la vegetación aunque baja, de diferente tipo. La temperatura promedio

anual decrece de norte a sur de $16,3^{\circ}\text{C}$ a $14,4^{\circ}\text{C}$.

3. Areas C

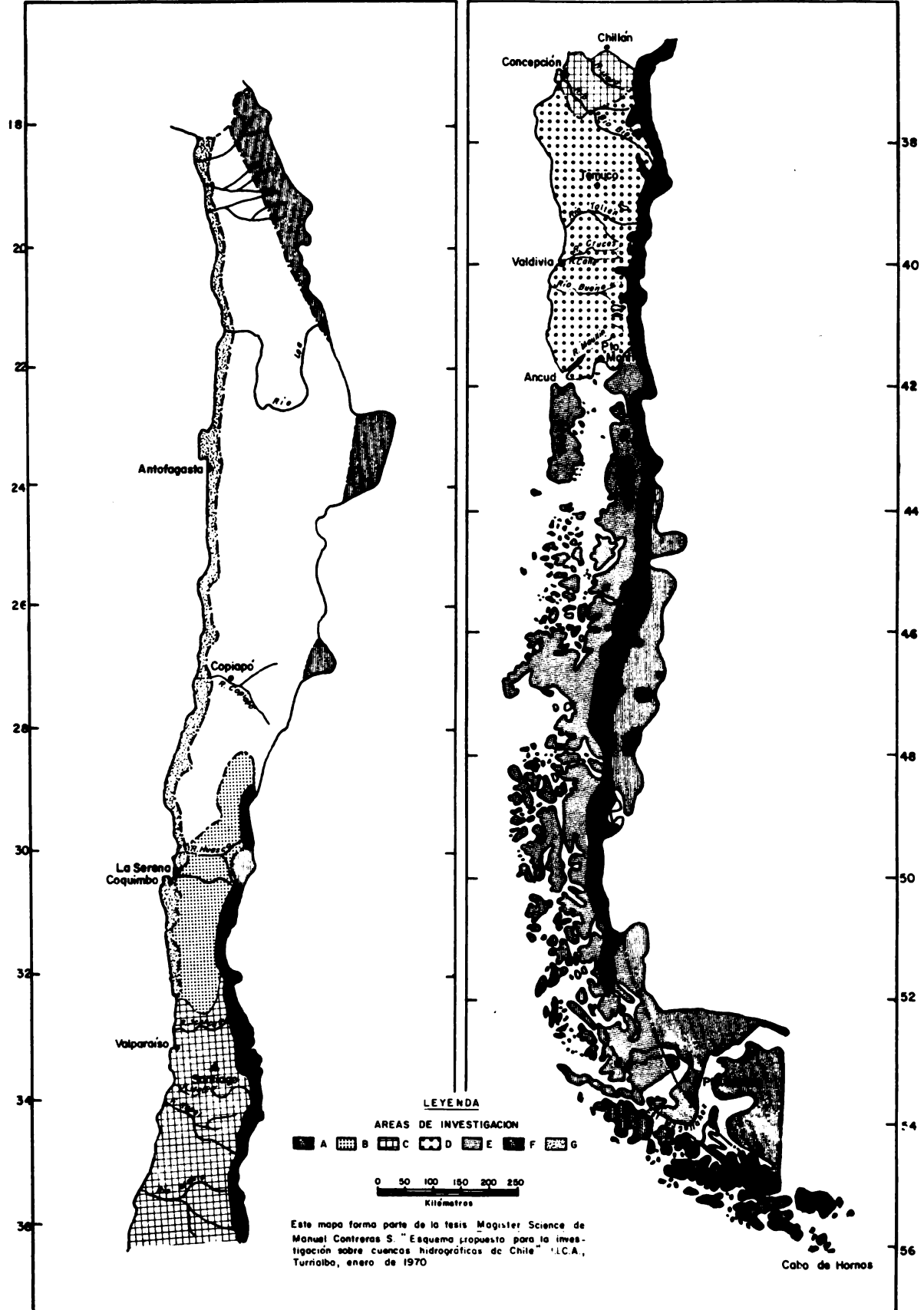
Aunque la parte norte de esta área posee características de semiaridez, la precipitación comienza a aumentar hasta llegar en su límite sur a aproximadamente 1.100 mm en promedio anual. La temperatura promedio anual no experimenta grandes variaciones fluctuando entre $14,8^{\circ}\text{C}$ y 14°C . La precipitación ocurre sólo en meses de invierno considerándose una época seca que abarca de 4 a 7 meses del año. Esta área tiene el mayor potencial del país para la agricultura, el que se ha aprovechado gracias al desarrollo de un sistema de riego. Las necesidades de agua en verano son intensas, ya sea por la agricultura, la industria o por la existencia de la mayor concentración de habitantes del área.

4. Areas D

La disminución de la temperatura y un aumento de la precipitación, caracterizan a estas áreas. Las lluvias aumentan a partir de 1.350 mm. en el límite norte para llegar a 3.100 mm en la parte intermedia y de ahí disminuyen a 1.900 mm en el sur. La distribución de la precipitación es de 4 meses secos en verano en la parte norte, a una lluvia intermitente todo el año en la parte sur. Las temperaturas promedio anuales fluctúan entre $13,8^{\circ}\text{C}$ y $11,1^{\circ}\text{C}$. La vegetación climax de estas áreas es un bosque de especies arbóreas latifoliadas, cuya explotación ha dejado paso a praderas o a sectores totalmente desolados. En general, sólo la parte norte del área necesita riegos para cultivos agrícolas, ya que el

CHILE

AREAS DE INVESTIGACION SOBRE CUENCAS HIDROGRAFICAS



LEYENDA

AREAS DE INVESTIGACION

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G

0 50 100 150 200 250
Kilómetros

Este mapa forma parte de la tesis Magister Science de Manuel Contreras S. "Esquema propuesto para la investigación sobre cuencas hidrográficas de Chile" I.C.A., Turrialba, enero de 1970

Cabo de Hornos

resto puede tener agua suficiente de lluvia durante todo el año.

5. Areas E

Abarca una región poco estudiada del país que cuenta con un clima lluvioso y frío. Las lluvias son superiores a 2.000 mm excediendo en algunos puntos a los 5.000 mm. Las temperaturas promedio anual no sobrepasan los 9°C, la vegetación corresponde a un bosque de Nothofagus y coníferas. Ciertos sectores han sido menguados por la explotación maderera, lo que ha provocado serios trastornos en la conservación de los suelos.

6. Areas F

Corresponden a aquellas áreas en que la precipitación cae principalmente en forma de nieve. Se distribuyen a lo largo de las grandes altitudes de la Cordillera de los Andes. Estas áreas adquieren especial importancia en aquellos valles donde tienen nacimiento los ríos que cruzan las zonas agrícolas de riego artificial. Es de la fusión de las nieves de donde ellos logran su abastecimiento de agua en época seca.

7. Areas G

En la región costera norte del país existe un tipo de precipitación cuya denominación regional es de "camanchaca". Se trata de neblanas densas que provocan una gran humedad ambiental lo que permite el crecimiento de algunas plantas efímeras y cactáceas. Estas neblinas se intensifican más al sur y con algunos accidentes del terreno se produ-

cen lloviznas locales que permiten la existencia de relictos de vegetación boscosa.

C. Recomendaciones sobre investigación

Con los antecedentes de cada tipo de área identificada y con los problemas hidrológicos que presentan se indicarán las posibles investigaciones a realizar para poder lograr en un futuro un manejo que lleve a alcanzar de las cuencas las metas que el hombre se haya propuesto. En esta forma se hará una identificación de las áreas con los estudios que se requieran llevar a cabo para solucionar problemas específicos.

1. Aumento del rendimiento de agua proveniente de las cuencas

Por las condiciones de precipitación y las necesidades de agua que actualmente existen, que cada día van en incremento, se estima que las áreas A, B y C pueden considerarse sujetas a investigaciones tendientes a hacer aprovechable al máximo los rendimientos de agua de sus cuencas. Es conveniente hacer una separación entre las áreas B y C y el área A, ya que por sus condiciones ambientales diferentes, los posibles tratamientos seguramente diferirán.

Las áreas de tipo A debido a sus condiciones de temperatura baja, en unas influida por la altura y en otras por la latitud, las condiciones de vegetación se limitan a plantas herbáceas, principalmente gramíneas. Es conveniente para evitar al máximo el consumo de agua por esta vegetación, conocer cuales son las relaciones entre planta y agua en esas condiciones ambientales. Puede suceder que la situación actual sea el óptimo por no

subsistir en el área otro tipo de vegetación que satisfaga las necesidades mínimas requeridas para la protección del suelo, en todo caso es necesario dilucidar cuál es el problema y las formas de solucionarlo.

Las áreas B y C son características de zonas semiáridas, en que hay una economía desarrollada en base a una agricultura de riego. La primera, B, requiere de riego durante 10 meses en el año y C por 7 meses. Por otra parte, la población de Chile se concentra principalmente en este sector ^{*}, lo que agrava aún más la situación. La investigación en estas áreas se puede encaminar a la manipulación de la cubierta vegetal existente para evitar en lo posible las pérdidas de agua por evapotranspiración de las plantas. Al encontrar diferentes tipos de cubierta vegetal, debido a la variación que presenta la precipitación en sentido transversal del país, habrá que experimentar en zonas boscosas, arbustivas y de frea-
tofitas.

Cabe considerar dentro de este grupo a las áreas F, en las cuales la precipitación que reciben es en forma de nieve. En la sección de riego del país los ríos tienen principalmente un régimen alimentado por las lluvias de invierno y la fusión de las nieves en verano. Es en la época seca cuando la demanda de agua es mayor. Luego, las economías que se pueden obtener al manejar la nieve para un mayor rendimiento de agua pueden ser considerables.

* El 58% de la población está entre el río Aconcagua y el río Laja. Geografía Económica de Chile. CORFO. Chile. Tomo IV, Pág. 318.

2. Rehabilitación de áreas erosionadas

Uno de los problemas más graves que afronta el país es la erosión de sus tierras arables. El 61,1 por ciento está afectado por erosión moderada o severa (12), lo que corresponde a 18.870.000 há. A estas cifras hay que agregar todas aquellas áreas que al ser desprovistas de los bosques que las cubrían están sufriendo una erosión severa. Las áreas B, C, D y E pueden incluirse para realizar investigación respecto a problemas de erosión, ya que es en ellas donde ocurren principalmente las situaciones antes mencionadas.

En las áreas B y C, en especial en los faldeos de los cerros de la Cordillera de la Costa, se realizan cultivos de secano, para lo cual los suelos son roturados con las primeras lluvias invernales y así efectuar las siembras. Como consecuencia los suelos quedan desmenuzados y sin cubierta protectora contra la acción de la lluvia, lo que ayuda a que sean arrastradas grandes cantidades de suelos produciéndose cárcavas de consideración. Son estas áreas las que requieren de estudios pronto para solucionar un problema que no puede esperar.

En áreas D y E sucede algo semejante, pero a raíz de la eliminación del bosque con fines comerciales o para efectuar cultivos agrícolas. Este problema se repite en ambas cordilleras, trastornando las relaciones hídricas de equilibrio que allí existían. Las consecuencias está de más repetirlas.

Las investigaciones que se pueden realizar en estas áreas entre otras son: determinación de los efectos de diferentes tipos de estructuras en el control de las cárcavas; diseño de nuevas estructuras apli

cables; evaluar los efectos que producen en la conservación de los suelos ciertas prácticas silvícolas o cultivos agrícolas; elección de especies para la reforestación que cumplan con los objetivos que se tienen de la cuenca; estudios de efectos de las explotaciones forestales y las prácticas a seguir para conservar los suelos; y efectos del pastoreo - con sus diferentes intensidades sobre la degradación de los suelos.

3. Prevención de inundaciones

Chile no tiene grandes problemas de inundaciones como sucede con algunos ríos de la India, Pakistán o Estados Unidos. Pero normalmente en inviernos lluviosos se experimentan crecidas violentas de los ríos, en las cuales se inundan pequeñas extensiones, principalmente sectores ribereños. Con ello se provoca el arrastre de tierras arables y muchas veces de cultivos completos. Estos fenómenos se producen desde los primeros ríos con caudal más o menos regular en la parte norte y se hacen cada vez más extensivos hacia la zona sur, debido en gran parte a la tala de los bosques existentes en los cursos superiores.

Las áreas afectadas por los fenómenos descritos corresponden a B, C D y E principalmente y en ellas sería conveniente efectuar estudios tendientes a evitar o disminuir los problemas de crecidas esporádicas de las aguas de los ríos. Estos estudios se llevarían a cabo en los sectores de nacimiento o cursos superiores, por ser allí donde se presentan con mayor intensidad los efectos de los factores que influyen en el escurrimiento superficial. Las investigaciones que se pueden realizar en estas

áreas pueden ser entre otras: determinación del escurrimiento superficial con diferentes tipos de cubierta vegetal y con ello ubicar la que mejor absorba la precipitación; diseño y efectos de obras civiles para la contención de altos flujos o como medidas de protección; estudios destinados a interpretar la relación suelo, vegetación, agua; y predicción de crecidas en base a variables como superficie de captación de la precipitación, intensidad y duración de la precipitación, tipos de cubierta vegetal y pendientes.

4. Estudios sobre aludes

Chile no es un país que tenga mucha población en terrenos cubiertos de nieve la mayor parte del año y los problemas de aludes no constituyen peligro actualmente. Pero puede llegar a serlo en un futuro próximo por el desequilibrio provocado por el hombre al eliminar los obstáculos materiales que detienen el deslizamiento de masas de nieve. Estos obstáculos son los bosques, cuya eliminación puede llegar a un punto crítico en lugares donde la línea de las nieves es más baja, esto es en la región sur del país. Por consiguiente, sería conveniente establecer sitios de investigación sobre aludes en la parte sur del área F.

Los estudios a realizar pueden llevarse a cabo en dos sitios: sobre la línea de vegetación y bajo ella. En la primera se pueden estudiar las condiciones propicias para el desarrollo de aludes para luego determinar estructuras aptas, ya sea para evitarlas o proteger obras civiles ya establecidas. Bajo la línea vegetacional se puede estudiar la influencia de la vegetación arbórea en pendientes, en la estabilización de la nieve. Así mismo es conveniente determinar las formás más adecua-

das para alcanzar éxito en las plantaciones forestales azotadas por deslizamientos.

5. Investigaciones sobre neblinas

Las regiones adyacentes al océano en la parte norte del país reciben un poco más de precipitación que la parte interior del país debido a la gran humedad atmosférica provocada por las neblinas comunmente llamadas "camanchacas". Las capas de neblina reducen la absorción y emisión de radiación disminuyendo la evaporación. La precipitación proveniente de este tipo de fenómeno atmosférico llega a 0,8 mm lo que puede sostener alguna vegetación en condiciones especiales (52).

Aunque el área G, que corresponde a los sitios donde predominan neblinas, no presenta las relaciones características entre agua, suelo y vegetación de una cuenca hidrográfica, se ha incluido en este estudio por que posee un potencial que puede llegar a hacerlas coincidir. Para esta área se justifica realizar estudios destinados a la captación de aguas desde las neblinas, para permitir la implantación de alguna vegetación que mengue la aridez reinante. Y por qué no llegar a permitir cultivos agrícolas en terrenos aptos, que sólo les falta el agua?

Como una síntesis del esquema planteado para áreas de investigación y los estudios a realizar en ellas, se presenta un resumen en el cuadro 15 para dar una visión del conjunto.

CUADRO 15: RESUMEN DE ESTUDIOS A REALIZAR POR AREAS DE INVESTIGACION CHILE.

Tipos de estudios	Areas de investigación						
	A	B	C	D	E	F	G
Incremento de aguas	x	x	x			x	
Rehabilitación de áreas degradadas		x	x	x	x	x	
Prevención de inundaciones		x	x	x	x	x	
Aludes						x	
Investigación sobre neblinas							x

D. Cuencas piloto de experimentación

La utilización de cuencas piloto en la investigación sobre cuencas hidrográficas tiene como finalidad aplicar en pequeña escala ciertas técnicas y tratamientos destinados a lograr un objetivo propuesto. Con ello se hace una evaluación de sus resultados que permite analizar las posibilidades de una aplicación extensiva. Al mismo tiempo proporciona la información requerida para hacer una evaluación económica en base a los beneficios que se lograrán efectuando el tratamiento y los costos que ello implica.

Si se quiere definir una cuenca piloto, se puede decir que es el paso intermedio entre la investigación básica que se realiza para una cuen

ca y su aplicación a grandes áreas. Una cuenca piloto viene a corroborar o rechazar conclusiones obtenidas en los laboratorios como aplicables al terreno (83). En esta forma se modifican ciertas variables individualmente dentro de la cuenca y se constata su influencia con respecto a una cuenca control o alguna otra variable de la misma cuenca.

Al formular la necesidad de estudios en una cuenca piloto es necesario contestar a la pregunta de qué es lo que se quiere lograr de ella. Con la respuesta a esta pregunta se podrá planificar el proyecto de tal forma que se logre el objetivo deseado. Si se quiere contestar a varias preguntas en una misma cuenca posiblemente sus resultados serán conflictivos. Con un objetivo definido se puede llegar a la determinación de la superficie que debe permitir la aplicación de las técnicas deseadas y hacer practicable el trabajo. Cuencas piloto más grandes que lo necesario, hacen costosa la experimentación y mientras menor sea su tamaño hay mayores posibilidades de trabajar en terrenos privados (53).

Previo a comenzar con los tratamientos en una cuenca, se requiere contar con información básica referente a sus características hidrológicas y análisis de ellas. Esta información requiere del conocimiento de todos los factores que influyen, ya sea directa o indirectamente en el movimiento del agua en la cuenca. Entre ellos están: precipitación, absorción y almacenamiento de agua, vegetación y el flujo superficial del agua.

1. Precipitación

El conocimiento de la precipitación, cantidad, intensidad, tipo, frecuencia y duración es fundamental para muchos tipos de investigación como

son aquéllos referentes a manejo forestal, estudios de suelos o de fuentes de agua. En el caso que preocupa, la precipitación es la fuente de todo el ciclo hidrológico y la forma en que ésta ocurra influirá sobre el escurrimiento superficial y la vegetación que exista.

La precipitación no se puede medir en forma directa, sino a través de un sistema de muestras en la cuenca, para así estimar con el menor error posible la cantidad total caída en el área. Pero la determinación precisa de la precipitación en áreas de topografía accidentada, presenta varios problemas, siendo el efecto del viento uno de los más graves (31). Muchas veces es necesario hacer modificaciones a la información ya obtenida. La instrumentación usada para hacer las mediciones es la que se usa comúnmente en meteorología: pluviómetros totalizadores y pluviógrafos.

La localización y número de pluviómetros en una cuenca está determinado por el tipo de investigación que se quiera emprender y con ello la exactitud de las mediciones. En esta forma se constatará la variabilidad de la precipitación para encontrar el número de instrumentos y por las características del terreno, su ubicación. En un terreno relativamente plano la distribución de los pluviómetros será uniforme, no así en caso de terrenos accidentados. Como una aproximación general se propone el siguiente número de instrumentos por superficie (13).

CUADRO 16: NUMERO MÍNIMO DE PLUVIOMETROS POR SUPERFICIE SEGUN EL TAMAÑO DE LAS CUENCAS

Tamaño del área de drenaje (há)	No. mínimo de instrumentos
0 - 12	1
12 - 40	2
40 - 80	3
80 - 200	1 por cada 40 há
200 - 1000	1 por cada 100 há
1000 - 2000	1 por cada 2,5 Km ²
sobre 2000	1 por cada 7,5 Km ²

Fuente: Corbett, E.S. Measurement and estimation of precipitation on experimental watersheds. In Forest Hydrology. Edited by Soper and Lull. New York Pergamon Press. 1967. p. 119

Estudios realizados por Story y Wilm en 1944 (13) y Hamilton en 1954 (31), indican que se espera una mayor precisión de las mediciones realizadas en pluviómetros inclinados y orientados en forma normal a la pendiente. En esta forma Hamilton constató en mediciones de una cuenca de 40 há, que los 19 pluviómetros inclinados captaban un 15 por ciento más de precipitación que los 19 verticales. La ineficacia de estos últimos fue atribuida a la velocidad del viento que inclina la dirección de caída de la lluvia.

2. Absorción y almacenamiento del agua en el suelo

La capacidad de los suelos para absorber y almacenar el agua proveniente de la precipitación depende principalmente de la fisiografía, suelo, roca madre y vegetación. Se requiere determinar la capacidad del suelo de la cuenca para absorber el agua, las tasas de infiltración, el movimiento del agua en el suelo y napas freáticas.

La topografía y las características de suelos afectan los cursos de agua que pueda haber en la cuenca. La existencia de fracturas en la roca madre con un suelo permeable o de escaso espesor no permite un gran escurrimiento, yendo el agua de la precipitación a incrementar rápidamente las aguas subterráneas. Esto tiene como consecuencia un curso de agua poco regular. Si la roca madre fuera un manto continuo, se presentaría el caso contrario, es decir, cursos más o menos regulares.

Una deducción que se puede hacer de la permeabilidad de los suelos, es que mientras mayor sea la infiltración, menor será la disponibilidad de agua para las plantas y por ende la evapotranspiración será mínima y mayor la descarga de aguas subterráneas en las torrentes. El escurrimiento es elevado en suelos poco permeables, que junto con la pendiente en que se encuentren lo hará rápido, no permitiendo que la vegetación pierda por transpiración mucha agua.

Con los antecedentes que proporciona un estudio detallado de suelos y geología de la cuenca se sabrá qué factores que influyen en el escurrimiento pueden ser controlados por el hombre y las acciones para hacerlo. En igual forma se puede determinar cuáles serán los alcances de las medidas a tomar.

3. Inventario hidrológico de la vegetación

Aunque la vegetación es parte importante de los procesos de absorción y almacenamiento de agua en el suelo, se considera aparte por el hecho de que es el medio principal que tiene el hombre para controlar los procesos hidrológicos de la cuenca.

En primer término se requiere conocer cuál es el tipo de vegetación que existe en la cuenca, su densidad y altura. Con ello se comprenderá - cuál es la cantidad aproximada de humedad perdida por intercepción de la precipitación. Así mismo la influencia que ésta tiene sobre la acción del viento en el piso inferior. Si la vegetación forma varios estratos, su acción será diferente que si sólo hay uno. Lo mismo ocurrirá con la influencia de arbustos que diferirá bastante de tan sólo una cubierta de pastos. Y aún cabe notar que dentro de un estrato arbóreo, la acción de una latifoliada será distinta, en algunos casos, de las coníferas.

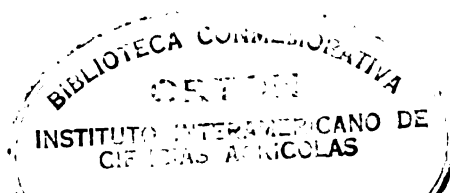
El conocimiento de la masa y superficies vegetales expuestas al aire y su distribución, determinarán la cantidad de energía solar absorbida y reflejada a la atmósfera, como así mismo la eficacia de esta masa para detener la acción del viento. La masa vegetal que se ha medido es un reflejo de la humedad disponible en la zona radicular y la cantidad de agua utilizada por ella. Igualmente se puede indicar que esta masa vegetal visible, es un reflejo de ciertas características de sistemas de raíces y producción de materia orgánica y cómo estos aspectos influyen en la estructura del suelo afectando la capacidad de almacenamiento de agua, infiltración, estabilidad del suelo y productividad.

4. Medición del escurrimiento

La medición del escurrimiento se realiza en la parte baja de la cuenca y por su salida natural. Tiene como objetivo obtener una continua medición de la cantidad de agua producida por la cuenca, o bien conocer los máximos y mínimos flujos. Normalmente se calibran dos o más subcuencas para determinar los efectos de los tratamientos a realizar. Las mediciones se llevan a cabo con la utilización de vertederos o canales de aforo, según sea el volumen de agua.

Para la ubicación de estas estaciones de medición, es necesario considerar varios factores (61), como son la existencia de un estrato impermeable, la pendiente del cauce, la presencia de un cauce recto, características de las orillas y profundidad del cauce, topografía drenaje en el sitio y accesibilidad.

La existencia de un lugar impermeable para ubicar la estación, es importante a considerar para evitar las posibles filtraciones que desvirtuarán la medición. La pendiente del lugar no debe ser ni muy grande ni muy pequeña, por exigencias de tipo hidráulico de las estaciones, sucediendo lo mismo en el caso de la rectitud del cauce. Tanto profundidad del cauce como ancho entre orillas del mismo, gobiernan la envergadura de la obra y la posibilidad del sitio para medir los altos flujos de agua. Por último, la accesibilidad muchas veces es el factor determinante en la elección del lugar de aforo, ya que la dificultad con que se transportan los materiales de construcción implica un costo que se debe justificar.



Una estación de aforo cuenta con dos partes: una estructura que controla el paso del agua y un instrumento medidor del nivel de la misma. En líneas generales se puede indicar la existencia de vertederos y canales de aforo, habiendo una gran variedad dentro de ellos, según sea su ubicación y volúmenes de agua a medir.

Los vertederos constan de un dique que tiene como objetivo aquietar el movimiento del agua y una salida cuyas formas son variables. Los hay de salida rectangular, trapezoidal, circular o parabólica. El agua puede pasar directamente sobre el muro de salida (broad-crested weir) o sobre una hoja metálica que proporcione la menor superficie de contacto con el agua (sharp-crested weir) (ver figura 10). Cada uno de estos tipos ha si-



Figura 10: Diagramas esquemáticos de dos tipos de salida de estaciones de aforo (broad-crested weir y sharp-crested weir).

do calibrado previamente en pruebas de laboratorio, para determinar, en base a la altura del agua sobre el dique, el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo. Cada tipo de vertedero tiene una ecuación en que:

$$Q = f(H) \quad \text{De donde:}$$

Q = Gasto por unidad de tiempo.

H = Altura del agua sobre el vertedero.

Los canales de aforo son usados en lugares de pendiente suave o en aquéllos donde las aguas arrastran muchos sedimentos, impidiendo la utilización de un dique que aquiete las aguas. El canal de aforo es una estructura que canaliza las aguas sobre una sección conocida. Al igual que en los vertederos la altura del agua medida da el volumen que pasa por unidad de tiempo. Hay diferentes formas determinadas por la medición de gastos máximos y mínimos.

La elección de una estación de aforo para la cuenca depende de factores como flujos máximos y mínimos, sedimentos suspendidos en el agua, gradiente del cauce, disponibilidades económicas y duración del estudio. El cuadro 17 da una idea de los tipos de vertederos y canales de aforo usados para flujos máximos y mínimos.

El segundo componente de una estación de aforo lo forman el instrumento y su instalación para efectuar la medición del nivel de agua que pasa sobre el vertedero o canal de aforo. El instrumento va instalado en una caseta ubicada sobre un pozo cavado junto a la corriente de agua y comunicado con ésta por medio de uno o dos tubos. En esta forma se lo

CUADRO 17: DESCARGAS MAXIMAS Y MINIMAS PARA VARIOS TIPOS DE VERTEDEROS Y CANALES DE AFORO. GASTO EXPRESADO EN LITROS POR SEGUNDO

VERTEDEROS		
Tipos	Gasto mínimo	Gasto máximo
Sharp-crested weirs:		
60 cm de altura, salida en V 90°	0,03	400
60 cm de altura, salida en V 120°	0,03	600
60 cm x 180 cm, salida rectangular	6	1.600
83 cm x 240 cm, salida trapezoidal	8	3.500
120 cm x 360 cm, salida trapezoidal	13	9.200
Broad-crested weirs:		
Salida triangular, pendiente de lados 2:1	0,28	14.200
Salida triangular, pendiente de lados 3:1	0,7	24.000
Salida triangular, pendiente de lados 5:1	1	
CANALES DE AFORO		
Rectangulares:		
30 cm x 75 cm	11	450
60 cm x 75 cm	20	950
120 cm x 75 cm	37	1.900
240 cm x 75 cm	130	4.000
Trapezoidal:		
30 cm de ancho en la base por 120 cm de alto. Lados con pendiente de 120°.	4	10.000

Fuente: Reinhart, K.G. and Pierce, R.S. Stream-gaging stations for research on small watersheds. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 268. 1964. p. 11.

gra el mismo nivel del agua dentro del pozo que en la salida del vertedero o canal de aforo, permitiendo la acción del flotador del instrumento que transmite el nivel a un gráfico del mismo. La figura 11 da una visión de esta instalación.

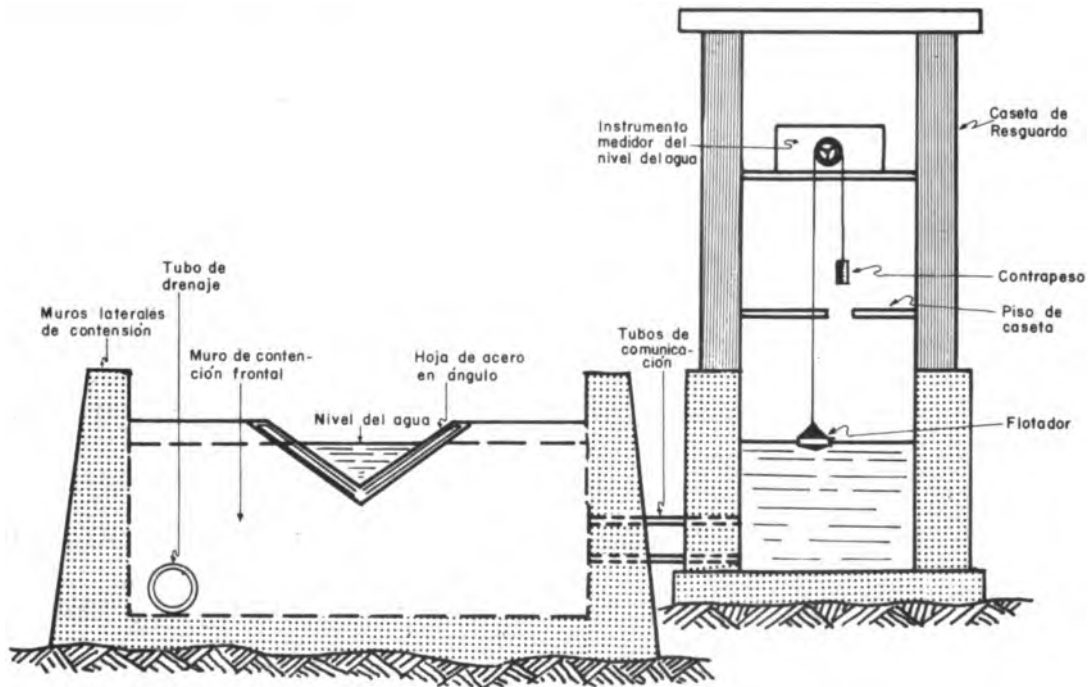


Figura 11: Vista de frente de un vertedero con su instrumento e instalación.

Antes de un estudio, es necesario calibrar dos cuencas pequeñas de condiciones homogéneas, es decir similares elevaciones, exposición, clima y suelos. Normalmente son dos subcuencas paralelas de una mayor. En el período de calibración se toman medidas de gasto medio, máximo y mínimo, sedimentación y calidad del agua producida. Con esta información de ambas subcuencas, se establece una regresión de las características del gasto de una con respecto a la otra. Posterior al período de calibración una de las cuencas es tratada de acuerdo a los objetivos que se

tengan y la comparación de los resultados con respecto a la control (sin tratar) permitirá evaluar los efectos logrados.

Otra forma de llevar a cabo este período de calibración es por medio de la determinación de una regresión entre el gasto del curso de agua y alguna variable climática como precipitación. Los efectos del tratamiento seguido se logran comparando los valores precipitación-gasto con los del período de calibración (53).

Es conveniente contar, por lo menos, con una estación climatológica ubicada en la parte más representativa de las condiciones promedias de la cuenca. En ella se tomarán mediciones de la radiación solar, velocidad del viento y sus direcciones, evaporación, temperaturas máximas y mínimas, humedad ambiental y precipitación. Todas estas mediciones ayudan a comprender las interrelaciones entre los factores que influyen en el ciclo hidrológico y determinar la forma de actuar sobre ellos.

Una cuenca piloto permite, a la vez que conocer los resultados físicos de los tratamientos aplicados, determinar la factibilidad económica de ellos. Se podrán comparar los diferentes métodos aplicados para conseguir un objetivo específico y elegir el más eficiente económicamente. Un ejemplo de estos estudios de alternativas es la determinación de un sistema a utilizar en el tratamiento de la vegetación para obtener mayor cantidad de agua de la cuenca. En él se puede evaluar si es conveniente eliminar la vegetación por medios mecánicos o químicos, o quizás a través de una combinación de estos dos sistemas.

E. Desarrollo de la investigación

Ya determinadas las áreas del país donde posiblemente se encontrarán problemas como falta de agua, erosión, inundaciones o aludes y hechas las recomendaciones de algunas investigaciones que se pueden realizar, queda por analizar la forma en que se emprenderá la actividad de la investigación en cuencas hidrográficas en Chile. Para ello es necesario conocer cual es la forma ideal de desarrollar la investigación con todos sus requerimientos materiales y de personal, llegando luego a adoptar esta situación a las limitaciones que con toda seguridad se encontrarán en el país. Estas limitaciones son por ejemplo disponibilidades monetarias, problemas de mayor urgencia nacional que otros y falta de un número adecuado de personal especializado. En esta forma se puede llegar a formular una secuencia de desarrollo factible de la investigación sobre cuencas hidrográficas.

1. El caso sin limitaciones

El caso sin limitaciones correspondería a aquel país que al ser afectado por problemas ocasionados por la falta de manejo adecuado de sus cuencas hidrográficas, puede afrontarlo sin limitaciones de ninguna especie. Es decir tiene la voluntad de hacerlo, cuenta con suficiente dinero para afrontar las inversiones requeridas, dispone del personal especializado necesario y de una institución que pueda dirigirlo y ejecutarlo. Por otra parte, se reconocen las diferentes áreas del país en

que habiendo problemas, muchas veces semejantes, su solución puede requerir de medidas diferentes. De lo que se concluye que cada una de estas áreas tiene que ser base para la investigación.

El desarrollo de la investigación en cuencas tiene una limitante que es el factor tiempo. Aunque se cuente con todos los medios materiales y el personal requerido, es necesario pasar etapas previas a la investigación propiamente tal, sin las cuales esta última no se puede realizar científicamente. Es conveniente destacar que la investigación en cuencas es una labor de largo aliento, necesitándose muchas veces más de diez años para contar con la solución de problemas específicos y poder aplicar sus resultados en forma extensiva. Por consiguiente se expondrán las diferentes etapas por las que debe pasar este tipo de investigación, en una forma ideal como la planteada, es decir sin ningún tipo de obstáculos materiales.

a. Elección de sitios e instrumentación para cuencas

Para la evaluación de los resultados que se obtengan de los tratamientos aplicados a las cuencas, es necesario conocer en detalle los flujos de agua que producen previamente. Para ello se debe contar con el sitio que mejor sirva como cuenca piloto y la elección de los equipos más convenientes para cada caso. Este período puede tomar fácilmente de tres a cuatro años, según sean las disponibilidades de personal y la facilidad de adquisición del equipo instrumental.

La elección de una cuenca piloto requiere de estudios de fotografías aéreas y de trabajo de campo para comprobar la factibilidad de instalación. En ellos se determinarán las facilidades de acceso, fuentes de materiales de construcción y el sitio adecuado donde instalar la estación de aforo. Todos estos aspectos llevan a la formulación de un presupuesto de instalación y operación que muchas veces puede ser el factor decisivo para la aceptación o rechazo del sitio.

b. Instalación y calibración de cuencas piloto

Elegidos los sitios para la instalación de la cuenca piloto y adquirido el instrumental necesario para la calibración, se comienza con la instalación. Este período alcanza a dos o tres meses, pero varía según las características del sitio elegido.

Luego viene el período de calibración de la cuenca, que para trabajos de investigación dura de seis a nueve años. Esto hace pensar en la necesidad de tener en calibración una cuenca por cada área de investigación, aunque en el momento no se presenten problemas. En esta forma, llegando el momento de la investigación, se comienza con el inventario hidrológico y después aplicar los tratamientos requeridos sin tener que esperar algunos años. Teniendo cuencas en calibración no importa que los tratamientos demoren en ser aplicados, ya que mientras mayor es el número de años en que se realice, son menores las posibilidades de cometer errores en la interpretación de los resultados.

c. Investigación y personal

Como se trata de un caso en que no hay limitaciones de tipo material ni humano, se supone que existe el personal científico indicado no requiriéndose su preparación previa. En esta forma se podría contar con científicos especializados en cada tipo de investigación, como sería el caso de un grupo de investigadores en prevención de inundaciones, rehabilitación de áreas erosionadas u otros. Cada equipo se preocuparía de su tipo de investigación en cada una de las áreas en que se ha dividido el país. El personal científico tendría que entrar a ejercer sus funciones una vez terminado el período de calibración. Antes de esta etapa solo habría un pequeño equipo encargado de las líneas de estudio a seguir y presupuestos futuros para proyectos de investigación.

d. Resultados y aplicación

En la medida que se avance en la investigación se irán obteniendo resultados de los diferentes proyectos emprendidos, debiendo pasar por una evaluación que indique la factibilidad de aplicación en la solución de problemas específicos. Sean positivos o negativos los resultados, éstos pueden publicarse para que sean de conocimiento general y así cada persona interesada pueda sacar sus propias conclusiones. Por otra parte, los resultados positivos obtenidos pueden ser aplicados en forma extensiva en proyectos de desarrollo regional con el asesoramiento de los científicos que han tenido a cargo la investigación.

Paralelamente con la investigación se irán estudiando nuevos proyectos, nuevas áreas donde actuar y las futuras líneas de investigación deberán adelantarse a los problemas que se presentarán. Como ejemplo puede citarse el problema de suministro de agua que se presentará al llevar a cabo un plan de desarrollo industrial a diez años plazo en un sector cuyas disponibilidades de agua son limitadas. Por consiguiente, la investigación tenderá a buscar solución al problema en los primeros cinco años, para que llegado al décimo año exista suficiente suministro.

2. El caso de Chile

Chile, como cualquier otro país, dista mucho de estar en un caso ideal, con los agravantes que presentan las características de países en desarrollo. Por ejemplo, se encuentran limitaciones de capital, falta de personal especializado en el campo del manejo de cuencas hidrográficas y problemas graves que resolver. En estas condiciones la forma de acometer la investigación deberá seguir las mismas líneas de un país sin limitaciones, pero con las variaciones que lleven a salvar los obstáculos que se presenten. En esta forma habrá que identificar un organismo que se encargue de la investigación, seleccionar áreas que tengan problemas y cuya solución sea más apremiante, buscar asesoría técnica para iniciar las actividades y preparar especialistas para el desarrollo de la investigación.

Para iniciar la investigación en Chile, se requiere de un organismo que se encargue de ello. Puede ser una o más instituciones ya establecidas o bien crear un nuevo organismo dotado de las características para que

desarrolle en forma eficaz su actividad. Este punto será discutido en el próximo capítulo, y aquí se dará por cierto que un organismo va a plnificar y ejecutar la investigación. Como el desarrollo de cuencas piloto en todas las áreas descritas para Chile es muy difícil de alcanzar, dado su alto costo, se comenzará por indicar la selección de áreas prioritarias y las formas en que se afrontarán las deficiencias de personal en cada una de las etapas de la investigación.

a. Elección de sitios e instrumentación para cuencas piloto

Como ya se indicó, el caso ideal es la elección de una cuenca piloto para cada área de investigación del país. Al resultar ésto muy oneroso, se tendrá que elegir entre aquéllas áreas que presenten los mayores problemas y cuya solución sea requerida con urgencia. Ante esta alternativa se supondrá que se han elegido dos áreas, instalándose una cuenca piloto en cada una de ellas. Pero ya en esta elección se encuentra el problema de la falta de personal especializado que ayude al escazo que pueda haber en el país. Por consiguiente, sería conveniente acudir a una institución internacional para que proporcione los técnicos necesarios para la selección del lugar, elección del equipo y diseño de instalaciones. Esta ayuda podría durar de dos a tres años, hasta que las cuencas estén en período de calibración. Junto con esta ayuda, el personal nacional que trabaje con ellos habrá adquirido ciertos conocimientos.

b. Instalación y calibración de cuencas piloto

En cada una de las dos cuencas seleccionadas se procederá a hacer las instalaciones del equipo diseñado y adquirido previamente, lo que se hará con la ayuda de técnicos extranjeros proporcionados por un organismo internacional. Luego de la instalación de las cuencas comienza el período de calibración, que dura de seis a nueve años, al final de los cuales comienza la investigación propiamente tal. Durante el período de calibración será necesario solucionar los problemas que se presentan tanto con el inventario de las cuencas, como cuando llegue el momento de iniciar la investigación, problemas que se traducen en falta de personal.

c. Investigación y personal

El lapso que corresponde al período de calibración deberá ocuparse principalmente en la formación del futuro personal profesional que realizará la investigación. Para ello será necesario fomentar los estudios en el extranjero, a nivel de post-grado, de profesionales nacionales de las especialidades que se requieran. Este tipo de estudio toma de dos a cinco años, pudiéndose formar un equipo competente para iniciar la investigación al cabo de seis años de calibración. Paralelamente, la Universidad debiera fomentar cursos de nivel universitario que proporcione los técnicos de preparación intermedia que sean necesarios. Al cabo de dos o tres años comenzarán a volver al país los primeros es-

pecializados, los que podrán cooperar con la universidad dictando materias de su dominio.

Al segundo o tercer año de calibración se necesitará iniciar el inventario hidrológico de las cuencas, para lo cual se puede recurrir a la cooperación de algunas facultades universitarias para que proporcionen profesionales que se puedan hacer cargo de esta etapa. Ello puede demorar dos años ya que no es urgente su desarrollo. Finalmente, el Jefe de Investigación, que estará a cargo del programa, con la ayuda del personal ya formado ha delineado los proyectos futuros de investigación habiendo sido asignados a cada investigador para su inicio en el séptimo año. La etapa de resultados y aplicación sigue la forma del caso de un país sin limitaciones.

d. Secuencia de desarrollo de la investigación

Con el fin de dar una clara impresión de los pasos que se pueden seguir para el desarrollo de la investigación en cuencas hidrográficas en Chile, se presentan los diferentes proyectos en cada año y las actividades que se realizan en cada uno de ellos.

AÑO	PROYECTO	ACTIVIDADES
1	a. Formación de un organismo encargado de la <u>investiga</u> ción.	Planificar y ejecutar la futura investigación sobre cuencas.
	b. Cooperación de organismo internacional.	Ayudar a proyectar e instalar cuencas piloto

AÑO	PROYECTO	ACTIVIDADES
	c. Elección de áreas y lugares adecuados para la instalación de cuenca piloto.	Estudiar las posibles alternativas de ubicación, evaluarlas y elegir las mejores.
	d. Determinación del equipo y diseño de las instalaciones.	Buscar el instrumental apropiado para cada caso, diseñar estaciones de aforo, presupuestos.
2	a. Instalación de las cuencas piloto.	Instalación de instrumental y construcción de estaciones de aforo.
	b. Calibración.	Se inicia el período de calibración. Recolección de datos y procesamiento.
	c. Fomento de especialistas.	Profesionales nacionales comienzan estudios de postgrado en el extranjero.
3	a. Segundo año de calibración.	Recopilación y procesamiento de datos.
	b. Cooperación con Universidad para que proporcione algunos profesionales.	Hacer inventario hidrológico de las cuencas.
	c. Fomentar estudios a nivel universitario.	Universidad dicte cursos que proporcionen técnicos de nivel intermedio.
4	a. Tercer año de calibración.	Recopilación y procesamiento de datos.
	b. Sigue cooperación de Universidad proporcionando profesionales.	Inventario hidrológico de cuencas.

AÑO	PROYECTO	ACTIVIDADES
5	a. Cuarto año de calibración.	Recopilación y procesamiento de datos.
	b. Regreso de primeros especialistas en el extranjero.	Inventarios hidrológicos y dictar algunas materias en la Universidad.
6	a. Quinto año de calibración.	Recopilación y procesamiento de datos.
	b. Futuras líneas de investigación.	Planear los proyectos de mayor prioridad que se desarrollarán y los presupuestos que ello implica.
	c. Asignación de proyectos específicos.	Especialistas comienzan estudios para desarrollar sus proyectos.
7	a. Séptimo año de calibración.	Recopilación y procesamiento de datos.
	b. Inicio de investigación.	Se comienza el normal desarrollo de las actividades del Organismo de investigación.

Se ha explicado sin mayores detalles los pasos que sería necesario seguir para desarrollar un programa de investigación sobre cuencas hidrográficas en Chile. Se ha destacado la existencia de ciertos aspectos a considerar y como enfrentarlos. Estos son: cuencas piloto con sus instalaciones, calibración e inventarios; personal técnico necesario a dos niveles de preparación y la forma como se podría obtenerlo; el tiempo que to

ma iniciar las investigaciones propiamente dichas y la obtención de resultados; y la selección de áreas prioritarias por sus problemas y la urgencia de solución de acuerdo a las posibilidades nacionales. Queda por tratar los aspectos organizativos para llevar a cabo esta investigación, como así mismo la calidad de personal y una estimación del monto de la inversión que se realizará.

CAPITULO CUARTO

ORGANISMO PARA LA INVESTIGACION SOBRE CUENCAS HIDROGRAFICAS

Conocida la necesidad de realizar investigación para manejar las cuencas hidrográficas, aparece el problema de quién la llevará a cabo. En este capítulo se presentará un esquema de una de las formas en que se podría realizar la investigación sobre cuencas hidrográficas en Chile. Se verá la necesidad de hacerlo en dos etapas: una por medio del convencimiento de las instituciones que están relacionadas con este campo, de los beneficios que obtendrían al hacer investigación en cuencas; y otra a través de la formación de un organismo de investigación que cuente con la participación del mayor número posible de estas instituciones. De la segunda etapa, o sea la creación del Organismo, se indicará una organización, que se cree es la que permite en mejor forma el desarrollo de un trabajo de este tipo, los materiales y presupuestos requeridos para la instalación de una cuenca piloto y el primer año de investigación. Cabe señalar que no se incluirá el número de científicos necesarios para el funcionamiento del Organismo ni su calidad, ya que ello dependerá de las líneas de investigación que se consideren y las prioridades que se tengan, como así mismo la intensidad con que se quieran emprender.

Un buen ejemplo de como se lleva a cabo la investigación en este campo es el dado por Estados Unidos. Allí la organización encargada es el Servicio Forestal, que dentro de su estructura general tiene una

sección destinada a la investigación y entre otras una subdivisión de cuencas hidrográficas. Aunque no es la única institución en el país que realiza investigación en este campo, no hay duplicación de trabajo debido a la coordinación que existe a nivel gubernamental. En esta forma se investigan problemas actuales que necesitan ser solucionados porque afectan o afectarán alguna actividad de la nación.

A. Convencimiento de las instituciones

En el caso de Chile, como de cualquier país en desarrollo en que existe escasez de dinero, la investigación es pospuesta por otras inversiones que tienden a solucionar problemas que inciden en el bienestar inmediato. Por este motivo ninguna institución, pública o privada, hará inversiones en investigación si no está plenamente convencida que ello le reportará beneficios extras o disminuirá sus costos actuales. Luego, para desarrollar la investigación tendrá que existir primeramente una etapa de convencimiento a instituciones, tanto públicas como privadas de estos beneficios extras que obtendrán. La forma de llevarlo a cabo es por medio de demostraciones a través de una cuenca piloto y con estudios básicos, como sería encuestar empresas para conocer los costos atribuidos a la falta de manejo de las cuencas hidrográficas. En esta forma se les puede representar un estudio de costo y beneficio de lo que reportaría la investigación.

La Universidad es la más indicada para llevar a efecto esta primera etapa por medio de su especialidad de Ingeniería Forestal. Estos profe-

sionales cuentan con los conocimientos básicos indispensables en cuanto a hidrología y relaciones entre suelo, planta y agua. Así mismo, en un futuro próximo tendrán conocimientos sobre manejo de cuencas hidrográficas. Normalmente la mayoría de las acciones que toma el hombre en las cuencas es a través de la manipulación de la vegetación y es sobre la vegetación arbórea donde se encuentran las mayores respuestas a las intervenciones.

Pero ésta no es una tarea fácil debido a la falta de recursos que adolece la Universidad y por ser este tipo de investigación de costos un tanto elevados por las instalaciones y equipos que se requieren. Por otra parte, la Universidad cuenta con personal científico apto para emprender este tipo de estudios y con alumnos, que previamente entrenados en la materia, realizan sus trabajos de investigación en este campo como parte de los requisitos para optar a sus títulos.

Los problemas que aquejen a diferentes sectores del país se verán reflejados en instituciones públicas, de cuya preocupación nacerán temas de investigación. En un comienzo la Universidad puede hacer estas investigaciones por medio de contratos en los cuales la institución afectada cubra los costos que ello implique, poniendo la primera su personal y los medios con que cuenta. Esta forma de hacer investigación favorecerá a uno con la solución de sus problemas y a otro por la mejor preparación de sus estudiantes en el campo del manejo de cuencas, debido a los nuevos conocimientos que se logren y al entrenamiento que adquirirán al realizar trabajos prácticos. Esto servirá como ejemplo para otras instituciones ayudando al mismo tiempo a superar esta etapa de convencimiento.

Superada la primera etapa, o sea una vez que las instituciones tomen conciencia de la importancia de la investigación en este campo, será necesario que un organismo especializado se preocupe de estos estudios. Actualmente existen en Chile varias instituciones que pueden desarrollar esta investigación por tener estrecha relación con problemas en que incide el manejo de cuencas hidrográficas. En esta forma se pueden presentar entre otras las siguientes alternativas para investigar en cuencas:

- Seleccionar un solo organismo existente para que lleve a cabo esta tarea.
- Cada institución afectada por problemas investigue en lo que le concierna.
- Formar una institución autónoma para cada área de investigación del país.
- Crear un organismo especializado para este tipo de investigación.

Desde una posición idealista, se estima que no interesa quien investigue en el país, siempre que se haga en la forma más eficiente posible y abarcando todos los campos que se requiera. Pero la falta de comunicación entre las instituciones afines en Chile, en lo que a investigación se refiere hace resaltar la necesidad de la creación de un organismo único.

B. Creación de un Organismo

Teniendo en cuenta la magnitud del problema del manejo de cuencas en Chile, es razonable suponer que el convencimiento de las instituciones nacionales de la necesidad de investigación sucederá en un corto plazo. La

topografía del país y los innumerables cursos de agua que lo surcan de cordillera a mar afectan a la casi totalidad de las actividades productivas, ya sea directa o indirectamente.

Se puede decir que la forma más expedita para realizar la investigación propuesta es a través de un organismo creado especialmente con este fin. Por otra parte, entregar esta investigación a solo una institución se corre el riesgo de que esta se realice sólo hacia los intereses que ella tenga, dejando a grandes sectores desprovistos de los conocimientos necesarios para solucionar sus problemas.

La creación de un organismo para la investigación puede llevarse a efecto con la participación de todas aquellas instituciones afectadas directa o indirectamente por el problema de la falta del manejo de las cuencas hidrográficas. La idea es ir a la formación de un organismo con el aporte de los fondos regulares que cada una de ellas tendrían destinado para este tipo de investigación.

1. Justificación de la creación del organismo

Un organismo creado en la forma ya indicada, cuyos aspectos legales corresponde estudiarlos para darle estabilidad suficiente para el logro de sus objetivos, tiene las ventajas que se indican:

- Recursos. Se lograrán los recursos financieros necesarios sin cargar el presupuesto de la nación, sólo coordinando actividades que actualmente realizan aisladamente algunas instituciones.

- Coordinación. Al coordinar los esfuerzos aislados que realiza cada institución se lograrán resultados a costos inferiores de los que se obtendrían si cada una lo hiciera aisladamente al evitar posibles duplicaciones.

- Eficiencia. Al tener un organismo sólo destinado a la investigación se logrará una alta especialización que redundará en mayor conocimiento de los problemas nacionales, en mejores trabajos y costos inferiores.

- Autonomía. Un organismo formado en la forma ya indicada tendrá la suficiente autonomía para desarrollar los estudios que se requieran en la forma más expedita y al estar representado el mayor número de instituciones posibles se abarcará al máximo los problemas que puedan afectar al país.

2. Organización

La creación de una organización destinada a la investigación sobre cuencas hidrográficas, basada en todas aquellas instituciones relacionadas con este campo, tiene por finalidad, además de las ya indicadas, lograr un mejor equipamiento personal y material, como así mismo tener los recursos financieros que permitan un normal desarrollo de la actividad. Entre otras instituciones que pueden formar parte de este organismo estarían: Corporación de Fomento de la Producción, Empresa Nacional de Electricidad, Escuelas de Ingeniería Forestal, División Forestal del Servicio Agrícola y Ganadero, Corporación Chilena de la Madera, Ministerio de Obras Públicas y Compañía de Agua Potable.

El organismo estaría dirigido por un Consejo formado por un representante de cada una de las instituciones, el que estipularía un fondo monetario para su funcionamiento y al mismo tiempo indicaría las asignaciones a cada una de estas instituciones. La política y líneas de investigación estarían dadas por este Consejo y del cual formarían parte el Jefe de Investigación del Organismo. Este grupo tendría reuniones periódicas para tomar cuenta del estado de las investigaciones, discutir las nuevas líneas a emprender y tratar sobre los presupuestos indispensables para el logro de las metas fijadas.

En un segundo nivel estaría el Jefe de Investigación o como quiera llamársele y sería designado por el Consejo. Tendría por funciones justificar los fondos necesarios para los diferentes proyectos a emprender, velar por el desempeño de las actividades del grupo de investigadores bajo su mando, como así mismo estar en contacto con los diferentes sectores del país para interiorizarse en los problemas existentes en el campo del manejo de cuencas. Este aspecto es fundamental, ya que debería presentar ante el Consejo las líneas a seguir en futuras investigaciones, el cual las aprobaría.

En un tercer nivel de este esquema, o sea bajo el Jefe de Investigación, estarán los profesionales responsables de los diferentes proyectos que se realicen. En un cuarto nivel estarán todos los profesionales que cooperan en los distintos campos de la investigación, según sea la especialidad que el proyecto requiera. Es recomendable que estos profesionales al trabajar en más de un proyecto simultáneamente lo hagan bajo un

mismo Jefe de Proyecto, con el fin de evitar eludir responsabilidades.

En un quinto nivel se encuentra el personal técnico que realice entre otras cosas trabajos de terreno, recopilación de datos y tabulación de los mismos. Este personal sería distribuido en los diferentes proyectos de tal forma que no se entorpezca el normal desarrollo de las actividades. Así un técnico podría pertenecer a más de un proyecto, siempre que tenga la facilidad para hacerlo, como sería el caso de un recopilador de información proveniente de dos o más cuencas que pertenezcan a diferentes proyectos. Cabría incluir directamente bajo el Jefe de Investigación una Oficina Administrativa que se encargaría de trabajos de publicaciones de los resultados de las investigaciones además de los aspectos propios de una oficina de este tipo.

Un organigrama preliminar de la estructura de este organismo sería el que se presenta en la figura 12.

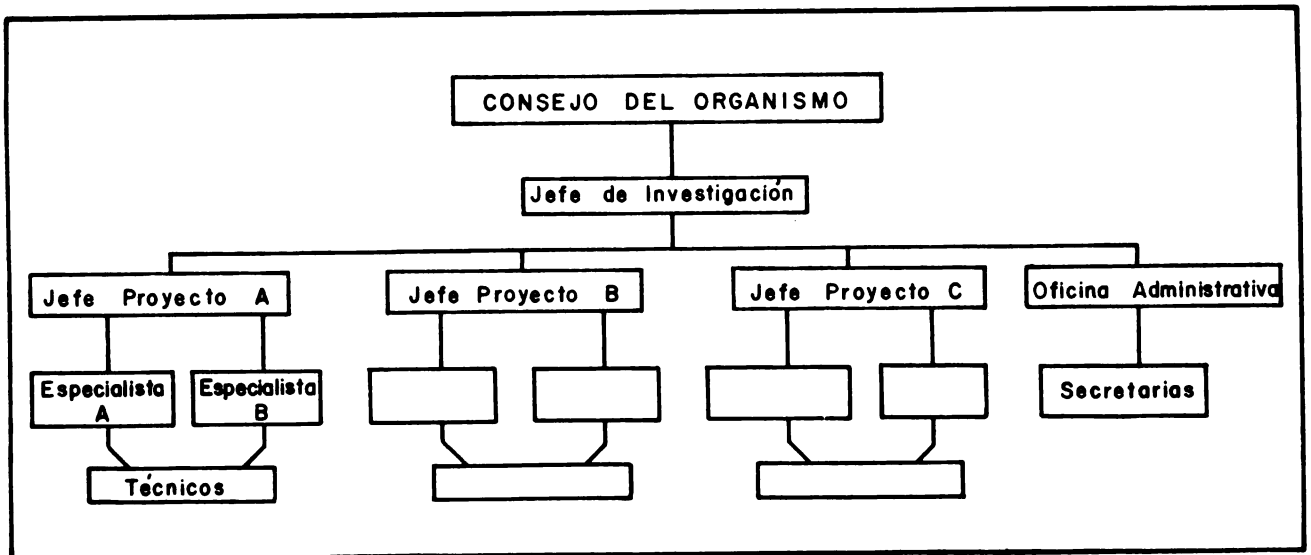


Figura 12: Organigrama de la estructura administrativa del organismo propuesto.

3. Origen de los proyectos

El Consejo plantearía las líneas generales de investigación y el Jefe de Investigación propondría los temas específicos a tratar, luego de visualizar los problemas que se presenten y seleccionar aquéllos que requieran de una urgente solución. Presentaría ante el Consejo una ex explicación del problema y los motivos que lo han llevado a seleccionarlo, indicando prioridades dentro de la urgencia de solución. Una vez identificados y aprobados los temas, presentaría el proyecto en detalle con los requerimientos materiales y el presupuesto necesario para realizarlo.

4. Tipos de proyectos

Los diferentes tipos de proyectos a realizar estarían determinados por personas o instituciones que participen en él. Esto quiere decir que el Organismo podría realizar proyectos individualmente, con otras personas o instituciones o contratar estudios especializados con terceras personas. En esta forma se tendría:

a. Proyectos propios

En este grupo se incluirían todos aquellos proyectos realizados por investigadores del Organismo y con los fondos del mismo. Estos han seguido el proceso normal de las actividades y se generan en la forma ya vista.

b. Proyectos cooperativos

El Organismo podría incluir dentro de sus proyectos de investigación temas que sean de interés de otras instituciones o personas y que estén de acuerdo a las líneas trazadas por el Consejo. El financiamiento del proyecto sería realizado en parte por los terceros contratantes y por el propio Organismo. Es deseable que se haga esta división de los costos para evitar contratiempos en caso de que el contratante no pueda continuar o desista del proyecto en algún momento. Sería conveniente que los resultados de la investigación llevada en esta forma, sean tanto de propiedad del Organismo como del contratante y así puedan ser publicados y de uso general.

c. Proyectos contratados

Hay casos en que para realizar un proyecto determinado, se necesitan informaciones que el Organismo no puede obtener por ser de un tema no relacionado directamente o que su solución implicaría un costo mayor que contratarlo. En caso como este se podrían efectuar contratos con otras instituciones o personas para que realicen un determinado trabajo de investigación. También se justificaría en casos en que el tiempo a emplear en una investigación fuera excesivo, lo que traería un trastorno para cumplir con la programación de las actividades. Este tipo de proyecto debe cumplir con los mismos requisitos que el punto anterior en cuanto a la propiedad de él, es decir, debe ser de uso público todo lo que de él devenga.

5. Líneas de comunicación

Una vez aprobado por el Consejo la materia a investigar, el Jefe de Investigación lo pasará al Jefe de Proyecto cuya especialidad tenga relación con el problema. Este lo analizaría y plantearía las líneas de acción a seguir, considerando prioridades para estudios parciales requeridos y el tiempo que tomaría. También debería indicar el personal que se requiere, materiales y cooperación con otra institución o persona si fuera necesario. Así mismo presentaría un presupuesto detallado para cumplir con las metas que se ha trazado. Este plan de acción sería presentado al Consejo por el Jefe de Investigación para su aprobación. En esta forma el Consejo proporcionaría los medios necesarios para desarrollarlo.

Luego de la aprobación definitiva del proyecto, el Jefe responsable de él distribuiría los estudios parciales a realizar dentro del grupo de investigadores que requiera, los que presentarían un plan de trabajo para acometerlo. Esto último tiene como fin facilitar la acción del mismo investigador, siendo un medio de control de los trabajos que se realizan y permitiendo conocer a terceros las líneas que se siguen en su ejecución.

Cada investigador debería publicar sus trabajos al finalizarlo. Si éste no ocurriera por ser de larga duración, debería hacer una publicación interna del estado de su trabajo, lo que permitiría conocer los niveles alcanzados y daría justificación del tiempo y dinero invertidos en el proyecto.

6. Materiales y presupuestos

Se partirá con el supuesto de que en un comienzo el Organismo contará con sólo una cuenca para sus estudios y con el personal necesario para su instalación y primeros años de investigación básica. En esta forma se indicará en esta sección los equipos que se requerirán, los medios de transporte y el personal necesario para esta primera etapa. Cuando se comience con la investigación aplicada en la cuenca, será necesario contar con un edificio que contemple oficinas y laboratorios.

Antes de aplicar cualquier tipo de tratamiento a una cuenca hidrográfica, se necesita hacer un reconocimiento hidrológico de ella. Ello dará las bases para determinar el potencial o limitaciones de la cuenca para lograr las metas que la investigación se ha trazado. En esta forma se requiere de cierto material y personal para obtener esta información básica antes de hacer prescripciones de tratamientos y medir sus efectos. La cuenca considerada se supone contará con una superficie de 400 há con 4 subcuencas de 100 há cada una. Se analizará el tipo de información, instrumentación y materiales necesarios, así como el costo que implicará la instalación de esta cuenca piloto. Los costos que de ella se obtengan serán un buen índice de referencia para calcular la necesidad de capital para desarrollar más de una cuenca al mismo tiempo.

a. Equipos

En cada subcuenca se tomará información de precipitación, descarga de torrente y datos climáticos. Para ello se requiere contar en cada u

na de ellas con dos pluviógrafos y un pluviómetro, como así mismo con una estación de aforo para efectuar las mediciones de gasto de los respectivos torrentes. Como modelo de estación de aforo, se propone uno diseñado en Fernow Experimental Forest (62), que tiene por características una salida (derramadero por donde sale el agua) en forma de V en ángulo de 120° . Es apto para gastos de hasta $0,7 \text{ m}^3$ por segundo. Aunque las características del vertedero están de acuerdo al área que servirán y a la precipitación existente, se indica este modelo para tener una idea aproximada del costo de estas obras. Además de los requerimientos ya mencionados hay que agregar una estación meteorológica completa para la cuenca. Con ella se medirán en forma permanente todos aquellos factores que influyen en el balance hídrico, como son entre otros temperaturas, velocidad del viento, evaporación y radiación.

b. Transporte

La necesidad de un control continuado de la instrumentación e instalaciones, dos o tres veces por semana, así como la toma de datos y muestras hace indispensable contar con un vehículo para el técnico encargado de estas funciones. La toma de información es un factor que no se puede posponer y el no contar con un medio seguro de transporte, puede malograrse en gran medida la investigación. Se recomienda para este caso un vehículo liviano de doble tracción. Al mismo tiempo será necesario contar con un vehículo para los científicos que realizan sus investigaciones en la cuenca, que puede ser de tipo carry-all, también de doble tracción.

c. Personal

En los primeros años de este tipo de investigación se realiza la calibración y reconocimiento hidrológico de la cuenca. Por tal motivo, sólo será necesario un profesional que esté a cargo de la programación de las instalaciones y las investigaciones básicas, como así mismo de su control. Al comenzar tan solo con una cuenca, seguramente no se requerirá de personal a tiempo completo para realizar las investigaciones básicas y será recomendable contratar estos trabajos. Así se podrá contratar un inventario de la capacidad de absorción de agua por los suelos, cuantificar hidrológicamente la vegetación, características fisiográficas y otros. Hay que agregar la contratación de un técnico para la recopilación de datos y de una secretaria para los trabajos de escritorio.

d. Presupuesto de instalación de una cuenca piloto

En esta sección se darán los costos aproximados de la instalación de una cuenca piloto y los gastos a realizar en su primer año de operación. La inversión requerida para la instalación comprende compra de instrumentos para la medición de la precipitación, construcción de estaciones de aforo, la compra de una estación meteorológica completa y la adquisición de vehículos como medios de transporte. En los gastos de operación en el primer año de funcionamiento de la cuenca se consideran los sueldos del personal indispensable, los costos de transporte y el importe de la contratación del inventario hidrológico. Este último se contrataría por no ser el trabajo suficiente como para justificar la contratación de profesionales a jornada completa.

Al programar más de una cuenca piloto simultáneamente, la inversión a realizar se puede basar en los costos que se detallarán agregando los sueldos de profesionales a tiempo completo, ya que en este caso habrá el suficiente trabajo en el reconocimiento hidrológico de ellas. Se podría evitar la inversión en nuevos vehículos de transporte siempre que la ubicación de las cuencas lo permitiera.

i. Inversión

Por inversión se comprende todos aquellos gastos en que se incurrirá para comenzar con la calibración de la cuenca. Ello incluye tanto instrumental como estaciones de aforo y compra de vehículos. Cabe destacar que el presupuesto indicado para la estación de aforo está basado en valores de Estados Unidos, pero en él se indican las cantidades materiales, así como los hombres-hora de trabajo y horas de maquinaria empleada. En esta forma se podrán actualizar los valores al caso de Chile. La estación meteorológica incluye el instrumental recomendado por la World Meteorological Organization (82) y los precios corresponden a cotizaciones hechas en el Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. Tanto instrumentos como vehículos tienen precios puestos en el lugar de embarque, Alemania y Estados Unidos respectivamente, con dólares del año 1968.

	<u>Costo \$ US</u>
- <u>Pluviometría</u>	
8 pluviógrafos	1.197,04
4 pluviómetros	211,96
Total	\$ 1.409,00

- Vertederos

Trabajos generales, 544 horas	\$ 980,00
Carpintero para armado de <u>con</u> creto, 70 horas	156,00
Tractor bulldozer tipo TD-9, 4 horas	32,00
Madera, 2000 pies tablares	170,00
Cemento, 95 bolsas	116,00
Arena y grava, 20 toneladas	55,00
Betonera, arriendo 2 días	10,00
Transporte de materiales, 45 Km	120,00
Compresor de aire, arriendo 9 horas	25,00
Transporte de compresor incluido 2 Km de vía de acceso	48,00
Hoja metálica del vertedero	50,00
Tubos de drenaje, 20 cm de diáme- tro por 1 m de largo	11,00
Clavos, alambres y otros	25,00

Total \$ 1.498,00

- Caseta de medición

Trabajos, 32 hombres hora	48,00
Madera, 600 pies tablares	100,00
Tubo corrugado, 60 cm de diámetro por 3 m de largo	60,00
Otros	10,00

Total \$ 218,00

- Instrumentos

Medidor automático de nivel	360,00
Medidor manual de nivel	80,00
Montaje del medidor manual	15,00
Instalación general, 8 hombres hora	415,00

Total \$ 470,00

- Estación meteorológica

1 termógrafo	\$ 67,68
1 hidrógrafo	69,12
1 radiómetro	335,00
1 anemógrafo	1.963,00
1 pluviógrafo	149,63
1 evaporímetro	128,25
1 pluviómetro	50,49

Total \$ 2.743,17

- Transporte

1 jeep, tracción doble	2.500,00
1 carry-all, tracción doble	5.000,00

Total \$ 7.500,00

- Monto total de la inversión

Pluviometría	1.409,00
Vertederos, 4 en total	5.992,00
Casetas de medición, 4 en total	872,00
Instrumentos	1.880,00
Estación meteorológica	2.743,17
Transporte	7.500,00

Total \$ 20.396,17

ii Costo de operación

Se considerarán como costos de operación los sueldos tanto del científico encargado del proyecto, como el de un técnico que tomará la información y mantendrá la instrumentación y una secretaria. También se considerarán los costos de transporte y la investigación a contratar para el reconocimiento de la cuenca.

	<u>Costo \$US</u>
- <u>Personal</u>	
Sueldo anual del encargado del proyecto	7.200,00
Sueldo anual del Técnico	4.200,00
Sueldo anual de la Secretaria	1.800,00
Investigación a contratar	6.000,00
	<hr/>
Total	\$ 19.200,00
- <u>Transporte</u>	
El costo por Km recorrido para ambos vehículos es de \$0,07	
Se considera que cada vehículo recorrerá 30.000 Km anuales	
	4.200,00
	<hr/>
Total	\$ 4.200,00
- <u>Total del costo operacional durante el primer año</u>	
Personal	19.200,00
Transporte	4.200,00
	<hr/>
Total	\$ 23.400,00
	<hr/> <hr/>

7. Personal científico

A través del desarrollo de este trabajo se ha comprobado que el manejo de cuencas hidrográficas es un campo complejo por la gran variedad de factores que entran en juego. Estos factores son de diferente índole y su investigación requiere de personal de especialidades también diferente. Esta sección tiene por finalidad dar una idea del tipo de científicos que se necesitarán para llevar a cabo la in-

vestigación en el organismo propuesto y la clase de trabajo que puedan realizar.

Los especialistas encontrados en las publicaciones revisadas y en el Servicio Forestal de los Estados Unidos, son los siguientes: Hidrólogos, fisiólogos vegetal, ecólogos, ingenieros hidráulicos, edafólogos, economistas, e ingenieros forestales. Aunque estos científicos poseen diferentes especialidades, no quiere decir que las investigaciones que realicen sean temas aislados dentro del programa de estudios, sino que cada uno de ellos ataca parte de un proyecto específico. El Encargado de Proyecto dirige y coordina las actividades de los investigadores que son necesarios para alcanzar las metas que el proyecto se ha propuesto. Por otra parte, los especialistas nombrados no son los únicos necesarios para estos estudios, sino que cada proyecto según sea su objetivo, requerirá posiblemente de otras especialidades.

Las investigaciones que cada uno de los especialistas mencionados podría realizar serían entre otras:

a. Hidrólogos

Relaciones existentes entre el escurrimiento superficial de agua y la erosión de los suelos; determinación de la relación existente entre la estabilidad del suelo y el rendimiento de agua de una cuenca al modificar su cubierta vegetal; problemas hidrológicos producidos por quemas o incendios de la vegetación; efectos de la utilización del suelo sobre la infiltración del agua; efectos residuales en el agua de la aplica --

ción de herbicidas; intercepción de la precipitación por diferentes tipos de vegetación; manipulación de la nieve para regular el rendimiento de agua proveniente de ella; observaciones de acumulación, fusión y escurrimiento de la nieve caída.

b. Fisiólogos vegetal

Estudios de evapotranspiración, tanto en laboratorio como en terreno; características anatómicas de las especies y su relación con aspectos hidrológicos; determinación de forma y eficacia de aplicación de diferentes herbicidas; movimientos de la savia en especies vegetales en relación a épocas del año y humedad del suelo.

c. Ingenieros hidráulicos

Diseño y construcción de obras de contención; diseño y construcción de vertederos y canales de aforo; análisis de información proporcionada por descarga de torrentes; estudios de fluctuación de las napas freáticas y los factores que influyen en ello; cálculo de costos de obras de contención para un posterior análisis económico.

d. Ecólogos

Determinación de los efectos de algunos fenómenos como quemas y aplicación de herbicidas sobre la sucesión vegetal; evaluación del grado de eficacia logrado en la introducción de nuevas especies en diferentes condiciones ambientales; inventarios de factores que afectan el rendimiento de

agua de una cuenca y en los cuales se basará la planeación de tratamientos y su interpretación hidrológica; influencia de la modificación de la estructura vegetal en la vida silvestre de la cuenca.

e. Edafólogos

Estudio de factores que influyen en el movimiento del agua en el suelo; agrupación y clasificación de suelos para su posterior manejo; características de suelos bajo diferentes tipos de cubierta vegetal; reconocimiento de suelos y su relación con aspectos como clima, topografía, exposición y vegetación.

f. Economistas

Evaluación de costos y beneficios producidos en el manejo de la calidad de aguas; estudios económicos para la rehabilitación de áreas erosionadas; factibilidad económica de proyectos para inducir mayor acumulación de nieve y por ende obtener mayor cantidad de agua disponible para el consumo.

g. Ingenieros Forestales

Métodos para disminuir los peligros de erosión por la corta y arrastre de árboles; métodos de raleos y sus efectos en la producción de agua de una cuenca; estudios tendientes a controlar la competencia de espe -- cies no deseables; modificación de prácticas silviculturales para lograr objetivos específicos; técnicas para controlar incendios; determinar la

influencia de los bosques sobre los factores del medio ambiente; diseño y construcción de caminos forestales que reduzcan al máximo los peligros de erosión.

Los tipos de investigaciones mencionados para cada especialista son sólo unos pocos ejemplos. El campo de cada uno de ellos es bastante más extenso y tenderá a ampliarse en la medida que se vaya investigando y aparezcan aspectos hasta ahora desconocidos.

En este estudio se ha presentado a grandes rasgos lo que es la investigación en cuencas hidrográficas y la labor que actualmente se realiza, los pasos que habría que seguir en Chile para desarrollar este campo, y se ha dado una idea de los costos en que habría que incurrir para iniciar la investigación. En esta forma se espera haber contribuido en parte a la toma de conciencia de los problemas que se encuentran en el manejo de cuencas hidrográficas, como así mismo haber dado una referencia que contribuya a facilitar la labor de aquellos profesionales que tengan en sus manos la iniciación de programas de investigación en cuencas hidrográficas.

Se estima que este esquema propuesto no solo es aplicable al caso de Chile, sino que a la mayoría de los países latinoamericanos, dada la similitud de los problemas que los aquejan y las limitaciones con que se encuentran al emprender cualquier tipo de programa. Acéptese esta modesta contribución al desarrollo del manejo de cuencas hidrográficas de una persona que comienza a interesarse en este campo.

RESUMEN

El desarrollo regional contempla factores sociales, económicos y físicos que forman un todo armónico para lograr las metas que los planes se han propuesto. Pero en la mayoría de los casos se han dejado de lado a aquellos aspectos físicos que se refieren a los cambios en las relaciones hídricas producidos por las medidas a tomar. Esta exclusión es causada principalmente por la falta de información que se tiene al respecto, la que a su vez requiere de investigación para su conocimiento.

Esta obra trata de dar una visión general de lo que se requiere hacer para obtener esta información básica en todas aquellas superficies cuyos escurrimientos vierten en un curso de agua o un lago: cuenca. En esta forma se espera lograr la información necesaria para planificar las prácticas y operaciones a realizar para alcanzar las metas deseadas en relación con el funcionamiento de las cuencas: manejo de cuencas. Con la inclusión de este aspecto se puede alcanzar un desarrollo regional equilibrado, evitando los problemas que actualmente se presentan como es el caso de erosión, inundaciones, embancamiento de ríos y represas, aludes y falta de agua.

La tesis se desarrolló siguiendo una secuencia lógica para solucionar el problema del manejo de cuencas que afecta a Chile y que es aplicable a cualquier país de condiciones parecidas. Es decir se planteó la necesidad de manejar las cuencas hidrográficas, para lo cual se requiere de información que en estos momentos no es disponible y por consiguiente es necesario investigar para lograrla. Para que se haga la investigación se

necesita de una institución que se dedique a ello. En esta forma en el desarrollo de la tesis se plantea un esquema a seguir para lograr la información que permita manejar las cuencas hidrográficas.

En primer lugar se da una visión de la investigación actual en cuencas, dividiéndola con fines de comprensión en cuatro campos: obtención de mayor rendimiento de agua; rehabilitación de áreas erosionadas; control de inundaciones, y control de aludes. Se dan ejemplos de cada uno de estos aspectos y las líneas generales que sigue la investigación. Con estos antecedentes se trata de aplicar la investigación al caso de Chile, para lo cual se zonifica el país en áreas destinadas a diferentes tipos de estudios haciéndose sugerencias de investigación para cada una de las áreas.

Con las áreas seleccionadas, se indica la forma de llevar a efecto la investigación por medio de cuencas piloto, es decir criterios para elección del lugar, las medidas a tomar en ellas (inventario hidrológico y calibración) y el por qué son necesarias las cuencas pares. Finalmente se plantea la necesidad de un organismo que investigue en cuencas. Para ello se estima que la creación de un organismo con base a instituciones existentes es lo más acertado. Se da la estructura de este nuevo organismo y su forma de acción, llegando a indicar cuáles son los costos aproximados para iniciar la investigación. Se indica el costo de inversión de una cuenca piloto con cuatro subcuencas y los materiales y el personal necesario.

SUMMARY

Regional planning considers social, economic and physical factors as parts of the whole in order to obtain the goals proposed by the development plan. But in most cases, those physical aspects which refer to changes in the hydrological relations produced by the plans, have been left aside. This exclusion is caused principally by the lack of information which must be derived from required investigation.

This study intends to give a general view of what is necessary in order to obtain basic information in all those areas where the runoff is channelized into a river or a lake: a watershed. In this manner, successful practices and operations for attainment of the goals can be expected once planning can be founded upon the required basic information: watershed management. With the inclusion of hydrological aspects, the development of regions may be attained and problems like erosion, sedimentation, floods and water deficit can be avoided.

This study was developed in a logical sequence to solve the watershed management problem in Chile, and can be applied in countries with similar conditions. The need for information required in the management of watersheds was stressed. In order to obtain this objective, it is important that an institution specialized in watershed investigation, be created. This study presents a plan for obtaining the required information which in turn will permit watershed management.

First, a general view of current watershed research is presented in four parts in order to facilitate exposition: increase quantity and

quality of available water; reclamation of eroded areas; flood and avalanche control. Examples of these aspects are given along with a review of the lines and tendencies of research in each. Application of this information is then given to the case of investigation in Chile. For that purpose, the country is divided into areas assigning to each a different series of studies, and suggestions for specific lines of research are proposed.

Within these selected areas it is proposed that pilot watersheds be developed for the purpose of carrying out specific lines of research, and criteria for the selection of sites as well as the steps to be followed in hydrologic inventory and calibration are presented and justified. Finally, the necessity of an institution for watershed research is presented. It is expected that such an institution could successfully be formed from the elements of existing agencies. The structure and operating procedures of this institution are given indicating the approximate costs of initiating the investigation, the investment costs of a pilot watershed with four sub-watersheds, personnel and required materials.

LITERATURA CITADA

1. ALDON, E.F. Ground-cover changes in relation to runoff and erosion in West Central New Mexico. U.S. Forest Service. Research Note RM-34, 1964. 4 p.
2. ANDERSON, H.W. y TROBITZ, H.K. Influence of some watersheds variables on a major flood. Journal of Forestry 47(5):347-356. 1949.
3. ARNOLD, J.F., JAMESON, D.A. y REID, D.H. The Pinyon-Juniper type of Arizona: effects of grazing, fire and tree control. U.S. Department of Agriculture. Production Research Report no. 84. 1964. 28 p.
4. AYRES, Q.C. La erosión del suelo y su control. Trad. del inglés. Barcelona, Omega, 1960. 441 p.
5. BARON, F.J., STARK, N. y SCHUBERT, J.H. Effects of season and rate of application of 2-4-D and 2-4-5-T on pine seedlings and Mountain Whitethorn in California. Journal of Forestry, 62(7): 1964.
6. BERNDT, H.W. Inducing snow accumulation on mountain grassland watersheds. Journal of Soil and Water Conservation 19(15):196-198. 1964.
7. _____ . Snow accumulation and disappearance in Lodgepole pine clearcut blocks in Wyoming. Journal of Forestry 63(2):88-91. 1965.
8. _____ y GIBBONS, R.D. Root distribution of some native trees and understory plants growing on three sites within Ponderosa pine watersheds in Colorado. U.S. Forest Service. Station Paper RM-37. 1958. 14 p.
9. BRETT, J.R. Some principles in thermal requirements of fishes. Quarterly Review of Biology 31(2):75-85. 1956.
10. BROWN, H.E. The status of pilot watersheds studies in Arizona. Paper presented at ASCE Annual Meeting and Nacional Meeting on Water Resources Engineering, New Orleans, La., Feb. 3-7, 1969. s.n.t. 16 p.
11. BROWN, G.W. y KRYGIER, J.T. Changing water temperatures in small mountains streams. Journal of Soil and Water Conservation 22(6):242-244. 1967.

12. CHILE, MINISTERIO DE AGRICULTURA. La sobrevivencia de Chile. Santiago, Dirección General de Producción Agraria y Pesquera, 1958. 69 p.
13. CORBETT, E.C. Measurement and estimation of precipitation on experimental watersheds. In Sopper, W.E. y Lull, H.W. eds., Forest Hydrology. New York, Pergamon Press, 1967. pp. 107-127.
14. DAVIS, E.A. y PASE, C.P. Effect of a watershed treatment with Picloram on water quality. U.S. Forest Service. Research Norte RM-100. 1968. 4 p.
15. DECKER, J.P. y WETZEL, D.F. A method for measurement transpiration of intact plants under controlled light, humidity and transpiration. Forest Science 3(4):350-354 1957.
16. _____ y WIEN, J.D. Transpirational surges in Tamarix and Eucalyptus as measured with an infrared gas analyser. Plant Physiology 35(3):340-343. 1960.
17. DORTIGNAC, E.J. Criteria for water yield improvement of forest and range land. Paper presented at Soil Conservation Society of America, 21st Annual Meeting, Albuquerque, New Mexico, Aug. 14-17, 1966. 20 p.
18. DOTZENKO, A.D., PAPAMICHOS, N.T. y ROMINE, D.S. Effect of recreational use on soil and moisture conditions in Rocky Mountain National Park. Journal of Soil and Water Conservation 22(5):196-197. 1967.
19. FFOLLIOTT, P.F. y HANSEN, E.A. Observations of snow pack accumulation melt and runoff on a small Arizona Watershed. U.S. Forest Service. Research Note RM-124. 1968. 7 p.
20. _____, HANSEN, E.A. y ZANDER, A.D. Snow in natural openings and adjacent Ponderosa Pine stands on Beaver Creek watersheds. U.S. Forest Service. Research Note RM-53. 1965. 8 p.
21. FLETCHER, H.C. y ELMENDORF, H.B. Phreatophytes, a serious problem in the West. U.S. Department of Agriculture Yearbook. 1955. pp. 423-429.
22. FORD, E.C., COWAN, W.L. y HOLTAN, H.N. Floods and a program to alleviate them. U.S. Department of Agriculture Yearbook, 1955. pp. 171-176.
23. FRUTIGER, H. Snow avalanches along Colorado mountains highways. U.S. Forest Service. Research Paper RM-7. 1964. 85 p.

24. FRUTIGER, H. y MARTINELLI, JUNIOR, M. A manual for planning structural control of avalanches. U.S. Forest Service. Research Paper RM-19. 1966. 68 p.
25. GARCIA, R.M. y PASE, C.P. Moisture retention capacity of litter under two Arizona Chaparral communities. U.S. Forest Service. Research Note RM-85. 1967. 2 p.
26. GARY, H.L. Removal on Tamarisk reduces water table fluctuations in Central Arizona. U.S. Forest Service. Research Note RM-81. 1962. 6 p.
27. _____ y CAMPBELL, C.J. Water table characteristics under Tamarisk in Arizona. U.S. Forest Service. Research Note RM-58. 1965. 7 p.
28. GEORGE, E.J., BROBERG, D. y WORTHINGTON, D.L. Influence of various types of field windbreaks on reducing wind velocities and depositing snow. Journal of Forestry 61(5):345-349. 1963.
29. GOODEL, B.C. A preliminary report on the first year's effects of timber harvesting on water yield from a Colorado watershed. U.S. Forest Service. Station Paper RM-36. 1958. 12 p.
30. GOUJON, M.N. et al. Influence du couvert végétal sur le ruissellement et les pertes en terre. Bois et Forêts des Tropiques no. 119:3-12. 1968.
31. HAMILTON, E.L. Rainfall sampling on rugged terrain. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin no. 1096. 1954. 41 p.
32. HART, G. Snow and frost conditions in New Hampshire, under hardwoods and pines and in the open. Journal of Forestry 61(4): 287-289. 1963.
33. HAUPT, H.F. y KIDD, W.J. Good logging practices reduces sedimentation in Central Idaho. Journal of Forestry 63(9):664-670. 1965.
34. HEEDE, B.H. A study of early gully-control structures in Colorado Front Range. U.S. Forest Service. Station Paper RM-55. 1960. 42 p.
35. _____. Engineering techniques applied to soil erosion control. U.S. Forest Service. Research Note RM-102. 1968. 7 p.
36. HORNBECK, J.W. y REINHART, K.G. Water quality and soil erosion as affected by logging in steep terrain. Journal of Soil and Water Conservation 19:23-27. 1964.

37. HORTON, J.S. The problem of phreatophytes. International Science Hydrological Association Publication 48(1):76-83. 1959.
38. _____ . Use of a root plow in clearing Tamarisk Stands. U.S. Forest Service. Research Note RM-50. 1960. 6 p.
39. HUTCHISON, B.A. Snow accumulation and disappearance influence by Big Sagebrush. U.S. Forest Service. Research Note RM-46. 1965. 7 p.
40. JOHNSEN, T.N., CLARY, W.P. y FOLLIOTT, P.F. Gambell-oak control on the Beaver Creek pilot watershed in Arizona. U.S. Department of Agriculture. ARS 34-104. 1969. 8 p.
41. LEEDS, HILL and TEWETT Inc. A master plan for flood control on rio Reventado and rio Tiribí, Costa Rica. San Francisco, California, 1967. 137 p.
42. LEWIS, D. Annual hydrologic response to watershed conversion from Oak woodland to annual grassland. Water Resource Research 4(1):59-72. 1968.
43. LILLIE, D.T. y DAVIS, E.A. Chemicals for control of chaparral. Modern techniques in water management. Fifth Annual Arizona watershed Symposium, Sept. 21, 1961. 3 p.
44. LINDENMUTH, A.W. y GLENDENING, G.E. Controlled burning of Arizona chaparral. A 1962 Progress Report. Sixth Annual Arizona watershed Symposium. Sept. 18, 1962. pp. 23-24.
45. LOVE, L.D. The Fraser experimental forest... its work and aims. U.S.F Forest Service. Station Paper RM-8. 1952. 16 p.
46. LULL, H.W. Watershed conditions and flood potential. Journal of Forestry 47(1):45-48. 1949.
47. _____ . y RUSHMORE, F.M. Snow accumulation and melt under certain forest conditions in the Adirondacks. U.S. Forest Service. Station Paper NE-138. 1960. 16 p.
48. MARTINELLI, M. Alpine snow research. Journal of Forestry 58(4): 278-281. 1960.
49. MASRUR, A. An introduction to watershed management and plans for research in West Pakistan. Pakistan Journal of Forestry 16(4): 383-401. 1966.

50. MEGAHAM, W.R., MEIMAN, J.R. y GOODEL, B.C. Net allwave as an index of natural snowmelt and snowmelt accelerated with albedo reducing materials. In International Hydrology Symposium, Fort Collins, Sept. 1967. s.n.t. pp. 149-156.
51. MOLCHANOV, A.A. The hydrological role of forests. Translated from Russian by Israel Program for Scientific Translations. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture and National Science Foundation, 1963. 407 p.
52. NACIONES UNIDAS. Los recursos hidráulicos de Chile. México, D.F., 1960. 190 p.
53. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Introducción a la ordenación de cuencas hidrográficas. Informe no. 703. 1958. 68 p.
54. _____. La influencia de los montes. Roma, 1962. 335 p.
55. PASE, C.P. Helicopter-applied herbicides control shrublive Oak and Birchleaf mountainmahogany. U.S. Forest Service. Research Note RM-84. 1967. 4 p.
56. _____, et al. Improving water yield and game habitat by chemical control of chaparral. In 14th, International Union of Forestry Research Congress, Munchen, 1967. s.n.t.
57. _____ y FOGEL, M.M. Increasing water yield from forest, chaparral and desert in Arizona. In International Conference of Water for Peace, 1967. s.n.t. v.2, pp. 753-764.
58. _____ e INGEBO, P.A. Burned chaparral to grass: early effects on water and sediments yields from two granitic soils watersheds in Arizona. Arizona Watershed Symposium, Tempe, Sept. 22, 1965. s.n.t. pp. 8-11.
59. PECK, R.B. Rooting characteristics of Eucaliptus globulus Labill. and Buddleia nitida Benthammon Irazú volcano, Cartago, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1969. 48 p. (Mimeografía da).
60. PILLSBURY, A.F., et al. Effects on vegetation manipulation on the disposition of precipitation on chaparral covered watersheds, Journal of Geophysical Research 67(2):695-702. 1962.
61. REIGNER, I.C. A vinyl-lined weir for small watersheds studies. Journal of Forestry 61(4):297-298. 1963.

62. REINHART, K.G. y PIERCE, R.C. Stream gaging stations for research on small watersheds. U.S. Department of Agriculture. Handbook no. 268. 1964. 37 p.
63. REYNOLDS, H.G. Watershed management research in Arizona and New Mexico. Journal of Forestry 58(4):275-278. 1960.
64. RICH, L.R. Water yield resulting from treatments applied to mixed conifer watersheds. In Arizona Watershed Symposium, 1968. s.n.t. v. 12, pp. 9-12.
65. _____, y REYNOLDS, H.G. Grazing in relation to runoff and erosion on some chaparral watersheds of Central Arizona. Journal of Range Management 16(6):322-326. 1963.
66. ROWE, P.B. y REIMAN, L.F. Water use by brush, grass and grassforb vegetation. Journal of Forestry 59(3):175-180. 1961.
67. SCHNEIDER, W.J. y AYER, G.R. Effect of reforestation on stream-flow in Central New York. U.S. Department of Interior. Geological Survey Water-Supply Paper no. 1602. 1961. 61 p.
68. SCHUSTER, J.L. Root development of native grass under three grazing intensities. Ecology 45(1):63-69. 1964.
69. SEPULVEDA, S. Geografía económica de Chile, síntesis regional. Santiago, Corporación de Fomento de la Producción, 1962. v.4, pp.216-456.
70. STURGES, D.L. Water quality as affected by a Wyoming Mountain bog. Water Resources Research 3(4):1085-1089. 1967.
71. _____. Hydrologic properties of peat from a Wyoming Mountain bog. Soil Science 106(4):262-264. 1968.
72. TABLER, R.D. Physical and economic desing criteria for inducing snow accumulation. Water Resources Research 4(3):513-519. 1968.
73. TENNESSEE VALLEY AUTHORITY. A short history of the Tennessee Valley Authority. Knoxville, 1963. 12 p.
74. _____. TVA - 1967. Knoxville, 1968. 101 p.
75. TROXELL, H.C. y PETERSON, J.O. Flood in La Canada Valley, California. U.S. Department of Interior. Geological Survey Water Supply Paper no. 796-C. 1937. 98 p.
76. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Snow avalanches. Agriculture Handbook no. 194. 1961. 84 p.

77. U.S. FOREST SERVICE. A guide to Coweeta Hydrologic Laboratory. Southeastern Experiment Station, 1957. 40 p.
78. _____. Avalanche control in the starting zone. Station Paper RM-71. 1962. 60 p.
79. _____. Forestry Research in the Central and Southern Rockies. Fort Collins, Colorado. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 1965. 32 p.
80. WARNOCK, B.H. y GARDNER, J.L. Water yield in relation to environment in the Southwestern United States. Arizona, Committee on Desert and Arid Zones Research, 1960. 74 p.
81. WILSON, R.E. Tree planting and soil erosion control in the Southwest. Journal of Forestry 42(9):668-673. 1944.
82. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Guide to meteorological instrument and observing practices. Geneva, Switzerland, Secretariat of the World Meteorological Organization, 1961 (WMO-8 TP 3). pp. 2-11.
83. WORLEY, D.P. The Beaver Creek pilot watershed for evaluating multiple use effects on watershed treatments. U.S. Forest Service. Research Paper RM-13. 1965. 13 p.

OTRA LITERATURA CONSULTADA

1. COLMAN, E.A. Vegetation and watershed management. New York, Ronald Press, 1953. 412 p.
2. DAVIS, R. Managing the water economy. Journal of soil and water conservation 20(6):247-250. 1965.
3. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Soil erosion by water, some measures for its control on cultivated lands. Agricultural Development Paper no. 81. 1965. 284 p.
4. GEIGER, R. The climate near the ground. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1965. 482 p.
5. HENDEE, C. Organización y Administración de un servicio forestal. Trad. del inglés. México, D.F., Centro Regional de Ayuda Técnica (AID), 1965. 93 p.

6. KAZMAN, R.G. Modern hydrology. New York, Harper and Row, 1965. 301 p.
7. LASSEN, L., LULL, H.W. y FRANK, B. Algunas relaciones entre planta, suelo y agua en el manejo de cuencas. México, Centro Regional de Ayuda Técnica. Circular no. 10. 1965. 68 p.
8. MEINZER, O. Hydrology. New York, Dover Publications, 1942. 712 p.
9. OGLE, R.A. Organización y administración de un servicio forestal. s.n.t. 1968. (Mimeografiado).
10. PENMAN, H.L. Vegetation and hydrology. Commonwealth Agricultural Bureau. Bulletin no. 53. 1963. 124 p.
11. RAKHAMANOV, V.V. Role of forest in water conservation. Translated from Russian by Israel Program for Scientific Translations. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture and National Science Foundation. 1966. 191 p.
12. REIFSNYDER, W.E. y LULL, H.W. Radiant energy in relation to forest. U.S. Department of Agriculture. Forest Service Technical Bulletin no. 1344. 1965.
13. SOPPER, W.E. y LULL, H.W., eds. Forest Hydrology. Proceedings of a National Science Foundation. Advanced Science Seminar. Oxford, Pergamon Press, 1967. 813 p.
14. TOLLEY, G.S. y RIGGS, F.C. Economics of watershed planning. Iowa, University Press, 1961. 339 p.
15. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Guide for Forest Service research scientists. Forest Service, 1968. 48 p.

APENDICE 1

PROGRAMA E ITINERARIO DESARROLLADO EN ESTADOS UNIDOS POR
MANUEL CONTRERAS SALAS COMO PARTE DE SU TRABAJO DE TESIS

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en cooperación con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal.

1969

5 de Julio Llegada: Tempe, Arizona

7-11 de julio U.S. Department of Agriculture
Forest Service.

Contacto : Hudson Reynolds, Director's Rep.
Forest Hydrology Laboratory
Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station
Forest Service, USDA
Arizona State University
Tempe, Arizona 85281.

Objetivos : Estudiar con Alden R. Hibbert y su cuerpo de investigadores los proyectos de chaparral y Pine-Fir. Se dará énfasis en instrumentación. El profesor Contreras está particularmente interesado en instrumentos climáticos e hidrológicos.

12 de julio Partida: Tempe, Arizona
Llegada: Flagstaff, Arizona

Contacto : Gilbert E. Schubert, Director's Rep.
Forest Science Laboratory
Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station
Forest Service, USDA
University of Northern Arizona.
Flagstaff, Arizona 86003.

Objetivo : Discutir con Harry E. Brown y Gulbert H. Schubert los siguientes programas:
- Evaluación de programas de cuencas hidrográficas.
- La silvicultura del pino ponderosa.
El profesor Contreras desea familiarizarse con instrumentación de campo y procesamiento de datos.

18 de julio Partida: Flagstaff, Arizona.
Llegada: Albuquerque, New Mexico.

21-24 de julio U.S. Department of Agriculture.
Forest Service.

 Contacto: Calvin L. Massey, Director's Rep.
 Albuquerque Research Unit
 Rocky Mountain Forest and Range Experiment
 Station.
 Forest Service, USDA.
 Room 5423, New Federal Building
 517 Gold Avenue, S.W.
 Albuquerque, New Mexico 87101.

 Objetivo: Estudiar la investigación sobre rehabilitación
 de cuencas dirigida por Earl F. Alden y otros.
 Lo mismo con la investigación sobre mejoramien
 to y manejo de masas mixtas de Pine-fir dirigi
 da por Harry W. Springfield. Sería deseable
 que el profesor Contreras visitara las instala
 ciones de campo en Rio Puerco.

25 de julio Partida: Albuquerque, New Mexico
Llegada: Fort Collins, Colorado

28 de julio - 10 U.S. Department of Agriculture
de agosto Forest Service.

 Contacto: Raymond Price, Director
 Rocky Mountain Forest and Range Experiment
 Station
 Forest Service, USDA
 240 W. Prospect
 Fort Collins, Colorado 80521.

 Objetivo : Estudiar el mejoramiento del rendimiento de a-
 guas y estabilización de cauces en la zona sub
 alpina con Marvin D. Hoover y su grupo de in-
 vestigadores. El profesor Contreras desea dis
 poner de tiempo para trabajar en la biblioteca
 de la estación y visitar el Centro de Computa-
 ción. También desearía visitar el trabajo rea
 lizado en Fraser Experimental Forest.

2 de agosto Partida: Fort Collins, Colorado
Llegada: Laramie, Wyoming.

4-6 de agosto U.S. Department of Agriculture
Forest Service.

Contacto: Ronald D. Tabler
Forest Range and Watershed Laboratory
Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station
Forest Service, USDA
University Station, Box 3313.
Laramie, Wyoming 82070

Objetivo: Estudiar el mejoramiento de los rendimientos en los drenajes de Big Horn y North Plate. Serían recomendables visitas a las instalaciones de terreno.

7-8 de agosto **Partida:** Laramie
 Llegada: Tempe, Arizona

11-29 de agosto U.S. Department of Agriculture
 Forest Service.

Contacto: Hudson Reynolds, Director's Rep.
Forest Hydrology Laboratory
Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station
Arizona State University
Tempe, Arizona 85281.

Objetivo: Bajo la guía de Charles J. Campbell completar la revisión de referencias y escribir sobre la evaluación de experimentos acerca de manejo de cuencas observados en Rocky Mountain Forest and Range Experiment Stations.

