

EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES EN PROYECTOS DE RIEGO Y DRENAJE

Por:

Guillermo Lorenzo Vílchez Ochoa

Tesis para optar el grado de
Magíster Scientiae en Ingeniería de
Riego y Drenaje

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
E INVESTIGACION AMBIENTAL y
TERRITORIAL (CIDIAT)
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MERIDA - VENEZUELA
1 9 9 4

www.bdigital.ula.ve

A mis padres Luzmila y Víctor
A mis hermanos Víctor, Liliana,
Miguel y Flor
Y
amigos que me apoyaron

Adquirido por Donación
Fecha: 25 ABR 1996
SERVICIOS BIBLIOTECARIOS GENERALES
"TULIO FEBRES CORDERO"
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MÉRIDA - VENEZUELA

AGRADECIMIENTO

Con estas breves palabras quiero expresar mi agradecimiento:

Al Ing. M. Sc. Miguel Cabeza D. por su valiosa asesoría.

Al Ing. M. Sc. José Pérez R. y al Dr. Ph. Carlos Grassi, por su incondicional ayuda y valiosa colaboración.

Al Ing. M. Sc. Luis Rázuri R. por su ayuda y colaboración.

Al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).

Al Ministerio de Relaciones Exteriores de Venezuela, que gentilmente otorgo mi beca.

A la Fundación Polar por su aporte y apoyo a la Ciencia.

www.bdigital.ula.ve

INDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE SIMBOLOS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
Capítulo	
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	1
General.....	1
Específicos.....	2
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
Conceptos básicos relacionados a estudios de impactos ambientales.....	3
Metodologías para la identificación de efectos ambientales.....	5
Matrices.....	5
Técnicas específicas.....	6
Lista de verificación.....	7
Encadenamientos de efectos.....	8
Evaluación de proyectos y análisis ambiental..	8
III. ACCIONES REALIZADAS EN LOS PROYECTOS DE RIEGO Y DRENAJE.....	11
Descripción del proyecto.....	11
Acciones realizadas en la fase de construcción	11
Obras preliminares	12
Obras de Captación	12
Obras de Conducción y Distribución.....	13
Obras del sistema de drenaje.....	13
Obras de arte en sistemas de riego y drenaje	14
Obras de nivelación de tierras para riego.	14
Construcción del sistema de riego (predio)..	14
Red vial y de comunicaciones.....	15
Obras anexas y auxiliares	15
Acciones realizadas en la fase de operación y mantenimiento	15

Operación de la captación.....	16
Operación de la conducción.....	17
Operación de la distribución	17
Operación de aplicación	17
Evacuación.....	19
Labores culturales.....	20
IV. FACTORES AMBIENTALES.....	23
Clima.....	23
Atmósfera y Ruidos.....	24
Geomorfología.....	25
Hidrología superficial.....	26
Geología.....	27
Hidrología subterránea.....	29
Edafología.....	30
Vegetación.....	30
Fauna.....	32
V. EFECTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE CONTROL EN PROYECTOS DE RIEGO Y DRENAJE.....	35
Descripción de los efectos ambientales en proyectos de riego y drenaje.....	35
Descripción de medidas de control de los efectos ambientales en proyectos de riego y drenaje..	71
VI. PREDICCIONES DE EFECTOS AMBIENTALES.....	103
Descripción teórica del modelo de salinidad (PROSAL).....	103
Estructura del modelo.....	105
Funcionamiento y calculos.....	105
Descripción teórica del modelo de anegamiento (DRPR).....	106
Estructura del modelo.....	107
Funcionamiento y calculos.....	107
Metodología para calcular las medidas de control de sales usando el modelo PROSAL.....	108
Costos por requerimiento de lixiviación.....	108
Metodología para calcular las medidas de control de anegamiento usando el modelo DRPR.....	109
Costos por instalación de drenes.....	113
VII. METODOLOGIA DE TRABAJO REALIZADO.....	115

VIII. RESULTADOS.....	119
Fase de construcción.....	119
Fase de operación y mantenimiento.....	122
Factores ambientales.....	124
Efectos ambientales y medidas de control en proyectos de riego y drenaje.....	128
IX. DISCUSION DE RESULTADOS.....	137
Acciones realizadas en las fases de construcción, operación y mantenimiento.....	137
Factores ambientales afectados.....	137
Lista de efectos ambientales.....	138
Encadenamiento de efectos ambientales.....	139
Predicción de efectos ambientales.....	139
Medidas de control.....	139
X. ESTUDIO DE CASO.....	141
Factores ambientales.....	141
Ubicación, extensión y límites.....	141
Fisiografía y relieve.....	141
Geología y Geomorfología.....	141
Clima.....	143
Hidrología superficial.....	144
Hidrología subterránea.....	145
Suelos.....	145
Vegetación.....	145
Fauna.....	146
Drenaje.....	146
Alternativa I.....	146
Descripción de actividades y acciones del sistema de riego de la fase de operación y mantenimiento.....	147
Matriz de interacción.....	148
Descripción de efectos y medidas.....	150
Encadenamiento de efectos.....	154
Alternativa II.....	154
Descripción de actividades y acciones del sistema de riego de la fase de construcción.....	154
Matriz de interacción.....	158

Descripción de efectos y medidas.....	159
Encadenamiento de efectos.....	165
Descripción de actividades y acciones del sistema de riego de la fase de operación y mantenimiento.....	165
Matriz de interacción.....	168
Descripción de efectos y medidas.....	170
Encadenamiento de efectos.....	174
Cuantificación de los efectos salinidad y anegamiento.....	176
Salinidad.....	176
Anegamiento.....	178
Discusión de resultados del estudio de caso.	180
Conclusiones y recomendaciones del estudio de caso.....	182
XI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	185
Conclusiones.....	185
Recomendaciones.....	186
BIBLIOGRAFIA.....	187

LISTA DE TABLAS

Tabla	Definición	Página
1	Agrupamiento de los impactos potenciales en el ambiente y la salud.....	4
2	Resumen de las actividades de evaluación de impactos ambientales dentro del ciclo y etapas del proyecto.....	10
3	Directrices para la interpretación de la calidad de agua para riego.....	26
4	Clasificación de suelos afectados por sales....	38
5	Posibles problemas de obstrucción provocados por el agua utilizada en el sistema de riego.....	46
6	Elementos físicos químicos y biológicos que provocan problemas obstrucciones en los sistemas de riego localizado.....	46
7	Contenido de insecticidas en diversos vegetales y suelos (ppm).....	50
8	Estimación de uso de agua a nivel mundial para 1967 y proyecciones para el 2000.....	57
9	Estimaciones de las pérdidas de agua en los sistemas de conducción no revestidos.....	61
10	Relación entre la pendiente y la reducción de la tasa de aplicación.....	72
11	Valores de Pe de las enmiendas y factores de corrección de la dosis teórica.....	78
12	Tolerancia de ciertos cultivos al porcentaje de sodio intercambiable.....	78
13	Tolerancia relativa al Boro de algunos cultivos.	80
14	Valores límites para evaluar la agresividad de las aguas y de los suelos sobre el hormigón.....	82

LISTA DE TABLAS (continuación)

15	Valor de fragilidad.....	100
16	Datos metereológicos de la Estación San Juan....	143
17	Análisis de agua de los diferentes cauces del Proyecto de Riego San Juan de la Maguana.....	144
18	Matriz de la operación y mantenimiento del sistema de riego San Juan de la Maguana. Alternativa I..	149
19	Matriz de la construcción del sistema de riego San Juan de la Maguana. Alternativa II.....	160
20	Matriz de la operación y mantenimiento del sistema de riego San Juan de la Maguana. Alternativa II.	169
21	Resumen de la producción por efecto de salinidad	177
22	Resumen de la producción por efecto de anegamiento	177

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
1 Relaciones de fases, actividades, acciones y efectos en proyectos.....	9
2 Relaciones entre las características básicas, las propiedades físicas y las cualidades agrícolas del suelo.....	31
3 Contaminación por agroquímicos.....	49
4 Ciclo de la esquistosioniasis.....	65
5 Ciclo de la Malaria.....	67
6 Manejo integrado de plagas.....	88
7 Componentes principales de la modelación matemática	104
8 Condición 1 de drenaje.....	110
9 Condición 2 de drenaje.....	111
10 Condición 3 de drenaje.....	112
11 Metodología desarrollada para la EIA en proyectos de riego y drenaje.....	117
12 Estudio de caso.....	118
13 Ubicación del proyecto.....	142
14 Encadenamiento de efectos de la operación y mantenimiento del proyecto de riego San Juan de la Maguana. Alternativa I.....	155
15 Encadenamiento de efectos de la construcción del proyecto de riego San Juan de la Maguana. Alternativa II.....	175
16 Encadenamiento de efectos de la operación y mantenimiento del proyecto de riego San Juan de la Maguana. Alternativa II.....	169

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	Definición
CE	Conductividad eléctrica
CEa	Conductividad eléctrica del agua (salinidad del agua de riego.)
cm	Centímetro
°C	Grados centígrados
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
dS/m	DeciSiémenes por metro
EI	Evaluación de impactos
EIA	Evaluación de impactos ambientales
gr/l	Gramos por litro
Kg	Kilogramo
kg/Ha	Kilogramo por hectárea
l	Litro
l/s	Litro por segundo
mg/l	Miligramo por litro
ml	Mililitros
mm	Milímetros
pH	Potencial de hidrógeno
TAS	Tasa de adsorción de sodio
TAS _{aj}	Tasa de adsorción de sodio ajustada
uS/cm	MicroSiémenes por centímetro

RESUMEN

El presente estudio consistió en una investigación de tipo bibliográfica sobre aspectos relacionados con la evaluación de impactos ambientales en proyectos de riego y drenaje a un nivel de pre-factibilidad, por medio de la cual se logró identificar una serie de pasos que en forma metodológica permiten identificar los impactos potenciales y las medidas de control en las fases de construcción, operación y mantenimiento.

Primeramente se presenta, la justificación y los objetivos de este trabajo. Seguidamente se realiza una revisión bibliográfica donde se presentan diferentes puntos como son las definiciones comúnmente utilizadas en la evaluación de impactos ambientales, evaluación de proyectos y análisis ambiental y metodologías para la identificación de efectos ambientales; acciones realizadas en los proyectos de riego y drenaje; acciones realizadas en la fase de construcción, operación y mantenimiento; factores ambientales; descripción de efectos ambientales y medidas de control en proyectos de riego y drenaje; predicción de efectos ambientales. A continuación se desarrolla la metodología utilizada para la conformación de este documento y a continuación se presenta tanto los resultados obtenidos como la discusión de éstos. Posteriormente se muestra un estudio de caso con información del Proyecto de riego " San Juan de la Maguana, Margen Izquierda" de República Dominicana. El estudio considera dos alternativas de evaluación de impactos ambientales: la situación actual del proyecto llamado alternativa I, y la rehabilitación y modernización del proyecto llamado alternativa II, la secuencia de estudio de cada alternativa corresponde a la metodología desarrollada en esta tesis. Finalmente se dan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Se espera que la información aquí contenida sirva de base para incorporar la variable ambiental en la evaluación de proyectos a nivel de pre-factibilidad, a través de la identificación de aquellos aspectos relevantes. Corresponderá a estudios futuros el desarrollar metodologías que permitan materializar las medidas de control ambiental en costos y beneficios ambientales, para así mejorar el proceso de toma de decisiones.

CAPITULO I

INTRODUCCION

En los países de latinoamérica se han construido sistemas de riego y drenaje con la finalidad de elevar la producción y productividad agropecuaria. El propósito primordial ha sido el de obtener beneficios económicos y sociales sin especiales consideraciones respecto a la magnitud de los perjuicios que pudiera estar ocasionando al ambiente físico, biológico y humano en el área de influencia de los mismos.

Es en años recientes cuando se ha venido creando conciencia sobre el ambiente, llevándose a cabo acciones con el fin de evaluar los posibles efectos negativos que los proyectos de riego y drenaje producen sobre los recursos naturales, y demás aspectos socio culturales, estéticos y salud pública.

Es por las experiencias negativas que se tienen que realizar investigaciones orientadas a la evaluación de impactos ambientales en proyectos de sistemas de riego y drenaje, desarrollando y/o adaptando metodologías que permitan estudiar con anticipación sus consecuencias, desde la concepción de la idea del proyecto hasta la operación y mantenimiento, a fin de que las alteraciones negativas sean controladas para obtener un funcionamiento sostenido del ecosistema agrícola creado. Además, se tienen que plantear metodologías para predecir los efectos negativos sobre el ambiente agrícola.

El presente trabajo está orientado a elaborar una metodología para identificar los impactos ambientales y presentar las medidas correctoras, adaptando un procedimiento de análisis de los impactos ambientales que sirva de base para incorporar la variable ambiental en la evaluación de proyectos de sistemas de riego y drenaje a un nivel de pre-factibilidad.

Cabe mencionar que las evaluaciones de impacto ambiental son indispensables para que las entidades financieras otorguen los créditos respectivos para los estudios previos a la ejecución de los sistemas de riego y drenaje y también como un documento de apoyo en la toma de decisiones sobre las estrategias de desarrollo que complementen los estudios de viabilidad técnico-económica.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un procedimiento de análisis de los impactos ambientales asociados a los proyectos de sistemas de riego y drenaje, que sirva de base para incorporar la variable ambiental en su evaluación a un nivel de pre-factibilidad".

Objetivos específicos

Los objetivos específicos que se han definido son:

1. Describir los componentes de un sistema de riego en sus fases de construcción y operación.
2. Identificar los factores ambientales del medio susceptibles a recibir impactos ambientales.
3. Identificar los efectos sobre en el medio físico-biótico en los sistemas de riego y drenaje.
4. Identificar y describir las medidas que puedan emplearse para prevenir, mitigar y/o corregir los impactos ambientales generados en la construcción y operación de los sistemas de riego y drenaje.
5. Predecir alguno de los efectos negativos identificados en los proyectos de riego y drenaje.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO II

REVISION BIBLIOGRAFICA

Los aspectos considerados de importancia y que han sido investigados y estudiados para conformar esta revisión bibliográfica, son los siguientes: conceptos básicos relacionados a estudios de impactos ambientales, metodologías para la identificación de efectos ambientales y evaluación de proyectos y análisis ambiental.

Conceptos básicos relacionados a los estudios de impactos ambientales

Se pretende con esta revisión de conceptos comprender terminologías usadas en los estudios de impactos ambientales en lo que respecta a sistemas de riego y drenaje, como es el ambiente, calidad ambiental, conservación, desarrollo ambiental sustentable, impacto ambiental y evaluación de impacto ambiental.

Sistema de riego: se define como una unidad agrícola que cuenta con las aguas y obras necesarias para poder efectuar el riego de las tierras comprendidas en ella y el funcionamiento y la conservación de las tierras bajo riego, con el fin de lograr el desarrollo agrícola, social, comercial e industrial de la unidad (Espinoza, 1962).

Ambiente: en la literatura se presentan varias formas de expresar el concepto de ambiente así, Sunkel (1986) define al ambiente como el ámbito biofísico natural y sus sucesivas transformaciones artificiales y su despliegue espacial. Según Buroz (1974) el ambiente se entiende como el entorno que existe alrededor del hombre. esto es, el compendio de valores naturales, sociales y culturales existentes en el lugar y momento determinado que influye en la vida material y psicológica del hombre.

Calidad ambiental: se define como las estructuras y los procesos ecológicos que permiten el desarrollo racional, la conservación de la diversidad biológica y el mejoramiento del nivel de vida de la población humana (CIDIAT y OEA 1992).

Conservación: constituye el campo del estudio de la naturaleza, el manejo de los recursos naturales en base a los objetivos naturales y sociales como es el bienestar humano, mantenimiento de la cantidad y calidad de los recursos, mantenimiento del equilibrio, poblaciones y recursos. La conservación integral incluye los recursos humanos y el ambiente (Richler, 1972).

Desarrollo ambiental sustentable: se refiere a la evaluación objetiva de beneficio/costo de todos los proyectos de desarrollo en términos de su impacto y demanda sobre los recursos, equilibrio ecológico y calidad de ambiente en general (PNUMA, 1988). Munn (1975) define al desarrollo ambiental sustentable como un crecimiento planeado que optimiza el uso de recursos disponibles localmente dentro de las restricciones del ambiente local.

Impacto ambiental: es el cambio neto positivo o negativo en el bienestar del hombre y factores ambientales (físico, biótico entre otros) debido a las acciones del proyecto (CAURA, 1988). Para el Consejo de Calidad Ambiental de los Estados Unidos (Council for Environmental Quality, 1986, citado por Cabeza, 1987), efectos, impactos y consecuencias ambientales son términos sinónimos e incluyen aquellas alteraciones ecológicas, estéticas, históricas, culturales y socioeconómicas que una acción causa sobre el ambiente. Existen diversas categorías o clasificaciones de Impacto Ambiental; entre las comúnmente utilizadas se encuentran las mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1 Agrupamiento de los Impactos Potenciales en el Ambiente y la salud

CLASIFICACION	TIPO
1. En relación a la(s) actividad(es) que genera(n) impacto.	- Benéficos o adversos. - Reversible o no. - Planeados o accidentales. - Directos o indirectos. - Acumulación simple o no.
2. En relación al tiempo que dura(n) la(s) actividad(es).	- Reversible o no. - A corto o a largo plazo. - Temporarios o continuos.
3. En relación al espacio que cubre(n) la(s) actividad(es).	- Local, regional, nacional o global.
4. En relación al potencial de mitigación.	- Remediabiles o no.

Fuente: Weitzenfeld (1990).

A continuación se presentan las definiciones de algunos de estos tipos de impactos (Weitzenfeld, 1990):

1. Reversible: son efectos sobre el ambiente que pueden volverse a las condiciones existentes antes de implementar las actividades del proyecto una vez que dichas actividades se suspenden.

2. Irreversible: son efectos sobre el ambiente que por su naturaleza no permiten que las condiciones iniciales se establezcan aunque la(s) actividad(es) del proyecto sea(n) suspendidas o eliminadas.

3. Corto plazo: son efectos significativos que aparecen en lapsos relativamente cortos una vez que se realiza(n) la(s) actividad(es) del proyecto y que pueden desaparecer con ella(s). Ej. enfermedades agudas.

4. Largo plazo: son efectos significativos que aparecen en lapsos distantes del inicio de la acción y que pueden no desaparecer con ella(s). Ej: enfermedades crónicas.

5. Directo: son efectos causados por la acción y ocurren al mismo tiempo y en el mismo lugar donde se generan.

6. Indirecto: son efectos resultantes del impacto directo y que pueden manifestarse tardíamente o alejados del sitio donde se generan.

7. Acumulativo: son efectos que se suman sobre el ambiente como resultado del impacto de varias actividades del proyecto o cuando se asocia con otras acciones, presentes. Estos efectos pueden ser el resultado de acciones individuales menores pero colectivamente significativas, que un determinado lugar durante un período de tiempo.

Evaluación de impacto ambiental (EIA): al respecto se presentan algunas definiciones:

".. una actividad dirigida a identificar y predecir el impacto sobre la salud y el bienestar humano, de propuestas legislativas, políticas, programas y procedimientos operacionales, y para interpretar y comunicar información sobre los impactos por la ejecución de obras de desarrollo.." (Munn, 1975).

"..una evaluación de todos los efectos ambientales y sociales relevantes que resultarían de un proyecto.." (Battelle, 1978, citado por Buroz 1974).

"..la evaluación consiste en establecer valores cuantitativos para parámetros seleccionados que indiquen la calidad del ambiente antes, durante y después de la acción.." (Heer y Hagerty, 1977 citado por CIDIAT, 1992).

"..son metodologías que permiten establecer si los beneficios de una determinada propuesta justificarán sus posibles efectos negativos.." (Canter 1977, citado por CIDIAT, 1992).

Metodologías para la identificación de efectos ambientales

Las consideraciones para la identificación de efectos ambientales a un nivel de pre-factibilidad son (Weitzenfeld, 1990):

- ✓ 1. Recopilar información y estudios relacionados a proyectos de riego y drenaje que puedan generar efectos negativos sobre el ambiente agrícola.
- ✓ 2. Es conveniente que los efectos seleccionados sean primarios o finales de lo contrario, podría considerarse el mismo efecto dos o más veces.
- ✓ 3. Es deseable que sean medibles los efectos de interés en términos cuantitativos.

Al respecto se describe la manera de identificar los efectos ambientales, sus consideraciones y procedimientos de identificación como son las matrices, técnicas específicas, lista de verificación y el encadenamiento de efectos.

Matrices

Son cuadros de doble entrada (relaciones causa-efecto). El procedimiento de elaboración e identificación es el siguiente (CAURA, 1988. Gómez, 1988):

1. Se elabora un cuadro (fila), donde aparecen las acciones del proyecto.
2. Se elabora otro cuadro (columna), donde se ubican los factores ambientales.
3. Para la identificación se confrontan ambos cuadros se revisan las filas de las variables ambientales y se seleccionan aquellas que podrían influir en las acciones del proyecto.
4. Para la identificación de efectos de segundo, tercer...grado se pueden construir matrices sucesivas, una de cuyas entradas son los efectos primarios y la otra los factores ambientales.
5. Identificados los efectos se describen en términos de magnitud e importancia.

Un ejemplo de este tipo es la **matriz de Leopold**, que consta de 88 filas y 100 columnas. En las filas se encuentran diferentes condiciones o características del ambiente, y en las columnas las diferentes acciones del proyecto. Para identificar los efectos, se revisan las columnas y se seleccionan solo aquellas acciones que forman parte del proyecto en estudio, esto produce una matriz notablemente reducida; los inconvenientes de las matrices de Leopold son (Cabeza 1987, MOPU 1989):

1. Su intención generalista no considera con suficiente exactitud la problemática de la actividad que interesa en un determinado ambiente, por decir los proyectos de riego. Este carácter "no selectivo", dificulta la atención del valorador en los puntos de interés más sobresalientes.
2. No reflejan la secuencia temporal de impactos, pero es posible construir una serie de matrices ordenadas en el tiempo.
3. Carecen de capacidad para considerar la dinámica interna de los sistemas ambientales. No obstante, esta carencia puede enmendarse si la matriz utilizada se acompaña de una "matriz de interacciones".

Técnicas específicas

Entre estas técnicas se encuentran las encuestas, reuniones de expertos, lenguajes tipos y escenarios comparados.

Las encuestas: se realizan a personas relacionadas de algún modo con el proyecto: el cliente, la población del área a afectar. Se hacen preguntas sobre las consecuencias que se espera que generará el proyecto sobre las diferentes variables ambientales. Este método no suele dar buenos resultados debido a la falta de conocimiento del personal encuestado (CAURA, 1988).

Reuniones de expertos: son talleres de trabajo donde se reúnen expertos en la materia (ingenieros, geomorfólogos, biólogos, ecólogos, geógrafos, sociólogos, urbanistas, legisladores ambientales etc.), y consiste en lo siguiente (CAURA, 1988):

1. Cada experto manifiesta al grupo "su" propia perspectiva del problema.
2. Se seleccionan efectos que pueden tener alta o baja probabilidad de ocurrencia y, sus consecuencias puedan ser o no importantes.
3. Uno de los asistentes se encarga de tomar nota de todos los efectos que se mencionan en la reunión, a fin de depurar la lista en un próximo taller.

Adicionalmente se realiza una revisión bibliográfica disponible sobre problemas ambientales derivados de proyectos similares e información de la prensa relacionado al proyecto en estudio.

Lenguajes tipos: son programas que se basan en las interacciones causa-efecto, es una simulación cualitativa de interacciones, permiten simular la dinámica de los sistemas. G-Sim, es un simulador cualitativo que expresa las relaciones (causa-efecto) en términos de positivo, negativo o nulo. K-Sim, cuantifica, las interacciones (causa-efecto) entre valores de cero (0) y uno (1) (Gómez, 1988).

Escenarios comparados: consiste en extrapolar los impactos producidos por actuaciones similares en medios similares, siempre y cuando se disponga de la información suficiente (MOPU, 1989). Es recomendable recurrir a una combinación de los métodos citados a fin de obtener un listado exhaustivo de efectos.

Lista de verificación

Las listas de verificación es el resultado de la acumulación de experiencia en la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. Las listas son extensas, el objetivo es facilitar un análisis acerca de las posibles consecuencias en el ambiente. Estas listas presentan el inconveniente de inducir al analista a ignorar efectos que no estén incluidos en ellas. Este es uno de los métodos más simples recomendable para estudios preliminares (MOPU, 1989. CAURA, 1988).

Es posible obtener listas de efectos para proyectos de represas, urbanísticos, mineros, etc., estas listas pueden ser consultadas a fin de identificar los efectos que se prevé ocurrirán a consecuencia de las acciones del proyecto en estudio (CAURA, 1988). A continuación se menciona la reestructuración y selección de lista de efectos.

Reestructuración de la lista de efectos: se realiza cuando los efectos detectados son muy grande o existe repetición de efectos. La selección se realiza reduciendo el número de efectos identificados inicialmente. El procedimiento es el siguiente:

1. Integrar profesionales especialistas en cada área.
2. Seleccionar los efectos que son sinónimos o repetitivos.
3. Los efectos iniciales tienen que facilitar la evaluación de otros efectos sobre cualquiera de los medios.

4. Eliminar los efectos de poca relevancia.
5. Establecer una clasificación interna de efectos en el medio físico, biológico y socio-económico.

Cabe mencionar que muchos efectos resultan difíciles de asignar a un determinado medio en virtud del encadenamiento.

Los efectos de relevancia generados por la construcción y operación se agrupan en una lista separada a fin de poder cuantificarlos, ya que en los estudios de pre-factibilidad son necesarios.

Encadenamientos de efectos.

Las obras de proyectos de sistemas de riego y drenaje están compuestas en fases de construcción, operación y mantenimiento, y a la vez por actividades. Estas actividades agrupan acciones del proyecto según su afinidad o elemento intervenido. Las acciones representan los procedimientos esenciales para la ejecución del proyecto que generarán un desencadenamiento de efectos.

Para la detección de acciones o causas desencadenadoras de efectos, se recomienda la desmenbración del proyecto en fases, actividades, acciones y efectos en forma de árbol, de tal manera que represente la división sucesiva de sus elementos en varios niveles. Una secuencia hipotética se puede apreciar en la Figura 1.

En los encadenamiento de efectos se pueden identificar tres tipos de efectos primarios, secundarios o intermedios y terminales (CAURA, 1988):

1. Efectos primarios se generan durante la ejecución de las acciones del proyecto y son consecuencia directa de las mismas. Pueden ser a corto plazo. En esta categoría se encuentran sobre todo efectos sobre el medio físico, aunque y puede haber algunos efectos sobre el medio biológico (deforestación) y socioeconómico (generación de empleos, actividades económicas, etc.).

2. Efectos secundarios o intermedios son los que se desencadenan de otros efectos, primarios o no. Pueden expresarse a largo plazo. En esta categoría se encuentran efectos a los medios físicos y biológico, que son desencadenados por los efectos primarios sobre el medio físico.

3. Efectos terminales son aquellos que no dan lugar a la aparición de nuevos efectos. Pueden ser, efectos primarios que no tienen más consecuencias. En esta categoría predominan los efectos sobre el medio socioeconómico, inducidos por los efectos a los medios físico y biológico.

Los efectos anteriormente citados pueden ser a corto o largo plazo, directos o indirectos beneficiosos o perjudiciales en el ambiente. El control de efectos se realiza con medidas de instrumentación a bajo costo y alta eficiencia (CAURA, 1988).

Este método no es recomendable para grandes actuaciones regionales, pues el diagrama puede llegar a ser extenso, lo que disminuye su valor práctico (MOPU,

■ Proyecto ————— ■ Efectos Primarios ■ Efectos Secundarios ■ Efectos Finales ■

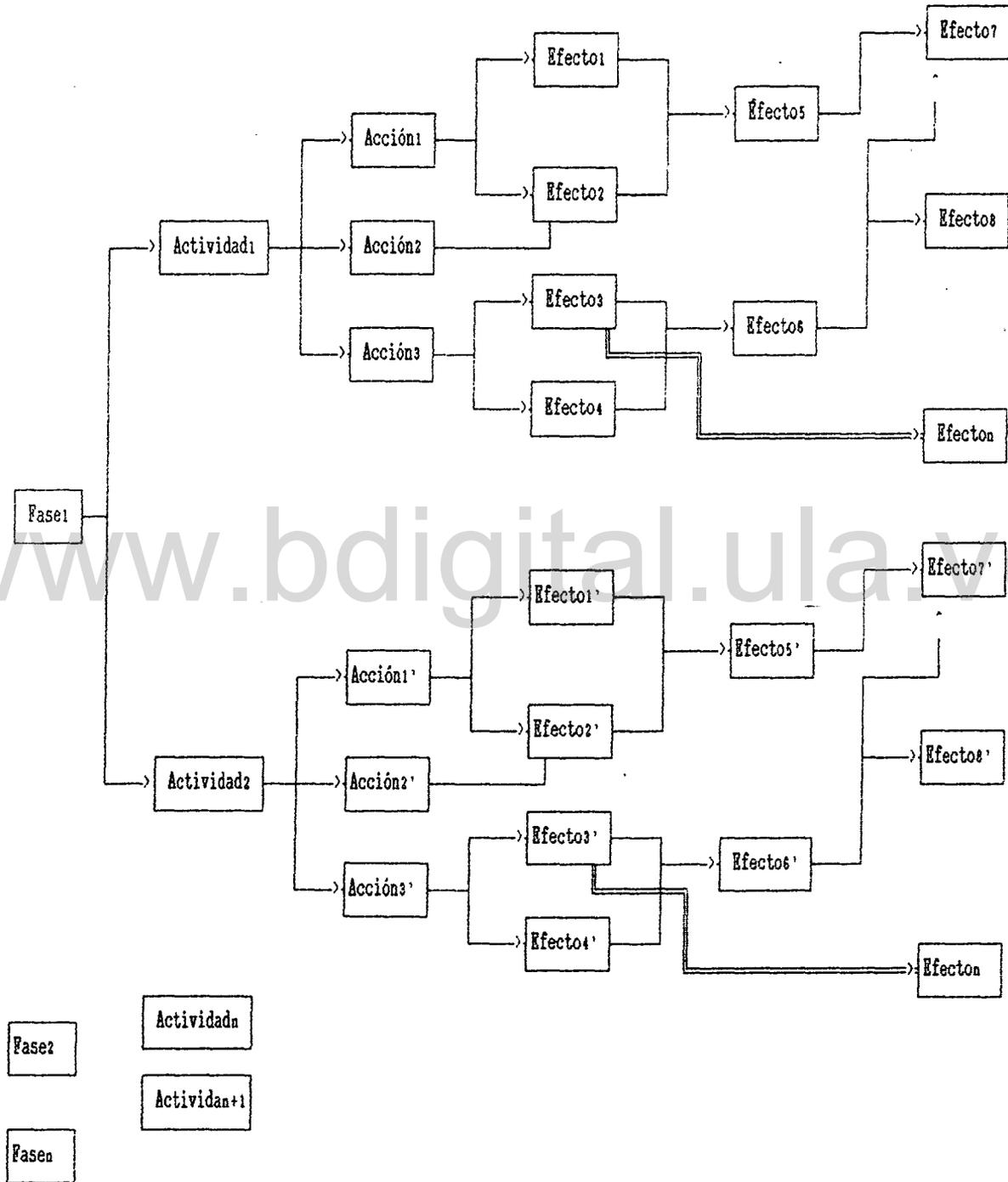


Figura 1. Relaciones de fases, actividades, acciones y efectos de un proyecto.

1989).

Evaluación de proyectos y análisis ambiental

Los proyectos de irrigación requieren de una planificación cuidadosa e investigaciones; pueden establecerse en áreas pobladas que cuentan con fuentes hídricas o en áreas donde no se han explotado los suelos. En los proyectos de riego de gran envergadura los efectos negativos son superiores a los que se generarían en los de menor envergadura (Tiffen, 1991).

Las etapas de evaluación de proyectos presentan una secuencia de etapas que son los siguientes: identificación de la idea, perfil del proyecto, pre-factibilidad, factibilidad definitiva u obra, construcción, operación y mantenimiento. El nivel de estudio que se realiza en la presente tesis es a un nivel de pre-factibilidad conformada por un conjunto de estudios, cuyo análisis es identificar por lo menos una alternativa viable de muchas alternativas posibles, estos estudios son a un nivel macro, integral y grosero (Franco, 1976).

El análisis ambiental en el ciclo del proyecto consiste en la evaluación de los efectos negativos en los proyectos de riego y se basan en el diagnóstico, pronóstico, estudio de medidas de control, y en la evaluación en forma progresiva. En la Tabla 2 se presentan las actividades a tomarse en las diferentes de los proyectos (Weitzenfeld, 1990).

Tabla 2. Resumen de las actividades de Evaluación de Impacto Ambientales dentro del ciclo y etapas del proyecto

<u>Del Proyecto</u>	<u>De las actividades</u>
Ideal (perfil preliminar)	- Descripción del proyecto. - Identificación de impacto (lista de verificación. - Potencial de mitigación.
Anteproyecto preliminar (prefactibilidad)	- Características del ambiente - Predicción cualitativa. - Análisis de impactos
Proyecto preliminar (Factibilidad)	- Modelos predictivos - Medidas de mitigación - Monitoreo previo
Proyecto definitivo (diseño de ingeniería)	- Proyecto definitivo de medidas de mitigación. - Programa de monitoreo.
Operación y mantenimiento	- Monitoreo - Auditoría - Medidas de mitigación

Fuente: Weitzenfeld (1990).

CAPITULO III

ACCIONES REALIZADAS EN LOS PROYECTOS DE RIEGO Y DRENAJE

Descripción del proyecto

La descripción de los proyectos tiene como fin informar al equipo de especialistas encargados de la evaluación del proyecto, sobre los detalles de la ejecución y acciones que se llevarán durante la construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura de riego planificada (Buroz, 1974).

Los objetivos y justificación es el primer punto a considerar en la descripción del proyecto, debe describirse el "por qué" y "para qué" se lleva a cabo el proyecto, exponer las razones que han llevado a considerar la necesidad de la actividad proyectada, las ventajas que traerá a la comunidad, región o nación, el emplazamiento y las posibles alternativas para su ubicación. Es necesario realizar una recapitulación histórica de las condiciones o problemas identificados en el área a irrigar. También es conveniente un análisis breve de las opciones alternativas rechazadas, si las hubiese, mediante una descripción de sus consecuencias ambientales (CAURA,1988 y Gómez,1988).

La localización del proyecto y sus límites se pueden ubicar en mapas mediante coordenadas cartesianas o geográficas: es necesario tener información de mapas de suelos, vegetación, fauna, drenaje natural, valores arqueológicos, entre otros, para saber las incidencias que el área de riego tendrá sobre los factores ambientales o viceversa.

Los estudios previos a considerar antes de la construcción de las obras de riego son los estudios básicos, requerimiento y disponibilidad hídrica, caudales de diseño del sistema de riego y drenaje, canteras y escombreras existentes y por realizar, ingeniería del proyecto, costos y beneficios del proyecto, cronograma de ejecución y mano de obra necesaria.

En los proyectos de riego y drenaje es necesario dividir o desmembrar el proyecto en fases de construcción u operación y mantenimiento y describir las actividades y acciones de una manera técnica para que el usuario o lector del presente estudio pueda elegir, analizar y evaluar las alternativas de acciones y poder confeccionar la matriz de interacción con el fin de confrontar las acciones versus los factores ambientales, para detectar los efectos negativos.

De acuerdo a los criterios antes mencionados se realizará la descripción de los componentes de los proyectos de riego en la fase de construcción, operación y mantenimiento en proyectos de riego y drenaje.

Acciones realizadas en la fase de construcción

En este aparte se describen las actividades y acciones técnicas alternativas más relevantes de la fase de construcción de los proyectos de riego y drenaje. Las obras a construirse en el sistema de riego se clasifican como:

obras preliminares, obras de captación, obras de conducción y distribución, obras del sistema de drenaje, obras de arte del sistema de riego y drenaje, obras de nivelación de tierras, red vial y de comunicaciones y obras auxiliares. Seguidamente se describen las obras descritas anteriormente.

Obras preliminares

Las acciones iniciales son la deforestación, el despeje y limpieza con repercusiones sobre la flora y fauna (Montilla, 1972).

La deforestación comprende la remoción completa de árboles, troncos y en general todo tipo de vegetación o restos de ellas, así como el amontonamiento y eliminación por quema u otros medios.

El despeje comprende la eliminación de toda vegetación herbácea o arbustiva, amontonamiento y quema de los residuos. Durante el apilonamiento de los residuos debe evitarse la mezcla de tierra con la madera que obstaculicen posteriormente la quema.

La limpieza es una actividad necesaria para evitar residuos vegetales que perjudiquen labores posteriores. Generalmente al iniciar el desarrollo parcelario se encuentra uno con residuos de la deforestación (resultado de quemas incompletas).

Obras de captación

Las obras consideradas para la captación de aguas pueden ser presas de embalse, obras de derivación (directa y bocatoma) y plantas de bombeo.

Presas de embalse

Consta de un vaso de almacenamiento, represa o dique, aliviadero o vertedero de demasías, toma y obras anexas para conducirla hacia el canal principal. Las presas pueden ser de gravedad, de arco o mixtas, dependiendo de las condiciones geológicas del sitio de cierre y de los materiales de construcción. Las acciones realizadas son generadoras de efectos negativos y positivos (Guevara 1989, Grassi 1991).

Obras de derivación

Se ubican en los cauces de los ríos, sus componentes son similares a las presas de almacenamiento, con la excepción que no existe el embalse y algunas veces la presa. Al respecto se presentan dos tipos de estructuras de captación: a) sin represar, cuando el río presente un tirante de agua suficiente para el paso de agua hacia el canal principal o tubería de conducción; b) por presa derivadora, la cual consiste en levantar el tirante de agua para encauzarlo al canal principal. Este sistema debe poseer un desarenador y diques en las márgenes del río aguas arriba y abajo de la presa para evitar el desbordamiento (Guevara, 1989).

Planta de bombeo

La extracción puede ser directamente del río, embalse o acuífero. En el caso de los acuíferos, se tiene que realizar la perforación, revestimientos con filtros en aquellas partes del acuífero que tiene propiedades transmisoras, llenado con grava en el espacio anular alrededor del filtro, instalación de bombas centrífugas con motor de combustión interna o eléctrico de eje vertical, tanques de almacenamiento para su posterior distribución si es necesario. Los pozos o pozo se pueden ubicar dentro o fuera del área de riego. La perforación altera el flujo de las aguas subterráneas.

Obras de conducción y distribución

Las obras a construirse para la conducción del agua son los canales, tuberías o canaletas. La red de distribución nace del canal principal y esta diseñada para proporcionar el servicio a las parcelas a través de estructuras de toma. Los canales abiertos pueden ser excavados en tierra o roca; el revestimiento pueden ser en concreto, de plástico u otro material impermeable. Esta acción evita la infiltración de las aguas conducidas afectando los acuíferos y posible elevación de los niveles freáticos en áreas adyacentes.

Otro sistema de distribución es por tuberías, puede ser de concreto o metálica. Las tuberías de concreto son de baja presión, se utilizan para conducir las aguas a los predios. Las tuberías metálicas o de plástico son utilizadas para la conducción del riego por aspersión o goteo, esta compuesta de una tubería principal sus laterales y los rociadores. La tubería principal puede ser fija o móvil, superficial o enterrada. Existen otros equipos modernos en los que solo existe una tubería entre la fuente de agua y el terreno como el "Big Squirt" que no utiliza tubería alguna (Rojas, 1988).

Obras del sistema de drenaje.

Es el componente indispensable de toda red de riego donde se transportarán los sobrantes del agua aplicada y precipitada a un curso de agua, lago, pozas etc. a fin de evitar efectos negativos de salinidad, anegamiento, salud pública y perjuicios a los cultivos. Los tipos de drenes pueden ser drenes abiertos, subterráneos o por bombeo (Israelsen, 1962).

Drenes abiertos

Son diseñados para interceptar la napa subterránea y las aguas superficiales. Constan de drenes, colectores secundarios y colector principal; la captación se inicia en los drenes y termina en el colector principal, la capacidad de los drenes se va incrementando, conforme la red se extienda. La construcción se realiza mecánicamente o manualmente a cielo abierto, se ubican transversalmente a la mayor pendiente del terreno. Existen drenes naturales cuyo funcionamiento adecuado consiste en ampliar la capacidad natural de conducción (Guevara, 1989).

Drenes subterráneos

La topografía del terreno es la que da las pautas; el tamaño del sistema está limitado por el diámetro de los colectores que, en general, no pueden conducir grandes cantidades de agua. La configuración es la misma que los drenes superficiales. La instalación de los tubos de drenaje se realiza conforme se va excavando las zanjas (mecánica o manualmente), luego se tapa la zanja y finalmente se distribuye la tierra extraída. La salida o desembocadura de un colector o un emisor debe hacerse a $\varnothing.1$ m. por encima del nivel máximo de las aguas en el emisor.

El drenaje por bombeo es aplicables cuando los niveles de agua se encuentran próximos a la superficie o a profundidades entre 3 a 4 m. Su construcción es similar a la obra de captación por bombeo y resulta económica en comparación a los drenes superficiales (Grassi, 1991. Christiansen, 1968).

Obras de arte en sistemas de riego y drenaje.

La función primaria de las estructuras de arte en las redes de riego es dividir, repartir, regular, controlar y derivar los caudales, además proteger el sistema contra el reboce del agua del canal, erosión de canales y el depósito de sedimentos que traen muchas consecuencias ambientales (Milligan 1969, Grassi, 1991).

Grassi (1991) describe una relación de estructuras en el sistema de riego y drenaje conformada por el desarenador, aliviadero, partidores y repartidores, represas, tomas, aforadores, estructuras de cruce, bocas de visita, caídas y descargas.

Obras de nivelación de tierras para riego.

Tiene como fin la modificación total o parcial de la topografía existente, para controlar el flujo de agua y permitir su uniforme almacenamiento en el suelo (Grassi, 1991). Los efectos positivos que se originan con la nivelación de tierras son el mejoramiento del drenaje superficial, conservación de la fertilidad del suelo, control de la erosión, control adecuado del agua y aumento de la eficiencia de aplicación y la mecanización agrícola más eficiente (Montilla, 1972).

Los trabajos de nivelación de tierras con fines de riego se pueden realizar emparejando (alisado de terreno), rectificando las curvas de nivel, con pendiente uniforme de una sola dirección y con pendiente uniforme en ambas direcciones (Grassi, 1991).

Las actividades previas a la nivelación de tierras son la preparación del terreno y movimiento de tierras, estas acciones se realizan de acuerdo al clima de la zona. En climas de zonas tropicales se hace dificultoso realizar dos trabajos en el mismo año; por lo común la deforestación es un año anterior al movimiento de tierras (Montilla, 1972).

Construcción del sistema de riego (predio).

Booher (1974) sostiene que la elección del método de riego es importante para conseguir las máximas producciones de los cultivos. Si se emplea un método inadecuado, pueden producirse fallas en el riego y posiblemente causar efectos deprimentes al medio.

Los factores a considerar en el método de riego son los cultivos, la topografía, el clima, el suelo, el recurso hídrico, los costos y la disponibilidad de capital. El diseño hidráulico esta en función del caudal de riego, pendiente de la corriente, irregularidad del terreno y forma del canal (Guevara, 1989).

Los tipos de riego son por **inundación**, llamado también riego por melgas o pozas cuya construcción es de forma rectangular o cuadrada, por **surcos**, consiste en construir pequeños canales, **curvas de nivel** son surcos que siguen las curvas de nivel. Estas labores de construcción pueden ser manual o mecánicamente.

Red vial y de comunicaciones

Esta es una de las infraestructuras importantes para el tránsito y traslado de los habitantes de los centros poblados, insumos y las cosechas, acceso hacia las obras de toma, (embalses y bocatomas) red de canales, drenes y otras estructuras necesarias para la operación y mantenimiento. El trazado y la construcción se ajusta a los requerimientos del transporte y al movimiento de vehículos y maquinaria, pueden ser caminos de tierra, afirmados o revestidos. La precipitación es provocador de la erosión de taludes (Grassi 1991, Palacios 1979).

Las líneas telefónicas y la radio son medios de comunicación que vinculan principalmente la obra de captación y las diferentes obras de regulación, conducción y distribución.

Obras anexas y auxiliares

En un sistema de riego existen las viviendas de los parceleros, localizadas en cada predio o agrupadas en centros poblados. Otras pueden ser centros de servicio, campamentos, edificios para la administración del sistema y de las diferentes zonas en que se divide el mismo; viviendas de los operadores de embalse de las obras de captación y canaleros, estaciones hidrométricas meteorológicas, el pool de maquinarias agrícolas, establecimientos para guardar las cosechas (silos), agroindustrias para el procesamiento de las cosechas.

Acciones realizadas en la fase de operación y mantenimiento

La operación de la infraestructura de riego tiene como objetivo realizar acciones de conducción, regulación, distribución, aplicación, evacuación de los excedentes del riego y la preparación de tierras antes del riego. En esta fase es donde ocurren la mayor cantidad de efectos negativos sobre los suelos, cultivos, agua e infraestructura de riego.

La operación de un proyecto de riego significa adelantarse a los problemas que puedan generarse desde el momento de la puesta en marcha del sistema. De acuerdo a varias definiciones respetables de muchos autores, se quiere dar a continuación una que involucre al ambiente y es la siguiente: "conjunto de actividades para la planeación, distribución, control y evacuación del recurso agua, con la finalidad de proporcionar una regulación óptima del régimen de humedad del suelo. El objetivo es obtener el mayor rendimiento en lo posible de las áreas cultivadas, conservando el recurso agua y suelo, y reduciendo las acciones provocadoras de impacto negativo sobre el ambiente agrícola y el ser humano y sus implicancias sociales y económicas.

Para comprender la fase de operación de un sistema de riego se descompondrá en diferentes operaciones con el fin de identificar los efectos sobre los factores ambientales. Las operaciones a describirse seguidamente son captación, conducción, distribución, aplicación, evacuación y labores culturales.

Operación de captación

Esta acción permite captar cantidades de agua de acuerdo a la demanda programada del sistema de riego. La operación de captación se refiere a las tomas en embalses, derivación y bombeo (Palacios, 1988).

Operación de tomas

Pueden ser operadas manual o electrónicamente, ya sea en tomas simples y tomas de doble compuerta. En tomas simples la operación consiste en subir y bajar las compuertas en la medida que se necesite un mayor o menor gasto. En las tomas de doble compuerta existen dos compuertas o válvulas de control, la primera es de "seguridad" y la segunda de "regulación", la operación consiste en mantener abierto la compuerta de seguridad y luego la compuerta de regulación (Silva, 1977).

En aquellas compuertas de cargas muy elevadas se emplea una válvula de control tipo aguja, que permite disipar la gran energía disponible. El cierre brusco de las compuertas tiene incidencia en el flujo de agua en tuberías, que puede provocar un efecto negativo de "golpe de ariete" y ruptura de otros mecanismos (Astorga, 1973).

La toma de derivación, llamada bocatoma consiste en operar compuertas ya sea planas o radiales en función del desarenador, el cual debe ser armónico y complementario, para evitar el mínimo acarreo de sólidos en la red de canales (Silva, 1972).

En la operación de bombeo de las aguas subterráneas se debe considerar si es para consumo humano, ganadero o para complementar el sistema de riego. La operación de bombeo considera varios aspectos relacionados como son: elección de la bomba, los efectos de cavitación, ruidos y el mantenimiento (IRLI, 1974 y Guevara, 1989).

Operación de conducción

La conducción genera un efecto negativo que es la infiltración en canales sin revestir, lo cual trae como consecuencia otros efectos negativos como la disminución de la eficiencia de conducción, el anegamiento de tierras de cultivo, vectores de enfermedades, contaminación de las aguas subterráneas entre otros.

La operación de regulación de las aguas en las obras de captación y conducción del sistema de riego esta a cargo de un "tomero" y un "canalero" (Milligan, 1969).

1. La labor del "tomero" es sacrificada ya que tiene que vivir (casa) al lado de la obra de captación para operar las estructuras si ocurrieran los eventos inesperados.

2. El "canalero" tiene que estar inspeccionando los canales de conducción y las obras de arte el mismo día, para realizar las operaciones de cierre, apertura y regulación programadas para el día; y además para recibir las solicitudes de agua y/o cumplir las etapas siguientes de tramitación de las entregas de agua.

La operación en los sistemas de conducción y distribución se realiza en canales en tierra y canales revestidos, en éste último se generan efectos positivos más que negativos.

El vaciado rápido del canal origina desequilibrios de fuerzas, como consecuencia de la reducción de la presión sobre el terraplén, afectando por lo tanto al volumen del mismo. De modo que el empuje sobre las losas produce un movimiento de las mismas que da lugar a fallas en el revestimiento (Grassi, 1991).

Operación de distribución

El sistema de distribución es la parte encargada de controlar y distribuir los volúmenes de agua desde el sitio de almacenamiento o captación hasta la cota superior del área de riego (Guevara 1989, Booher 1974). La distribución se realiza por tuberías o por las estructuras de distribución.

En tuberías las presiones hidrostáticas pueden originarse en los puntos bajos, no deben exceder de la presión permisible para el tipo de tubo empleado (Rojas, 1988).

Las estructuras de regulación del sistema de riego son operadas para conseguir el control, medición y reducción del trabajo que implica regar los cultivos; estas estructuras se consideran parte del sistema de distribución (Booher, 1974). El número y tipo de estructuras que se necesiten dependen del tipo de acequia, de la pendiente y de los obstáculos que se presenten.

Operación de aplicación

La aplicación de agua en el predio es función de la técnica de riego. El

objetivo es lograr el humedecimiento óptimo de la zona de raíces de los cultivos. El riego, de acuerdo a la aplicación del agua, puede ser superficial, por aspersión o goteo.

Aplicación superficial

Consiste en hacer correr el agua sobre la superficie del terreno con el fin que se infiltre en el suelo. Los métodos de riego existentes son por surcos, por inundación y en contorno, siendo los dos primeros los más importantes o la combinación de ellos. El caudal de agua operado depende de las características propias del suelo, la topografía, los métodos de riego, cultivos, la preparación del suelo, la salinidad, el nivel freático, la habilidad del regador y la calidad del agua (Strebin, 1974).

La aplicación superficial del agua considera el **método de distribución del agua, la operación de los instrumentos y dispositivos de riego y la aplicación del agua a los cultivos.**

Los métodos de distribución del agua, previa aplicación del agua a los cultivos, puede ser por caudal continuo, por demanda controlada, y por tanteo, turno o rotación (Palacios, 1988).

La operación de instrumentos y dispositivos de riego, son comunes en las obras de captación, conducción, regulación y distribución dentro del predio cuya finalidad es controlar la distribución del agua, de tal modo que ésta se derive de un modo fácil y exacto a los diversos puntos del predio. Obtener eficiencia de aplicación altas es minimizar la percolación y el escurrimiento, evitando así problemas de anegamiento y otros efectos negativos subsiguientes (Strebin, 1974).

La aplicación de agua a los cultivos considera dos características importantes; la cantidad de agua en el suelo y la velocidad de infiltración (Booher, 1974).

Riego por aspersión

Consiste en la aplicación del agua semejante a la lluvia natural. Los suelos poco profundos y/o con una alta capacidad de infiltración son aptos para el riego por aspersión. Muchos cultivos son regables por aspersión aunque hay algunos que necesitan ciertos cuidados en la aplicación del tamaño de la gota, ya que éstas pueden dañar a las plantas (Rázuri, 1988).

El funcionamiento del riego por aspersión requiere la regulación de las presiones a través del sistema de conducción, distribución y control para evitar el **golpe de ariete**, efecto que ocurre al detener súbitamente el flujo de agua.

La operación del sistema de riego de aspersión puede ser por sistemas móviles, fijos, semi-fijos y de cobertura total. El sistema de riego por aspersión implica la operación de varios componentes como son el equipo de bombeo, tuberías, aspersores, accesorios, verificación de calidad de agua y aplicación de fertilizantes (CIDIAT 1988, Guevara 1989).

Riego por Goteo

Es un método que mantiene los suelos cercano a la capacidad de campo humedeciendo las raíces de los cultivos en forma puntual. El movimiento es por infiltración y capilaridad. Los efectos positivos son la conservación de las propiedades físicas de los suelos y disminución de vectores de enfermedades; el efecto negativo es la obstrucción de los goteros. La operación puede ser automatizada y computarizada con un ahorro del 50% de agua y un 95% de eficiencia de aplicación (FAO, 1987).

La operación de los componentes del sistema son: el filtrado, los equipos de fertilización, los dispositivos de regulación y control, los elementos de seguridad (CIDIAT, 1988).

Evacuación.

La operación de evacuación de los excedentes hídricos de las tierras agrícolas puede ser por precipitación, escorrentia superficial (riego), flujo y subsuperficial y por cauces de aguas que entran en el área de riego. La operación del sistema de drenaje implica el buen diseño, construcción y conservación de la infraestructura para evitar plagas y enfermedades debido a la ausencia de humedad (IRLI, 1972).

Otros fines que persigue el sistema de drenaje y con repercusiones ambientales, son el aporte de agua para la navegación, para el transporte de productos agrícolas, para el turismo y recreación. Los efectos negativos son la combinación de los excesos de agua residuales de las poblaciones (aguas negras) y los efluentes de las Industrias Agrícolas.

Al respecto se consideran los tipos de drenajes que se presentan en los proyectos de riego, el drenaje subterráneo, superficial y bombeo.

Drenaje Subterráneo

Opera los niveles freáticos de acuerdo a la profundidad de las raíces de los cultivos o por la lixiviación de sales de los suelos. Los efectos negativos que ocurren durante la operación son por obstrucción de los tubos de drenaje, ya sea en la entrada o conducción. En la entrada el problema se debe a la acumulación de partículas de suelo y precipitados químicos, en la conducción, por la acumulación de partículas de suelo, precipitados químicos y obstrucción de las raíces de los cultivos; estos efectos provocan la sobrepresión de las tuberías y fallas en la operación.

Otras causas posibles que dificultan la operación son la instalación de tuberías de diámetro pequeño y deterioro de la línea de tubos.

Drenaje Superficial

La operación adecuada requiere del mantenimiento de los drenes artificiales o naturales y la operación de las obras de arte ubicadas en los drenes, ya sea en zonas llanas o en pendientes. En las zonas de evacuación es

donde se producen efectos de erosión por incremento de caudales o por cambio de los cursos de cauces.

Drenaje por bombeo

La necesidad del drenaje por bombeo es para evacuar las aguas acumuladas de una cota menor a una mayor o para variar los niveles freáticos de las áreas agrícolas. Cuando la cota en los puntos de evacuación es inferior a la cota de salida no se puede producir drenaje por gravedad; la única forma de evacuar estas aguas es con equipos de bombeo. La operación de bombeo es semejante a la realizada en la extracción de aguas subterráneas de acuíferos vista anteriormente.

El drenaje por bombeo provoca la recirculación del agua a través del suelo y la variación del volumen almacenado en el subsuelo; otros efectos son el aumento de la concentración salina de los suelos, el desequilibrio dinámico y por consiguiente un descenso de los niveles freáticos en toda el área (Grassi, 1991).

Labores culturales

Las acciones a realizarse en esta fase son la preparación de tierras, la operación de siembra y la aplicación de agroquímicos con incidencia sobre las propiedades físicas de los suelos, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, salud de la población y calidad de aire.

Preparación de tierras

Esta operación tiene por finalidad dejar el terreno en condiciones apropiadas para alojar las semillas, para que puedan germinar y desarrollarse normalmente. Las acciones a realizarse son selección de maquinarias, destrucción las malezas y residuos de cultivos anteriores y construcción de una buena "cama" a la semilla.

Existen ciertas consideraciones para la conservación de los suelos y operación de la maquinaria agrícola como el menor número de pases, graduación correcta de los implementos y la conservación y mantenimiento de los equipos.

Operación de siembra

La operación mecanizada es más eficiente y económica que la realizada manualmente en extensiones considerables como son los sistemas de riego. Existen dos tipos de siembra en línea y al voleo. La siembra en línea se ha introducido para todos los cereales con excepción del maíz, desplazando a la siembra al voleo, el dejar cubiertas las semillas evita que estas sean comidas por los animales, arrastradas por el viento y el agua (Heinrich, 1966).

Los equipos de siembra depende de las semillas a sembrar. En Venezuela, las máquinas sembradoras de más uso son las de levante hidráulico, de tiro, de precisión y aplicación de semillas al voleo, las de más uso son las dos primeras (Shell, 1970).

Aplicación de agroquímicos

Los fertilizantes o abonos tienen como fin elevar el rendimiento de los cultivos ya sea abonando el suelo o la planta. Los tipos de abonos son los calizos, nitrogenados, fosfóricos y potásicos o la combinación de estos. Los abonos se pueden clasificar como naturales y artificiales (Shell, 1970). Los pesticidas en su mayoría son de elevada toxicidad pudiendo perjudicar a ciertos cultivos y al hombre. Suelen bastar pequeñas cantidades para lograr una eficacia suficiente. Dentro de este grupo de los pesticidas figuran los insecticidas, herbicidas, plaguicidas, funguicidas y nematocidas (Shell, 1970. Heincheir, 1966. Custodio, 1975).

Los equipos para la aplicación de agroquímicos y aparatos necesarios dependen de las características químicas, físicas y tóxicas de los productos a emplearse y de las influencias atmosféricas, principalmente de las precipitaciones y el viento del medio (Shell, 1970). La aplicación de los agroquímicos pueden realizarse de forma mecánica, manual y aérea.

La manera mecánica pueden realizarse con equipos de abonamiento y aspersión accionadas por tractores agrícolas. Existen abonadoras y sembradoras para aplicar en forma de hilo y a todo el terreno.

La forma manual se realizan con asperjadoras de espaldas neumáticas de presión constante, llamadas así porque se aplica presión de aire sobre la superficie del líquido, a fin de obligarlo a salir de la máquina, la presión viene comunicada por una bomba movida a mano, este tipo de asperjadora se utiliza para pequeñas áreas agrícolas.

La aérea se realiza con el uso de aviones, avionetas o helicópteros, son justificados para grandes áreas de riegos. El rendimiento es de 200 - 800 ha/día, los sistemas empleados para la aplicación son el espolvoreo y pulverización (Heincheir, 1966).



CAPITULO IV

FACTORES AMBIENTALES

Los factores del medio susceptibles de recibir impactos son los elementos, cualidades y procesos del entorno que pueden ser afectados por las acciones del proyecto durante la fase de construcción, operación y mantenimiento.

Jensen (1983), menciona que el medio ambiente es afectado por efectos físico-químicos, condiciones biológicas, tratamiento químico y tráfico automotriz. Además menciona como factores ambientales afectados el suelo, el agua, la atmósfera, la fauna y la flora.

United Nations (1990), menciona que los factores ambientales susceptibles a recibir impactos en proyectos de Irrigación son: el agua, el suelo, la ecología (flora y fauna), salud pública y la fauna silvestre.

La Directiva de España 85/337 de 5-7-85 considera como factores ambientales: el hombre, la fauna, la flora, el suelo, el agua, el aire, el clima, el paisaje, los bienes materiales y el patrimonio cultural (Gómez, 1988).

Seguidamente se presenta la descripción de los factores ambientales y sus características ambientales del medio físico a ser alteradas por las acciones realizadas en la fase de construcción, operación y mantenimiento en los proyectos de riego, éstos son: el clima, la atmósfera, los ruidos, la geomorfología, la geología, la edafología, la hidrología, la vegetación y la fauna.

Clima

Al respecto se mencionan las características representativas del factor clima (MOPU, 1989):

1. Radiación solar media diaria o global.
2. Insolación media mensual, anual y porcentaje de duración del día.
3. Temperatura máxima y mínima absolutas anuales, medias del mes más cálido y el más frío, media anual, oscilación anual de temperatura.
4. Viento, frecuencia de las direcciones, frecuencia de las velocidades máximas.
5. Humedad relativa, frecuencia de rocío (anual o mensual), frecuencias de nieblas (anual o mensual).
6. Visibilidad, estimación del observador.
7. Precipitación media anual, media mensual, número medio anual y mensual de días de precipitación igual o superior a 10 mm, precipitación máxima absoluta

en 24 horas, número medio anual de días de tormenta, número medio estival de días de tormenta.

8. Evaporación potencial, Langhein, evaporímetro piche y tanque.
9. Evapotranspiración potencial, métodos de Thornthwaite, Blaney, Criddle, Penman.
10. Evapotranspiración real. Thornthwaite, Mather, Den Mead y Chau.

Una forma clásica de representar el clima de una región, es mediante los climodiagramas. Este procedimiento facilita una comparación del clima de localidades distintas, y pone en evidencia, rápidamente, las diferencias y similitudes climáticas. Los más utilizados son climodiagrama de Walter-Gausson, Walter-Lieth, Papadakis (MOPU, 1989).

Si existe carencia de información de datos meteorológicos de una determinada zona de estudio se puede elegir otras estaciones para lo cual se tiene que tener en consideración tres criterios útiles que son: proximidad, altitud similar al área de trabajo e igual orientación que la zona de estudio respecto de las cadenas montañosas importantes.

La localización de microclimas locales dentro del área de riego muchas veces es función de los vientos, insolación, temperatura o precipitaciones. Entre los aspectos del territorio que pueden modificar las características climatológicas de una región destacan (MOPU, 1989):

1. Condiciones de relieve: pueden modificar precipitaciones, humedad edáfica, temperatura y vientos. Respecto a éstos últimos, tienen una cierta importancia en las zonas donde suelen ubicarse las presas, los vientos de ladera y las brisas de montaña y valle.
2. Orientación: modifica directamente la radiación, y a partir de ella, el resto de las características climáticas.
3. Altitud: actúa especialmente sobre la temperatura y la precipitación.
4. Cursos y masas de agua: la presencia de masas de agua modifica la humedad relativa y disminuye la temperatura del aire, por evaporación.
5. La cubierta vegetal puede modificar la temperatura local según densidad, albedo, etc. La naturaleza del suelo, puede aumentar o disminuir la aridez del clima según su permeabilidad, contenido en materia orgánica, etc.

Atmósfera y Ruidos

Los agroquímicos aplicados con avionetas y tractores agrícolas, y las emisiones provocadas por el funcionamiento de agroindustrias, circulación de maquinarias y vehículos pesados pueden generar un aumento en los niveles de emisión de diferentes contaminantes y producir efectos nocivos sobre la salud humana, vegetación, suelos y agua. Estos efectos alteran la calidad del aire

durante la fase de construcción, operación y mantenimiento del sistema de riego, por ello es importante conocer mediante muestreos los niveles de emisión (MOPU, 1989).

Los ruidos son provocados por diferentes acciones realizadas en la construcción y operación del proyecto de riego y drenaje. El origen de los ruidos en la fase de operación se debe al funcionamiento de las fábricas agroindustriales, movimiento de maquinarias y casetas de bombeo; en la fase de construcción, consecuencia de la explotación de canteras y del tráfico de maquinarias pesadas.

Es recomendable localizar y medir los niveles de ruido en aquellos lugares más frecuentados por personas, así como poblaciones y viviendas aisladas que puedan existir en el entorno afectado. También es necesario estudiar las condiciones de propagación del ruido en la zona, con objeto de determinar el ámbito de aplicación (MOPU, 1989).

El ruido no solo constituye un riesgo para la salud, una molestia o una perturbación, sino que puede también disminuir la eficiencia del trabajo, dañar áreas de interés particular (p.e. zonas de nidificación, monumentos histórico-artístico, zonas frecuentadas, etc), y afectar la producción (Eichler, 1972).

Geomorfología

El análisis de la geomorfología de una zona consiste en la identificación de sus unidades existentes, su representación cartográfica, el estudio de la superficie terrestre, y la posible relación con otros procesos (Holmes, 1965).

La geomorfología es un elemento muy complejo que agrupa diversos aspectos del medio, frecuentemente el estudio abarca las formas topográficas que es un aspecto fundamental y la pendiente que trata de valorar la inclinación del terreno respecto de un plano horizontal (MOPU, 1989).

Tanto la geomorfología, como los aspectos que la integran, aparecen indisolublemente vinculados con otros elementos, así por ejemplo:

1. Los problemas de una zona de drenaje están estrechamente relacionados con sus condiciones geomorfológicas y geogenéticas. La presencia o ausencia de capas con buenas propiedades de transmisividad del agua, de barreras para el flujo de agua subterránea, de manantiales, así como la relación entre agua subterránea y agua superficial, afectan directa o indirectamente las condiciones del agua freática o raíces de los cultivos (IRLI, 1972).

2. Los niveles freáticos de regiones geomorfológicamente y climatológicamente similares son a menudo comparables. De una forma un tanto simplificada puede decirse que una vez conocido el tipo de relieve se conocen también las principales condiciones del drenaje de ese relieve (IRLI, 1972).

3. Las unidades geomorfológicas, constituyen una base en la definición de unidades de paisaje y tanto la exposición como la altura, contribuyen, de forma insustituible, al estudio de impactos visuales (MOPU, 1989).

Hidrología superficial

Es el componente más afectado en las fases de construcción y operación de un sistema de riego y drenaje. La modificación puede ejercerse tanto sobre el régimen o caudal, como sobre la calidad de sus aguas. Por ello, la regulación del caudal de los ríos puede afectar de forma negativa al ecosistema acuático y sus usos.

La construcción y operación requiere generar dos tipos de caudales. El caudal máximo con un período de retorno de 50 o más años; con dichos datos se diseñará la obra de captación o la obra de embalsamiento; la generación del caudal medio mensual será necesaria para mantener una demanda hídrica óptima de los cultivos seleccionados cada mes del año.

Se debe tener en cuenta dos consideraciones (MOPU, 1989) :

1. Que las estaciones de aforo no estén situadas en los puntos convenientes al estudio. También puede ocurrir que no se disponga de un período de años suficiente, sobre todo para el cálculo de avenidas. En estos casos, será necesario recurrir a estudios pluviométricos y realizar extrapolaciones.
2. La existencia de embalses y su régimen de desembalse puede variar completamente los caudales.

Siendo importante el efecto producido sobre el régimen del río por la obra de captación o el embalsamiento del agua, existe cierta modificación sobre la calidad de las aguas y la variación de los caudales que fluyen. La calidad está en relación con el uso o actividad a que se destina (Custodio, 1975).

La calidad puede estar alterada por sustancias naturales y artificiales como la precipitación, el viento, la acción erosiva, adición de vertidos artificiales, y sustancias como detergentes, tóxicos que afectan al medio acuático; la reducción de los caudales en los cursos naturales provoca cierta alteración en el ciclo hidrológico.

Al respecto se enumeran algunos parámetros de aguas de vertidos urbanos o industriales de drenaje de tierras agrícolas (MOPU, 1989):

1. Las características físico-químicas comprenden las materias en suspensión, turbidez, temperatura y pH.
2. Las características químicas comprenden el oxígeno disuelto, DBO₅, el carbonato orgánico, iones (bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio y sodio).

Los efectos negativos que ocurren debido al riego con aguas dedicado a la agricultura son los siguientes (FAO, 1987):

1. Salinidad: las sales del suelo y del agua reducen la disponibilidad del agua a los cultivos a tal punto que afectan los rendimientos.

2. Infiltración del agua: contenidos relativamente altos de sodio, o bajos de calcio en el suelo y agua reducen la velocidad con que el agua de riego atraviesa la superficie del suelo. Esta reducción puede alcanzar tal magnitud, que las raíces de los cultivos no reciben suficiente agua entre los riegos.

3. Toxicidad de iones específicos: ciertos iones (sodio, cloro y boro), contenidos en el suelo o agua, se acumulan en los cultivos en concentraciones suficientemente altas para causar daños y reducir los rendimientos en los cultivos sensibles.

4. Problemas varios: Los excesos de nutrientes reducen los rendimientos y/o la calidad de los cultivos. Las manchas de las frutas o en el follaje perjudican la comercialización de los productos. La corrosión excesiva de los equipos aumenta los costos de mantenimiento y reparaciones. Los oligoelementos se refieren a las aguas que contienen elementos químicos Al, As, Be entre otros que reducen la producción de los cultivos y provocan acumulaciones indeseables en los tejidos.

Al respecto (FAO,1987) establece una directrices de carácter práctico para la evaluación de la calidad de agua para el riego, Tabla 3. Estas directrices se refieren a los efectos a largo plazo de la calidad del agua en los rendimientos de los cultivos, condiciones de suelo y manejo agrícola.

Geología

La geología comprende un conjunto de componentes de elementos complejos. Entre estos componentes se enumeran la litología y la descripción estructural (MOPU, 1989).

1. Litología: las condiciones litológicas del terreno se relacionan, de manera fundamental, con otros componentes del medio natural, así como procesos y riesgos de importancia básica para el estudio ambiental, como son erosionabilidad, permeabilidad, características mecánicas, geomorfología, vegetación y paisaje.

El estudio geológico se concreta en: edad de los materiales (estratigrafía), textura de las rocas, origen de las rocas que pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas y las formaciones superficiales que pueden ser terrazas o coluviales.

A partir de esta información, y teniendo en cuenta los resultados del estudio geomorfológico, se podrán deducir aspectos tales como permeabilidad de los materiales en grado y tipo, facilidad de excavación, estabilidad en pendientes, potencial de extracción, expansión y capacidad portante (Holmes, 1965).

2. Descripción estructural: la existencia de fracturas o fallas puede originar deslizamientos, fallas en las estructuras de riego y drenaje (obras de arte, canales revestidos), por lo que su conocimiento es de gran utilidad para adaptar para la previsión de movimientos sísmicos y efectos de infiltración.

Tabla 3. Directrices para la interpretación de la calidad de agua para riego.

Problemas potenciales de riego	Unidades	tipo y grado de restricción en el uso		
		no existen	débil a moderado	elevado
Salinidad (afecta la disponibilidad agua para el cultivo).				
CEa (2)	ds/m	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
MDT (3)	mg/l	< 450	450-2000	> 2000
Infiltración (reduce la velocidad de infiltración del agua) evaluar usando a la vez CEa y TAS (4).				
Tas = 0-3 y CEa =		> 0,7	0,7-0,2	< 0,2
3-6 =		> 1,2	1,2-0,3	< 0,3
6-12 =		> 1,9	1,9-0,5	< 0,5
12-20 =		> 2,9	2,9-1,3	< 1,3
20-48 =		> 5,0	5,0-2,9	< 2,9
Toxicidad de iones específicos (afecta los cultivos sensibles)				
sodio (5)				
riego por superficie	TAS	< 3	3-9	> 9
riego por aspersión	mg/l	< 70	> 70	
Cloruros(5)				
riego por superficie	mg/l	< 140	140-350	> 350
riego por aspersión	mg/l	< 100	> 100	
Boro (6)	mg/l	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
Problemas varios (afectan cultivos sensibles)				
Nitrógeno total (7)	mg/l	< 5	5-30	> 30
Bicarbonatos (HCO ₃) (sólo para aspersión)	mg/l	< 90	90-500	> 500
pH		intervalo normal 6,5-8,4		
Cloro residual (sólo para aspersión)	mg/l	< 1,0	1,0-5,0	> 5,0

Fuente: FAO (1987).



La existencia de áreas de interés geológico, sean puntuales o extensas, en sus distintas formas de interés didáctico o industrial son merecedoras de preservación (MOPU, 1989).

Hidrología subterránea

Al igual que en el caso de la hidrología de superficie, el interés se centra tanto en el funcionamiento de los sistemas acuíferos como en la calidad de las aguas. Para ello será necesario (MOPU,1989):

1. Localizar acuíferos existentes y su extensión.
2. Localizar la red de drenaje
3. Caracterizar las zonas de recarga y descarga, poniendo especial atención en su relación con el cauce.
4. Determinar los flujos de las aguas subterráneas tanto en caudal como en dirección.
5. Establecer los niveles piezométricos.
6. Determinación del balance hídrico de la reserva, teniendo en cuenta los diferentes tipos de captaciones (abastecimiento, riego, agroindustria, etc.).
7. Localización de zonas de aguas subterráneas poco profundas, que podrían proporcionar problemas de surgencias, por la construcción de obras hidráulicas.
8. Determinación de la profundidad y características de la roca madre.
9. Determinación de la pendiente del terreno
10. Determinación de características del suelo
11. Determinación de la vegetación del terreno.

La construcción y operación de canales sin revestir tiene efectos análogos a los embalses. Cuando están sobre terrenos permeables, especialmente si no están revestidos y el tirante de agua queda más elevado que la zona saturada del terreno, se produce la infiltración. Por el contrario, cuando su superficie de agua queda más baja que la superficie piezométrica o zona saturada, actúan a modo de drenes, descendiendo los niveles freáticos y dejando seco algunos pozos o perjudicando ciertos cultivos (Custodio, 1975).

Las aguas subterráneas están más protegidas de los agentes contaminantes. El análisis de calidad de aguas es similar a las aguas superficiales. El efecto de contaminación por sustancias degradantes es más prolongado y crece con la permeabilidad y altura del nivel freático, y decrece con la profundidad y pendiente de la roca madre; la descontaminación es dificultosa y requiere de gran

inversión de dinero (MOPU, 1989).

Debe tenerse en cuenta que las variaciones del caudal circulante superficial afectarán en mayor o menor medida a los niveles piezométricos, por lo que el estudio deberá considerar estas variaciones tanto aguas arriba, como aguas abajo del área de riego. Bittinger (1964). Citado por Custodio, 1975, estudió cuantitativamente la influencia de la recarga de acuíferos y el caudal de los ríos mediante un hipotético sistema acuífero-río, el cual demuestra que el bombeo de los regantes aguas arriba disminuye los caudales del río, perjudicando a los regantes aguas abajo. Para evitar estos efectos, se pueden compensar esas disminuciones de caudales del río mediante bombeos suplementarios y obtener el máximo aprovechamiento de los recursos hídricos. Estos modelos matemáticos ayudan a instrumentar procedimientos adecuados para un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.

Edafología

Los suelos requieren el máximo aprovechamiento y una utilización más adecuada, en este sentido, es evidente que una calidad agrológica alta, de un alto valor económico y ecológico, sea un parámetro determinante en la valoración del área de riego.

La construcción de canales, drenes, red vial tienen incidencia en las características litológicas y geomorfológicas del terreno, dando lugar a la aparición de fenómenos de erosión e inestabilidad. La prevención de estos procesos necesita el conocimiento de algunas propiedades físico-químicas del terreno, y las posteriores labores de revegetación. Por lo tanto, el estudio de los suelos ofrece un doble aspecto: valoración de la capacidad agrológica del suelo y la clasificación según su aptitud para el riego. Estos análisis se realizan a partir de los datos relativos a geomorfología, litología y vegetación y usos del suelo, para lo cual se realizarán calicatas e interpretación de cortes naturales (MOPU, 1989).

IRLI (1972) relaciona las características básicas (A), las propiedades físicas de los suelos (B) y las propiedades agrícolas (C) de los suelos (Ver Figura 2). Existe una interrelación entre estas características y propiedades. La alteración de este ciclo natural ocasionaría disminución de la producción de los cultivos a sembrar.

Vegetación

La vegetación son los diferentes tipos de vegetales presentes en una porción cualquiera del territorio geográfico, este término es diferente a la flora que se define como la lista de los vegetales de diverso rango taxonómico (especie, subespecie, variedad) (Long 1974, Citado por CIDIAT 1992).

El factor ambiental vegetación presenta las siguientes características (MOPU, 1989):

1. Es uno de los elementos del medio más visible y la alteración puede afectar a otros factores del medio o al territorio en su conjunto.

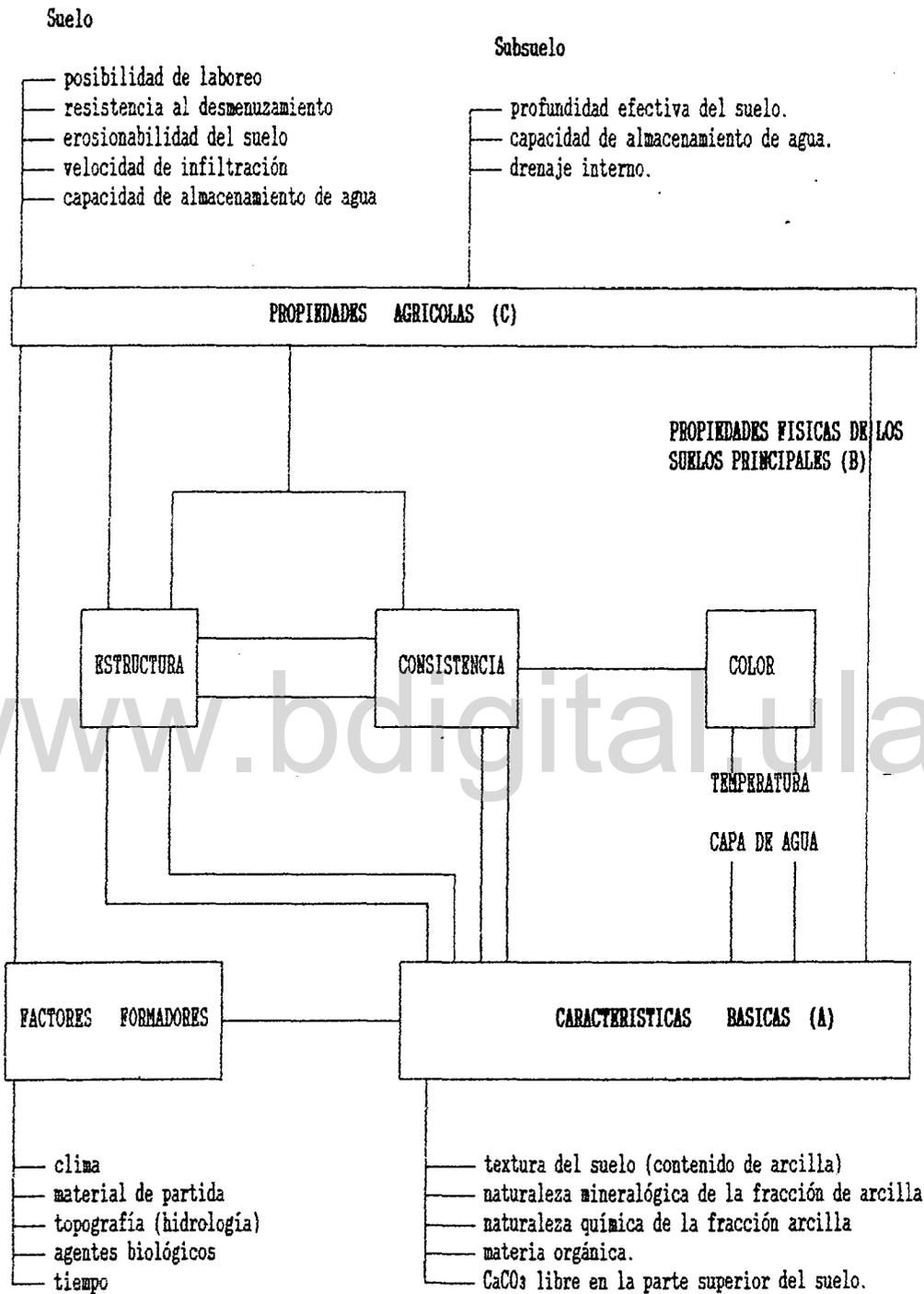


Figura 2. Relaciones entre las características básicas, las propiedades físicas y las cualidades agrícolas del suelo

Fuente: IRLI (1972).

2. Siempre representa un valor en sí misma el cual puede ser muy alto, sobre todo cuando se trata de especies raras o endémicas, cuya pérdida ocasionaría efectos irreversibles.

3. Es un componente básico del paisaje, a partir del cual se puede lograr un importante conocimiento sobre el medio natural.

El factor ambiental vegetación sufre deterioro en la fase de construcción, por las acciones de deforestación debido a la apertura de canteras, creación de escombreras, movimiento de tierras, construcción de canales y drenes, construcción de caminos y por el desarrollo físico de tierras (United Nations, 1990).

La operación de captación de caudales de los ríos provocan oscilaciones estacionales del nivel del río alterando la vegetación ribereña natural.

Como se mencionó anteriormente, el descenso de los niveles freáticos puede dejar al agua subterránea fuera del alcance de las raíces de las plantas que necesitan humedad freática para vivir, o afectar al uso del suelo en especies de plantas, animales, insectos y roedores en localidades muy alejadas.

Para el análisis del factor ambiental vegetación (inventario) es necesario realizar las siguientes etapas (MOPU, 1989):

1. Recopilación bibliográfica a partir de la documentación existente, auxiliándose con fotografías aéreas.

2. Definir las unidades vegetales actuales a cartografiar.

3. Investigar la posible presencia de especies de carácter endémico o amenazadas.

4. Recoger información que facilite la cartografía posterior.

5. Visitas de campo para su constatación.

La descripción florística está compuesta por una lista de especies que incluyen plantas inventarios cuantitativos y los modelos de distribución por especies, etc. Otras características son la abundancia y densidad, cobertura, estructura en el espacio y evolución en el tiempo (CIDIAT, 1992).

Fauna

Se define este término para designar los animales que viven en una área de riego o determinada región. Muchos autores identifican fauna con "vida silvestre", que es todo ente viviente que no sea humano, especie doméstica o planta; en particular, los mamíferos, aves y peces que el hombre caza o pesca, en búsqueda de alimento o en ejercicio de actividad deportiva (CIDIAT, 1992).

La construcción y operación del sistema de riego perjudicará en cierta manera la fauna silvestre, creando barreras para su migración natural. La

disminución del caudal tendrá efectos sobre la fauna acuática y la avifauna, la fauna a considerar en los proyectos de riego son la fauna terrestre y fauna acuática (MOPU, 1989).

Fauna terrestre

Se considera las especies ligadas a praderas, terrenos de labor y huertos, a matorrales, bosque de frondosas, bosque de coníferas y al medio ripícola; la clasificación de los animales en vertebrados e invertebrados es hasta un nivel de especie o subespecie (CIDIAT 1992, MOPU 1989).

Al igual que en la vegetación, los inventarios de fauna admiten diversas metodologías y grados de aproximación, en función de la composición de las comunidades de animales consideradas (tales como insectos, pájaros o mamíferos), la extensión del área de estudio, limitaciones de tiempo y presupuesto, etc. En cualquier caso, antes de abordar el trabajo de campo, es muy útil encuadrar zoológicamente la zona de estudio, mediante consulta bibliográfica así como a nativos de la zona (CIDIAT, 1992).

Merecen especial mención, por estar de una u otra forma vinculados al agua, los anfibios reptiles y las aves (CIDIAT, 1989).

El inventario de los anfibios y reptiles se realiza donde éstas presenten una mayor densidad, además se diagnóstica si ese tramo de río tiene importancia para las especies encontradas. El inventario de aves considera las especies que habitan en las márgenes del curso de agua; es de importancia valorar adecuadamente la presencia de especies raras o de interés científico.

De la misma forma que se hace con las especies, deben describirse los biotopos (espacios caracterizados por albergar una determinada biocenosis animal) a través de una serie de cualidades, entre las que cabe citar la estabilidad, la abundancia del biotopo entre otros. Es importante prestar especial atención a aquellos biotopos no incluidos en la cartografía utilizada como base para la definición de hábitats, como pueden ser cuevas, acantilados, etc.

Fauna acuática

Las poblaciones piscícolas que habiten en el curso del río sufrirán cambios de su hábitat natural, como consecuencia de las estructuras construidas en el curso del río o por la operación. Este estudio puede analizarse en un análisis inicial y en un trabajo de campo (MOPU, 1989).

El análisis inicial considera la capacidad del río para albergar las especies de peces una vez realizado el embalsado o la captación. Algunas especies presentan aspectos de fragilidad por la calidad del agua en que viven y por la estructura morfométrica del cauce. La presencia de especies, pueden deducirse de la consulta bibliográfica y de las propias cualidades del cauce.

El trabajo de campo está orientado a los estudios de las poblaciones de peces y la estructura de la población preferencial. Con esta información, se evalúa el estado de las poblaciones y su valor ecológico o caudal necesario que debería mantener el río una vez construido la captación o el embalse.

CAPITULO V

EFFECTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE CONTROL EN SISTEMAS DE RIEGO Y DRENAJE

Mediante la revisión bibliográfica se realizó una descripción de los efectos ambientales y sus respectivas medidas de control en los proyectos de riego y drenaje.

Descripción de efectos ambientales en proyectos de riego y drenaje

Se identificaron veinticuatro efectos negativos que ocurren con frecuencia en los proyectos de riego y drenaje. La descripción de cada efecto denota las acciones que la originan, el medio donde ocurre y los posibles efectos posteriores. La ubicación de los efectos no indica un orden de importancia.

Erosión

La erosión es el desprendimiento, arrastre y acumulación del suelo y/o fragmentos de roca por acción del agua, el viento, el hielo o la gravedad (SCSA, 1982, citado por López, 1990).

En su sentido más amplio, la erosión es un fenómeno ligado a la evolución fisiográfica de la corteza terrestre, que a través de su acción lenta y efectiva ha contribuido a esculpir el relieve terrestre, desde antes que las civilizaciones humanas iniciasen su actividad (López, 1990).

Existen dos tipos principales de erosión, a saber la natural y la antrópica.

La erosión natural se viene manifestando desde que los continentes surgieron del mar, es un proceso normal lento e imperceptible, originado por la acción del agua, el viento, las variaciones de temperatura, la gravedad y los glaciares (FAO, 1967).

La erosión antrópica se deriva de las actividades del hombre, quien interfiere y rompe el equilibrio existente entre los suelos, la vegetación, el agua y el viento; estas acciones tienen lugar cuando se prepara la tierra para el cultivo y se utiliza como emplazamiento para construir edificios, fábricas y vías de comunicación (López, 1990).

El agua y el viento son las fuerzas activas de la erosión y es de acuerdo al agente erosivo actuante que se distinguen dos formas generales de erosión; la hídrica y la eólica (López, 1990):

Erosión Hídrica

Puede ser por la precipitación natural o la irrigación. Las gotas de lluvia, al caer sobre terrenos de vegetación rala, desprenden el suelo no protegido y lo arrastran junto con las aguas de escorrentía, siendo depositados

los sedimentos en las tierras bajas donde las corrientes se debilitan.

Los efectos que produce la erosión hídrica se pueden clasificar en erosión laminar, erosión en surcos, erosión en cárcavas y la sedimentación.

La corriente de agua que recoge las partículas de tierra desprendidas por las gotas de agua de lluvia y las arrastra consigo se denomina "flujo laminar". El poder erosivo del flujo laminar es función de la velocidad, altura y densidad de los agregados de suelo. El flujo laminar máximo se produce cuando el diámetro de éste es igual al de las partículas (FAO, 1967).

En la erosión en surcos, el desprendimiento se origina principalmente por la energía del flujo de agua y no por el choque de las gotas de agua de la lluvia, como ocurre en el caso de la erosión laminar. La magnitud del desprendimiento de partículas de suelo por el agua en movimiento es proporcional al cuadrado de su velocidad. Así por ejemplo cuando pasa de una velocidad V_1 a $2V_1$, el poder de desprendimiento es $(2V_1/V_1)^2=4$ es decir se cuadruplica. Además el transporte de partículas por el agua es proporcional a la quinta potencia de su velocidad, en el ejemplo anterior sucede lo siguiente $(2V_1/V_1)^5=32$, el poder de transporte aumenta en treinta y dos veces (FAO, 1967).

La erosión en surcos adquiere mayor gravedad cuando las lluvias son intensas, arrastrando la capa arable, llegando inclusive hasta el subsuelo. La erosión laminar, en cambio, únicamente arrastra la capa superior de suelo (FAO, 1967).

La erosión en cárcavas se produce frecuentemente después de la erosión laminar y de la erosión en surcos, y ocurre cuando el escurrimiento de un declive aumenta en volumen o velocidad lo bastante para dañar profundamente el suelo, o cuando el agua concentrada corre por los mismos surcos el tiempo suficiente para ocasionar entalladuras profundas. Con frecuencia se inician también las cárcavas en las rodadas y las huellas que hacen las máquinas agrícolas y el ganado al moverse arriba y abajo de los terrenos inclinados (FAO, 1967).

El agua de riego también puede producir los efectos antes mencionados; sin embargo, existe una diferencia del efecto erosivo entre la lluvia natural y las gotas que provocan los aspersores. La magnitud provocada en ambos casos es diferente. La lluvia natural posee una energía mayor que las artificiales debido a la altura de donde inician su caída libre. A mayor altura el efecto erosivo es mayor. La lluvia natural cae desde las nubes; en los aspersores caen de una distancia reducida, lo cual se puede controlar.

La precipitación y el riego en surcos y melgas arrastran sedimentos en los caudales de escorrentía, con lo cual se incrementa la capacidad de arrastre. Estas acciones provocan la erosión en las márgenes y los cauces (Díaz, 1988).

El agua de lluvia erosiona los suelos y modifica la calidad del agua en la fase de construcción y operación cuando se realiza los movimientos de tierra en las áreas donde se ubicarán las obras, en el desarrollo físico de tierras y en las áreas de préstamos de materiales.

La modificación de la topografía debido a la extracción de materiales

para construcción y el desraizamiento de la vegetación consecuencia del movimiento de tierras, la eliminación de la defensa del río (deforestación) y la excavación del lecho del río en la fase de construcción generan los procesos de erosión.

El suelo desplazado de su localidad original por la erosión genera otros efectos. Puede ser depositado cerca del lugar de origen; puede hacer el máximo recorrido posible y acabar depositándose en el mar o puede **sedimentarse** en cualquier punto intermedio de estos dos extremos (FAO, 1967).

Los daños que principalmente causa la sedimentación en el área de riego son en los canales y drenes; esto se produce por el crecimiento de las malezas, pendientes leves y curvaturas de canales. Otros efectos negativos que provoca la alteración de las características hidráulicas son la disminución de la eficiencia de conducción, los desbordamientos de los cauces y las dificultades en la operación de las obras de arte (toma, caídas entre otros).

Los sedimentos acumulados en los drenes muchas veces son obstáculos para el drenaje de los sistemas subterráneos, por el hecho que los sedimentos ingresan a los drenes entubados ocasionando la obstrucción.

Erosión eólica

Es causada por el viento en aquellas regiones donde no hay vegetación suficiente para cubrir y proteger el suelo, esto ocurre en terrenos arenosos es decir zonas áridas y a lo largo de las riberas arenosas de los lagos, mares y ríos (USDA-SCS, 1966, citado por López, 1990).

Salinización

La salinidad se refiere a la presencia en exceso de sales solubles, en el suelo y/o aguas de riego. Las combinaciones pueden ser de: cloruros, Cl^- , sulfatos, $\text{SO}_4^{=4}$, bicarbonatos, CO_3H^- , y a veces carbonatos, $\text{CO}_3^{=3}$ y nitratos, NO_3^- , además el calcio, Ca^{++} , magnesio, Mg^{++} , sodio, Na^+ y potasio, K^+ (Grassi, 1991).

López (1990), presenta una clasificación de suelos afectados por sales, según la conductividad eléctrica (CE_e); porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y Relación de Absorción de Sodio (RAS). ver Tabla 4.

La formación de las sales en los suelos se deben a causas naturales o por acciones realizadas por el hombre, como es el riego superficial y la aplicación de agroquímicos los cuales provocan efectos negativos con merma en la producción.

La fuente primaria de sales en los suelos se debe a la meteorización de rocas y minerales de la corteza terrestre. Aunque este proceso es la fuente original de las sales solubles, raramente se acumulan cantidades significativas de éstas, producto de la meteorización, para formar un suelo salino. (Pérez, 1986).

Tabla 4. Clasificación de suelos afectados por sales

Suelo	CE _e dSm ⁻¹	PSI	RAS
Normal	< 4,0	< 15	< 13
Salino	> 4,0	> 15	< 13
Salino - Sódico	> 4,0	> 15	> 13
Sódico	< 4,0	> 15	> 13

Fuente: U.S. Salinity Laboratory, 1954.

Conversiones (Salinity Laboratory, Staff, 1954):

RAS : Relación de adsorción de sodio

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{[(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2]^{0,5}} ; \quad \text{Na}^+, \text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++} \text{ expresado en meq/l.}$$

$$\text{RSI} = -0,0126 + 0,01475 * \text{RAS} ; \quad \text{RSI: relación de sodio intercambiable}$$

$$\text{PSI} = \frac{100 * \text{RSI}}{1 + \text{RSI}} ; \quad \text{PSI: porcentaje de sodio intercambiable}$$

Otra acción natural de formación de sales son las lluvias, las cuales contienen relativamente poca sal; sin embargo, una precipitación anual de 250 mm puede todavía depositar de 50 a 1250 kg/ha de sales sobre un terreno, dependiendo de la distancia a la costa y la predominante dirección del viento (Junge and Werby, 1958, citado por Pérez, 1986). Con el transcurso del tiempo, tales sales transportadas por el viento pueden contribuir de manera sustancial a la salinización de suelos. (Hoffman et al. 1981, citado por Pérez, 1986).

El océano también es una fuente de sal en aquellos suelos en los que el material original está constituido por depósitos marinos que se asentaron durante periodos geológicos y luego han emergido. Otras acciones naturales de la formación de los suelos salinos es la elevación de los niveles freáticos y la evaporación (Pérez, 1986).

Los suelos salinos poseen una conductividad eléctrica en el extracto de saturación mayor de 4 mmhos/cm, un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15% y pH menor de 8.5. Recientemente, the Terminology Committee of the Science Society of América bajó la línea entre un suelo salino y uno no salino a 2 mmhos/cm en el extracto de saturación, aludiendo que las plantas sensibles pueden sufrir daño a esta concentración de sales. Los suelos salinos pueden convertirse a suelos normales simplemente por lavar los excesos de sales desde la zona de las raíces (USDA 1954, citado por Pérez, 1993).

Sin embargo, la fuente directa de sales son las aguas subterráneas y superficiales. La concentración salina en ellas es función del contenido salino del suelo y los materiales geológicos que han estado en contacto con estas aguas (Pla, 1968, 1979; Ravina, 1979 citado por Pérez 1993).

Todos los autores coinciden en afirmar que las aguas usadas para riego de tierras agrícolas son la principal fuente de sales. Cualquier terreno expuesto a las prácticas de regadío en alguna u otra forma reciben y acumulan sales transportadas por el agua de otras zonas. Además cabe mencionar que el riego con aguas municipales, industriales u otras aguas de desecho pueden conducir a problemas salinos. También, estas aguas pueden contener pequeñas cantidades de elementos tóxicos a las plantas tales como cadmio, selenio, litio y otros (Pérez, 1986).

La salinización puede algunas veces derivarse de excesivas aplicaciones de agroquímicos como el potasio soluble y el nitrógeno. Después del vertido, los nitritos y nitratos se diluyen en la solución del suelo y son absorbidos por los complejos coloidales arcillo-húmicos, constituyéndose en reserva de elementos fertilizantes; los vegetales los absorben al convertirse estos en productos en soluciones salinas del suelo (Pérez 1986, Seoánez 1977).

Pla (1979) define suelos salinos o potencialmente salinos como aquellos cuya concentración, composición y distribución de sales en el perfil del suelo, asociado a condiciones climáticas, drenaje y calidad del agua disponibles, provoquen o pueden producir, al introducir el riego, problemas en los cultivos derivados de la concentración total de sales en la solución del suelo.

Las consecuencias negativas del exceso de sales en el suelo y en la planta son los efectos físicos directos de las sales (efectos osmóticos) que impiden la absorción de agua por la planta; efectos indirectos producidos por cambios en la estructura del suelo, su permeabilidad y la capacidad de aireación y efectos químicos directos sobre las reacciones metabólicas de las plantas (efectos tóxicos de aniones y cationes) (Porrás, 1978).

Los suelos salinos contienen generalmente una mezcla de sales, siendo la indicación más resaltante de esta condición, la formación de una costra salina en la superficie de los suelos. Estos depósitos son generalmente una mezcla de sales de calcio, sodio y magnesio, que tienen en común el hecho de que se disuelven libremente en el agua; sin embargo, existen otras sales menos solubles, pero que no afectan considerablemente la salinidad del suelo (FUDECO, 1975).

Salinización y Sodificación

Es una fase intermedia entre los suelos salinos y sódicos ya que presentan alta concentración de sales y una alta relación de adsorción de sodio. Los efectos negativos producidos por la acumulación del Na^+ son: el deterioro físico (estructural) de los suelos y la disminución de movimiento del agua (López, 1990. Grassi, 1988).

Para el USDA (1954) estos suelos son los que contienen alta concentración de sales ($\text{CE} > 4 \text{ mmhos/cm}$) y alto porcentaje de sodio intercambiable ($\text{PSI} > 15\%$). El pH es normalmente menor de 8.5. El principal peligro de estos suelos ocurre cuando ellos son lavados para remover las sales solubles. La lixiviación remueve las sales solubles más rápidamente que el sodio intercambiable, causando la

transformación de ellos a suelos sódicos. Esto puede reducir la permeabilidad del suelo o conductividad hidráulica, con efectos subsiguientes sobre la relación agua-planta y sobre la dificultad para lavarlos.

Sodificación

Son suelos de estructura deficiente, donde las arcillas dispersas los hace impermeables. El catión predominante es el Na^+ , pues la mayor parte de Ca^{++} y Mg^{++} ha precipitado. Los principales aniones son el Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$ y $\text{CO}_3^{||-}$, aunque pueden haber presencia de $\text{CO}_3^{=}$ (Grassi, 1988).

Los suelos sódicos son caracterizados según la baja concentración de sales ($\text{CE}_e < 4 \text{ mmhos/cm}$) alto porcentaje de sodio intercambiable ($\text{PSI} > 15$), pH mayor de 9. Estos suelos presentan tan baja permeabilidad que el agua pasa a través de ellos muy lentamente. La baja concentración de sales solubles y pH alto provocan toxicidades altas de sodio a plantas más sensibles (USDA, 1954).

Los problemas que causan la presencia del sodio en las partículas del suelo, están relacionados al deterioro de las condiciones físicas, trayendo como consecuencia una dispersión de las partículas y por ende disminución considerable de la permeabilidad, aireación y facilidad de manejo del suelo; además, puede ser muy tóxico para las plantas y el ambiente edáfico (FAO, 1987).

La toxicidad del sodio es difícil de diagnosticar, pero ha sido identificada claramente como resultado de una alta proporción de sodio en el agua (alto sodio o TAS). Los síntomas típicos del sodio aparecen en forma de quemadura o necrosis a lo largo de los bordes de las hojas. Las concentraciones de sodio en las hojas alcanzan niveles tóxicos después de varios días o semanas. Los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas y en sus bordes y, a medida que se intensifica, la necrosis se desplaza progresivamente en el área invernal, hacia el centro de la hoja (FAO, 1987).

Los efectos aparentes de la toxicidad del sodio se incrementan por una mala infiltración de los suelos, las evaluaciones de su toxicidad potencial, o de la tasa de absorción de sodio (TAS), deben efectuarse con sumo cuidado. Si la infiltración es adecuada, solamente los cultivos más sensibles sufren la reducción en sus rendimientos como consecuencia del sodio. Los cultivos más tolerantes se desarrollan bastante bien con una buena infiltración y estructura del suelo y, por lo general, toleran valores más altos de porcentaje de sodio intercambiable (PSI), cuando se mantienen estas condiciones de estructura y aireación, como el caso de los suelos de textura gruesa (FAO, 1987).

Toxicidad

Los problemas de toxicidad pueden presentarse después de un riego, en plena campaña de riego o después de varias campañas de riego. Este problema es diferente al de la salinidad, es un problema que ocurre internamente en la planta y no es provocada por la falta de agua. La toxicidad normalmente resulta cuando ciertos iones, absorbidos por la planta con el agua del suelo, se acumulan en las hojas durante la transpiración en cantidades suficientes como para provocar daños a las plantas (FUDECO 1975, FAO 1987). Los iones tóxicos contenidos comúnmente en la aplicación de riego superficial y por aspersión son el cloro, el sodio y el boro, los daños pueden ser provocados individualmente o en combinación.

A continuación se describe los efectos ocasionados por el Cloro y Boro.

El cloro no es retenido o absorbido por las partículas del suelo, por lo cual se desplaza fácilmente con el agua del suelo, es absorbido por las raíces y traslocado a las hojas, en donde se acumula por la transpiración. Los efectos por exceso de concentración son la necrosis y quemaduras en las hojas. Normalmente los daños se manifiestan primero en las puntas de las hojas, para luego desplazarse a lo largo de los bordes de las hojas (Grassi 1988, FAO 1987).

El boro es el elemento esencial para el desarrollo de las plantas. El sodio por el contrario no es esencial, mientras que el cloro lo es en cantidades pequeñas que a menudo son clasificadas como no-esenciales. El boro es necesario en cantidades relativamente pequeñas y se vuelve tóxico cuando sobrepasa estos niveles (FAO, 1987).

Los problemas de toxicidad se producen más frecuentemente a causa del boro contenido en el agua que del boro en el suelo. La toxicidad puede afectar prácticamente a todos los cultivos, pero como ocurre con la salinidad, la gama de tolerancia es amplia. Los síntomas aparecen generalmente en las hojas más viejas, como manchas amarillas secas bordes y ápices de las hojas. A medida que el boro se acumula, los síntomas se extienden por las áreas intervenales hacia el centro de las hojas quedando los árboles secos. Se observa en ellos una exudación gomosa en las ramas y el tronco. Los frutales de hueso (duraznero, ciruelo, almendro, etc.) y algunas pomáceas (manzano, peral y otros), por ejemplo no acumulan suficiente boro en sus hojas. En estos casos la toxicidad se determina mediante análisis de aguas, de suelo, observaciones de los síntomas y las características del crecimiento vegetativo (Grassi 1988, FAO 1987).

La absorción y toxicidad ocurren durante períodos de altas temperaturas y de baja humedad relativa (<30%), agravados frecuentemente por vientos fuertes. Los aspersores que giran tienen un ciclo mojado y un ciclo seco y presentan mayor peligro, ya que al evaporarse el agua de las hojas entre las rotaciones, aumenta la concentración de los iones tóxicos. Los aspersores de rotación lenta, menos de una revolución por minuto, tienen ciclos más marcados y por consiguiente favorecen la absorción de los iones tóxicos. En algunos casos los riegos con frecuencia casi diaria y con rociadores continuo, han provocado problemas de toxicidad (FAO, 1987).

En general se piensa que los cultivos sensibles al Cl^- , Al^{+3} o Na^+ son los más sensibles a la absorción foliar. La mayoría de los cultivos anuales no son sensibles, siendo afectados cuando las concentraciones son lo suficientemente altas. Debido a la escasez de datos, y a la influencia del clima local, no se han determinado aún con precisión la tolerancia de los cultivos a la toxicidad provocada por la aspersión del agua (Grassi 1981, FAO 1987).

El agua salina, del riego o del mar, transportada por el viento y depositada en las hojas causan daños al follaje, como ocurre en algunos cultivos a lo largo de la costa del pacífico en California. Los problemas menos frecuentes son los depósitos rojizos en las hojas, provocados por el hierro del agua; depósitos blancos de bicarbonato, y otros minerales en solución como el yeso. Aunque estos depósitos no son problemas de toxicidad, muchas veces reducen el valor comercial de los productos como las uvas de mesa (FAO, 1987).

Los síntomas de toxicidad pueden aparecer en cualquier cultivo, si las concentraciones son lo suficientemente altas. Los problemas de toxicidad frecuentemente acompañan o complican los de salinidad o de infiltración y pueden aparecer cuando la salinidad sea baja. Además del Cl, Na y B, muchos otros oligoelementos son tóxicos para las plantas, aun en concentraciones sumamente bajas y, por lo general, no constituyen un peligro (FAO, 1987).

Reducción de la velocidad de infiltración

Los contenidos altos de sodio, o bajos de calcio en el suelo y agua reducen la velocidad de infiltración de los suelos. Esta reducción impide que las raíces de los cultivos no reciban suficiente agua entre los riegos. La variación se mide en términos de velocidad por lo cual una velocidad de infiltración de 3mm/h se considera baja, mientras que una infiltración por encima de 12mm/hr es relativamente alta (FAO, 1987).

El efecto final es similar al de la salinidad, es decir, reducción en el suministro de agua a los cultivos, pero con la diferencia de que la infiltración reduce la cantidad de agua que penetra en la zona radicular y, la salinidad reduce la disponibilidad del agua que ya se encuentra almacenada en ella (Grassi 1988, FAO 1987).

Cuando la reducción de la infiltración se debe a la calidad del agua aplicada, el problema ocurre, por lo general, en los primeros centímetros del suelo, aunque ocasionalmente puede ocurrir a mayores profundidades

Variación del crecimiento de los cultivos (Nitrógeno).

El nitrógeno es para las plantas un nutriente y un estimulante de su crecimiento. El contenido en las aguas de riego tiene el mismo efecto para las plantas que el nitrógeno aplicado con los fertilizantes; por lo tanto, la aplicación de cantidades excesivas con el riego puede sobreestimar el crecimiento, retardar la madurez, reducir la productividad, estimular la proliferación de malezas en las obras hidráulicas y en las áreas de riego (Grassi 1991, FAO 1987).

El nitrógeno más fácilmente asimilable se encuentra en forma de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$) y de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$). La forma más frecuente en las aguas de riego es, sin embargo, la de nitrato, mientras que en ellas, el nitrógeno en la forma de amonio es rara vez superior a 1mg/l, a menos que contengan aguas residuales o fertilizantes que contienen nitrógeno amoniacal. Las aguas residuales contienen niveles altos de nitrógeno entre 10 a 50 mg/l (1mg/l de $\text{NO}_3\text{-N}$ = 1kg de N/1000 metros cúbicos de agua), particularmente las que proviene de las aguas de uso doméstico o de las fábricas procesadoras de alimentos. El contenido de nitrógeno en forma de $\text{NO}_3\text{-N}$, que se encuentra en la mayoría de las aguas subterráneas y superficiales, es normalmente inferior a 50 mg/l (FAO, 1987).

Los cultivos sensibles resultan afectados por concentraciones de nitrógeno superiores a 5 mg/l, mientras que la mayor parte de los otros cultivos no son afectados hasta que las concentraciones exceden de 30 mg/l. Por ejemplo, la remolacha azucarera, un cultivo sensible, aumenta de tamaño con las aplicaciones excesivas de nitrógeno, mientras que su azúcar disminuye en contenido y pureza (FAO, 1987).

Las concentraciones menores de 5mg/l de nitrógeno en las aguas, tienen muy poco efecto en los cultivos sensibles; sin embargo, pueden estimular el desarrollo de algas y otras plantas acuáticas, principalmente en los canales, drenes, arroyos, estanques y en las áreas de riego. La proliferación de algas ocurre cuando se presentan condiciones óptimas de temperatura, luminosidad y de otros nutrientes y puede resultar en la obstrucción de válvulas, tuberías y aspersores. Otros efectos del nitrógeno se pueden notar en la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas que se tratará posteriormente (Grassi 1991, FAO 1987).

Corrosión e incrustaciones en el sistema de riego

En la fase de operación del riego por aspersión, goteo y conducción de canales y tuberías de hormigón se generan dos efectos negativos la **corrosión** y la **incrustación**.

La corrosión es un proceso electrolítico que ataca y disuelve la superficie de metales; su acción en los equipos de riego depende de las reacciones químicas y de factores físicos como velocidad, temperatura y presión del agua. Las incrustaciones son depósito de material orgánico o inorgánico sobre las superficies de los equipos de riego y pozos, que restringen el paso del agua a través de tamices, tuberías y salidas de agua (FAO, 1987).

Según la calidad de las aguas superficiales y subterráneas pueden ocurrir corrosión por lixiviación, por intercambio iónico y por expansión (FAO, 1987):

La corrosión por lixiviación se manifiesta cuando la caliza contenida en el hormigón es disuelta por aguas de baja salinidad y dureza, o por aguas que contiene CO_2 libre o H_2CO_3 . Los daños provocados por este tipo de corrosión son especialmente graves en el hormigón poroso y de baja calidad, atacando al material de las juntas.

Las aguas de baja salinidad pueden actuar como "disolvente" del CaCO_3 en vez de depositantes, por lo cual, es necesario verificar el índice de saturación de Langelier del agua el cual resulta de la diferencia entre el pH actual del agua (pH_a) y el pH teórico que el agua alcanzaría en equilibrio con el CaCO_3 (pH_c):

$$\text{Índice de Saturación} = \text{pH}_a - \text{pH}_c \quad (5.1)$$

Si el valor de este índice es negativo, las aguas tienden a disolver el CaCO_3 del hormigón.

La corrosión por intercambio iónico resulta del intercambio de bases entre los componentes solubles contenidos en el hormigón endurecido y los cationes alcalinos Ca, Mg, K, NH_4 del agua. Los componentes resultantes de este intercambio, o bien permanecen en el hormigón, como agentes cementantes, o son lixiviados.

La corrosión por expansión ocurre como resultado del aumento de volumen provocado por una reacción química de los compuestos cementantes del hormigón. Esta expansión causa esfuerzos mecánicos internos, los que terminan por destruir el hormigón. La acción del sulfato de amonio puede además, fortalecerse por la presencia de nitratos, ambos comúnmente presentes en las aguas, principalmente

en aquellas que reciben efluvios industriales o escorrentías de tierras agrícolas.

Las aguas de baja salinidad favorecen la corrosión, mientras que las **incrustaciones** son más comunes con las aguas de alta salinidad. La mayor parte de los problemas de corrosión e incrustaciones en los equipos de riego resultan del uso de aguas subterráneas. La composición de estas aguas varía de lugar a lugar, pero en su mayoría son ligeramente corrosivas al hierro y algunas lo atan fuertemente, lo mismo que a otros metales más resistentes. Los procesos de corrosión e incrustación son complejos e interactivos, lo que hace muy difícil estimar la vida útil de los equipos por medio de un solo análisis de agua (FAO, 1987).

Alteración de propiedades físicas de suelos.

El uso de maquinarias agrícolas realiza diferentes manipulaciones mecánicas sobre los suelos con el fin de mantener condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos. Las diferentes actividades realizadas por las maquinarias agrícolas son la preparación de tierras, la siembra, el abonamiento, las labores culturales, la aplicación de insecticidas y las cosechas.

Estas acciones crean cambios adversos en las propiedades físicas de los suelos como son la porosidad, la permeabilidad, la densidad aparente y la estabilidad estructural de los suelos (FAO/PNUMA, 1975).

Como consecuencia de la alteración de las propiedades físicas de los suelos antes mencionadas surgen los efectos de compactación, pérdida de humedad, mala estructura, alteración del horizonte superficial, reducción del espacio macro-poroso, problemas de drenaje superficial y subsuperficial, erosión, formación de capas polvosas, salinidad, encostramiento superficial, generación de pisos de arados y disminución de la infiltración, estos efectos están relacionados entre sí y conllevan a un deterioro de las relaciones aire-agua de los suelos (Gavande 1973, Pacheco 1980).

De los efectos antes mencionado, la compactación es la que revela mayor incidencia en la alteración de las propiedades físicas, esto se debe al contacto entre las orugas o los neumáticos de los tractores y accesorios sobre el suelo por un número excesivo. Este efecto a la vez origina el piso de arado y otras alteraciones.

Las maquinarias agrícolas realizan esfuerzos en los suelos bajo una oruga o neumático. La presión que ejerce las orugas es menor que la de los neumáticos, ya que el área de contacto de las orugas es mayor que el de los neumáticos, este efecto disminuye el espacio poroso de los suelos, motivo por el cual se incrementa la densidad aparente y por ende la compactación. Otra acción natural causante de compactación de los suelos es la lluvia (Watwerkentin, 1971 citado por Pacheco, 1980).

La compactación se incrementa por los esfuerzos en jalar los implementos agrícolas y cuando éstas se realizan en suelos con un alto grado de humedad (Baver 1973, citado por Pacheco, 1980).

La compactación en suelos parcialmente saturados se relaciona con la disminución de los macroporos y microporos (Harris 1971 citado por Pacheco,

1980).

La compactación afecta los mecanismos de difusión y flujo de masas donde los nutrimentos se movilizan hacia las raíces, también se produce el impedimento del crecimiento radicular y la emergencia e las plántulas por el encostramiento superficial, el cual influye en la concentración del CO₂ de la atmósfera y el suelo (Gavande 1973, Pacheco 1980).

Los implementos más usados para la preparación de tierras son el arado, ya sea de discos o de vertedera, rastras o subsoladores con diferentes longitudes de picos. Según experiencias se afirma que la operación de las rastras generan una capa compacta debajo de estos implementos con un espesor de 30 a 50 cm el cual se le llama piso de arado (Pacheco 1980, Gavande 1973).

Según observaciones en los suelos de Hawai todos los instrumentos agrícolas formaban algún tipo de "piso de arado" en los suelos; se presentaban así pisos de arado de subsuelo, piso de grada de disco-rastra y piso de tránsito, este efecto disminuye la infiltración del agua y el desarrollo de raíces (Troupe y Baver 1965 citado por Pacheco 1980).

Otros resultados de la alteración de las propiedades físicas dañinos para la planta son el exceso o deficiencia de agua, falta de aire, incidencia de enfermedades, poca actividad microbiana, cambios químicos perjudiciales entre otros (Gavande, 1973).

Según FAO (1967) en el Sahel tunecino, los arados arrastrados por tractores y las rastrillas de discos están rompiendo el suelo superficial provocando una erosión eólica superior a la que ocasiona la tracción animal, a la que han sustituido.

El derrame de lubricantes realizados por las maquinarias en cierta medida alteran la degradación físicas y biológica de los suelos; estos procesos aumentan con la velocidad de mineralización del humus. Las mediciones se realizan con la disminución de la materia orgánica humificada en porcentaje/año (FAO/PNUMA/1975).

Obstrucciones en los sistemas de riego localizado

Los sistemas de riego localizado están diseñados para aplicar el agua lentamente a través de pequeñas aberturas, que constituyen los emisores de agua. Estos emisores son obstruidos por sedimentos, sustancias químicas y organismos biológicos, contenidos frecuentemente en las aguas de riego (Guevara 1989, FAO 1987). En la Tabla 5 se pueden apreciar las posibles restricciones de uso.

La obstrucción de los emisores se debe a un solo elemento o a la combinación de varios de ellos. En este último caso el problema es más grave y más difícil de eliminar. Por ejemplo, una obstrucción provocada originalmente por mucilagos puede agravarse por la acumulación de sedimentos sobre los mismos mucilagos. En la Tabla 6 se presenta un resumen de estos elementos (FAO,1987).

Pérdida de suelos fértiles

Las acciones de nivelación de tierras para la siembra y riego de cultivos, tienen incidencia directa en la fertilización de los suelos. La

Tabla 5. Posibles problemas de obstrucción provocados por el agua utilizada en sistemas de riego localizados.

Tipos de problemas	Posibles restricciones de uso		
	escasas	débiles a moderadas	severas
1- Físicos			
MES, mg/l	< 50	50 - 100	> 100
2- Químicos			
pH	< 7.0	7.0 - 8.0	> 8.0
M.D, mg/l	< 500	500 - 2000	> 2000
Manganeso, mg/l (b)	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Hierro, mg/l (c)	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Sulfuro de Hidrógeno, mg/l	< 0.5	0.5 - 2.0	> 2.0
3- Biológicos			
Concentraciones de bacterias (máximo número/ml)	< 10000	10000 - 50000	> 50000

Fuente: FAO (1987).

Tabla 6. Elementos físicos químicos y biológicos que provocan obstrucciones en los sistemas de riego localizado.

Físicos (Sólidos en suspensión)	Químicos (Precipitación)	Biológicos (Bacterias y Algas)
1. Arena	1. Carbonatos de Ca o Mg.	1. Filamentos
2. Limo	2. Sulfato de Ca.	2. Mucilagos
3. Arcilla	3. Metales pesados: óxidos hidróxidos, carbonatos, silicatos y sulfuros.	3. Depósitos microbianos
4. Materia orgánica	4. Fertilizantes	(a) Fosfatos
	(a) Hierro	(b) Azufre
	(b) Amonio líquido	(c) Manganeso
	(c) Fe, Cu, Zn y Mn.	4. Bacteria.
		5. Organismos acuáticos
		(a) Huevos de caracoles
		(b) Larvas.

Fuente: FAO (1987).

elevación o disminución de la producción de los cultivos es función, en cierta manera, de la fertilidad natural de los suelos. El emparejamiento de las tierras muchas veces implica quitar tierra de las partes altas (corte) y llevarlas a las bajas (relleno), en esta actividad se realiza el laboreo profundo dejando al descubierto subsuelos salinos, capas de suelo densas, suelos de poca fertilidad o capas de grava, desfavoreciendo el cultivo de las plantas. El rendimiento de los cultivos baja en las zonas de corte y aumenta en las de relleno (Grassi, 1977 y Booher, 1974).

La nivelación de los suelos pesados tropicales ocurre en perfiles de horizontes de escasa profundidad, ya que un corte relativamente delgado, deja al descubierto un subsuelo compacto y de pobres características para los fines agrícolas, con incidencia en el manejo del agua y en la producción de los cultivos, esto se ha podido apreciar en los sistemas de riego de Venezuela. El dilema de garantizar una alta eficiencia de aplicación y en el drenaje superficial, trae consigo dejar de lado la conservación del suelo (Grassi, 1991).

Cabe mencionar que el uso de maquinaria pesada no solamente varía la fertilidad natural de los suelos, sino provoca otros efectos desencadenantes como es la alteración de las propiedades físicas de los suelos visto anteriormente.

Otros efectos consecuencia del cambio de topografía es en la circulación del aire de los suelos, en el microclima etc. y por consiguiente en la capacidad de uso y en los ecosistemas (FAO/PNUMA, 1975).

Destrucción de yacimientos paleontológicos, geológicos y culturales.

Los recursos históricos-arqueológicos que se encuentran en la zona de riego, no son considerados muchas veces en la planificación de los sistemas de riego y drenaje.

Las áreas arqueológicas o de patrimonio cultural son afectadas por la construcción de los canales de riego, drenes y carreteras, esto es consecuencia de llevar una determinada pendiente acorde con las características topográficas del medio, lo cual afectará a las áreas de interés. La ampliación de la frontera agrícola implica muchas veces expandir el área de riego y viviendas, realizando movimientos de tierra que afectan a las zonas de interés cultural que se encuentran comúnmente enterrados a ciertas profundidades; otra acción perjudicial es la ubicación y extracción de canteras; y construcción de las obras hidráulicas en zonas indebidas llegando a afectar zonas de interés cultural. Los restos arqueológicos pueden verse afectados por el tránsito de vehículos de la nueva vía, así como la construcción de la misma, a través de los efectos de los niveles de emisión atmosférica, especialmente el SO₂ y NO_x (MOPU, 1989).

Asentamientos de suelos (Subsidencia)

Subsidencia o asiento es el movimiento descendente de la superficie del terreno, el cual se puede provocar por un gran número de fenómenos entre los que se incluyen extracción de fluidos del subsuelo, compactación de suelos porosos, desecación de arcillas entre otros (Custodio, 1975).

La disminución del nivel freático generalizada en una región puede provocar el descenso de la superficie del suelo. Según Told, 1980. citado por Oosterbaan (1988) por la sobreexplotación de pozos en U.S.A. se ha notado una

disminución del nivel del terreno de 1 m cuando el nivel freático bajo 13 m. Otro efecto de hundimiento del terreno ocurrió en la ciudad italiana de Rávena por la disminución del nivel freático (Diaz, 1988).

La nivelación de tierras es una de las acciones previas al asentamiento de los suelos después del riego, especialmente en áreas de rellenos profundos. El asentamiento puede ocasionar irregularidades de importancia sobre un terrenos sembrados que han sido cuidadosamente explanado (Booher, 1974).

El asentamiento puede ocasionar irregularidades de importancia en superficies donde se construyan las obras hidráulicas (canales revestidos y obras de arte), habiéndose explanado y compactado el terreno cuidadosamente. Es común ver canales revestidos agrietados producto de la construcción en terrenos mal compactados.

Contaminación de suelos por agroquímicos

La aplicación de agroquímicos donde se incluyen a los biocidas y fertilizantes, se extienden sobre los cultivos, el suelo, aguas subterráneas y finalmente la escorrentía superficial. Estas aguas contaminadas por sustancias nocivas llegan a ser ingeridos por los seres vivos donde se incluye al ser humano, a través de las frutas, verduras y el agua potable.

La aplicación de los agroquímicos pueden ser mecánica, manual o aérea. La aplicación mecánica consiste en el accionamiento de los equipos de abonamiento y aspersión incorporados a los tractores agrícolas; la aplicación manual se realiza con asperjadoras de espaldas neumáticas de presión constante; y la aérea con aviones, avionetas o helicópteros, el uso de estos aparatos aéreos son justificados para grandes áreas de riegos (Heincheir, 1966).

Al añadir un plaguicida en el suelo, gran parte del producto se pierde y se vierte en el suelo. Asimismo, parte de lo recogido sobre las hojas es arrastrado por el viento o por las precipitaciones, apareciendo finalmente en el suelo. El resultado es una acumulación de estos productos sobre el suelo en cantidades elevadas (del orden del 60% por del total utilizado), lo que hace que, los plaguicidas persistentes, planteen cierta peligrosidad y provoquen alteraciones sobre la microflora del suelo, y toxicidades sobre ciertos vegetales (Seoáñez, 1977).

Los plaguicidas no se presentan en una forma homogénea en el suelo, sino que aparecen más concentrados en la superficie, pero sin un reparto uniforme. En general, su zona de acción se ejerce hasta una profundidad de unos 30 ó 40 cm., aunque cerca del 50% del plaguicida vertido permanece a menos de 2,5 cm. Al añadir un plaguicida, se produce un aumento en el contenido de los nutrientes, debido a la intensificación de las descomposiciones de la materia orgánica y a los microorganismos que mueren (Seoáñez, 1977).

A veces, ciertos productos convierten elementos del suelo como el Cu y el Mn en asimilables, produciendo intoxicaciones en algunas especies. Los elementos como el Cu y el As suelen formar compuestos insolubles, pero, si el suelo es ácido, pueden llegar a ser asimilables, produciendo cierta fitotoxicidad. Los metabolitos del bromuro de metilo y otros productos pueden originar aumentos en el contenido de bromuro del suelo, provocando alteraciones en el crecimiento de los vegetales (Seoáñez, 1977).

Los microorganismos del suelo se ven afectados por los funguicidas y otros productos utilizados directamente en el tratamiento del suelo, pues provocan una esterilización más o menos intensiva, según sean el volumen de plaguicida vertido y su grado de toxicidad. La esterilización depende del tipo de pH del suelo y de la temperatura (Seoáñez, 1977).

Generalmente, inmediatamente después de la aplicación, se desarrolla mejor las especies resistentes al tener menos competencia, recuperándose, poco a poco, las especies afectadas, hasta alcanzar otra vez el equilibrio biológico en un plazo variable, según las circunstancias indicadas en el párrafo anterior. Frecuentemente aparecen especies dominantes, sobre todo en ciertos hongos del suelo, aunque el período de dominancia no sea nunca superior a varios meses (Seoáñez, 1977).

Los agroquímicos son nocivos para la salud humana en función de la cantidad asimilada a corto o largo plazo. En la Figura 3 se muestra cómo la aplicación de los agroquímicos influyen en los diferentes componentes del medio (Seoáñez, 1977 y Díaz, 1988).

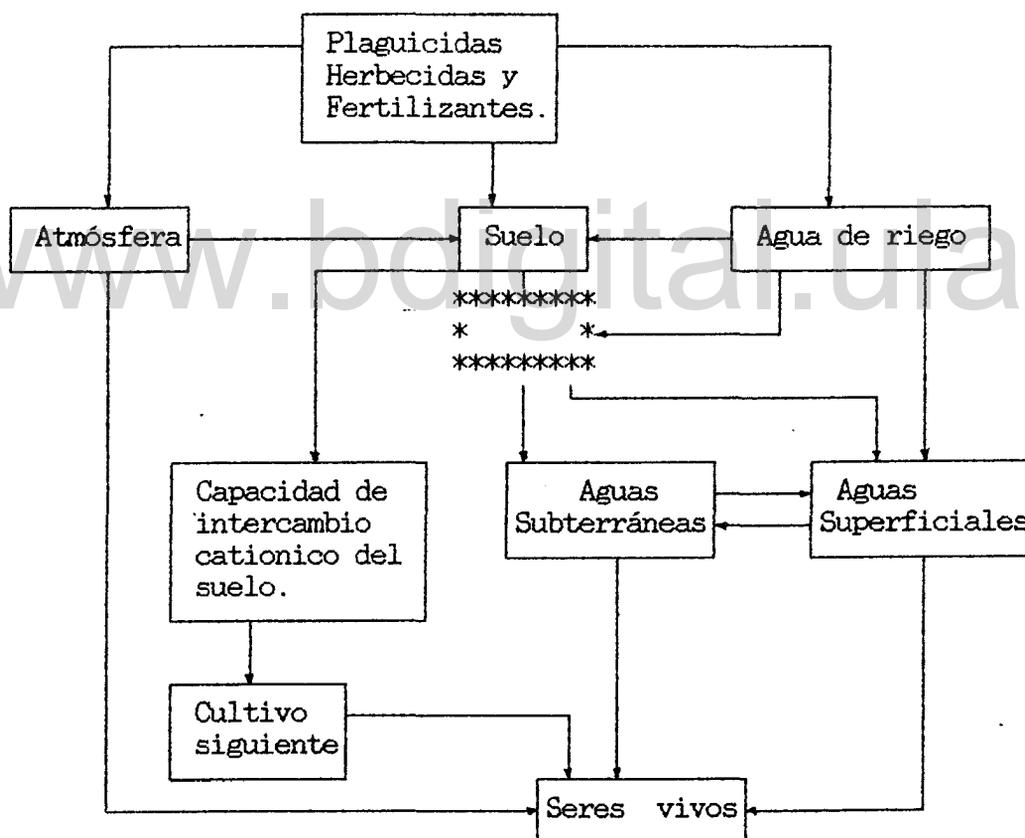


Figura 3. Contaminación de agroquímicos
Fuente: Díaz (1988).

Cada día se generaliza y se incrementa más el empleo de productos químicos en la agricultura, permitiendo obtener mayores cosechas, productos de superior calidad, y mejor protección en los almacenamientos. Por otra parte, los insecticidas han constituido un valioso auxiliar en las campañas realizadas para

la salud pública, al controlar insectos vectores de ciertas enfermedades, sanear el ambiente rural y permitir el desarrollo y aprovechamiento de zonas antes prácticamente abandonadas (Shell, 1965).

Los efectos sobre los vegetales a partir de los suelos destacan los insecticidas organoclorados como los contaminantes más problemáticos, como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7. Contenido de insecticidas en diversos vegetales y suelos (ppm)

Tipo de suelo o vegetal (tabérculos)	DDT y derivados	Aldrin	Dieldrin	Endrin	Total de Ciclodienos
Suelo arenoso	0,20	0,12	0,49	0,11	0,71
Zanahoria	Trazas	Trazas	0,12	0	0,12
Rábano	Trazas	Trazas	0,02	-	0,02
Nabo	-	-	0,02	-	0,02
Cebolla	-	-	0,01	-	0,01
Suelo arcilloso	0,45	0,50	0,98	-	1,49
Zanahoria	Trazas	0,02	0,11	-	0,13
Rábano	Trazas	Trazas	0,05	-	0,05
Nabo	-	-	0,03	-	0,03
Cebolla	-	-	0,02	-	0,02
Suelo turboso	16,11	0,05	3,89	7,92	19,93
Zanahoria	0,01	0,01	0,02	0,06	0,09
Rábano	0,01	Trazas	0,01	0,04	0,05
Nabo	Trazas	-	Trazas	-	Trazas
Cebolla	-	-	Trazas	-	Trazas

Fuente : Según Harris y Sans. Citado por Seoánez, 1977.

Sin embargo, también es forzoso reconocer que su empleo ha despertado fuertes críticas, por la cantidad de accidentes lamentables que ha ocasionado, tanto en las personas que manejan estos productos, como en la población consumidora de frutas y hortalizas. Pero también es cierto que tales desgracias ocurren, en su mayoría, por el uso indebido o el descuidado manejo de los mismos (Shell, 1965).

Contaminación de aguas superficiales

El agua, recurso renovable y circulante, de uso múltiple y sucesivo, es contaminada por acciones realizadas por el hombre en las fases de operación y construcción del sistema de riego y drenaje. La contaminación de las aguas superficiales se debe a la agregación de agroquímicos, de residuos fecales, de efluentes agro-industriales y por el arrastre de sedimentos desde sitios de construcción.

Contaminación de aguas superficiales por agroquímicos

Las aguas excedentes de las tierras agrícolas afectadas por agroquímicos, sales u otras sustancias tóxicas, ha sido señalada como una de las principales causas de polución y eutrofización de los cuerpos naturales de agua (Karr 1978, Citado por Delgado, 1987).

En la agricultura de regadío se utilizan cantidades elevadas de productos fitosanitarios y fertilizantes con respecto a la agricultura de secano.

Por otra parte, el medio húmedo contribuye a la proliferación de plagas y enfermedades, y con ello a una mayor utilización de productos fitosanitarios. Los elevados rendimientos económicos de los cultivos obligan a utilizar fertilizantes químicos y orgánicos para reponer las necesidades de nutrientes de los cultivos (Díaz, 1988).

Los poluentes de origen agrícola no puntual son los fertilizantes y los biocidas, los cuales pueden ser transportados hacia las masas hídricas o cursos de agua después del uso sobre suelos o vegetales por tres vías (Delgado, 1987):

1. Disueltos en las aguas de escorrentía (solución).
2. En suspensión en estas aguas (suspensión).
3. Adsorbidos a los coloides desprendidos del suelo (adsorción).

La presencia de plaguicidas en las aguas de lluvia se debe a la evaporación, o por oclusión en partículas de polvo. Luego de escurrir se infiltran hacia los acuíferos. A veces, la erosión produce también arrastres de partículas de agroquímicos (Seoáñez, 1977).

La aplicación de herbicidas en la limpieza de canales y drenes provoca contaminación a los cursos de agua, y lo mismo los tratamientos masivos con insecticidas en zonas pantanosas.

Los tratamientos aéreos pueden provocar vertidos a los arroyos de las zonas tratadas, en canales de riego y drenes, bien sea por caída directa o bien accidentalmente. Otro efecto desencadenante de este tipo de tratamiento es la alteración de la calidad del aire (Seoáñez 1977, Shell 1970).

Los peligros en la fauna acuática se producen por la toxicidad y la acción de estos componentes. La toxicidad varía según las especies y su edad (en fauna piscícola si se trata de huevos, alevines o adultos), influyendo también en ello ciertas características del medio como pH temperatura, contenidos en CO₂ y oxígeno, etc. Las especies ictícolas son mucho más sensibles ante los productos organoclorados que ante los fosforados y herbicidas. La acción de los plaguicidas puede ser directa e indirecta, la directa se refiere cuando es instantánea, debido a una gran concentración del producto, o lenta, por acumulación, como ocurre con los plaguicidas organoclorados en los tejidos grasos; la indirecta, cuando, por acción de los plaguicidas, se hace disminuir o desaparecer elementos de las cadenas tróficas, pues si faltan animales o vegetales, los individuos que los utilizan como sustento ven disminuida o extinguida su población (Seoáñez, 1977).

Las poblaciones ictícolas, con su característico método de respiración branquial, están obligadas a extraer el oxígeno necesario, circunstancia de gran transcendencia, pues la presencia de trazas de un agente contaminante no asimilable se traducirá en una extraordinaria acumulación en los peces, caso del que se conocen numerosos ejemplos (Hg, DDT, Dieltrin, etc.). (Seoáñez, 1977).

Otros efectos desencadenantes de contaminación de aguas superficiales son el problema de su posible reutilización, el uso forestal o ganadero y la salud pública. Los peligros para la flora acuática, puede ser la extinción de una especie y proliferación de otras más resistentes.

El cambio de condiciones de vida del medio acuícola, puede propiciar la emigración de peces así como el desarrollo desmesurado de las poblaciones de algunas especies.

Contaminación de aguas por residuos fecales.

La construcción de viviendas e instalación de los campamentos en el sistema de riego origina residuos de aguas consecuencia del aseo y las necesidades fisiológicas de los trabajadores.

Seoáñez (1977) los clasifica en deyecciones sólidas y vertidos líquidos de la siguiente manera.

Deyecciones sólidas: Se componen, normalmente, de agua, celulosa, lípidos, prótidos y M.O. en general, que en forma de elementos y compuestos de interés agrario corresponden a porcentajes de hasta 30% de nitrógeno 3% de PO_4H_3 y 6% de K_2O , entre otros.

Cuando son expulsadas las heces, aparece un principio de putrefacción que tiene lugar sobre las proteínas, tanto alimenticias como aquellas provenientes de secreciones y restos de la mucosa intestinal. Asimismo se presentan descarboxilaciones de aminoácidos que producen lisina, tirosina, aminas, etc... y desaminaciones con desprendimiento de NH_3 .

Al formarse escatol, fenol, indol, paracresol y otros compuestos, aparecen olores desagradables, y lo mismo ocurre al descomponerse ciertas proteínas, como la cisteína, que producen SH_2 y mercaptanos.

Vertidos líquidos: Diariamente, un hombre elimina 1,3 litros de orina. Anualmente, cada individuo produce unos 28 kg. de M.O. que en forma de elementos y compuestos de interés agrario corresponden, en kg./año, a:

	P_2O_5	K_2O	N
- Vertidos líquidos (orina)	0,7	0,7	4,7
- Deyecciones sólidas	0,2	0,1	0,4

Fuente: Seoáñez (1977).

Contaminación de aguas por efluentes agroindustriales

Dentro del área de riego es común la construcción y operación de agroagroindustrias para el procesamiento de las cosechas de los cultivos y otros tipos de explotaciones. Estas instalaciones evacuarán efluentes que alterarán de alguna manera los cursos de aguas.

Las aguas con productos minerales y orgánicos provienen de diversas industrias de la celulosa, del papel, textil, de la piel y destilería de madera. Los principales agentes contaminantes que contienen estas aguas son detergentes, sales, aceites minerales, grasas, colorantes, taninos, sulfuros, lejías, hidrocarburos y derivados (benzol, fenoles, etc.) (Seoáñez, 1977).

Aguas con productos orgánicos son las producidas en explotaciones y en industrias con pocos procesos químicos ellos son (Seoáñez, 1977):

1. Explotaciones agrícolas, ganaderas (vacuno, porcino, ovino, avícolas, etc.), forestales y mataderos e industrias derivadas.
2. Industrias de la alimentación plantas lecheras y sus derivados, destilerías de alcoholes, industria cervecera, azucareras, de almidón, de las féculas, fábricas de conservas y zumos (frutos y legumbres), silos, industrias del aceite y derivados e industrias de elaborados a partir de cereales.

Los contaminates producidos son, en su mayoría, de carácter orgánico, salvo en los casos de explotaciones agrícolas y forestales, pues éstos plantean problemas de uso más o menos incontrolado de plaguicidas. Normalmente, gran parte de estos productos se incorporan al suelo y a las plantas siendo arrastrados residuos no desdeñables por las lluvias y vientos, agregándose los primeros a los cursos de agua y los segundos a las nubes y precipitaciones (Champagnat, 1974. citado por Seoáñez, 1977).

Contaminación de aguas por los sedimentos provenientes de los sitios de construcción de obras de riego

La construcción de la obra de captación, provocará un cambio del régimen del río que repercutirá en las especies piscícolas que transporta los caudales debido al cambio de temperatura, y condiciones iniciales, también tendrá incidencia en las riberas de los ríos que afectaran a la flora. El incremento de turbidez, puede afectar fundamentalmente a salmónidos, bien directamente o por aterramiento de frezaderos (MOPU, 1989).

Contaminación de aguas subterráneas

Las aguas subterráneas, en comparación con las aguas superficiales, son de mayor calidad bacteriológica y de menor calidad química (sales disueltas), su contaminación es peligrosa, duradera y difícil de detectar. Son también claras, desprovistas de color y de una temperatura más constante a lo largo de la variaciones estacionales de la temperatura ambiente. Por su calidad bacteriológica es preferida para el consumo humano (Benítez, 1972. MAE, 1978).

La contaminación del agua se puede definir como la alteración de su calidad natural por la acción humana, que la hace total o parcialmente inadecuada para la aplicación útil a que se destina (Porrás, 1978).

De una forma general puede decirse que las aguas subterráneas pueden sufrir una **contaminación directa**, sin dilución, cuando se introducen directamente las sustancias contaminantes en el acuífero, tal como el vertido de pozos de inyección o en pozos negros, o bien una **contaminación indirecta**, con dilución, cuando esta se produce por contaminación de la recarga natural o por entrada de aguas contaminadas debido a la alteración de las condiciones hidrodinámicas preexistentes, tales como las producidas a causa de bombeos, drenajes etc. (Custodio, 1975).

La contaminación directa se produce por la construcción y operación de embalses, canales y drenes con fugas, pozos negros, ríos contaminados, cloacas, fugas de tuberías, abonos, riego con aguas residuales, infiltración de excedentes de riego salinos, lixiviado de depósito de basuras o escombreras, fugas de depósitos productos químicos, entre otros. Los acuíferos libres con material impermeable están protegido contra este tipo de contaminación (Custodio, 1975).

Naturalmente, la contaminación indirecta de las aguas subterráneas depende mucho de los tipos de contaminación (es decir de los productos que las contaminan), de los modos de contaminación y de otra variada serie de factores tales como permeabilidad, espesor y gradiente del acuífero, mecanismo mediante el cual lo alcanzan los productos contaminantes (superficialmente, inyección profunda, contaminantes accidentales de distintos tipos, etc.) (MAE, 1978).

Otro proceso de contaminación natural, se produce por las salidas de agua por evaporación, lo cual produce la salinización de los acuíferos o por la dilución de las materias químicas existentes en las rocas; y por los aportes subterráneos laterales de otros acuíferos adyacentes (Benítez, 1972).

Según similitudes médicas, la contaminación superficial puede compararse con infecciones localizadas y la contaminación subterránea con procesos cancerosos que lentamente afectan el organismo. Especialmente en la contaminación subterránea es aplicable el principio de que "más vale prevenir que curar". En general es extraordinariamente costoso y tremendamente lento el proceso de descontaminación de un acuífero (MAE, 1978).

Las formas de contaminación indirecta de las aguas subterráneas para fines de riego y que ocasionan su contaminación, son las siguientes: agua marina, química, compuestos nitrogenados y biocidas.

Contaminación por intrusión de agua marina.

Las causas de contaminación del agua subterránea en captaciones próximas al mar, se deben a que los gradientes freáticos se invierten y arrastran las aguas saladas hacia los acuíferos originalmente saturados con aguas dulces; otra causa es que estén cercanos a otros acuíferos salados, y en muchos casos aumenta la concentración en sales del agua por estar contenidos en estratos salinos (MAE, 1978).

Los problemas relacionados con las aguas de riego y consumo humano en zonas de delta, se deben a la presencia de aguas salobres; estas aguas se deben a la mezcla de agua dulce subterránea con el agua de mar, tanto en el subsuelo como en las capas superficiales del terreno (MAE, 1978).

Una excesiva e incontrolada explotación de estas reservas de agua, recargadas naturalmente por el agua de lluvia infiltrada en el terreno, puede provocar una perjudicial intrusión salina que, a su vez, puede llegar a inutilizar totalmente un acuífero (MAE, 1978).

El encuentro del agua dulce con el agua salada, ocurre a través de una línea curva de interfase, que delimita un lente de agua dulce flotando en la masa de agua salada, teniendo en cuenta que esta última es más pesada. Según el peso específico del agua dulce y salada, existe una relación de 40 veces el espesor de agua dulce con respecto a la distancia entre el nivel freático y el nivel del mar. Esto manifiesta un equilibrio natural, en cuyo caso no hay peligro de salinización. Si se bombea agua del sub-suelo, se rompe tal equilibrio produciendo intrusión salina, por lo que se puede elevar el agua salada 40 veces la altura de la depresión producida (Grassi, 1991).

Contaminación química

Este tipo de contaminación en los acuíferos nace de las labores agrícolas por la aplicación de abonos los cuales aportan nitratos. La materia orgánica se asimila en general liberando CO₂, el cual contribuye al endurecimiento del agua y a alteraciones importantes en su pH (MAE, 1978).

En los abonos artificiales a base de nitratos, fosfatos y potasio tiene lugar una contaminación fundamentalmente de nitratos, ya que los fosfatos son muy poco solubles y el potasio tiende a ser fijado en el propio terreno. La adición de yeso al corregir los efectos de aguas bicarbonadas alcalinas también contribuye al incremento de la dureza y naturalmente al aumento del contenido de sulfatos. También algunas plantas, como las leguminosas, tienden a aportar grandes cantidades de nitratos a las aguas subterráneas (MAE, 1978).

Otro aspecto de la contaminación debida a las labores agrícolas proviene del mismo hecho del regadío, por concentración de sales en el terreno, del agua de riego que se infiltra; este aspecto tiene importancia cuando se trata de regadíos con aguas subterráneas en zonas mal drenadas y/o con escasa recarga natural, donde al cabo de un tiempo puede llegarse a tener un agua no apta para los cultivos establecidos (Custodio, 1975).

La ganadería produce una contaminación esencialmente orgánica y biológica, similar a las de las aguas residuales domésticas aunque con frecuencia más concentrada e intensa, en especial en granjas en régimen de estabulación. La contaminación del purín en granjas porcinas suele constituir un grave problema (MAE, 1978).

Otra causa de la contaminación se deben por las actividades domésticas nacidas en fosas sépticas, pozos negros, fugas de los sistemas de alcantarillado, aguas de letrinas, etc., es esencialmente orgánica y biológica tiene también una vertiente química, sobre todo nacida de la utilización cada vez más intensa de productos químicos de uso doméstico, tales como detergentes de distintos tipos (MAE, 1978).

Contaminación por compuestos nitrogenados.

Los compuestos nitrogenados están normalmente relacionados con excretas humanas o animales, abonos, cultivo de leguminosas, filtraciones de pozos

sépticos, alcantarillas entre otros (MAE, 1978).

Las altas concentraciones del ión nitrato en el agua potable pueden producir la metahemoglobinemia o metoxihemoglobinemia que es una enfermedad que afecta a los lactantes (Espinoza, 1976).

Los nitritos en el terreno tienden a oxidarse para pasar a nitratos que perduran largo tiempo en el terreno. También se produce el proceso inverso de reducción de nitratos en algunas ocasiones. Ambos procesos son debidos fundamentalmente a causas de origen microbiológico (MAE, 1978).

Contaminación por biocidas

Se incluye en el nombre genérico de biocidas los insecticidas, herbicidas, alguicidas, funguicidas, etc. En general son compuestos muy resistentes a la degradación y muy nocivos para los seres vivientes, que tienden a acumularlos en sus tejidos creándose así una toxicidad diferida. Se ha llegado a detectar biocidas en las aguas subterráneas años después de la contaminación; uno de los más peligrosos es el DDT, muchos países Europeos han prohibido su fabricación (Custodio, 1975).

Las aguas subterráneas destinadas para el riego (operación), tienen los mismos problemas que las aguas superficiales, las cuales se pueden clasificar en tres grupos (Porrás, 1987):

1. El total de sales disueltas, que, por su efecto físico -es decir, osmótico-, disminuye la capacidad de absorción de agua por las plantas y hace bajar el rendimiento de las cosechas;
2. Ciertos elementos tóxicos para las plantas, y que se encuentran en bajas concentraciones; por ejemplo, el boro, y
3. Ciertos aniones y cationes, que actúan en relación con el carácter del suelo de cultivo, tales como el Na^+ , K^+ , Ca^{++} , y Mg^{++} , y los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros. Los suelos agrícolas regados con aguas de alto contenido de Na puede perder porosidad y llegar a ser inadecuado para el cultivo.

En muchos casos las agroindustrias abastecen aguas subterráneas para sus diversos procesos. Algunos compuestos pueden producir corrosiones o incrustaciones en la maquinaria, aunque en tales casos suelen ser componentes naturales, también pueden contaminar los alimentos (Porrás, 1987) .

Alteración del ciclo hidrológico.

El hombre interrumpe el ciclo hidrológico natural del área del proyecto al momento de construir y operar el sistema de riego y drenaje. En la fase de construcción modifica los cursos naturales de las aguas superficiales y subterráneas; en la fase de operación extrae y regula los caudales superficiales y subterráneos.

Al comparar los volúmenes de agua extraído del ciclo hidrológico destinado a la minería, la industria y la agricultura, es a ésta última a la que se dedica el porcentaje más alto. La extracción de las aguas subterráneas y superficiales traen consigo varios efectos positivos y negativos, dentro de lo

positivo es producir los alimentos y en lo negativo crear efectos negativos a los diversos factores ambientales. Seguidamente se pueden apreciar en la Tabla 8 los porcentajes de agua destinados a la agricultura y otros usos para el año 2000.

Tabla 8. Estimaciones de la utilización mundial de agua en 1967, y proyecciones para el año 2000

	USO TOTAL			PROPORCIÓN DEL USO TOTAL	
	1967 (Millones de m ³)	2000 (Millones de m ³)	Tasa proyecta de crecimiento (% anual)	1967 (%)	2000 (%)
Agricultura					
Riegos	1400000	2800000	2.1	70	51
Ganadería	58800	102200	1.7	3	2
Uso doméstico rural	19800	38300	2.0	1	1
Otros					
Uso doméstico urbano	73000	278900	4.1	4	5
Industria y minería	437700	2231000	5.1	22	41
TOTAL	1989300	5450400	3.1	100	100

Fuente: Milos, H (1973).

La mutua interferencia entre las aguas superficiales y subterráneas es una consecuencia lógica del carácter unitario del ciclo hidrológico, que constituye un auténtico sistema cuyas variables casi nunca son independientes. Por consiguiente toda acción sobre una de las variables puede introducir modificaciones en otras variables (Custodio, 1975).

Respecto a las aguas subterráneas y su relación con las aguas superficiales se trata seguidamente.

Variaciones del caudal de un manantial

Como en el caso de los sistemas acuífero-río, la extracción de aguas subterráneas en la masa hídrica de los manantiales puede ser beneficiosa si está debidamente planeada (Bénitez, 1972).

En los acuíferos cautivos es fácil que los bombeos repercutan de un modo rápido en la disminución de los caudales del manantial; en los acuíferos libres, en cambio, la influencia de los bombeos pueden tardar años en manifestarse en la disminución de los caudales (Custodio, 1975).

En algunas ocasiones, los bombeos realizados en zonas relativamente alejadas del manantial, han permitido obtener aguas de calidad muy superior a la del manantial, al reducir su trayecto subterráneo y evitar que fluyan por materiales con sustancias relativamente solubles (Custodio, 1975).

Mantener los manantiales como centros de recreación en los sistemas de riego, son efectos positivos que brinda el sistema. Además, alrededor de los manantiales existe un equilibrio con la vegetación que se debe preservar.

Agotamiento de las aguas subterráneas

Cuando las aguas superficiales son escasas o de mala calidad, se utilizan las aguas subterráneas. El uso abusivo de éstas provoca, en muchos casos, la disminución de los niveles de agua de los acuíferos, llegando incluso al agotamiento de los recursos cuando la extracción es mayor que la recarga natural. Existe una interrelación entre los caudales de escurrimiento de los ríos y la extracción de aguas subterráneas, la precipitación, el riego de tierras agrícolas y la infiltración de los canales sin revestir, el aumento o disminución de alguno de estos componentes alterará en cierta medida el ciclo hidrológico.

Otros efectos consecuencia del desequilibrio hidrológico de las aguas subterráneas son los siguientes:

1. La destrucción de muchas hectáreas naturales y de turberas, ya que al disminuir el nivel freático, la turba seca entra en ignición en profundidad, provocando un gran desastre ecológico, por pérdida de un material formado a través de cientos de miles de años, y la consiguiente desaparición del ecosistema asociado (Díaz, 1988).

2. La disminución del nivel de los acuíferos de una región se traduce en una mayor profundidad del agua en los pozos. Esto obliga a un mayor gasto de energía para la extracción del agua y a veces incluso a cambiar el sistema de regadío, por no existir presión suficiente de agua. También implica un gasto extra, haciendo a veces inviable la continuación del regadío, dejándose las tierras baldías o volviéndose al cultivo en secano (Díaz, 1988).

3. Las posibles filtraciones de las áreas regadas, y las oscilaciones de nivel, podrían producir recargas en los acuíferos dominantes, que ocasionarían modificaciones en el nivel del manto freático, fundamentalmente en las zonas más bajas y llanas de la cuenca (MOPU, 1989).

4. Aunque pudiera producirse alguna contaminación de los acuíferos, motivada por los procesos anteriormente analizados, las posibles repercusiones de mayor entidad serán, sin duda, las oscilaciones del nivel freático. Este aumento del nivel freático puede preverse mediante el estudio de las citadas filtraciones, relacionadas con la red de acuíferos presentes en la zona y valorar las posibles recargas de aguas subterráneas, en que podría incurrirse con el anegamiento (MOPU, 1989).

5. El incremento del poder erosivo del agua puede afectar también al nivel de la capa freática. Como consecuencia de la excavación inducida del cauce y la erosión sobre las márgenes, es posible que se produzca un descenso de nivel del acuífero dominante. También en la fase de construcción puede afectar la situación preoperacional del acuífero; la excavación de terrenos para la explotación de las canteras puede afectar al flujo del agua subterránea, con afloramientos que disminuyan el nivel freático (Díaz, 1988).

La acción del hombre sobre en el ciclo hidrológico natural puede ser de naturaleza muy diversa (Custodio, 1975):

1. Puede aumentar la precipitación, mediante técnicas de lluvia artificial.

2. Reducción de la evaporación de la superficie de los lagos, mediante su recubrimiento con películas finas de ciertos productos o flotadores.

3. La eliminación de determinadas especies de freatofitas, de escaso valor económico, parece que podría también reducir, en cantidades apreciables, la evapotranspiración en las regiones áridas.

Anegamiento

Seguidamente se detallan las causas por la que se producen los problemas de anegamiento, sus consecuencias y algunos casos presentados.

Cuando el nivel saturado del terreno está más profundo que el fondo de los valles o vaguadas, la recarga producida por los **excedentes de riego** produce una progresiva elevación del nivel piezométrico, hasta que este nivel alcanza la superficie del terreno. En muchas ocasiones el efecto anegamiento va acompañado del efecto salinidad cuando la evaporación es alta (Custodio, 1975).

Otra causa del anegamiento es la **infiltración de agua en canales sin revestir**. El agua infiltrada suele desaparecer en una capa permeable del subsuelo y reaparecer en una zona más baja, situada a alguna distancia del canal. El descenso de los niveles freáticos aumenta la infiltración procedente de los canales no revestidos (Kraatz, 1972).

Los problemas de anegamiento en proyectos de riego pueden ser agudos, no solamente en suelos planos, sino en suelos con topografía irregular. En los suelos planos, el anegamiento se produce debido a la pérdida de agua de los canales por la infiltración dentro de los campos irrigados y el sobreriego, estas aguas incrementan las capacidades de las aguas subterráneas elevando los niveles freáticos (Oosterbaan, 1988).

En suelos de topografía irregular, el anegamiento se produce principalmente en las depresiones o al pie de una inclinación de los terrenos; esto es debido a la elevación de los niveles freáticos de las aguas subterráneas resultado de las infiltraciones las tierras agrícolas ubicados en cotas elevadas (Oosterbaan, 1988).

Otros efectos consecuencia del anegamiento es la alteración de las propiedades físicas de los suelos que afectan el soporte y el ambiente edafoclimático de las raíces de los cultivos, la lixiviación de los fertilizantes y las labores culturales (Grassi, 1988).

En la llanura del río Indus con una superficie de 310000 km^2 , cerca del mar Arábico, los niveles freático que se encontraban a $10 - 30 \text{ m}$ debajo de la superficie del terreno ascendieron sobre el nivel del suelo provocando anegamiento y salinización. Se estima que cada año unas 50000 ha de regadío dejan de cultivarse por esta causa. La velocidad media de subida de nivel anual es de unos 25 cm en una de las zonas estudiadas, cuya superficie es superior a 2 millones de ha. La eventual amenaza de anegamiento y/o salinización alcanza a unos 10 millones de ha (Custodio, 1975).

Existen otros casos de anegamiento por situaciones naturales como son muchos valles y deltas ubicados al pie de los andes peruanos y a lo largo de la costa del océano pacífico donde más del 30% de los suelos agrícolas son afectados

por el anegamiento y salinidad (de la Torre 1987, citado por Oosterbaan, 1988).

El anegamiento trae como consecuencia problemas de salinidad, pérdidas de terrenos, problemas económicos, humanos, salud pública, y pérdidas de vías de comunicación adyacentes entre otros.

Disminución de eficiencia de riego del proyecto.

Israelsen (1962) definió la eficiencia de riego (Efr) como "... la relación entre el agua consumida por los cultivos agrícolas en el predio o sistema de riego y el agua derivada de la fuente natural hacia el predio o canales del sistema o laterales..." En otras palabras es la relación existente entre el volumen de agua consumida (evapotranspirada) V_c y el volumen derivado de la obra de captación (V_d).

$$Efr = V_c/V_d \quad (5.2)$$

Jensen (1963) expresa que el término eficiencia como una relación de los resultados realmente obtenidos de una operación comparados con los teóricos; un índice de desempeño de una tarea con el mínimo de desperdicio de esfuerzo.

La eficiencia de riego está en función de la eficiencia de conducción, distribución y aplicación. La variación de estos valores es por crecimiento de malezas y acumulación de sedimentos en los canales; carencia de revestimiento de canales y mala operación.

Los sistemas de riego son los mayores consumidores de agua, y uno de los menos eficientes. El riego representa más del 85% del consumo total de agua controlado por el hombre. Se ha comprobado que los procesos industriales utilizan menos de 100 toneladas de agua por cada tonelada de producto final; la agricultura suele requerir varios miles de toneladas. Según los informes demuestran que en los proyectos de riego sólo el 40% del agua suministrada llega al campo. La eficiencia de aplicación de la mayoría de los métodos de riego suele girar en torno al 60%, y las pérdidas de conducción y distribución del agua la reducen todavía más. Tasas globales de eficiencia del proyecto del 20% al 30% son comunes en los países en desarrollo (FAO, 1974).

Las pérdidas y desperdicios de agua que ocurren en todo sistema de riego, se evidencia en la baja eficiencia del proyecto de riego, que trae como consecuencia la formación de suelos saturados, charcos y lagunas. Si bien esto puede ser fruto de obras mal diseñadas, incompletas, o mal operadas, es en la práctica un caso frecuente, con incidencias negativas, no sólo en el suelo (anegamiento) sino sobre la salud ambiental, es decir, los vectores de enfermedades (Grassi, 1991).

Kraatz (1972) menciona que el porcentaje de pérdidas por infiltración en los canales pequeños y en las acequias de los predios suele ser mayor que en los grandes canales de conducción; en cauces artificiales que conducen de 30 a 140 lt/s se han registrado pérdidas de agua por infiltración de 20% por 1,6 km.

Por lo común son cuantiosas las pérdidas de agua en los sistemas de conducción no provistos de revestimiento. En la Tabla 9 se pone de manifiesto la eficiencia de riego en diferentes proyectos de riego.

Tabla 9. Estimaciones de las pérdidas de agua en los sistemas de conducción no revestidos.

Referencia	País en que radica el proyecto	Pérdida de agua en porcentaje de la cantidad total derivada	Observaciones
U.S. Bureau of Reclamation	EE.UU., 46 proyectos de riego	3 - 86 (promedio: 40)	Datos de 46 proyectos. Se incluyen los relativos al agua infiltrada, la absorbida dentro de los canales por vegetación incontrolable y la evaporada durante la conducción.
Khangar, S.D. Maasland	Paquistán Occidental, Cuenca del Indo	18 - 44	Sólo las pérdidas por infiltración.
		35	Promedio de la pérdida total durante la conducción.
Kennedy	Paquistán Occidental, Canal de Bari Doab	20	Canales principal y secundarios
		6	Canales de distribución
		21	Acequias
		47	Total de pérdidas
Barona, F.	México	26	Suelos menos permeables
		35 - 40	Suelos más permeables
Doneen, L.D.	Turquía, Meseta de Konia Cumra	40	
	Turquía, Meseta de Menemen	30	
Lauritzen, C.W.	R.A.U., Zona del Delta del Nilo	8 - 10	Bajas pérdidas por efecto de sedimentación del agua del Nilo
	R.A.U., Nuevos canales en zonas desérticas	50	
Sharov, I.A.	U.R.S.S.	20 - 35	Canales principales y de distribución
Sain, K.	India, Canal del Ganes	15	Canales principales y secundarios.
		7	Canales de distribución
		22	ácequias
		44	Total de pérdidas por infiltración
Hekket, H.	Irán, proyecto de Riego de Gamar	40	Canales principales y secundarios
Ministerio de Obras Públicas de Chile.	Proyecto del Valle de Huasco	54 (aprox 2,2 por km)	Canal de 25 km., con 1m ³ /s de capacidad descarga

Fuente: Kraatz (1972).

Otro efecto que tiene mucha incidencia en la eficiencia de riego, son las plantas acuáticas emergentes y las freatofitas, ya que la transpiración produce disminución de grandes cantidades de agua destinadas a las demandas de los cultivos. Las medidas indican que cierta vegetación hidrófila natural consume entre 50% y 100% más agua que la mayoría de las plantas de gran cultivo. Un estudio llevado a cabo en 1948 en los Estados Unidos reveló que, a causa de la vegetación adventicia, se pierden anualmente casi 185 millones de metros cúbicos de agua en los 22600 km de canales dependientes del "U.S. Bureau of Reclamation" (FAO, 1972).

Los focos de diseminación de malezas en canales sin revestir proliferan, cuando no son combatidos a tiempo, su semilla llega incluso a los campos de cultivo, extendiéndose así el problema a todo el sistema de riego a través de los caudales de riego que llegan a las parcelas (Grassi, 1991). Otro de los efectos que causa las malezas es la alteración de las características hidráulicas y por ende la disminución de la eficiencia de aplicación.

El material depositado en los canales es incorporado al sistema de riego por la carencia de desarenadores en las obras de captación, por el drenaje de tierras agrícolas y por las lluvias. Estos sedimentos son causantes de las variaciones de las características hidráulicas y crecimiento de malezas (Booher, 1974)

Salud Pública

Las enfermedades basadas en el agua y las transmitidas con el agua, se encuentran probablemente con más frecuencia en zonas donde las obras de irrigación crearon nuevas y amplias superficies de agua. Las causas de la proliferación de los vectores de enfermedades son los siguientes:

1. El mal diseño y construcción de la red de canales de riego y drenaje, el no término de las obras incompletas y/o la mala operación y mantenimiento, constituye un medio propicio para la proliferación de enfermedades humanas (Grassi, 1991).
2. Las pérdidas y desperdicios de agua que ocurren en todo sistema de riego, tanto en la red general de conducción y distribución como en los predios, se evidencia en los suelos saturados y en formación de charcos y lagunas, propiciando centros de proliferación de insectos vectores de enfermedades provocando efectos en la salud ambiental (Grassi, 1992)
3. Los problemas de infiltración derivados de la calidad del agua tienen el obvio efecto de prolongar el tiempo durante el cual las aguas de riego y de lluvias permanecen sobre los campos. Esta prolongación fomenta la proliferación de vectores y es muchas veces suficiente para completar su ciclo biológico (FAO, 1987).
4. Cuando los suelos se mantienen mojados por los riegos frecuentes, o inundados por varios días, para lixiviar las sales acumuladas, se crean condiciones favorables para el desarrollo de los vectores, estas situaciones, permiten completar la parte acuática generalmente menos de dos semanas en climas tropicales del ciclo biológico de mosquitos, favoreciendo así la producción de nuevas generaciones (FAO, 1987).

5. El uso de plaguicidas e insecticidas químicos en el control de los vectores puede dar lugar una mayor degradación de la calidad del agua y crear problemas en su uso para otros fines. Ejemplos de éstos son los daños a los peces cultivados por su valor de proteínas, el deterioro de las aguas para el ganado y, lo más peligroso, la contaminación de las aguas domésticas, las cuales en muchos países en desarrollo se toman directamente de las aguas de riego, con mínimo o ningún tratamiento previo (PNUMA, 1979).

6. El paratión es un producto de alta toxicidad y una pequeña cantidad del mismo ingerida o absorbida por la piel, puede poner en grave peligro la vida del operador, y aun causarle la muerte. El peligro de envenenamiento es mayor por absorción del producto a través de la piel que por inhalaciones (Shell, 1965).

7. El desarrollo de plantas acuáticas en los drenes, estimulado por el exceso de fertilizantes nitrogenado, o en canales de riego, en donde se mezclan las aguas de riego con la escorrentía de otros campos o con las aguas residuales, favorece la proliferación de vectores como insectos y caracoles. Estas plantas acuáticas aumentan, además, la dificultad y los costos de control de vectores por medio de productos químicos (FAO, 1987 y Grassi, 1991).

8. La influencia directa de la calidad del agua sobre los vectores, está relacionada con la preferencia de las diferentes especies de vectores por el agua. Para los mosquitos, esta preferencia abarca desde el agua fresca hasta las aguas salobres, incluyendo las pozas de sal, las aguas minerales subterráneas, aguas contaminadas con efluentes domésticos y hasta los tanques sépticos y las letrinas (FAO, 1987).

9. Los residuos de la aplicación de agroquímicos, bien percolan o escurren en los suelos. La percolación afectará la calidad de las aguas, ya sea de las corrientes subterráneas o del acuífero, la escorrentía superficial arrastrarán estos productos hasta los cursos de agua, cuyo consumo provocará problemas de salud de la población (Seoanez, 1977).

En los proyectos de irrigación, uno de los impactos ambientales pertenece al riesgo de la salud de la población, cuyas enfermedades prevalentes son las siguientes: bilharziasis o schistosomiasis, onchoceriasis, filariasis, otras enfermedades.

Bilharziasis o Schistosomiasis.

Esta enfermedad es causada por un trematode (Platelminto) del género Schistosoma, con 3 especies de importancia parasitológica: S. japonicum (limitada a partes del Oriente), S. mansoni (en Africa, América del Sur, y el Caribe) y S. haematobium (en Africa y Cercano Oriente); la primera produce la bilharziasis arteriovenosa, la segunda la intestinal y la tercera la bilharziasis vesical (Carvallo, 1973. Citado por López, 1977). Para la epidemiología de la bilharziasis es fundamental la existencia del hospedador acuático, el caracol Biomphalaria, huésped intermediario del Schistosoma mansoni. Donde los Biomphalaria están ausentes no hay riesgo de enfermedad.

Son varios los factores que pueden influir para la proliferación de estos caracoles, entre ellos la acidez del agua y la presencia de la vegetación. En aguas con un pH bajo (por ejm 5,5) es difícil la colonización de los caracoles

porque se disuelve la concha compuesta de carbonato de calcio. La vegetación es necesaria para la protección de éstos y particularmente como alimento en forma de algas y plantas vasculares acuáticas (López, 1977).

Los caracoles tienen preferencia por aguas que contienen sedimentos y también por aguas contaminadas, hasta cierto nivel, por sustancias orgánicas. Cuando esto último se debe a los residuos domésticos, el riesgo de la esquistosomiasis es evidente en las regiones endémicas (FAO, 1987).

Las causas de la generación de la bilharziasis son las siguientes: descarga de heces y orina sobre cuerpos de aguas frescas, aguas que permiten la supervivencia de los huevos y reproducción de los microorganismos, formación de charcos para la cría de caracoles, producción de caracoles y supervivencia en lugares pantanosos en el agua y contacto humano con el agua y penetración de la enfermedad a través de la piel (Chanlett, 1973).

El peligro grave de la esquistosomiasis se produce cuando el agente portador penetra en la piel de los seres humanos en contacto con ella, usualmente las personas se infectan cuando caminan con los pies descalzos en canales, drenes o pozas de arroz (Rameshwar, 1977). En la Figura 4 se puede apreciar el ciclo de la esquistosomiasis.

La esquistosomiasis es muy extendido sobre las poblaciones de la región semi-árida de Africa, el Medio Oriente y América del Sur lo cual se caracteriza por provocar efectos en el hígado, los riñones, la vejiga, los pulmones, el sistema nervioso central, el crecimiento físico y la resistencia (Barghouti 1991, citado por Shawki, 1991).

La construcción de proyectos de riego en los países en desarrollo, ha aumentado la tasa de infección de la población sujeta al riesgo de contraer la enfermedad, que de menos del 5% pasó a ser del 10%. Sin embargo, en algunos extremos la incidencia de la enfermedad se elevó hasta superar el 80% de la población sujeta al riesgo, como en la región de Gezira, Sudán. En un estudio reciente de la Organización Mundial de la Salud se llegó a la conclusión de que la eliminación de las barreras a la migración de los caracoles, como consecuencia de los proyectos de riego y la construcción de caminos en las selvas tropicales, facilitó la propagación de la esquistosomiasis en países insulares como Filipinas (Barghouti 1991, citado por Shawki, 1991).

La esquistosomiasis también tiene incidencia en los proyectos de embalsamiento; el represamiento del río Zambezi, en Africa, tuvo como finalidad de generar 1200 MW. Se formó el embalse de Kariba (con un espejo de agua de 5000 km²) en una zona de prevalencia casi despreciable de bilharziasis; 10 años después la incidencia en niños entre 5-14 años de edad era de 69% y 16% para *S. haematobium* y *S. mansoni* respectivamente. El molusco intermediario del ciclo de *S. haematobium* (*Bulinus truncatus rohlfsi*), fue encontrado por primera vez en el embalse 2 años después de finalizado el dique del volta (Ghana), y la prevalencia entre jóvenes de 16 años subió del 3% en 1967 al 37% en 1968 (Paperma, 1970, citado por López, 1977).

La relación existente entre los campesinos que dejan de trabajar por efecto de enfermedades tiene una gran incidencia en la baja de la productividad. Esto ha sucedido en países de la China, Egipto, Sudán y Tanzania. Por ejemplo, en Egipto la producción del factor trabajo descendió hasta un 35% de los grupos

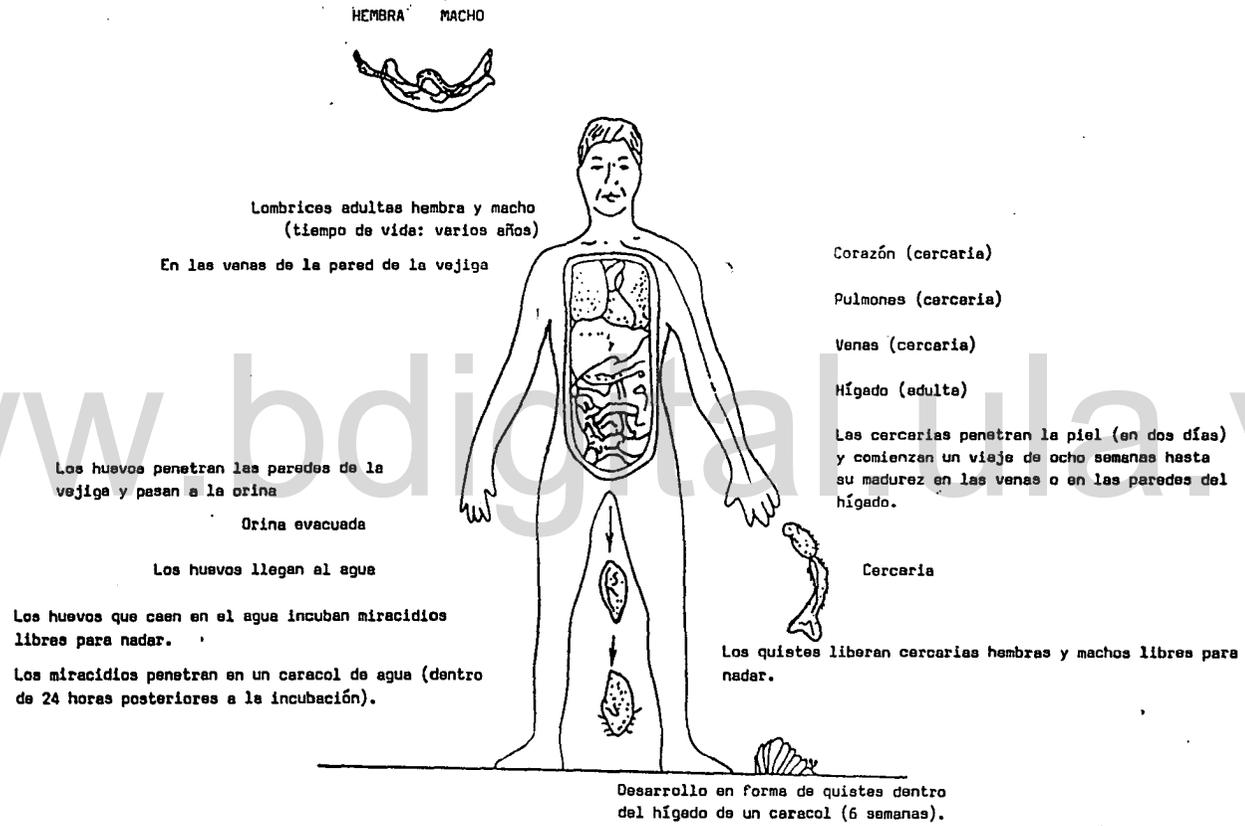


Figura 4. Ciclo de vida del esquistosomiasis.
Fuente: Eugene, 1982.

infectados, en tanto que en China se ha registrado una pérdida media de capacidad adulta para el trabajo de un 40%. Estudios realizados sobre las plantaciones de azúcar de Tanzania y Sudán revelan que los trabajadores infectados producen de un 10% a un 15% menos que los otros. Al aumentar la demanda de mayores cantidades de alimentos, se vuelve imperativo un mejor diseño y control de los sistemas de riego (Barghouti 1991, citado por Shawki, 1991).

Malaria.

Esta enfermedad es transmitida por picaduras de varias especies de mosquitos del género Anopheles, los cuales abundan tanto en regiones tropicales como templadas (López, 1977). No todas las especies de Anopheles reaccionan bajo cualquier condición o habitat; la diferencia entre los ciclos de vida, requisitos físicos y biológicos por parte de las larvas, la probabilidad de supervivencia de los adultos y las preferencias climáticas son elementos importantes que hace que cada área de riego, canal o embalse sea un caso especial. Los charcos formados por una mala operación y mantenimiento en el sistema o por la elevación del nivel freático de las áreas irrigadas y plantas que crecen en los mismos, suelen ser los efectos más directamente relacionados con los vectores de malaria (Weddy, 1975, citado por López, 1977). En la Figura 5 se puede apreciar el ciclo de la Malaria.

Onchoceriasis

Rameshwar (1987) llama a esta enfermedad River Blindness la cual es producida por un nematelminto (Onchocerca volus) y transmitida de hombre a hombre por la picadura de dipteros (mosca negra) del género Simulium. Se le denomina también con el nombre popular "ceguera de los ríos", la infección puede conducir a la ceguera al cabo de muchos años de exposición; los primeros síntomas son lesiones de la piel con comezón intensa.

El efecto de los embalses sobre las poblaciones de Simulium es mínimo. Estos insectos tienen estadios larvales acuáticos, de tipo sedentario y que se alimenta como filtradores; es decir, necesita vivir en aguas corrientes o lénticas en ríos, caños, vertederos, canales o drenes de pendiente mínima. Se encuentra principalmente en el Africa Occidental al Sur del Sahara, con focos en América Central y Sudamérica (Obeng, 1975. citado por López, 1977. Tiffen, 1991).

Filariasis

Es una enfermedad debilitante, muy difundida pero no letal, transmitida por mosquitos culicinos (en algunas regiones por anofelinos). Los vermes filáricos viven en los vasos linfáticos, los cuales drenan fluidos de las extremidades. las obstrucciones que causan los parásitos conducen finalmente a la hinchazón y a la deformidad de las extremidades (elefantiasis) y, en algunos casos, de los organos genitales masculinos (Tiffen, 1991).

Otras enfermedades.

Los efectos de los sistemas de riego y drenaje sobre la ecología sanitaria de la zona generan otras enfermedades tales como encefalitis o fiebre al cerebro, causado generalmente por la picadura de los mosquitos que transmiten los virus desde los pájaros y vertebrados salvajes que a la vez son trasmitidos a los seres humanos. Existen también otras formas como lombrices intestinales (opisthocercosis) y tripanosomiasis africana. La fiebre amarilla es un virus

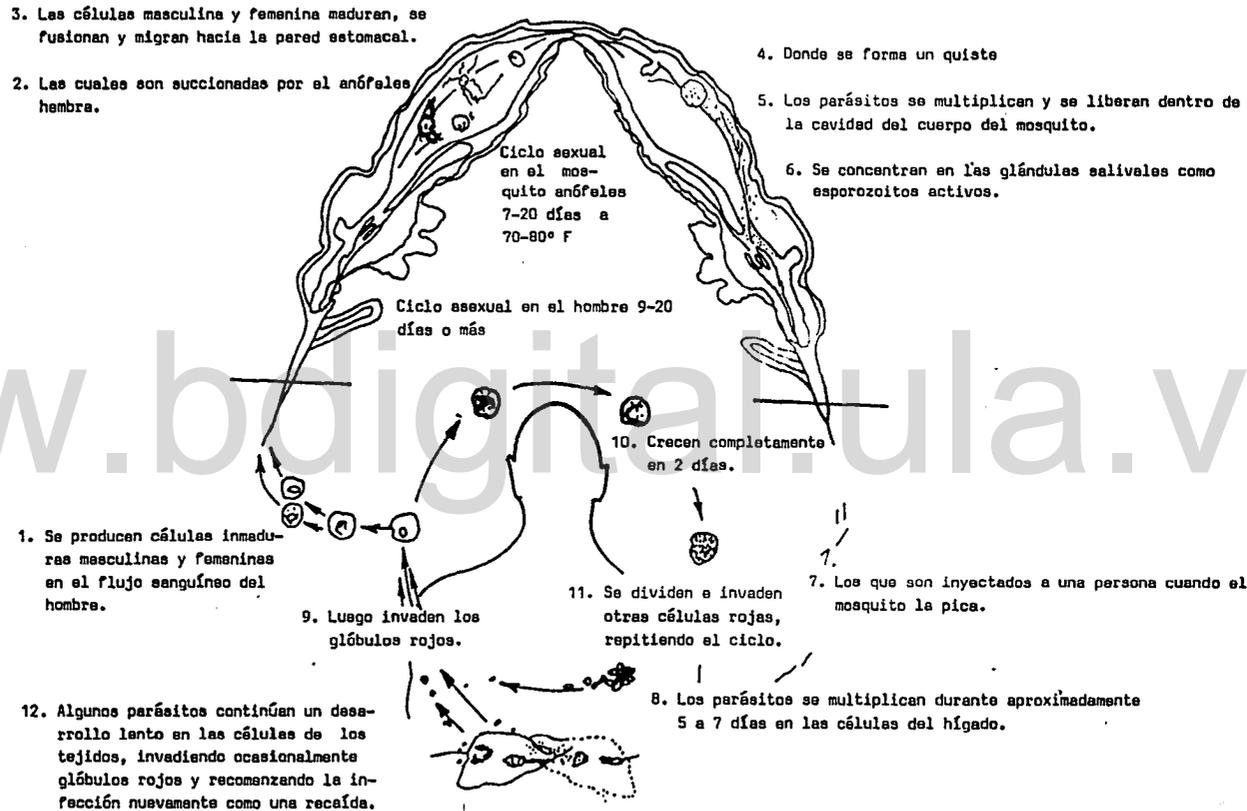


Figura 5. Ciclo de vida de la Malaria.

Fuente: Eugene, 1982.

transmitido a los seres humanos a través de los mosquitos, es una enfermedad común en los monos (Rameshwar, 1987).

Los impactos que producen estas enfermedades depende no solo de los efectos ecológicos sino también de aspectos fundamentalmente socioeconómicos y de reubicación y reasentamiento humano. La Organización Mundial de la Salud reconoce la Malaria y la schistosomiasis como las dos enfermedades más importantes prevalecientes en áreas de irrigación (Rameshwar, 1987).

Aumento en los niveles de ruido

La contaminación acústica generada en los proyectos de sistemas de riego y drenaje, se debe al funcionamiento de los motores de bombeo, maquinarias agrícolas y movimiento de maquinarias pesadas durante la construcción de obras hidráulicas y a la extracción de materiales de canteras. El tránsito sucesivo de estas maquinarias afectarán a las poblaciones cercanas, trabajadores y la fauna y flora (MOPU, 1989).

Los efectos del ruido, como los de muchos contaminantes, se acumulan en el organismo, al cesar no dejan un residuo ambiental como dejarían los contaminantes del agua, estos solo se sienten cerca de la fuente (PNUPMA, 1979).

En cuanto a los efectos sobre el hombre se diferencian (según el Instituto MAX Planck. Dortmund - Alemania) los siguientes grados (Eichler, 1972):

Escala I - Ruidos molestos 30 - 60 decibel (o DIN-Phon)

Escala II - Ruidos peligrosos 60 - 90 decibel (o DIN-Phon)

Escala III - Ruidos dañinos 90 - 120 decibel (o DIN-Phon)

Escala IV - Lesiones mecánicas sobre 120 decibel (o DIN-Phon)

1 Decibel = 10 bel. El aumento de 10 decibel equivale a una duplicación del ruido).

Un camión de carga, con su escape intacto, puede producir el ruido de 80-90 decibeles, lo que corresponde al límite de la escala II, que amenaza a la salud, mientras a partir de los 90 decibel comienza la escala III, con ruidos que deterioran la salud.

La salud y el equilibrio neuro-síquico del hombre están bajo tensión creciente por los ruidos, como parte de la congestión de las actuales condiciones de vida. La contaminación ambiental por los ruidos ha sido reconocida por la medicina como una causa de disminución de oído, hasta un alto grado de lesiones orgánicas aún más graves. Al respecto, el Prof. Knudsen dice: " el ruido, como el "smog", es un lento agente de la muerte. Si continúa aumentando en los próximos treinta años como aumentó durante las décadas recientes, puede llegar a ser letal". Los efectos que provoca en el organismo humano es la contracción de vasos sanguíneos, la presión sanguínea, el corazón y todas las funciones físicas: digestión, función sexual, etc. (Eichler, 1972).

El ruido no sólo constituye un riesgo para la salud, una molestia o una perturbación, sino que pueden también disminuir la eficiencia del trabajo, dañar

estructuras, y afectar la producción de los animales. Se dice frecuentemente que el ruido reduce la eficiencia del trabajador, en el supuesto de que el ruido distrae la atención del trabajo y aumenta la fatiga (PNUMA, 1979).

Alteración de la calidad del aire

La alteración de la calidad del aire es consecuencia de la aplicación de agroquímicos, emisiones de partículas de polvo y "smog" realizadas por maquinarias pesadas y motores agrícolas.

Los agroquímicos aplicados con avionetas son los que alteran la calidad en los grandes sistemas de riego, incidiendo es en el ecosistema y la salud de los habitantes de la zona. Los agentes lluvia y viento son los transportadores de estos compuestos (Heincheir, 1966).

El accionamiento de maquinarias pesadas para la construcción del sistema de riego genera partículas sólidas en suspensión debido al movimiento de tierras, al transporte de materiales, explotación de canteras y escombreras; estas acciones producen un incremento en la emisión de partículas de polvo en suspensión y sedimentables. La mecanización agrícola, al igual que las maquinarias, pesadas generan partículas de polvo, por la operación de los arados y rastras en los suelos secos. Otro proceso de contaminación atmosférica es debido a la erosión eólica.

La circulación de vehículos y maquinarias pesadas y agrícolas propagan también niveles de emisión de "smog". Los niveles de emisión de partículas de polvo y smog están localizados temporalmente y existen toda una serie de medidas correctoras que puedan reducir su entidad. Además de repercutir sobre los habitantes y viviendas de la zona y animales doméstico, pueden afectar a la fauna y a la vegetación, al disminuir la eficacia de la función fotosintética llevada a cabo por la superficie foliar (MOPU, 1989).

Alteración del clima

Las reacciones químicas que ocurren en el suelo por la adición de agroquímicos y la mecanización agrícola, pueden variar la continentalidad del clima (disminución de las temperaturas máximas y aumento de las mínimas). Las bacterias del suelo desempeñan un papel fundamental en la regulación de los gases atmosféricos y, por ese medio, en la mayoría de los ciclos biogeoquímicos, como los de nitrógeno, el carbón o el fósforo. Las partículas de polvo de origen mineral y vegetal, que proceden principalmente del suelo, son la base de la formación de las nubes que originan la aparición de brumas o neblinas en determinadas épocas del año, e incrementan las precipitaciones totales. Los efectos anteriormente citados alteran también la temperatura del planeta, al influir en la proporción de radiación solar que es nuevamente reflejada hacia el espacio. Los cambios de la capa superior del suelo pueden influir por ello en el clima del planeta, de la misma forma que el clima, a su vez, puede influir en la facilidad con que una mala gestión ecológica destruye el suelo (PNUMA, 1979).

Las alteraciones del clima son consecuencia de la deforestación de las áreas de riego, cambios de caudales de los ríos, entre otros, los cuales pueden

ocasionar efectos secundarios sobre los ecosistemas.

Alteración del ecosistema.

El ecosistema es una dependencia mutua de efectos recíprocos de las comunidades bióticas de plantas y animales; las acciones de la construcción y operación de proyectos de riego y drenaje interrumpen este ecosistema natural. Los efectos negativos consecuencia de estas acciones son: alteración del paisaje, desaparición de aves migratorias, movimiento de animales terrestres, destrucción del habitat y destrucción de frezas.

Las alteraciones sobre el paisaje, pueden producirse como consecuencia de la modificación de algunos de sus elementos característicos como son la desaparición de bosques, variación de canteras, variación de la visibilidad por aparición de nieblas, cambios en los usos de los suelos, introducción de nuevos cultivos, movimiento de tierras, modificaciones del área de riego.

Las transformaciones que abarcan grandes o pequeñas extensiones de terrenos, requieren estudios de profundidad en cada proyecto a realizarse. Los cambios en la flora o en la fauna de una región pueden afectar a otras regiones próximas o lejanas, como es el caso de los lugares que utilizan las aves migratorias a través de las diferentes latitudes, muchos de ellos desaparecidos durante los últimos años en los países en desarrollo (Díaz, 1988).

La creación de los canales y drenes puede impedir o dificultar los movimientos locales o migratorios de animales terrestres y especies migratorias, impidiendo su reproducción; sólo algunos animales serán capaces de atravesar los cursos de agua estrechos de pequeño caudal y poca profundidad.

La construcción de la infraestructura y la implantación de nuevos cultivos en la zona, producen la destrucción de la cobertura vegetal o cualquier otra parte esencial del habitat de muchas especies; esta destrucción provocará el desplazamiento hacia espacios colindantes de algunas de las especies afectadas. En estos lugares, serán más abundantes esas especies, a condición de que existan hábitats similares a los destruidos. Particularmente afectadas serán las especies ribereñas que encontrarán mayores dificultades para reinstalarse. Este efecto negativo será más acusado si la deforestación se produce en época de cría (MOPU, 1989).

La extracción de materiales para la construcción en la ribera de los ríos puede destruir las zonas de freza. En las proximidades de las que se vayan a destruir o que puedan quedar afectadas por la extracción en el cauce del río (MOPU, 1989).

Un importante efecto positivo de las obras de captación u otras obras hidráulicas, es la posibilidad de que especies acuáticas se vean favorecidas por la creación de nuevas zonas húmedas. Los canales y drenes crean nuevos habitat de especies acuáticas y aves a las que puede servir de zona de asentamiento o descanso en sus migraciones.

Otro efecto que altera al ecosistema es la aplicación de los biocidas,

cuya preparación es utilizada para la lucha contra los seres vivos perjudiciales al hombre y aquello que es útil para su existencia, excepto los productos farmacéuticos o veterinarios (Seoáñez, 1977).

En lo que se refiere a la contaminación agraria, los plaguicidas pueden ser reunidos en tres grupos: productos minerales, productos vegetales, compuestos orgánicos de síntesis. Los dos primeros grupos no plantean, en principio, grandes problemas de contaminación, salvo algunos productos aislados. Los productos orgánicos de síntesis, que comprenden fundamentalmente los organoclorados y los carbamatos, plantean problemas graves debido a la persistencia de algunos de ellos (sobre todo los primeros) o de sus metabolitos, así como a causa de su toxicidad (Seoáñez, 1977).

Los plaguicidas, considerados en su aspecto nocivo, son productos que pueden agregarse a muchos **eslabones de las cadenas ecológicas**, alterando éstas últimas de forma diversa, lo que puede provocar, como consecuencia, **modificaciones graves en los ecosistemas**.

Los plaguicidas modifican los equilibrios biológicos directa o indirectamente de las formas siguientes (Seoáñez, 1977):

1. Plantean problemas graves para el hombre a corto y a largo plazo, debido a la capacidad cancerígena y a que provocan otras enfermedades asociadas a muchos de esos productos.
2. Provocan el hábito de resistencia en muchos organismos contra los que se lucha, necesitándose un consumo cada vez mayor de plaguicidas o la preparación de productos de toxicidad creciente.
3. Los plaguicidas estables (muchos de los insolubles) se acumulan en aguas, alimentos y organismos, teniendo esta propiedad consecuencias imprevisibles a medio plazo.

Descripción de las medidas de control de efectos ambientales en proyectos de riego y drenaje.

El objetivo básico de una Evaluación de Impacto Ambiental, es el control de los efectos negativos generados por el proyecto de riego y drenaje.

A continuación se presentan las medidas de control de los efectos negativos descritos anteriormente, en ellas se describen las medidas alternativas de cada efecto.

Erosión

Algunas medidas para el control de la erosión y sedimentación de los suelos por la acción hídrica (riego y precipitación) y eólica son las siguientes:

1. La revegetación, impermeabilización o reducción de la pendiente de los taludes de canales, drenes, caminos o de áreas de topografía accidentada son necesarias para evitar la erosión y sedimentación, por los efectos de las

precipitaciones.

2. La organización de los movimientos de las maquinarias dentro de las canteras se realizan según las curvas de nivel o caminos asfaltados; esta medida se realiza para evitar que los neumáticos de las maquinarias formen regueros propensos a la erosión.

3. El diseño de canales y drenes sin revestir, se deben considerar pendientes leves no erosivas según el tipo de suelos y velocidad de flujo. Si la topografía no permite establecer estas pendientes, se deben diseñar caídas o en caso contrario, revestir los tramos erosivos. También se deben evitar el diseño de canales en curvas pronunciadas.

4. La operación del sistema de riego superficial es función del buen diseño de riego en el predio. Según las condiciones naturales del terreno pueden ser en melgas, surcos o curvas de nivel. Otra medida para una adecuada operación de los caudales de riego es la nivelación de tierras que tiene como fin no solamente evitar la erosión sino el drenaje superficial e incrementar la eficiencia de aplicación.

5. El acondicionamiento de los drenes naturales para la evacuación de los caudales excedentes de los riegos o precipitaciones garantiza en cierta manera el flujo natural no erosivo.

6. Es necesario la construcción y operación de desarenadores en las obras de captación principal de los sistemas de riego para evitar la entrada de sedimentos al canal principal y ramificaciones.

7. El mantenimiento de los canales y drenes considera la limpieza de los sedimentos ocasionados por la erosión de las áreas de riego o las cuencas. La limpieza puede realizarse manualmente o mecánicamente según las disponibilidades económicas.

8. El riego por aspersión según CIDIAT (1988), tiene cierta ventaja con respecto al riego por superficie, porque evita la erosión de los suelos, ya que el agua es rociada sobre la superficie del terreno a la manera de una lluvia ordinaria, pero con una intensidad tal, que sea menor que la velocidad a la cual el suelo puede absorber el agua. Al respecto, en la Tabla 10 se relaciona la pendiente del terreno y la reducción de la tasa de aplicación de los rociadores.

Tabla 10. Relación entre la pendiente y la reducción de tasa de aplicación.

Pendiente	Reducción
0 - 5 %	0%
6 - 8 %	20%
9 - 12%	40%
13 - 20%	60%
más de 20%	75%

Fuente: Riego por Aspersión. CIDIAT, 1988.

9. CIDIAT (1988), recomienda el uso de riego por aspersión en condiciones

de terrenos de topografía irregular, ondulados y de pendiente fuerte. También expresa que la eficiencia de aplicación del agua que se logra regando por aspersión es alta en relación a los sistemas de riego por superficie; señala que tanto el aumento de la presión de operación como la reducción del tamaño de las boquillas disminuyen la energía del impacto de las gotas contra el suelo y la destrucción de los agregados.

10. El control de la erosión eólica es evitar las velocidades excesivas de los vientos para rebajar la erodabilidad de los suelos. Las medidas al respecto son la construcción de surcos, camellones o lomos los cuales están en función de la altura, forma y orientación relativa a la dirección del viento. Los camellones son efectivos en un rango de altura entre 5 y 10 cm, aquellos menores de 5 cm no son efectivos reduciendo la velocidad del viento o atrapando partículas de suelo de la corriente de aire. Los lomos mayores de 10 cm son inconvenientes debido a que favorecen la turbulencia del viento (Troeh 1980. Citado por López, 1988).

Otro medio de control de la erosión eólica es considerar la cobertura vegetal. El grado de protección dependerá del tipo de plantas, su orientación, su población y su geometría. Estas condiciones están en función de la dirección del viento. Los árboles que se siembran para estos casos son los álamos.

Salinización

El principal objetivo de la selección de algunos procedimientos para controlar las sales es mejorar la disponibilidad del agua del suelo al cultivo Hoffman et al., (1981), citado por Pérez (1986), ofrece una serie de técnicas las cuales las dividen en aquellas que requieren menores cambios en el manejo y otras que necesitan mayores transformaciones para el control de las sales en el suelo.

Las técnicas que requieren pocos cambios son:

1. Riego más frecuente: consiste en incrementar la frecuencia de riego promedio del agua en el suelo. Particularmente la parte de arriba de la zona radicular es mantenida baja en sales si cada riego es adecuado. Esto también permite que se apliquen menores cantidades de agua, lo que reduce las pérdidas por escorrentía.

2. Selección de cultivos: cuando se usa agua salina puede requerirse la selección de un cultivo tolerante o muy tolerante para evitar reducciones en los rendimientos. Existen muchas tablas de tolerancia de los cultivos a las sales. Sin embargo, la selección de un cultivo más tolerante no elimina las necesidades de lixiviación y prácticas mejores de manejo. También la época de siembra puede ser programada de tal forma que se coincida con los períodos de menor evaporación o mayor precipitación, lo que disminuye los requerimientos de agua del cultivo.

3. Lixiviación: las sales solubles que se acumulan en el suelo deben ser lavadas debajo de la zona radicular del cultivo. Existen muchos procedimientos para calcular la lámina de agua adicional que se requiere para lixiviar las sales. Dicha lámina depende del contenido de sales del agua de riego y del suelo,

la tolerancia del cultivo a las sales, las condiciones climáticas y del manejo del agua y el suelo. El intervalo de tiempo entre los lavados parece no ser crítico siempre y cuando no se exceda la tolerancia del cultivo. Por lo tanto, los lavados se pueden hacer con cada riego, mensualmente, anualmente o tiempos más largos, dependiendo de la severidad del problema salino y la tolerancia de las plantas.

Las técnicas que requieren mayores cambios son:

1. Cambio de método de riego: los métodos de riego por gravedad tales como inundación, bordas, tanques, surcos, etc, no son suficientemente flexible para permitir cambios en la frecuencia de riego o la lámina de agua aplicada por riego y mantener todavía su eficiencia. Si se riega más frecuente con estos métodos se desperdiciará agua. Por lo tanto, si se quiere cambiar a una mayor frecuencia de riego se debe utilizar riego por goteo o por aspersión.

2. La utilización del método de riego por aspersión dependerá de las condiciones climáticas de la zona, ya que el factor viento tiene una fuerte influencia sobre éste. En cambio, el método de riego por goteo se puede usar en las mismas condiciones y con agua de baja calidad, obteniéndose mejores rendimientos, debido a que existe continuamente un alto contenido de agua en el suelo y diariamente se suple el agua perdida por evaporatranspiración.

3. Cambio de la fuente de agua: ésta es una simple solución a un problema salino; sin embargo, no siempre existen fuentes de aguas alternas en las zonas de regadío.

4. Nivelación de tierras: es necesario para permitir una mejor distribución del agua en métodos de riego superficiales. La utilización del riego por goteo o aspersión obvia la realización de dicha labor.

5. Modificación del perfil del suelo: se utiliza para fracturar, destruir y/o hacer más permeable aquellos suelos que tienen capas que impidan o inhiban la penetración de las raíces y el agua en el suelo. El uso de subsoladores puede ser un ejemplo de estos procedimientos.

6. Drenaje: la carencia de un adecuado drenaje superficial o subsuperficial complica el manejo del agua para el control de la salinidad. El drenaje superficial puede ser mejorado mediante la construcción de drenes y la nivelación de tierras. La presencia de capas impermeables o poco permeables y la elevación de la mesa de agua subsuperficial con aguas cargadas de sales pueden causar problemas de salinidad, así se utilicen aguas de riego de buena calidad. La construcción de drenes subsuperficiales y después la lixiviación, ayudan a Resolver el problema.

Salinización y Sodificación

El problema principal en los suelos salino sódicos consiste en mejorar las condiciones estructurales del suelo, de manera tal que permitan el movimiento del agua a través del perfil. Seguidamente se mencionan las medidas de riego con agua que contiene Ca^{++} y la mezcla de aguas.

1. Riego con agua que contiene Ca^{++} : el objetivo es la sustitución del sodio intercambiable con Ca^{++} antes del lavado, reduciéndose el espesor y el suelo flocculado (Zylstra, 1969. Citado por Grassi, 1988). Luego de reemplazar el Na^+ por el Ca^{++} se procede a lixiviar el sodio reemplazado y las demás sales solubles. La lixiviación puede ser de la manera siguiente:

La lixiviación con menos dispersión se realiza aplicando agua muy salina, que luego se va diluyendo progresivamente con agua de riego (Doering y Reeve, 1954. Citado por Grassi, 1988).

La lixiviación directa sin deterioros estructurales, se consigue cuando el índice promedio de infiltración del suelo en un período de 7 a 14 días durante la prueba es similar al índice mínimo de infiltración durante las primeras horas; esto indica que los daños por lixiviación directa es en menor grado. Si se producen deterioros, será necesario agregar compuestos químicos correctivos para reemplazar el sodio intercambiable (Guevara, 1989).

2. La mezcla de aguas provoca una reducción de la relación de absorción de sodio (RAS) lo cual mejora la infiltración. Sin embargo es recomendable alternar la mezcla de aguas, considerando aplicaciones suplementaria de enmiendas. La calidad de la mezcla final puede estimarse mediante la siguiente relación (FAO, 1987):

$$\text{Cnf} = (\text{Cna} * (\text{Qa} / \text{Qt})) + (\text{Cnb} * (\text{Qb} / \text{Qt})). \quad (5.3)$$

donde:

Cnf : concentración final de la mezcla (ds/m o me/l).

Cna : concentración del agua "a" (ds/m o me/l).

Cnb : concentración del agua "b" (ds/m o me/l).

Qa : cantidad del agua "a" (cm).

Qb : cantidad del agua "b" (cm).

Qt : cantidad total de agua (Qa + Qb) (cm).

Sin embargo, mezclar las aguas no es una práctica común, normalmente se prefiere emplear el agua superficial de buena calidad y utilizar agua de pozo, de calidad inferior, cuando el agua superficial no es suficiente. El problema puede agravarse con el uso de aguas de baja calidad y bajo relación de absorción de sodio (RAS), al lixiviar las sales previamente acumuladas en el suelo superficial (Grassi, 1981 y FAO, 1987).

Sodificación

La recuperación de los suelos sódicos resulta mucho más difícil que la de los suelos salinos, por el hecho que se tiene que transformar los suelos sódicos en salino-sódico. El tratamiento para la recuperación de este último tipo de suelo es similar al efecto anterior. Al respecto se presentan tres medidas de control.

1. La recuperación implica una modificación en el complejo de intercambio y la sustitución del Na^+ y las sales liberadas de sodio intercambiable por Ca^{++} . Para reemplazar el sodio, se deben agregar **enmiendas** (compuestos químicos) tales

como el **yeso** y **azufre** u otro compuesto formador de ácido, para poder incrementar la concentración de calcio soluble con el fin de que pueda reemplazar al sodio intercambiable (Guevara, 1989. FAO, 1987).

Las enmiendas se aplican al suelo para reemplazar al sodio intercambiable; éstos se mezclan mecánicamente con la tierra o se introducen en el agua de riego. Una vez que esto sucede se pueden añadir correctivos para reemplazar al sodio mediante una lixiviación controlada y un drenaje adecuado (FAO, 1987).

Estas medidas de control se llevan acabo dentro de un plan general (a largo plazo). La selección de enmiendas depende de varios factores tales como costos, disponibilidad en el mercado, manejo de sustancias y efectividad en la recuperación del suelo.

Algunos mejoradores químicos son sales solubles de calcio (yeso, cloruro calcio), ácidos o formadores de ácidos (azufre, polisulfuro de calcio, ácido sulfúrico, sulfato de hierro y aluminio), residuos industriales (bagazo y espuma de caña de azúcar, cales residuales de acetileno(Guevara, 1989).

Con las fórmulas que se presentan seguidamente se pueden hallar la dosis teórica y dosis práctica de la enmienda a aplicarse (Guevara, 1990):

$$Dt = (PSI_i - PSI_f) * CIC * Pe * Pr * Da * 10^{-5} \quad (5.4)$$

donde:

Dt = Dosis teórica de la enmienda (Ton/Ha)
 PSI_i = (%) de sodio intercambiable inicial
 PSI_f = (%) de sodio intercambiable después del tratamiento
 CIC = Capacidad de intercambio de cationes del suelo en $meg/100gr$
 Pe = Peso equivalente del mejorador en gramos (Ver tabla 10)
 Pr = Profundidad de raíces que se desea mejorar en cm.
 Da = Densidad aparente (gr/cm^3).

En la práctica, la dosis teórica Dt , se modifica mediante un factor de corrección C , para obtener la dosis práctica.

$$Dp = Dt * C \quad (5.5)$$

Donde:

Dp = Dosis práctica de la enmienda (Ton/Ha)
 C = Coeficiente de corrección

En la Tabla 11 se mencionan los pesos equivalentes de las enmiendas y el factor de corrección de dosis teórica C .

El yeso (SO_4Ca) es la enmienda más usada por su bajo costo. Se distribuye al voleo en forma granular (o disuelto en el agua de riego) y se incorpora al suelo mediante arado, siendo su limitación la baja solubilidad del yeso; las

cantidades aplicadas oscilan entre 5 a 30 Tm/ha. La aplicación de 40 Tm/ha se utiliza en suelos altamente sódicos y cuando se necesita una recuperación rápida con una sola aplicación de enmienda. Las aplicaciones superiores a 10Tm/ha son antieconómicas (Guevara 1989, FAO 1987).

A menudo resulta difícil y costoso recuperar los suelos alcalinos, y en muchos casos no se pueden justificar los costos. Por esta razón, al recuperar suelos salinos y salino-sódicos es importante asegurarse de que no se conviertan en suelos alcalinos. La prueba simple de lixiviación indicará si esto es o no probable (Guevara, 1989).

2. Existen métodos mecánicos para mejorar la infiltración, los más comunes son las labranzas superficiales y las araduras profundas; la eficacia de estos métodos son temporales.

Las labranzas superficiales se practican comúnmente para controlar las malas hierbas. Esta acción favorece la penetración del agua, la aeración del suelo, el aumento de la rugosidad del suelo y cual retardará el flujo de agua elevando el tiempo de infiltración (FAO, 1987).

Las araduras profundas favorecen la penetración profunda del agua durante uno o dos riegos, después de los cuales la superficie del terreno vuelve a su condición inicial. Estas prácticas se realizan antes de la siembra o durante los períodos de reposos de los cultivos (FAO, 1987).

3. Según el grado del Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) de los suelos es posible adaptar ciertos cultivos tolerantes a estas condiciones, en la Tabla 12 se pueden apreciar estos cultivos (FUDECO, 1975).

Toxicidad

Las medidas de control respecto al efecto toxicidad pueden ser por medio del riego superficial y el riego por aspersion.

Riego superficial:

1. la lixiviación: es un método práctico para controlar o corregir la acumulación de iones tóxicos en la zona radicular. Este método se rige en los mismos principios de lixiviación de sales. El requerimiento de lixiviación del cloro se puede estimarse mediante la siguiente ecuación (FAO, 1987):

$$RL(c_1) = Cl_a / (5 * Cl_x - Cl_a) \quad (5.6)$$

donde:

RL(c₁) : lixiviación mínima necesaria para controlar el cloro por medio de métodos comunes de riego por superficie (%).

Cl_a : concentración de cloro en el riego (me/l).

Cl_x : concentración de cloro en el extracto de saturación, que representa la concentración tolerable por un determinado cultivo (me/l).

Tabla 11. Valores de Pe de las enmiendas y factor de corrección de la dosis teórica

Nombre Comercial	Fórmula Química	Pe	C
Yeso	$SO_4Ca \cdot 2H_2O$	86	1,25
Cloruro de Calcio	$Cl_2Ca \cdot 2H_2O$	73	1,10
Azufre	S	16	1,25
Polisulfuro de Calcio	S_5Ca	100	1,25
Acido Sulfúrico	SO_4H_2	49	1,10
Sulfato de Hierro	$(SO_4)_2Fe \cdot 7H_2O$	139	1,10
Sulfato de Aluminio	$(SO_4)_3Al_2 \cdot 18H_2O$	111	1,10
Piedra Caliza o Cal	CO_3Ca	50	1,25
Espuma de Refinería de caña de azúcar		17 - 23	-

Fuente: Guevara (1989).

Tabla 12. Tolerancia de ciertos cultivos al porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI).

Variación del PSI que afecta el desarrollo.	PSI	Cultivo	Respuesta en el crecimiento bajo condiciones de campo
Extremadamente sensibles	2-10	Frutales Nueces Cítricos Aguacate	Síntomas de toxicidad de sodio a bajo PSI
Sensibles	10-20	Caracas Frijol	Desarrollo limitado a bajo PSI independientemente de si el suelo presenta buenas condiciones físicas.
Moderadamente sensibles	20-40	Trébol Arroz Pasto Dallis	Desarrollo limitado generalmente debido a estructura desfavorable.
Tolerantes	40-60	Trigo Algodón Alfalfa Tomate Remolacha	Desarrollo limitado generalmente debido a estructura desfavorable.
Muy tolerantes	> 60	Pasto rhodes	Desarrollo limitado debido a estructura desfavorable.

Fuente: FUDECO (1975).

El boro es un elemento tóxico más difícil de lixiviar que el cloro o el sodio, se desplaza lentamente en el agua del suelo y requiere aproximadamente una lixiviación tres veces mayor que la necesaria para lixiviar una cantidad equivalente de cloro (FAO, 1987).

2. Selección de cultivos: La adaptación de los cultivos más tolerantes al medio es una solución al problema, seguidamente en la Tabla 13 se presenta una relación de cultivos tolerantes al boro.

La información contenida en esta tabla es únicamente aproximada y puede modificarse según las condiciones locales. Entre los factores que afectan la tolerancia de los cultivos a la toxicidad se encuentran el clima, el manejo del riego, la fase de desarrollo del cultivo y la fecha de madurez del cultivo.

3. Prácticas culturales: son la nivelación y emparejamiento del terreno necesarias para lograr un mejor control y aplicación del agua (FAO, 1987).

4. Mezcla de aguas: esta acción mejora la calidad y reduce la toxicidad potencial de las aguas. Esto funciona eficazmente en el caso del sodio visto anteriormente (Guevara, 1989).

Riego por aspersión:

Para rebajar los efectos tóxicos negativos producidos por los riegos por aspersión se recomiendan las siguientes medidas (FAO, 1987):

1. La aplicación de riegos nocturnos es adecuada por las bajas temperaturas y menor evaporación durante las noches, con lo cual se reduce el problema de los depósitos minerales en las hojas.

2. Se deben de evitar los riegos por aspersión en períodos de vientos fuertes. En muchos lugares esto implica el regar en horas tempranas, o preferentemente durante la noche.

3. La rotación de los aspersores a una velocidad de giro superior a una revolución por minuto, ya que un giro lento permite mayor evaporación del follaje durante el período seco entre rotaciones y, consecuentemente, favorecen las concentraciones de las sales aplicadas sobre las hojas de los cultivos.

4. La intensidad de aplicación elevada reduce la gravedad de la toxicidad. Al disminuir el tiempo total en que se moja el follaje este efecto se puede obtener, con boquillas de mayor diámetro, aumentando la presión de operación, reduciendo el espaciado entre los aspersores o combinando estos factores.

5. Métodos de riego por surcos, melgas o pozas y el riego por goteo, son alternativas viables que deben ser consideradas para evitar la absorción foliar de iones tóxicos. Finalmente la selección de cultivos tolerantes a las condiciones dadas.

Tabla 13 . Tolerancia relativa al boro de algunos cultivos

Muy sensible (<0,5 mg/l)		Moderadamente sensible (1,0 - 2,0 mg/l)	
Limonero	Citrus	Pimiento, aji	Capsicum annum
Zarzamora	Rubus spp.	Guisante, arveja	Pisum sativa
		Zanahoria	Daucus carota
		Babanito	Rafanus sativus
		Papas, patatas	Solanum tuberosum
		Pepino	Cucumis sativus
Sensibles (0,5 - 0,75 mg/l)		Moderadamente tolerante (2,0 - 4,0 mg/l)	
Aguacate	Persea americana	Lechuga	Lactuca sativa
Pomelo, toronja	Citrus X paradisi	Repollo	Brassica oleracea capitata
Naranja	Citrus sinensis	Apio	Apium graveolens
albaricoquero	Prunus armeniana	Nabo	Brassica rapa
Melocotonero	Prunus persica	Pasto azul	Poa pratensis
Cerezo	Prunus avium	Avena	Avena sativa
Ciruelo	Prunus domestica	Maiz	Zea mays
Caqui	Diospyros kaki	Alcachofa	Cynara acilymus
Higuera	Ficus carica	Tabaco	Nicotiana tabacum
Vid	Vitis vinifera	Mostaza	Brassica juncea
Nogal	Juglans regia	Trébol dulce	Medicago sativa
Pecana	Carya illinoensis	Calabaza, zapallo	Cucurbita pepo
Caupíes	Vigna unguiculata	Melón	Cucumis melo
Cebolla	Allium cepa		
Sensibles (0,75 - 1,0 mg/l)		Tolerantes (4,0 - 6,0 mg/l)	
Ajo	Allium sativum	Sorgo	Sorghum bicolor
Camote, batata	Ipomoea batatas	Tomate	Lycopersicon lycopersicum
Trigo	Triticum aestivum	Alfalfa	Medicago sativa
Cebada	Hordeum vulgare	Veza	Vicia benghalensis
Girasol	Helianthus annuus	Perejil	Petrocelium crispum
Frijoles	Phaseolus vulgaris	Betarraga	Beta vulgaris
Pallar, judía lima	Phaseolus lunat	Remolacha azucarada	Beta vulgaris
Maní, cacahuete	Arachis hypogaea		
Frijol Chino	vigna radiata		
Ajonjolí	Sesamum indicum		
Lupino, altramuza	Lupinus hartwegii		
Fresa, frutilla	Fragaria spp.		
Alcachofa	Helianthus tuberosus		
		Muy Tolerantes (6,0 - 15,0 mg/l)	
		Algodón	Gossypium hirsutum
		Espárrago	Asparagus officinalis

Fuente: FAO, 1987. Citado por Miranda 1993

Reducción de la velocidad de infiltración

Seguidamente se describen las medidas de tratamientos químicos, mecánicos y otros tipos para el control de la reducción de la velocidad de infiltración (Guevara, 1989).

Los tratamientos químicos (enmiendas) (FAO, 1987):

1. El yeso: para modificar la composición química del agua o del suelo.
2. Las enmiendas ácidas: son eficaces para recuperar suelos sódicos y mejorar la infiltración, ya que no requiere ningún tipo de oxidación.
3. Mezclas de aguas: dos calidades de aguas provoca una reducción de la tasa de absorción del sodio (TAS), motivo por el cual se puede mejorar la infiltración pero también puede aumentar la salinidad.

Los tratamientos mecánicos (FAO, 1987):

1. Labranza: Las labranzas superficiales y las araduras profundas son los métodos más comunes; sin embargo, su eficacia es de corta duración y, por lo tanto, deben considerarse como soluciones temporales.
2. Residuos orgánicos: los residuos de cultivos o de materia orgánica, es un método simple para mejorar la infiltración en suelos sódicos o en los regados con aguas de baja salinidad o de TAS alto.

Para complementar los métodos químicos y físicos utilizados en resolver los problemas de infiltración, existen ciertas prácticas del riego que facilitan la solución o manejo de estos problemas como son:

1. El riego continuo, sin crear problemas secundarios de anegamiento y aeración. Los riegos de presiembra pueden servir para llenar la zona radicular a su capacidad de campo, en un momento en que existe poco peligro de daños para el cultivo.
2. La prolongación de la duración del riego reduciendo el caudal y reteniendo el agua en el campo por un tiempo mayor de acuerdo a la topografía.
3. El cambio de sistema de riego por superficie por otro que aplique el agua con mayor precisión; aspersion para suelos arenosos y goteo para suelos pesados puede permitir el manejo del riego según las características de infiltración de los suelos.

Variación del crecimiento de los cultivos (Nitrógeno).

Las medidas para manejar el contenido de nitrógeno de las aguas son las siguientes (FAO, 1987):

1. Para la rotación de cultivos es necesario planificar las aguas que contengan el nitrógeno residual durante los períodos fuera de la campaña de riego, lo cual puede también puede ser útil para reducir el efecto de los excesos de nitrógeno en los años subsiguientes.

2. La denitrificación es un proceso para extraer el nitrógeno contenido en el agua, pero es de uso limitado debido a su alto costo. Sin embargo el nitrógeno es un elemento útil, que debe aprovecharse lo más posible.

3. Como existe nitrógeno en prácticamente todas las aguas de riego, es recomendable controlar su contenido periódicamente, e incluirlo como parte integral del programa de fertilización. En concentraciones menores de 5 mg/l de nitrógeno las aguas tienen poco efecto sobre los cultivos sensibles, pero pueden estimular el desarrollo de plantas acuáticas.

Corrosión e incrustaciones en el sistema de riego

Las medidas de control para evitar estos efectos son las siguientes:

1. Para evitar los daños contra las estructuras de hormigón de los sistemas de riego se debe realizar previamente el análisis de las aguas y los suelos, para verificar la intensidad de los daños que pudieran ocasionar a las estructuras de hormigón, los elementos indicadores del agua son el pH, CO₂, NH₄, Mg y SO₄ en suelos SO₄. En caso que las aguas o suelos sean agresivas se debe diseñar un concreto resistente para el revestimiento de los canales. En la Tabla 14 se indican las directrices para estimar la intensidad de daños por corrosión de las aguas y los suelos sobre las estructuras de hormigón .

Tabla 14. Valores límite para evaluar la agresividad de las aguas y de los suelos sobre el hormigón

Análisis	Intensidad relativa de daños			
	Ninguna a ligera	Noderada	Fuerte	Bien Fuerte
Agua				
pH	>6,5	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	<4,5
CO ₂ disolvente del CaCO ₃ , mg/l	<15	15 - 30	30 - 60	>60
NH ₄ , mg/l	<15	15 - 30	30 - 60	>60
Mg, mg/l	<100	100 - 300	300 - 1500	>1500
SO ₄ , mg/l	<200	200 - 600	600 - 3000	>3000
Suelos				
SO ₄ , mg/kg de suelo seco al aire	<2000	2000 - 5000	>5000	

Fuente: FAO (1987).

2. La selección de equipos de riego (aspersión y localizado) deberá ser de acuerdo a las pruebas y análisis de agua. En los metales el proceso de corrosión e incrustación es complejo e iterativo por lo que es difícil estimar la vida útil de los equipos por medio de un solo análisis de agua. Para evitar la corrosión de los equipos metálicos se deben utilizar rejillas o accesorios de

plástico en lo posible.

3. La limpieza de las tuberías metálicas debido a las incrustaciones de las sales inorgánicas, microorganismos u otros compuestos, se realiza inyectando un chorro de agua contrario al flujo normal.

Alteración de propiedades físicas de suelos.

Las medidas contra el deterioro de las propiedades físicas de los suelos por la operación de maquinaria agrícola son las siguientes:

La labranza conservacionista el cual consiste en conservar las características físicas de los suelos para obtener una buena germinación y producción de los cultivos. Una de las acciones es la disminución del número de pases de las maquinarias agrícolas. Existen varias modalidades (Delgado, 1987):

1. Laboreo de mantillo consiste en preparar el suelo superficial con una cultivadora grande o con el azadón rotativo, sin producir roturación. Se realiza una ligera remoción superficial del mantillo del suelo, quedando éste tosco con rugosidades que impiden la erosión. La siembra se realiza posteriormente con una sembradora común, a poca profundidad.

2. Labranza y cultivo en hilo consiste en abrir unas aberturas o franjas angostas suficientes para plantar la semilla. El fertilizante se coloca en bandas en la misma operación. El control de malezas y plagas se realiza con productos químicos.

3. Preparación de tierras y siembra simultánea consiste en preparar el suelo (aradura, rastra desterronadora y siembra) en un solopase. A veces es posible incluir otros implementos, con ayuda de tractores de alta potencia. De esta manera, se reduce el número de labores que deben hacerse al suelo.

Este sistema es útil cuando se trata de suelos que retienen mucha humedad y por lo tanto se demora la preparación del terreno hasta muy cerca de la época de escasez de agua, cuando es preciso terminar las labores rápidamente para aprovechar las últimas lluvias. Otra ventaja adicional de este sistema es el ahorro en tiempo y combustible que se produce, ya que sólo se necesitan pocas pasadas sobre el campo.

La rotación de cultivos se define como la sucesión de cultivos diferentes, en ciclos continuos, sobre un área de terreno determinado, los objetivos son mantener las propiedades físicas disminuyendo el laboreo mecanizado de los suelos, mantener y mejorar la fertilidad del suelo, ayudar a prevenir incidencia de plagas y enfermedades (López, 1990).

Obstrucciones en los sistemas de riego localizado

Las medidas para evitar las obstrucciones de los sistemas de riego localizado son las siguientes:

1. El diseño de filtros requiere del análisis de la calidad de agua para prevenir las obstrucciones de las tuberías y accesorios del sistema localizado, por el material de sólidos transportados por cauces naturales o canales. Si las aguas a utilizarse son subterráneas, se recomienda un análisis minucioso, ya que

por lo general son de mala calidad y contienen un alto porcentaje de arena, limo en suspensión (FAO, 1987).

2. Otra medida para atrapar los sólidos en suspensión es hacer pasar el agua a través de un medio generalmente de arena y tamices cuyos diámetros se eligen según el tamaño y la composición del material que se filtra. Además de estos filtros existen emisores autolavables que reducen el problema de las obstrucciones (FAO, 1987).

Los análisis de agua deben considerar las siguientes características: sales inorgánicas, dureza, sólidos en suspensión, sólidos totales disueltos, DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), materia orgánica, microorganismos, hierro, oxígeno disuelto, ácido sulfídrico, ferro-bacteria y bacteria reductora de sulfatos (FAO, 1987).

La sedimentación de las partículas en suspensión es el método más antiguo y barato que consiste en depositar el agua en un tiempo prolongado para que las partículas se suspendan. La eficacia de este método no es segura.

Pérdida de suelos fértiles

Las medidas de control dirigidas a evitar las pérdidas de suelos fértiles son los siguientes:

1. La conservación de los suelos fértiles indican un alto potencial agronómico que se refleja en los mapas de capacidad de uso de los suelos del área de riego. A partir de esta información se deben realizar los movimientos de tierra (nivelación de tierras), el trazo de canales, drenes, caminos, establecimiento de centros poblados o agroindustrias para conservar la fertilidad de los suelos.

2. La siembra en contorno o curvas de nivel es una medida para conservar la fertilidad del suelo; es decir para, adaptar los cultivos al medio existente y no realizar los movimientos de tierras. Otras medidas son la labranza mínima y rotación de cultivos vistos en las medidas contra la alteración de las propiedades físicas de los suelos.

Dstrucción de yacimientos paleontológicos y culturales.

Las medidas concernientes a la preservación de los yacimientos paleontológicos y culturales son los siguientes:

1. En los diseños de canales y drenes se deben ubicar obras de arte (sifonamiento, entubados entre otros) para no afectar las áreas de interés previstas. En lo que se refiere al trazo de la gradiente del canal o dren se deben plantear varias alternativas de trazo para no perjudicar las áreas de interés.

2. Los programas de excavación y salvamento del material arqueológico deben ser del conocimiento de los encargados de ejecutar las obras no afectar áreas de importancia cultural al momento de construir la infraestructura de riego. Además se debe sugerir a los constructores, el reporte de materiales arqueológicos que ocurran en sus áreas de trabajo, para el salvamento y documentación técnica (CIDIAT, 1992).

3. Otra medida de preservación es incentivar el turismo para inspirar o fomentar la conservación del patrimonio histórico, ya que permite la protección de la flora y la fauna silvestre, mantenimiento de las sendas y el alejamiento de los cazadores de especies en extinción (PNUMA, 1979).

Asentamientos de suelos (Subsistencia)

Las medidas para evitar el asentamiento de suelos son los siguientes:

1. Debe existir una reglamentación para la extracción de las aguas según las ofertas y demandas hídricas. El asentamiento comúnmente ocurre cuando el espacio poroso de las arenas que conforman los acuíferos se reducen. La sobreexplotación de aguas subterráneas trae consigo no solamente problemas de asentamiento, sino de contaminación, alteración en el ciclo hidrológico entre otros.

2. Se deben compactar los suelos previo a la construcción de las obras de riego con equipos de maquinarias compactadoras adecuadas según el tipo de suelo.

3. Con respecto al asentamiento de suelos por la nivelación de tierras, este es un efecto que ocurre con frecuencia en las primeras campañas de riego; posteriormente llegan a estabilizarse.

Contaminación de suelos por agroquímicos

Las medidas de control para evitar perjuicios en los suelos por la aplicación de agroquímicos son los siguientes:

Dentro de la aplicación de la dosis adecuada de agroquímicos se considera la realización de experimentos de campo en fincas pilotos para determinados tipo de suelo, clima, y métodos de riego. La dispersión y aplicación de agroquímicos debe considerar el efecto máximo con la menor cantidad posible del producto.

El programa de monitoreo para control a nivel de agroquímicos debe realizarse periódicamente y constantemente de manera permanente hasta establecer patrones y fijar parámetros.

Recomendaciones para su aplicación (Shell 1970. Tiffen, 1991. Seoáñez, 1977):

1. Antes de la aplicación se debe tener en cuenta a los seres vivos perjudiciales, tanto animales como vegetales, y por otra parte la condición de las plantas cultivadas.

2. La aplicación de agroquímicos dependen de las características químicas, físicas y tóxicas de los productos a emplearse así como los suelos, cultivos, malas hierbas, plagas, métodos de riego y las influencias atmosféricas, principalmente las precipitaciones y los vientos (Shell, 1970).

3. Uso correcto según las recomendaciones de los agroquímicos (etiquetas).

4. Si se emplean dosis superiores a las indicadas pueden perjudicar a los cultivos y además la operación resulta antieconómica.

5. El tratamiento aéreo de agroquímicos no debe efectuarse cuando el agua se esté utilizando para riego, pues podría afectar a cultivos susceptibles.

6. Si se aplican cantidades inferiores a las recomendadas, se corre el riesgo de no lograr un control satisfactorio.

7. Calibración correcta de la máquina rociadora, para aplicar el número preciso de litros requerido por el tratamiento.

8. Con la aplicación se debe buscar el efecto máximo con la menor cantidad posible de producto, solo en casos raros se emplean las materias activas en forma pura.

9. Utilizar ropa adecuada.

10. Asperjar y espolvorear a favor del viento.

11. Lavar los implementos de aplicación de agroquímicos después de su uso (implementos, mecánicos y manuales).

Los herbicidas o insecticidas normalmente no suelen plantear problemas a los microorganismos del suelo, a no ser que se viertan dosis excesivas. Otros medios para combatir nematodos y parásitos de plantas agrícolas son la siembra de variedades resistentes; la rotación de cultivos y las prácticas culturales.

Contaminación de aguas superficiales

La contaminación de las aguas naturales superficiales, se deben a la adición de aguas que contengan agroquímicos producto de la aplicación de éstos a los suelos, cultivos, malas hierbas y plagas; por el drenaje de los suelos agrícolas y por residuos de agua de las viviendas, campamentos y agroindustrias. Al respecto, se mencionan las medidas para evitar, en parte, la contaminación de las aguas superficiales que son las siguientes:

Control de agroquímicos

El control de los agroquímicos es un problema complejo debido a la necesidad de involucrar a los responsables del uso de agroquímicos como son los agricultores, comerciantes, instituciones entre otros.

Entre las medidas a establecerse estarían las siguientes (CIDIAT, 1993):

1. Instrumentación de un programa de capacitación que contribuya a la conservación del ambiente.

2. Formulación y cumplimiento de instrumentos legales contenidos en ordenanzas y reglamentos.

3. Instrumentación de mecanismos de control y vigilancia que permitan regular la obtención de productos agrícolas por parte de los productores, quienes deben generar niveles mínimos de residuos tóxicos y la utilización de

plaguicidas por parte de los agricultores.

4. Respecto a los programa de seguimiento (FAO/PNUMA,1975) se propone un programa de vigilancia de los efectos de plaguicidas y minimización de los residuos tanto biológicos como químicos. La vigilancia los clasifican en el medio acuático y el medio terrestre. En el medio acuático toman muestras de aguas, sedimentos de fondo y biota, en el medio terrestre son el suelo, las plantas y los animales.

Los residuos, y con ellos los peligros ambientales, puede minimizarse mediante procedimientos bien establecidos de legislación, educación uso perfeccionado de plaguicidas y métodos de control integrado que no utilizan plaguicidas.

CIDIAT (1993), propone un manejo integrado de plagas, donde se realice un control biológico, cultural, físico y químico selectivo. Ver Figura 6.

Tratamiento de aguas.

El agua contaminada por lo general es evacuada aguas abajo del proyecto de riego a los cursos de los ríos; estas aguas muchas veces son utilizadas para otros sistemas de riego, para consumo humano, agroindustriales, ganadero, entre otros. Las medidas a adoptarse es tratar el agua, ya que aguas arriba del proyecto pueden también existir otros proyectos de riego.

La evacuación de los excedentes de drenaje de tierras agrícolas deben recibir un tratamiento, si los análisis de aguas así lo requieran. Los componentes negativos que pudieran tener estas aguas son por la composición de sustancias tóxicas provenientes de las reacciones químicas o procesos biológicos entre el agua, suelo y vegetación; y por la adición de agroquímicos (Mijares, 1978).

Las aguas residuales que se originan en los sistemas de riego de alta contaminación son: las excretas conformadas por aguas fecales compuestas por residuos sólidos y líquidos procedentes principalmente de las heces humanas; los residuos domésticos provenientes de las actividades de viviendas, campamentos y los contaminantes producidos por las agroindustrias. Estas aguas deben someterse a tratamientos antes de que se evacuen a los cursos de naturales (Miranda 1993, Mijares 1978).

Construcción de letrinas

En los centros poblados y campamentos una solución para la eliminación de desperdicios humanos es la construcción de letrinas, las cuales deben estar adecuadamente ubicadas, construidas y mantenidas de acuerdo a los requisitos de salud pública. Existen las letrinas de pozo cavado, las de pozo perforado y las de bóveda (Banco Mundial, 1976).

Operación de maquinarias

La generación de la turbidez del agua se debe al movimiento de tierras ocasionado por las maquinarias en la construcción de las obras de captación, conducción, distribución y obras de arte. Estas labores de construcción, se deben de realizar en épocas donde los caudales de los ríos disminuyan para conservar



Figura 6. Elementos del manejo integrado de plagas (Fundación Bigott, 1991, citado por CIDIAT, 1993).

la calidad de agua y no perjudicar el posible uso de estas aguas. Otra medida que se deben adoptar es que las maquinarias no afecten la freza de las especies piscícolas y la flora ribereña.

Contaminación de aguas subterráneas

Es difícil, costoso y lento el proceso de regenerar acuíferos contaminados. La mejor medida para eliminar los elementos nocivos en el agua subterránea, es impedir la entrada al manto acuífero de elementos extraños, para lo cual se implementan medida de muestreo permanente (monitoreo). Al respecto se mencionan algunas medidas para evitar la contaminación de las aguas subterráneas.

Implantación de un sistema monitor de diagnósticos para la contaminación marina, química, compuesto nitrogenados y biocidas.

1. Elaborar un programa de muestreo permanente de los pozos existentes en el área de riego, con el cual se seleccionarán los pozos a analizarse.
2. Elaborar un censo de los pozos de la zona de riego donde se incluya: profundidad, estratigrafía del perfil, rendimiento, nivel de bombeo, características de construcción del pozo, etc. para una mejor selección de la red de muestreo.

Medidas contra los compuestos nitrogenados.

Las medidas tendientes a evitar la contaminación de las aguas subterráneas por adición de compuestos nitrogenados son las siguientes:

1. Hacer estudios de manejo de cultivos, a fin de determinar niveles de fertilizantes específicos, para evitar la aplicación de exceso de fertilizantes y prevenir la polución de las aguas subterráneas por nitratos.
2. Plantar cultivos removedores de ión NO_3^- como el maíz y la alfalfa en áreas donde se considere que existen altos niveles de nitrógeno de nitratos.
3. En áreas que reporten altas concentraciones de nitrato en aguas subterráneas, hacer estudios hidrogeológicos detallados para establecer la comunicación del acuífero y ríos y en zonas de recarga para mejorar el manejo del recurso agua.
4. Evitar ubicar residuos de compuestos nitrogenados en lugares adyacentes a los acuíferos (almacenes o depósitos).

Medidas contra la intrusión de agua marina.

Las medidas tendientes a evitar la intrusión de agua marina de los acuíferos costeros son (MAE, 1978):

1. De diagnosis, mediante medidas de conductividad eléctricas (preferiblemente continuas) en piezómetros adecuadamente dispuestos con bombeos periódicos acompañados de las correspondientes tomas de muestras y análisis químicos.

2. Cuando los sistemas monitores así lo aconsejen, medidas de prevención de la intrusión marina entre las cuales están: barreras de agua dulce mediante su inyección a presión en cortinas de sondeo cerca del mar y barreras físicas impermeables que impidan la entrada del agua marina.

Preparación o cumplimiento de instrumentos jurídicos que permitan el control y sobreexplotación.

1. Concientizar tanto a los usuarios de las aguas subterráneas, como a los organismos responsables de la administración, sobre la necesidad de un mejor conocimiento de los fenómenos, para la implantación de un sistema monitor de diagnósticos y, sobre todo, preparar instrumentos jurídicos que permitan su control.

2. Se debe estipular la oferta que dispone los acuíferos y su recarga a través del tiempo.

3. Ubicación de fosas sépticas, pozos negros y letrinas en lugares alejados de los acuíferos.

4. Elaborar un reglamento sobre sistema de manejo de acuíferos y disposición de excretas y desechos de agua, para evitar la contaminación de las reservas subterráneas.

5. Otra medida preventiva es una adecuada ordenación de territorio, referido a las aguas subterráneas. Esta medida se traduciría en la realización de una serie de estudios geológicos, hidrogeológicos y de fuentes de contaminación, antes y durante el proceso de desarrollo agrícola (Porras, 1978).

Otras medidas para la recuperación y no alteración de las aguas subterráneas son:

1. Restringir el uso de aguas para el riego (riego por aspersión o riego localizado).

2. Proporcionar la cantidad de agua necesaria a la planta (riego), elevando la eficiencia de aplicación.

3. Instalar drenes en acuíferos adyacentes a las áreas de riego, para interceptar el flujo de pozas sépticas, pozos negros y otros tipos de contaminantes.

4. Construir obras hidráulicas en áreas donde no afecten a los acuíferos o flujo de agua hacia éstos.

5. Revestimiento de canales en tierra.

Alteración del ciclo hidrológico.

Las medidas respecto a las consecuencias de la alteración del ciclo hidrológico natural son las siguientes:

1. La adaptación de un sistema de riego y drenaje a las condiciones naturales del medio, según las condiciones del suelo, clima y cauces naturales

son convenientes, ya que se estaría considerando el medio natural, no alterando en gran medida el ciclo hidrológico. La elaboración de estos proyectos conlleva a ser cautelosos y delicados (Rameshwar, 1987).

2. Conservación del caudal ecológico. El caudal ecológico se refiere al mínimo caudal de referencia que debería circular aguas abajo del punto de captación del sistema de riego, para mantener la capacidad biogenética del río y a niveles similares a la situación inicial, esto prácticamente es imposible que se dé, en todo caso en los estudios de hidrología se tendría que considerar caudales mínimos de escorrentía, aparte de los caudales de la demanda hídrica de los cultivos, para asegurar la supervivencia del sistema ecológico. El caudal ecológico a considerarse debe ser siempre superior al caudal medio del mes más seco y como mínimo debe ser el 10% del caudal medio anual del río (MOPU, 1989).

3. El cumplimiento de las reformas legales y administrativas consideran la optimización de los sistemas de uso integrado de aguas superficiales y subterráneas y exigen también estudios hidrológicos detallados (Custodio, 1975).

En España existen leyes que rigen la variación del caudal de un manantial cuando el acuífero que lo alimenta recibe una recarga o descarga uniforme y constante en el espacio. Según el comportamiento específico de cada acuífero particular se han elaborado modelos matemáticos, los resultados muchas veces indican las medidas que se deben instrumentar para el mejor aprovechamiento del recurso hidráulico y mantenimiento del ciclo hidrológico (Custodio, 1975).

4. Otra medida es realizar estudios hidrológicos, evaluando necesidades y disponibilidades de recursos hídricos, considerando la demanda actual y futura y tomando en consideración las consecuencias de esa demanda para el medio ambiente. De este modo se obtendrán los datos necesarios para analizar los problemas del agua en el ámbito del proyecto (FAO, 1973).

Anegamiento

Las medidas para evitar el encharcamiento de las áreas de riego y las fluctuaciones de niveles freáticos que afectan la producción de los cultivos se mencionan seguidamente.

1. Se deben revestir los canales principales, secundarios y terciarios en lo posible, previo estudio de las características geotécnicas de la ruta del canal, esto se realiza con el fin de elevar la eficiencia de conducción y evitar los problemas de anegamiento. Con esta medida se podrá controlar otros efectos negativos como es la salud pública, la alteración de las propiedades hidráulicas de los canales, la reducción de los costos de construcción de las obras de drenaje superficial o subsuperficial y la operación y mantenimiento del sistema.

2. La operación de caudales están en función de las características edáficas, topográficas, condiciones agro-culturales y climáticas del área de riego, de acuerdo a estas realidades se elegirán técnicas de riego por: superficie (inundación o surcos), aspersión o localizado. Se debe, con estas técnicas de riego, evitar tener **pérdidas por escurrimiento y percolación profunda** (Guevara 1989, Grassi 1988).

3. El drenaje con sistemas de bombeo, representa una posibilidad para solucionar problemas que no pueden ser resueltos económicamente por drenes

interceptores o paralelos, y que consiste en crear gradientes mediante la elevación mecánica de agua del subsuelo. En algunos casos puede bombearse agua de la freática y en otros incluso de acuíferos confinados más profundos. Las ventajas que presenta este tipo de drenaje son las siguiente (Grassi, 1991):

- Asegura una forma más efectiva de drenaje que los otros medios, ya que el nivel freático se puede mantener a una profundidad entre 3,0 y 4,0 m, lo que no es posible con el método convencional.

- Elimina el desperdicio de la tierra por concepto de construcción de drenes y el mantenimiento de las servidumbres de paso.

- Elimina el costo y los inconvenientes que se derivan de la instalación de las obras de arte sobre los colectores.

- Elimina la continua necesidad de mantenimiento que se requiere para que un colector abierto funcione apropiadamente.

4. Otra medida en los problemas de anegamiento es la selección de cultivos tolerantes que se adapten a este medio, unido ello a prácticas convenientes de manejo de suelos y aguas. Doorembos (1976), menciona una serie de cultivos para los niveles freáticos altos; los frutales (fresas, manzana, peras, melocotón), cítricos, gramíneas, palma datilera entre otros.

5. El nivel crítico de la freática indica que la mayoría de los cultivos requieren garantizar entre 35 y 40 cm de suelo bien drenado. Según experiencias de campo se ha comprobado que no existe daño permanente a los cultivos estacionales, de raíz superficial cuando el plano freático permanece siempre por debajo de la capa arable (Wesseling, 1974 citado por Grassi, 1991).

6. Existe una medida que resulta de una ecuación llamada excedencia del nivel crítico (SE 30) que es siguiente (Grassi, 1991):

$$SE_{30} = \sum (30 - x_i) \quad (5.7)$$

donde:

30 es el nivel crítico de la freática debajo de la superficie del suelo.

x_i : valores correspondientes a los días en los cuales el nivel supera dicho límite.

Esta ecuación constituye una expresión de la excedencia de los niveles críticos, por lo que sólo se tiene en cuenta los valores menores de 30 cm. Según condiciones de Holanda se ha determinado que valores de índice SE 30 superiores a los 500 ocasiona pérdidas de producción.

Disminución de eficiencia de riego del proyecto

Las medidas de control deben tratar en lo posible, según los datos de campo, de elevar cada una de estas variables, esto se logra con el revestimiento de los canales de conducción, distribución y acequias del predio, nivelación de tierras y una adecuada operación y mantenimiento del sistema de riego. Al respecto se describen cada una de estas medidas.

El procedimiento para el revestimiento de canales es similar a las acciones realizadas por el problema de anegamiento. Existen diferentes materiales para realizar el revestimiento de canales que van desde el concreto hasta los forros con plástico.

La operación del sistema de riego eleva en cierta manera la eficiencia de conducción y distribución, acorde con las inversiones de construcción de las obras de riego. Ello implica una organización del personal capacitado para la operación, que considere la captación y distribución del agua a programas pre-establecidos y mantenga las obras en condiciones de conservación acorde con el buen funcionamiento de las mismas. Todo ello influirá en la eficiencia global del proyecto.

El riego por superficie requiere de una modificación total o parcial de la topografía existente, con el fin de controlar el flujo de agua para lograr altas eficiencias de aplicación y distribución o bien para facilitar su evacuación. Cuando es excesiva puede desencadenar otros efectos negativos.

Salud Pública

En los Proyectos de riego y drenaje se proponen medidas en sus diferentes fases. Otras medidas a considerar sobre la salud, respecto a los agroquímicos son la aplicación de agroquímicos, almacenamiento de biocidas, almacenamiento de fertilizantes, transporte de agroquímicos, procedimiento de emergencia y contra incendios.

Seguidamente se mencionan las medidas a tomarse en las fases de Diseño, Construcción y Operación de los sistema de riego y drenaje (Rameshwar, 1987. Tiffen, 1991 y Chrosciechowski, 1966).

Fase de diseño

Los criterios de diseño en esta fase son los siguientes:

- Evaluación de diseños preliminares del proyecto, y de alternativas.
- Alternativas de sistemas de riego por aspersión, goteo y microaspersión.
- Diseños preliminares y opciones para el revestimiento de canales, pasos peatonales y otras estructuras de protección de la salud.
- Diseño detallado de las obras de proyectos de irrigación
 - . Los canales y drenes deben tener un apropiado gradiente (nivelación de la razante). La velocidad capaz de impedir el establecimiento de colonias y criaderos de moluscos, es mayor de los $\emptyset.30$ m/s.
 - . Evitar el diseño y construcción de curvaturas innecesarias en canales y drenes.
 - . Elección de métodos de riego adecuados, de alta eficiencia de aplicación en el predio.
 - . Uso y regulación de aguas subterráneas.
 - . Posibilidad de incorporación de abastecimiento doméstico de agua.
- Medidas y obras en comunidades.
 - . Selección de sitios para comunidades nuevas, distantes de fuentes de agua.
 - . Provisión de sistemas seguros, adecuados y cómodos de suministro de agua, y alcantarillado.
 - . Actividades recreativas: parques, piscinas, terrenos deportivos como alternativas.

- . Colocación de mallas en las ventanas, drenaje de aguas superficiales, saneamiento en general.
- Provisiones para actividades de mantenimiento y su financiamiento.
- Ordenamiento del medio
 - . Estructuras de regulación para la medición y vigilancia de la descarga y de la velocidad del agua.
 - . Compuertas requeridas para la desecación rápida y el flujo repentino de los subsistemas de irrigación.
 - . Ajuste de la salinidad del agua en los criaderos de las zonas costeras, mediante la instalación y manejo de compuertas.
 - . Regulación de los niveles de agua en pequeños depósitos por medio de aliviaderos de sifón automático.
 - . Cruces de puentes de seguridad sobre canales y drenes.
 - . Revestimiento de canales y desagües, conductos cerrados o subterráneos.
 - . Mejoramiento y simplificación de las medidas de lucha química y biológica.
 - . Diseño de dispositivos para la aplicación de compuestos químicos anexos o incorporados en las estructuras de regulación, a los rastrillos metálicos o a las mallas, contra los caracoles.
 - . Caminos y vías de acceso para la vigilancia y rociamientos, rutas de agua limpias y desembarcaderos.
- Educación sanitaria del público y desarrollo de la participación.
- Instalaciones de salud: dispensarios y hospitales.

Fase de construcción

Los criterios durante esta fase son los siguientes:

- Protección de la salud del personal que se ocupa de la construcción.
- Instalaciones especiales para la lucha contra las enfermedades y el tratamiento de las mismas en el sitio de construcción.
- Viviendas e instalaciones de saneamiento adecuadas para los trabajadores de la construcción y sus familias.
- Vigilancia de infecciones en la mano de obra foráneo y local.
- Vigilancia, vacunación y tratamiento de la población local, y eliminación y lucha contra enfermedades endémicas, especialmente aquellas que pudieran intensificarse al entrar en funcionamiento el proyecto.
- Protección del medio, erosión, derramamientos, contaminación del aire y del agua, eliminación de excretas, alteraciones estáticas.
- Inspección para asegurarse de que la construcción se lleve a cabo de acuerdo a los diseños de salud.
- Educación sanitaria del público y sistematización de la participación comunitaria.

Fase Operación

Los criterios de diseño en esta fase son los siguientes:

- Vigilancia, detección y tratamiento de personas infectadas.
- Establecimiento de las curvas normativas y programas para el control de mosquitos, caracoles, moscas, malezas, etc.
- Establecimiento de las prácticas y programas para la regulación de niveles freáticos de las áreas de riego.
- Mantenimiento y modernización de estructuras y otros trabajos.
- Aplicación de métodos químicos y biológicos para la lucha contra vectores y malezas.
- Drenaje de todas las acumulaciones de agua alrededor del depósito.
- Prevención y corrección de filtraciones excesivas de las áreas de riego.
- Administración del agua en el sistema de riego.
- Operación, mantenimiento, mejoramiento y ampliación de sistemas de abastecimiento de agua y eliminación de desechos, saneamiento general.
- Educación sanitaria del público y fomento de la participación comunitaria.
- Evaluación de los cambios en los vectores y enfermedades, eficacia de los programas de lucha, estudio y aplicación de correcciones o alteraciones para mejorar los resultados.
- Preparación de informes periódicos y especiales con propósitos de difusión.

Aplicación de agroquímicos

En el caso de aplicación de agroquímicos se recomienda (Shell, 1970):

1. A fin de evitar daños al ser humano se infiere la necesidad, en muchos casos, de usar máscaras y anteojos protectores, el uso de camisa de manga larga, así como también reemplazar guantes y botas cuando se dañen, asperjar y espolvorear a favor del viento a fin de evitar ser mojados por la aspersión que se está efectuando. Otras medidas son: manipular los productos concentrados a campo abierto, no comer ni fumar durante el trabajo, no entrar en los campos tratados ni permitirlo a otras personas. Después de la operación, destruir los envases vacíos y cambiarse de ropa. Respecto a los equipos de aplicación de agroquímicos cambiar los cartuchos y filtros a las máscaras protectoras, lavar la máscara al terminar la sesión de trabajo, lavar las asperjadoras, limpiar las espolveadoras, no lavar los equipos utilizados en aguas para consumo.

2. En caso que se produzca intoxicación con el uso de alguno de estos productos, debe procederse inmediatamente a prestar a la persona afectada los primeros auxilios que vienen indicados en el rótulo del frasco. Luego ha de llamarse al médico, o bien conducir cuidadosamente el paciente al consultorio más cercano, teniendo siempre la prevención de llevarse consigo la etiqueta del producto que causó el envenenamiento.

Almacenamiento de biocidas

Las Medidas son las siguientes (GIFAP, 1988. Shell, 1970):

1. Depositarlos en lugares fuera del alcance de los niños y de animales caseros, a fin de evitar lamentables desgracias, y separados de semillas, fungicidas, insecticidas, abonos y alimentos para ganado, para que éstos no resulten contaminados por el producto.

2. El lugar más indicado para guardar fungicidas y nematocidas, es un sitio fresco, seco y resguardado de la luz solar, y donde no existen posibilidades de prenderse fuego.

3. Si son productos explosivos, como la acroleína, o inflamables, como el clorato de sodio, tenerlos en sitios aislados y fuera de peligro.

4. Tener en lugares aislados y fuera de peligro a productos explosivos como la acroleína, o inflamables, como el clorato de sodio; y en envases a prueba de humedad, los herbicidas higroscópicos, como el TCA y el Dalapón que se descomponen y pierden efecto al absorber la humedad del medio ambiente.

5. Guardarlos con llave en sitios especiales y apartados donde no puedan contaminar alimentos o medicinas.

6. Guardarlos bien tapados y en su envase original, así se evita, por una parte, el escape de gases tóxicos, y por otra, que se utilicen en forma equivocada o peor aún, que se confundan con alguna bebida.

7. No exponer directamente al sol herbicidas como simazín, Telvar, Karmex etc. pues podría acelerar la descomposición del producto, el cual perdería entonces su efectividad como matamalezas.

Almacenamiento de fertilizantes

Las consideraciones son las siguientes (GIFAP, 1988):

1. Almacenar los productos en un galpón u otra edificación seca y bien protegida de las lluvias.

2. No dejar el fertilizante en contacto directo con el suelo, ya sea de tierra o de cemento, sino apilarlo sobre una plataforma de bloques o madera, a objeto de aislarlo de la humedad.

3. Colocar los sacos sobre el lado plano y lo más junto posible uno de otro, a fin de reducir la circulación de aire, del cual el producto puede absorber humedad.

4. Guardar separadamente los sacos rotos, ya que pueden absorber con mayor facilidad el agua de la atmósfera, al igual que los productos más ávidos de agua, como el muriato de potasio.

5. Colocar separadamente los fertilizantes a base de amonio, de los de cal o materiales calcáreos.

Transporte de agroquímicos

Las consideraciones son las siguientes (GIFAP, 1988):

1. Si se someten a extremos climáticos de temperaturas o humedad durante el almacenamiento o el transporte, puede darse la descomposición de algunos productos.

2. Los plaguicidas deben almacenarse bajo techo e ir cubierto durante el transporte para protegerlos de la lluvia y la luz solar directa (aspecto particularmente importante en los países de clima cálido).

3. Los plaguicidas deben transportarse únicamente en vehículos que

cuenten con una cabina o compartimiento separado para el conductor. Con ello se evita que en caso de fugas el conductor se vea afectado de forma adversa por los vapores o el polvo.

4. Extinguidores con capacidad suficiente y de un tipo que sirva para apagar un incendio que empieza, por ejemplo, en la cabina del conductor o en el motor.

5. Los itinerarios deben planificarse cuando se transportan cantidades importantes de mercancías peligrosas. Elegir carreteras que ofrezcan buenas condiciones para conducir, evitar túneles o puentes que restrinjan el movimiento de mercancías peligrosas.

6. Las unidades de transporte tienen que ser sólidas, sin daños o defectos tales como neumáticos o luces defectuosos, que puedan afectar su seguridad.

7. Nunca se debe transportar plaguicidas en el mismo espacio de carga de alimentos para humanos y animales u otros productos destinados al consumo o uso humano.

Procedimiento de emergencia.

Las consideraciones son las siguientes (GIFAP, 1988):

1. En caso de fuga o derrame, parar el motor del transporte, no fumar. Quedarse cerca de la unidad de transporte, pero en dirección contraria al viento de cualquier producto químico o derramado.

2. Aislar la zona afectada y adyacente, mantener alejados al público y al tráfico.

3. Tratar con cuidado todos los derrames hasta conseguir asesoramiento técnico, tener cuidado de evitar el contacto con la piel o la inhalación de los vapores.

4. Contener pequeños derrames líquidos cubriéndolos con tierra, arena u otro material apropiado.

5. En caso de desparramamiento de polvos, minimizar su extensión cubriéndolos con tierra o arena o con una lona.

6. Si los alimentos para humanos o animales, u otros bienes de consumo han quedado contaminados, tienen que ser destruidos. Jamás hay que comer ni dar a los animales alimentos contaminados.

7. Cuidar de que los productos derramados no se filtren a la alcantarillas, desagües, ríos u otras corrientes de agua. Si ya ha habido contaminación, informar inmediatamente a las autoridades apropiadas.

8. Los materiales contaminados tienen que ser eliminados de manera segura y aprobada.