

# GUÍA DE REFERENCIA PARA EL REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN RIEGO AGRÍCOLA



M.C. Olga Xóchitl Cisneros Estrada, Dr. Heber E. Saucedo Rojas,  
Lic. Helena Rivas López.

Mayo, 2013.

## **Directorio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua**

### **Director General**

M.I. Víctor Javier Bourguett Ortiz .

### **Coordinador de Riego y Drenaje**

Dr. Nahún Hamed García Villanueva

### **Subcoordinador de Contaminación y Drenaje Agrícola**

Dr. Heber Saucedo Rojas

### **Autores**

M.C. Olga Xóchitl Cisneros Estrada

Dr. Heber E. Saucedo Rojas.

Derechos reservados por: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac # 8532, Col, Progreso. C.p. 62550. Jiutepec, Morelos.

## Contenido

I. PLANEACIÓN PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN AGRICULTURA. ....	4
I.1 Selección del área.....	5
I.2 Caracterización de asentamientos humanos e infraestructura de tratamiento. ....	6
I.3 Diagnóstico de la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento .....	8
I.4 Caracterización de suelos a regar .....	18
I.5 Determinación del patrón de cultivos tradicional.....	20
I.6 Correlación de información.....	21
I.7 Anteproyecto de aprovechamiento de las aguas residuales para riego agrícola. ....	22
I.8 Proyecto de aprovechamiento de las aguas residuales en agricultura .....	23
II. MODELOS PARA EL APROVECHAMIENTO RACIONAL DE AGUAS RESIDUALES A PROYECTOS AGRÍCOLAS.....	24
III. GUÍA DE REFERENCIA PARA MINIMIZAR RIESGOS DE SALUD PÚBLICA EN JORNALEROS Y REGADORES.....	26
Bibliografía.....	28
Figura 1. Diagrama resumido para la planeación del reúso de las aguas residuales.....	4
Figura 2. Factores a considerar en la selección del área. ....	5
Figura 3. Consideraciones sobre asentamientos humanos e infraestructura. ....	6
Figura 4. Factores fisicoquímicos a considerar en el agua de riego. ....	8
Figura 5. Composición de las aguas residuales por sólidos totales. ....	13
Figura 6. Consideraciones de tipo bacteriológico para agua de riego. ....	14
Figura 7. Tipo de cultivos de acuerdo con la clasificación de riego restringido.....	16
Figura 8. Tipo de cultivo a regar de acuerdo a la clasificación de riego No restringido. ....	17
Figura 9. Consideraciones sobre el suelo con uso en riego con aguas residuales.....	18
Figura 10. Consideraciones sobre el patrón de cultivos. ....	20
Figura 11. Consideraciones para una adecuada correlación de información. ....	21
Figura 12. Consideraciones para la integración del documento técnico.....	22

Figura 13. Esquema resumido de los rubros a considerar en proyectos de reúso de aguas residuales para riego agrícola.....	23
Figura 14. Modelo General para reúso de aguas residuales para proyectos agrícolas de riego. ....	24
Figura 15. Modelo para aprovechar aguas residuales con tratamiento primario. ....	25
Figura 16. Modelo para aprovechar aguas residuales con tratamiento secundario.....	25
Cuadro 1. Parámetros de calidad del agua de riego y su relación con el grado de restricción de uso. ....	11
Cuadro 2. Límites de contaminantes patógenos que marca la NOM-001-SEMARNAT-96.....	15
Cuadro 3. Guía de referencia sobre factores de riesgo y medidas de prevención de enfermedades para trabajadores agrícolas que entran en contacto con el agua de riego residual.....	26

# I. PLANEACIÓN PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN AGRICULTURA.

La guía de referencia como su nombre lo indica es un documento de partida en materia de aprovechamiento de aguas residuales para el riego agrícola, se edita con el propósito de proporcionar una herramienta técnica de planeación para los tomadores de decisiones en cuanto al proceso de planeación del aprovechamiento hídrico de las aguas residuales en el sector agrícola, a fin de minimizar riesgos potenciales de contaminación de suelos, acuíferos, y sobre todo de resguardar la salud pública de consumidores de productos agrícolas regados con dichas aguas (Figura 1)

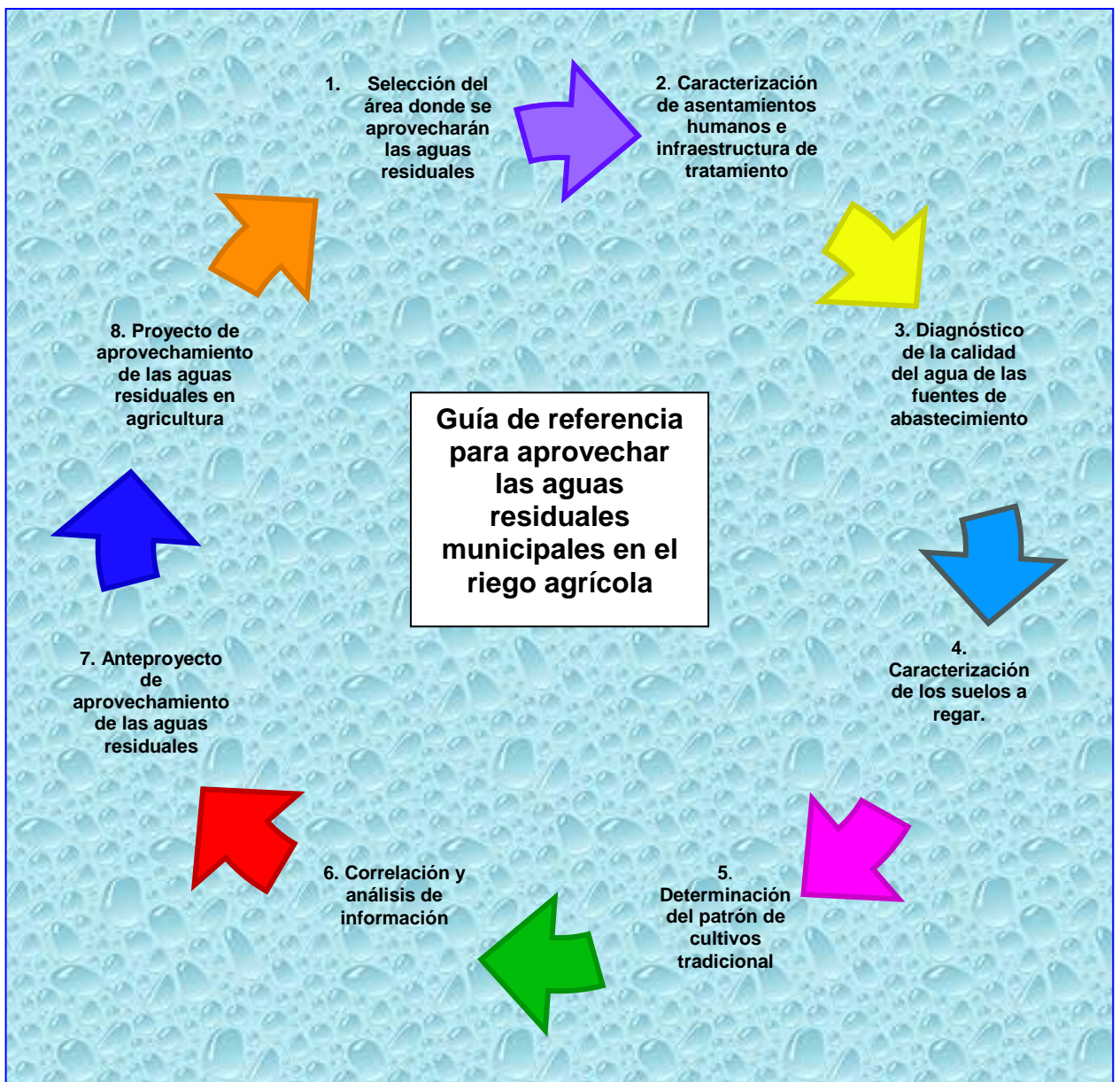


Figura 1. Diagrama resumido para la planeación del reúso de las aguas residuales

## I.1 Selección del área

Uno de los objetivos centrales de la agenda XXI sobre medio ambiente y desarrollo es fomentar el uso racional de las aguas residuales para riego en agricultura, forestación y/o en acuicultura ya que es una práctica que contribuye al desarrollo sustentable.

En este marco es importante seleccionar el área para el aprovechamiento de las aguas residuales considerando los siguientes factores (Figura 2):

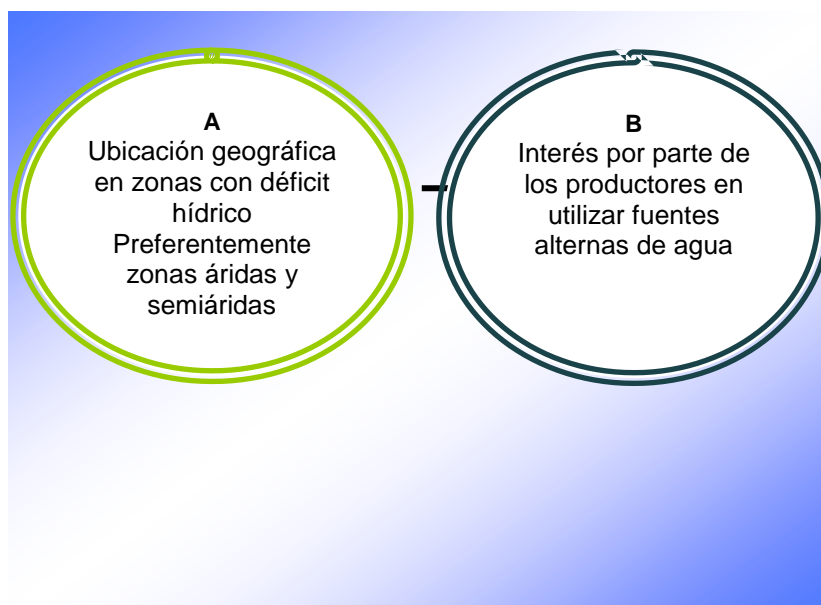


Figura 2. Factores a considerar en la selección del área.

### **A) Ubicación geográfica**

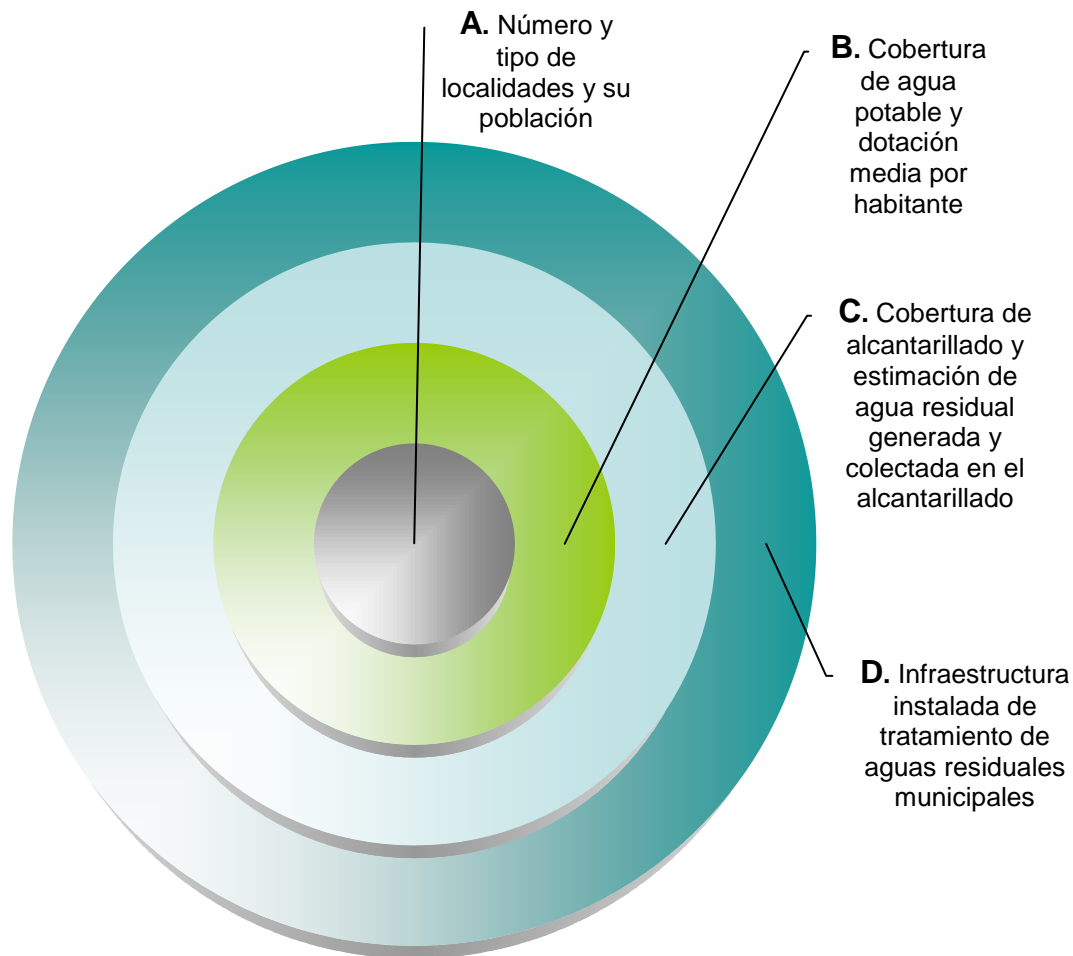
La ubicación geográfica determina el clima predominante que es el responsable de la existencia de patrones de abundancia o escasez de agua, por ello para establecer proyectos de aprovechamiento de aguas residuales, se jerarquizan en orden de preferencia las zonas áridas y semiáridas, cuyo déficit de agua es importante para suplir la demanda de las actividades económicas y de la población que se desarrollan en ellas.

### **B) Interés por parte de productores.**

El éxito de cualquier proyecto de aprovechamiento de aguas residuales solo podrá cristalizarse si cuenta con el apoyo de productores interesados en aprovechar fuentes alternas de agua, donde el agua residual sobre todo si es tratada se convierte en un recurso hídrico de gran valor para suplir la demanda de actividades altamente consumidoras de agua como el caso de la agricultura.

## I.2 Caracterización de asentamientos humanos e infraestructura de tratamiento.

Aquí conviene llevar a cabo una caracterización detallada de los siguientes factores (Figura 3):



**Figura 3. Consideraciones sobre asentamientos humanos e infraestructura.**

### **A) Número y tipo de localidades**

El marco de referencia para determinar la cantidad y el tipo de contaminantes que se pueden encontrar en cauces de agua contaminados son primero el número de localidades asentadas en la zona de interés, así como establecer si se trata de localidades urbanas y/o rurales, así como su número de habitantes, y sus actividades económicas principales.

## **B) Cobertura de agua potable y dotación media por habitante.**

Los datos de población, van ligados a la cobertura de agua potable y a las cifras de dotación media por habitante que se tienen en la zona de interés, con los que se obtienen los datos de volúmenes requeridos para suplir las demandas de agua por la población y por las distintas actividades que se realizan, y que sirven además para obtener los índices de presión social por el recurso hídrico en la zona.

## **C) Cobertura de alcantarillado y estimación de agua residual generada.**

Otro dato que se liga al de población y al de cobertura de agua potable es la cobertura de alcantarillado en cada localidad, que en el análisis permite estimar el volumen de agua residual generado en cada localidad y por actividad económica, así como el volumen de ésta que se colecta en el sistema de alcantarillado y que constituye la primera apreciación de un volumen potencial de aprovechamiento para su reuso en agricultura, forestería o acuacultura como lo fomenta la agenda XXI de medio ambiente.

## **D) Infraestructura de tratamiento de aguas residuales de tipo municipal**

Es importante determinar si existe infraestructura de tratamiento de aguas residuales de tipo municipal, su tipo, su capacidad instalada y su capacidad real de tratamiento, lo que va a determinar finalmente el volumen y calidad de efluente con potencial de aprovechamiento para su reuso, además de establecer la viabilidad de su uso en relación con su ubicación geográfica y las zonas proyectadas para su aprovechamiento en el riego agrícola.

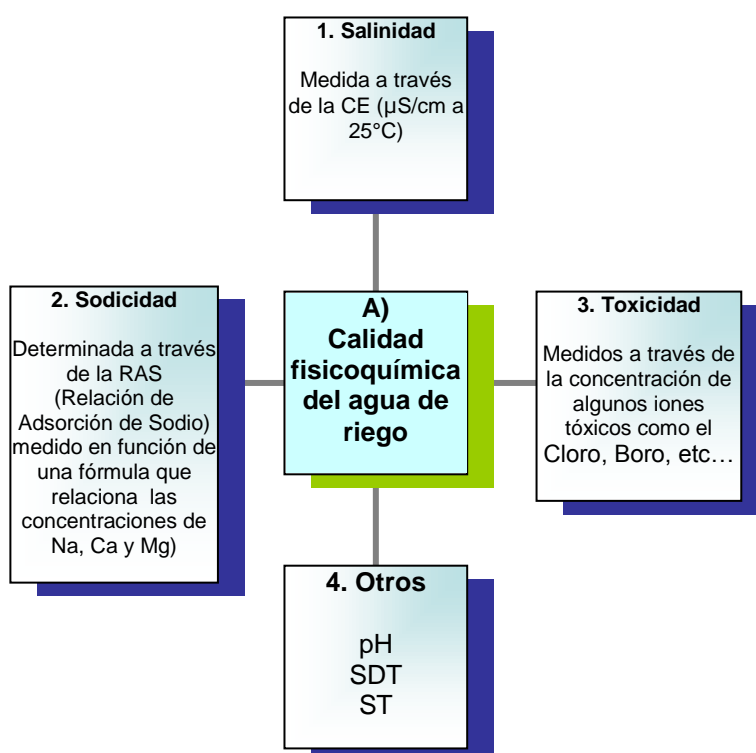
De no existir infraestructura de tratamiento de aguas residuales de tipo municipal habrá que llevar a cabo un estudio de factibilidad de establecer un sistema de tratamiento que se ajuste a las necesidades del lugar.



## I.3 Diagnóstico de la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento

Un punto medular en proyectos de aprovechamiento de aguas residuales es determinar cuál es la calidad fisicoquímica y bacteriológica de las fuentes de abastecimiento del agua de riego partiendo de los criterios de presencia o ausencia de riesgos potenciales que puede entrañar la composición del agua tanto para los suelos, las plantas y los consumidores de productos agrícolas.

Dentro de los factores fisicoquímicos a considerar están (Figura 4).



**Figura 4. Factores fisicoquímicos a considerar en el agua de riego.**

## A) Calidad fisicoquímica del agua de riego

Los problemas que se pueden presentar en la agricultura cuando se usa agua de baja calidad fisicoquímica, es principalmente la toxicidad de ciertos cationes y aniones, y también dependerá de la sensibilidad del cultivo. Los daños en parcelas regadas con agua de baja calidad fisicoquímica pueden reducir significativamente los rendimientos

### 1. Salinidad.

Existen diversas clasificaciones para determinar riesgos de salinidad, en 1976 Ayers y Wescot establecieron la clasificación del FAO misma que se modificó ligeramente en 1987 por ellos mismos, estableciendo tres categorías para interpretar la salinidad con base en la tolerancia de los cultivos.

Clasificación según FAO

CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)	Categoría	Calificación
Hasta 700	1	Sin problemas
700 a 3000	2	Problemas crecientes
Mayor de 3000	3	Problemas serios

En donde según esta clasificación las aguas de riego cuya CE se encuentre dentro del rango de la categoría 1 podrá utilizarse para el riego de casi todos los cultivos, salvo los extremadamente sensibles a la salinidad, cuando estos se hallen en suelos de alta a mediana permeabilidad. Con suelos de baja permeabilidad deberá ocasionalmente efectuarse lavados de suelos y sembrar cultivos de preferencia que sean moderadamente tolerantes a salinidad.

Si el agua de riego por CE, cae en la categoría 2, comienzan los problemas crecientes y sólo deberá usarse esta agua para regar suelos con buena a moderada permeabilidad y establecer cultivos que tengan de moderada a buena tolerancia a la salinidad y regularmente se deberán realizar riegos de lavado de suelos para minimizar las acumulaciones salinas.

Si el agua de riego por CE, cae en la categoría 3, los problemas son serios, por lo que esta agua solo podrán usarse en suelos con buena permeabilidad y realizando lavados de suelos periódicamente y solo podrán establecerse cultivos con buena tolerancia a la salinidad.

## 2. Sodicidad

Las sales disueltas en las aguas de riego pueden influenciar sensiblemente las propiedades físicas de los suelos a través del intercambio catiónico. El peligro principal está representado por el sodio, ya que al aumentar la concentración en la solución edáfica tiende a reemplazar al calcio y al magnesio del complejo coloidal con la consecuente sodificación del suelo.

El uso continuo de agua de riego con alta proporción de sodio respecto del calcio y del magnesio puede producir una elevada relación de sodio intercambiable y transformar el suelo en sódico, lo que afecta el rendimiento de los cultivos

El método más utilizado para determinar el sodio es a través de la RAS (Relación de adsorción de sodio) la cuál se obtiene de la fórmula:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\frac{\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}}{2}}$$

Donde

Na, Ca y Mg corresponden a la concentración de estos cationes en el agua de riego en  $\text{me L}^{-1}$

La suma de  $\text{Ca}^2 + \text{Mg}^2$  se divide por dos para pasar de  $\text{me L}^{-1}$  a  $\text{mol L}^{-1}$  y está afectada por la raíz cuadrada a razón de su carácter divalentes, de acuerdo con los principios de la ley de acción de masas.

La importancia de la concentración total en la velocidad de equilibrio está reconocida en la clasificación de Riverside al asignarle mayor peligrosidad sódica para una misma RAS, a medida que aumenta la conductividad eléctrica del agua, es decir su concentración salina (Ver criterios del cuadro 1)

**Cuadro 1. Parámetros de calidad del agua de riego y su relación con el grado de restricción de uso.**

Parámetro	Unidades	Grado de restricción para su uso			
		Ninguno	Ligero a moderado	Severo	
Salinidad EC <sub>w</sub> <sup>(1)</sup>	dS/m	<0.7	0.7–3.0	>3.0	
TDS	mg/l	<450	450–2000	>2000	
TSS	mg/l	<50	50–100	>100	
RAS	0–3	meq/l	>0.7EC <sub>w</sub>	0.7–0.2EC <sub>w</sub>	<0.2EC <sub>w</sub>
RAS	3–6	meq/l	>1.2EC <sub>w</sub>	1.2–0.3EC <sub>w</sub>	<0.3EC <sub>w</sub>
RAS	6–12	meq/l	>1.9EC <sub>w</sub>	1.9–0.5EC <sub>w</sub>	<0.5EC <sub>w</sub>
RAS	12–20	meq/l	>2.9EC <sub>w</sub>	2.9–1.3EC <sub>w</sub>	<1.3EC <sub>w</sub>
RAS	20–40	meq/l	>5.0EC <sub>w</sub>	5.0–2.9EC <sub>w</sub>	<2.9EC <sub>w</sub>
Sodio (Na <sup>+</sup> )	Riego por aspersión	meq/l	<3	>3	
Sodio (Na <sup>+</sup> )	Riego superficial	meq/l	<3	3–9	>9
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	Riego por aspersión	meq/l	<3	>3	
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	Riego superficial	meq/l	<4	4–10	>10
Cloruro (Cl <sub>2</sub> )	Total residual	mg/l	<1	1–5	>5
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )		mg/l	<90	90–500	>500
Boro (B)		mg/l	<0.7	0.7–3.0	>3.0
Sulfuro de hidrógeno		mg/l	<0.5	0.5–2.0	>2.0
Hierro (Fe)	Riego por goteo	mg/l	<0.1	0.1–1.5	>1.5
Manganeso (Mn)	Riego por goteo	mg/l	<0.1	0.1–1.5	>1.5
Nitrógeno total		mg/l	<5	5–30	>30
pH	Amplitud normal 6.5–8				

<sup>(1)</sup>TDS= total de sólidos disueltos; TSS= total de sólidos en suspensión

Fuentes: Ayers y Westcot (1985), Pescod (1992); Asano y Levine (1988)

EC<sub>w</sub> significa conductividad eléctrica en decisiemens por metro a 25 °C

RAS significa relación de adsorción de sodio (meq/l)<sup>1/2</sup>

### 3. Toxicidad

Algunos de los iones tóxicos más comunes contenidos en el agua de riego son el cloro, el boro y el sodio (como ya se mencionó) y los daños pueden ser provocados individualmente o en combinación.

**Cloro:** Debido a que este elemento no es absorbido por las partículas de suelo sino que es absorbido por las raíces, es fácilmente asimilado por las hojas de los cultivos donde es acumulado favorecido por la transpiración de las hojas.

Los daños que se pueden presentar son necrosis y quemaduras de las hojas, el daño empieza en la punta de las hojas para luego desplazarse a lo largo del borde, por lo que se presenta una defoliación temprana y bajos rendimientos.

**Sodio:** Este es identificado por la relación de absorción de sodio (RAS), los daños también son quemaduras o necrosis sólo que éstas aparecen en las hojas más viejas y en sus bordes, desplazándose hacia el centro de las hojas. Cultivos sensibles como el maíz o semitolerantes como el sorgo, disminuyen su producción por efecto de un alto RAS.

**Boro:** Este es necesario para las plantas pero en cantidades relativamente pequeñas y se vuelve tóxico si sobre pasa éstas, por ejemplo a concentraciones entre 1 y 2 mg/l pueden ser ya tóxicas para cultivos sensibles como el trigo o el frijol, los cuales mostrarían baja en su rendimiento a causa de esto.

#### 4. Otros ( pH, STD, ST)

##### a) pH

Las letras pH son una abreviación de "*pondus hydrogenii*", traducido como potencial de hidrógeno, y fueron propuestas por Sorensen en 1909, que las introdujo para referirse a concentraciones muy pequeñas de iones hidrógeno. Se mide en una escala de 1 a 14. Si el pH del agua es menor que 7, será **ácida**, y si es mayor, se dirá que es un agua **alcalina** o básica. El pH puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces: todas las especies vegetales presentan unos rangos característicos de pH en los que su absorción es idónea. Fuera de este rango la absorción radicular se ve dificultada y si la desviación en los valores de pH es extrema, puede verse deteriorado el sistema radical o presentarse toxicidades debidas a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos.

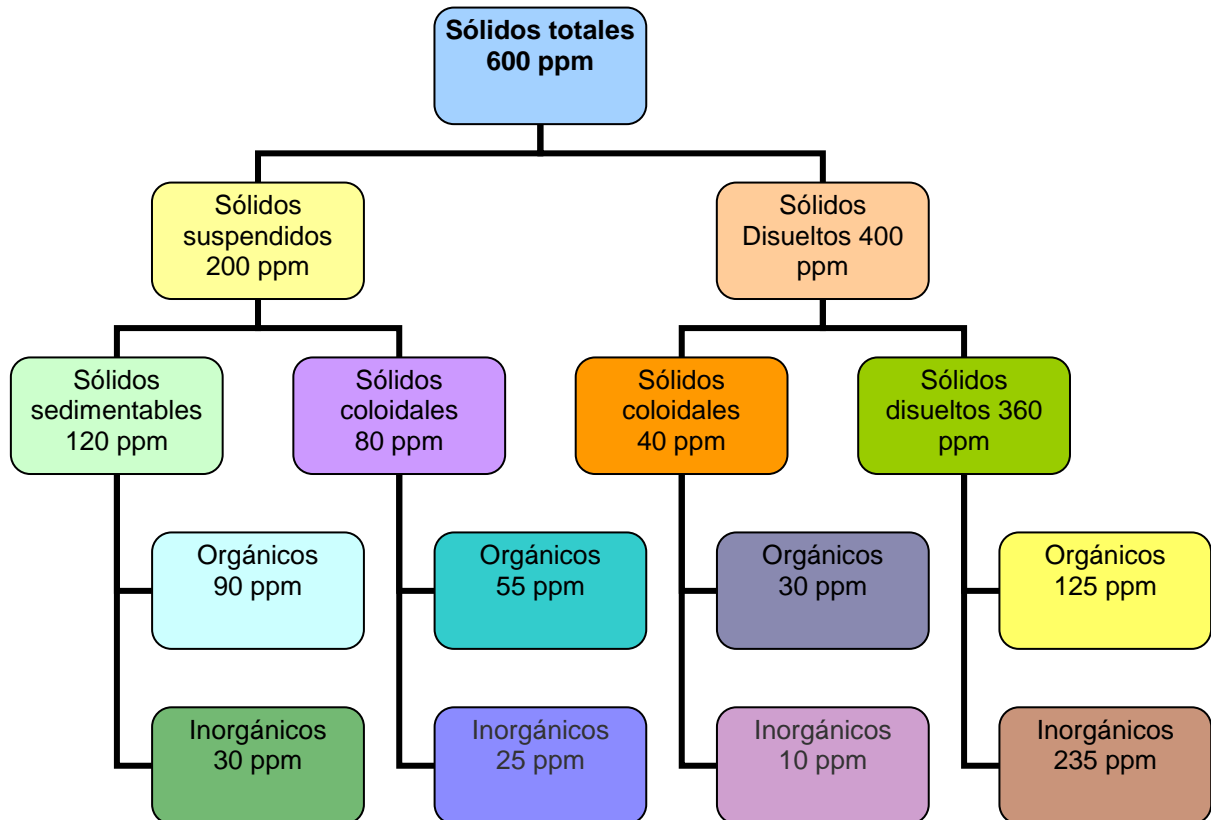
Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas. Un adecuado pH asegura una mejor asimilabilidad de los diferentes nutrientes, especialmente fósforo y micronutrientes, etc.

El mantenimiento del pH apropiado en el flujo del riego ayuda a prevenir reacciones químicas de fertilizantes en las líneas de un sistema de fertirrigación. Ya que un valor de pH elevado puede causar obstrucciones en los diferentes componentes del sistema debidas a la formación de precipitados.

El factor pH puede ser muy importante no sólo para el proceso exclusivo de fertirrigación, así también puede jugar un importante papel en el uso de plaguicidas a través del riego (quimigación). Aguas de naturaleza alcalina pueden romper las moléculas de ciertos plaguicidas reduciendo su actividad química, mediante un proceso denominado hidrólisis alcalina, sobre todo si los productos permanecen en tanques de mezcla durante un tiempo prolongado y si la temperatura ambiental es elevada.

**b) Sólidos Totales Disueltos (STD) y Sólidos Totales**

Son una medida gruesa de la concentración total de sales inorgánicas en el agua y son indicadores generales de salinidad. Una alta concentración de STD en relación con los ST constituye una limitación importante en el uso del agua, en agricultura pues pueden inducir la formación de depósitos de lodo, y condiciona al uso de filtros para poder establecer sistemas de riego presurizado. En la figura 5, se puede observar la composición típica de los sólidos contenidos en un agua residual de tipo doméstico.



Fuente: Elaborado a partir de datos presentados por Noyola, *et al.* 2000.

**Figura 5. Composición de las aguas residuales por sólidos totales.**

## B) Calidad bacteriológica del agua de riego.

La calidad bacteriológica del agua de riego es un elemento indispensable a considerar en los proyectos de reuso de agua residual (Figura 6), ya que existen normas oficiales tanto mexicanas como internacionales que establecen límites a los contaminantes de tipo patógeno presentes en agua de riego (Cuadro 2), mismos que pueden afectar la calidad sanitaria de productos agrícolas regados y por lo tanto también con base en ello existen criterios de calidad agronómica que condicionan el uso de este tipo de aguas para su aplicación a determinados cultivos.

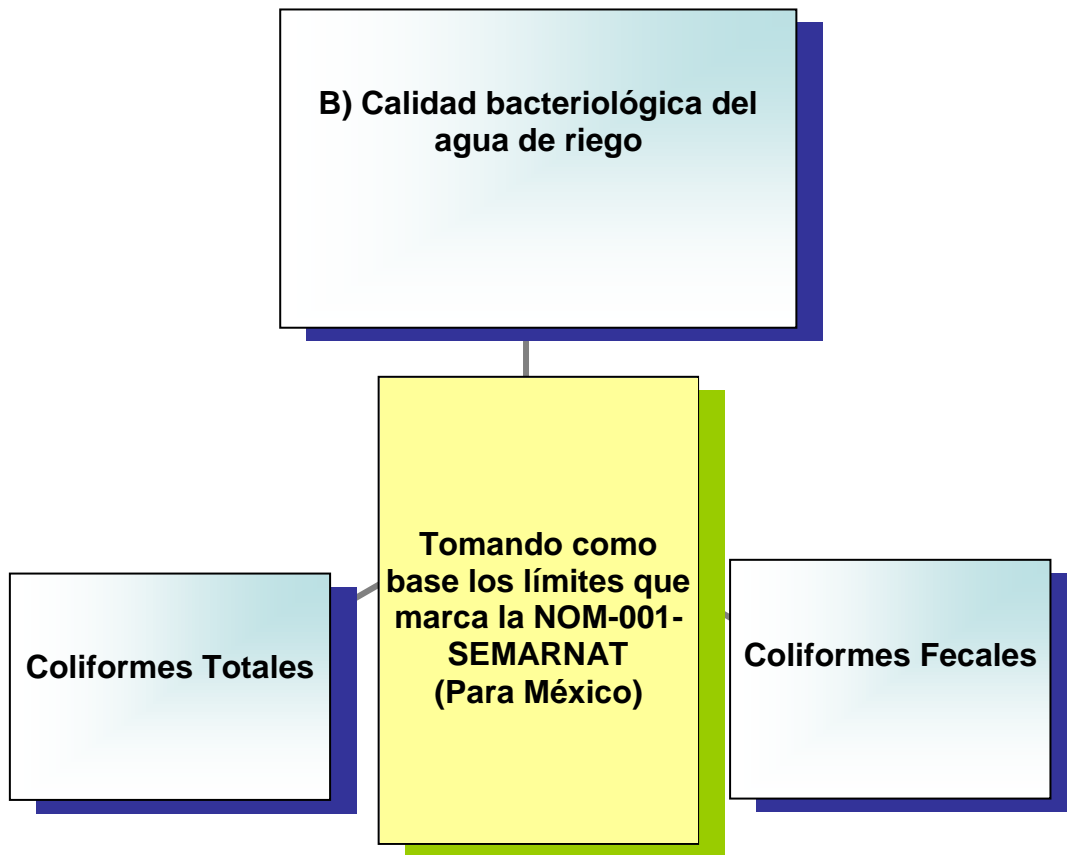


Figura 6. Consideraciones de tipo bacteriológico para agua de riego.

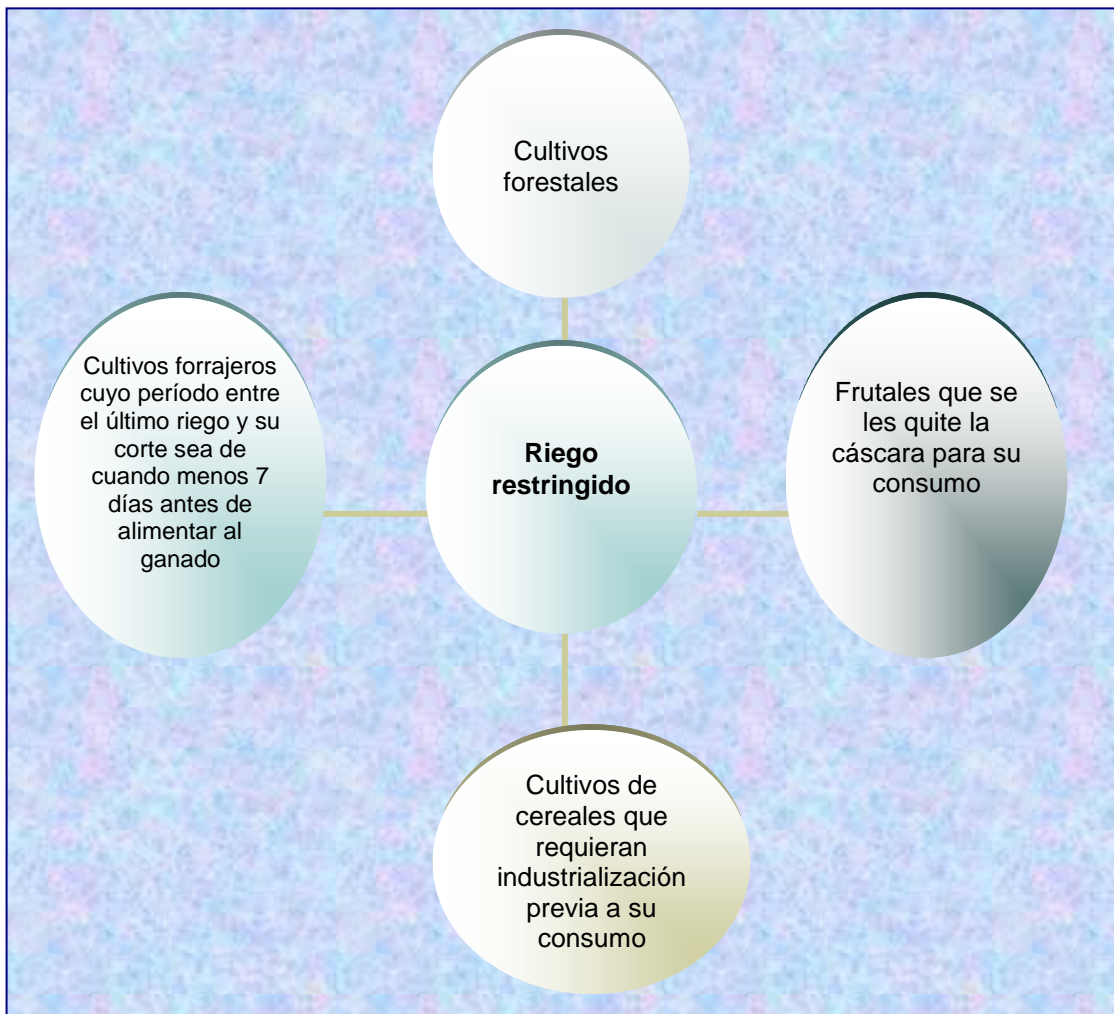
**Cuadro 2. Límites de contaminantes patógenos que marca la NOM-001-SEMARNAT-96**

PARÁMETROS	UNIDAD (NMP/100 ml)	
	Promedio Mensual	Promedio Diario
Coliformes fecales	2000	1000
	UNIDAD (Huevos/l)	
	Riego restringido	Riego irrestricto o no restringido
Huevos de Helminos	5 (cinco)	1 (uno)

La NOM-001-SEMARNAT-96, También establece una diferenciación de acuerdo con parámetros bacteriológicos, en relación al tipo de riego que se debe practicar como se puede observar en las figuras 7 y 8.

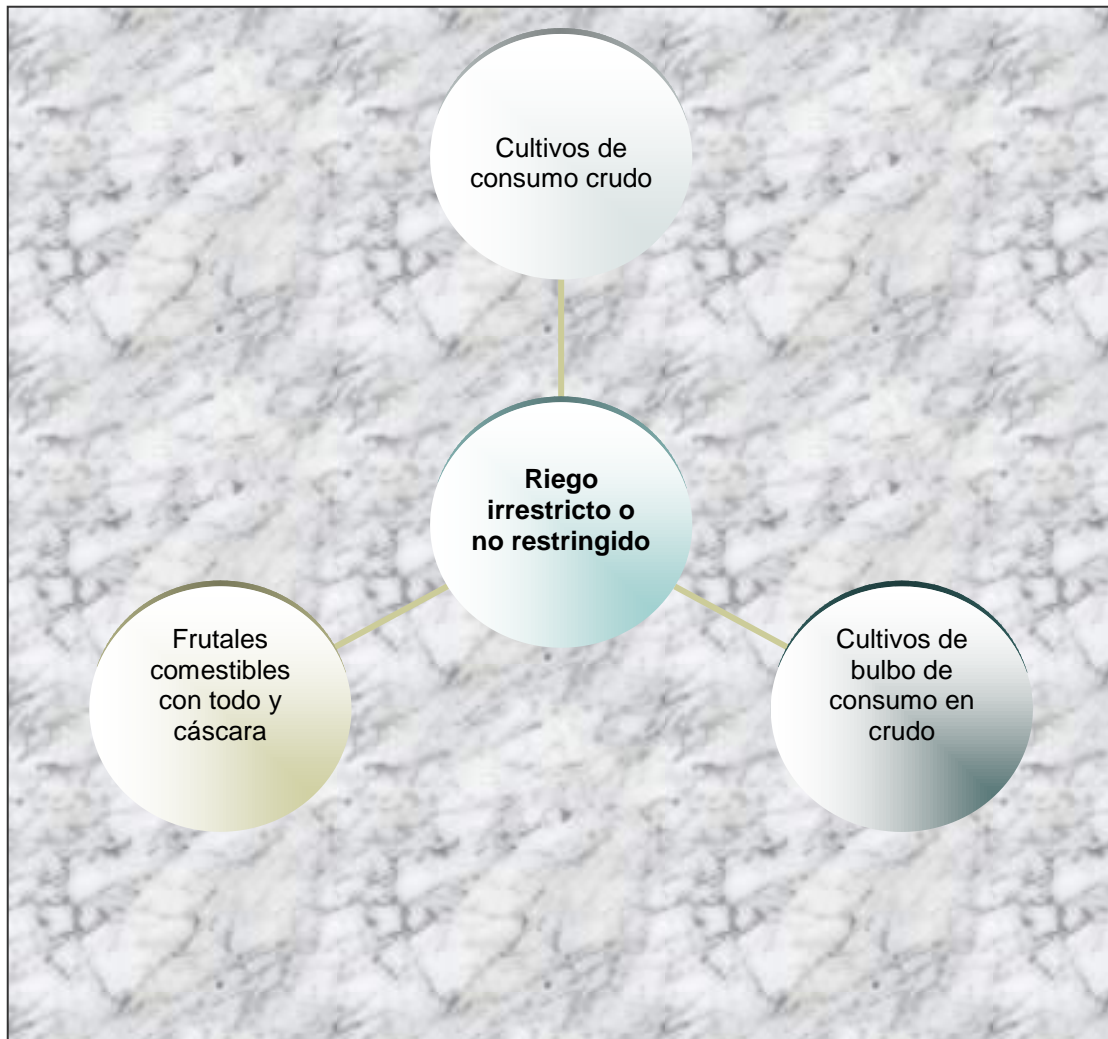


Cultivos que es posible regar de acuerdo al tipo de riego:



**Figura 7. Tipo de cultivos de acuerdo con la clasificación de riego restringido**

Nota: Se le llama riego restringido por que se limita el número de cultivos que es posible regar con este tipo de agua debido a que su calidad bacteriológica es baja en cuanto a huevos de helmintos como se menciona en el cuadro anterior.



**Figura 8. Tipo de cultivo a regar de acuerdo a la clasificación de riego No restringido.**

Nota: Se le llama riego irrestricto o no restringido por que existe un amplio espectro de cultivos que es posible regar con ellos derivado de una mucho mejor calidad bacteriológica del agua en cuanto a huevos de helmintos como se indica en el cuadro anterior.

## I.4 Caracterización de suelos a regar

Dado que la guía de referencia es para el aprovechamiento del agua residual de tipo municipal en el riego agrícola es igualmente importante establecer las características del suelo y otras relacionadas (Figura 9).

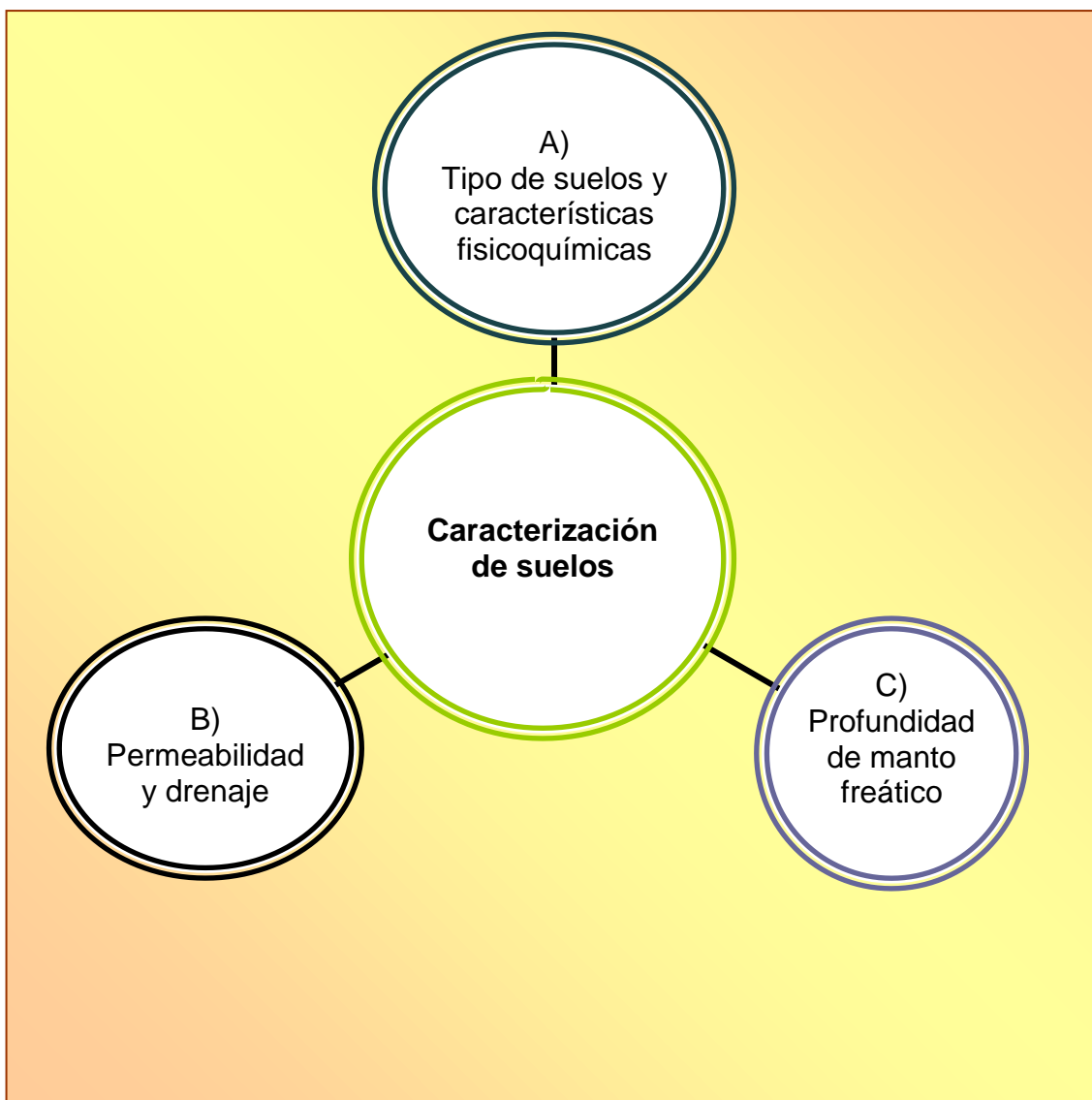


Figura 9. Consideraciones sobre el suelo con uso en riego con aguas residuales

### A) Tipo de suelos y características fisicoquímicas

En este rubro es importante establecer el grupo textural a que pertenecen los suelos, ya que el uso de aguas residuales para riego se recomienda preferentemente es suelos francos (con buena proporción de limo, arcilla y arena) y se condiciona a un sistema y manejo adecuado del agua de riego en suelos someros y/o arenosos. Y no se recomienda su aplicación a suelos de texturas pesadas como los arcillosos, que en seco se fragmentan y en húmedo

se expanden, ya que en ellos se favorece un drenaje ineficiente que provoca colmatación y encharcamientos que crean las condiciones favorables para el desarrollo de bacterias y otros patógenos presentes en el agua residual y que pueden afectar al cultivo.

En caso de no existir información sobre los suelos del área de interés, se deberán realizar consultas con los técnicos locales mas experimentados y/o diseñar un plan rápido de barrenaciones para verificar texturas superficiales y subsuperficiales y tomar muestras de suelo para determinar el pH, CE, así como la concentración de sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruro, calcio y magnesio. Todo esto con el fin de sustentar adecuadamente la propuesta de reuso de aguas residuales en el riego agrícola, considerando los posibles riesgos de afectar la calidad original de los suelos.

## **B) Permeabilidad y drenaje**

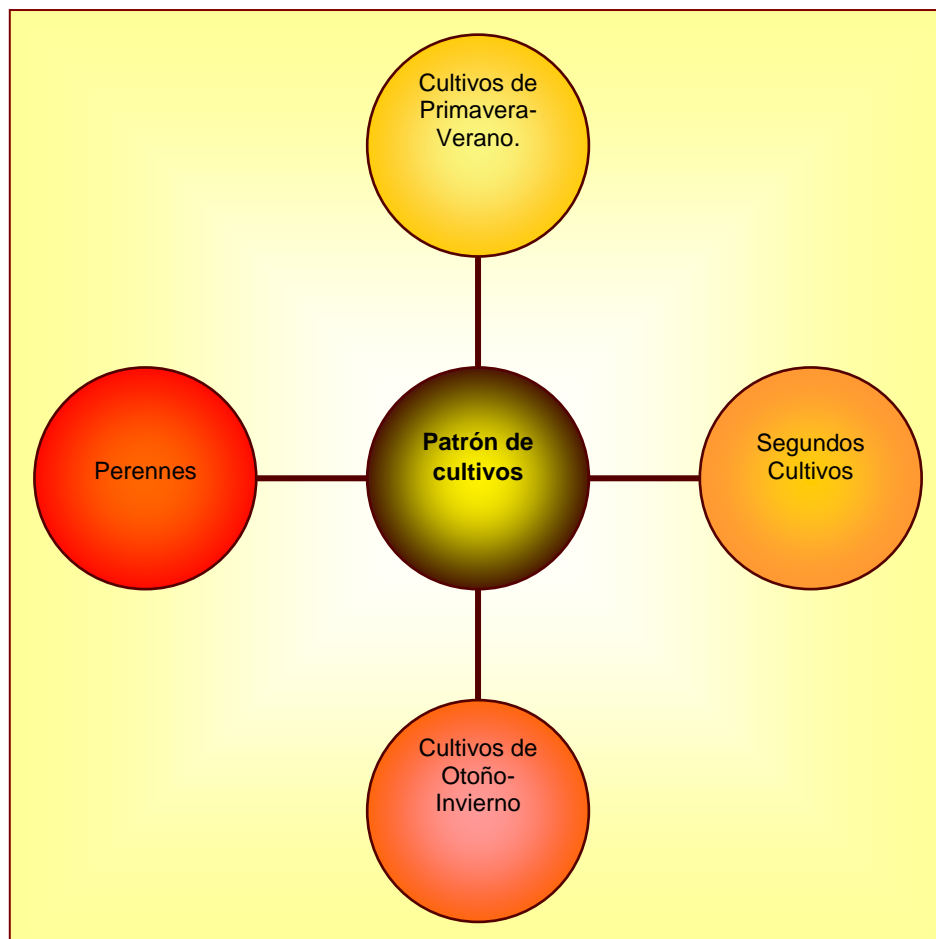
La permeabilidad del suelo también es un factor importante en proyectos de reuso de aguas residuales, ya que la permeabilidad es la capacidad que tienen los materiales del suelo para permitir o no la libre circulación del agua y el aire a través de sus poros. La permeabilidad del suelo suele aumentar o disminuir en relación con la textura del suelo, así existe mayor permeabilidad en suelos arenosos y menor permeabilidad en suelos arcillosos. La importancia que reviste este factor es que el reuso de aguas residuales se recomienda en suelos con buena permeabilidad y sin problemas de drenaje, a fin de evitar riesgos de contaminación de mantos acuíferos, o a fin de evitar la formación de niveles freáticos que afecten el desarrollo del cultivo o arrastren sales hacia la superficie del suelo que formen costras y limiten también la germinación y el buen desarrollo de las plantas. Se considera que un suelo tiene buen drenaje cuando este infiltra en promedio  $\pm 5\text{cm} / \text{día}$ .

## **C) Profundidad del manto freático**

Es también importante determinar la profundidad del manto freático del suelo, ya que éste es el manto de agua que se confina entre dos horizontes o capas de suelos, una permeable y la otra no permeable. La importancia que reviste determinar si existe un manto freático somero, es para reducir los riesgos de incrementar la superficialidad de dicho manto, derivado de los riegos continuos con el agua residual y que puedan afectar el adecuado desarrollo radicular de los cultivos establecidos. En proyectos de reuso de aguas residuales se recomienda que el manto freático se encuentre al menos a 2 metros de profundidad de la superficie con lo que se garantiza que con un buen manejo del riego se logrará que este nivel no sufra incrementos.

## I.5 Determinación del patrón de cultivos tradicional

Ya que la guía de referencia es para el aprovechamiento de las aguas residuales en la agricultura es esencial establecer cual es el patrón tradicional de cultivos que se siembran en la zona de interés (Figura 10) , utilizando este conocimiento en la elaboración de propuestas que no impliquen cambios totalmente radicales, con lo que se logrará una mayor aceptación por los productores de la zona.



**Figura 10. Consideraciones sobre el patrón de cultivos.**

En este caso para cada ciclo agrícola será importante determinar la duración del ciclo de desarrollo de los cultivos que tradicionalmente se siembran en la zona (Ciclo corto o ciclo largo), sus hábitos de crecimiento (si forman planta, arbusto, enredadera, árbol, si su fruto es aéreo o subterráneo), el manejo del

cultivo (época de siembra, si se establecen en surcos, melgas, camas meloneras, etc., así como el número de riegos y su lámina aplicada, si se aplican o no fertilizantes y su tipo, plagas o enfermedades que comúnmente ataquen a los cultivos en la zona, productos utilizados para su control, cuál es la tolerancia del cultivo establecido a la salinidad del agua o del suelo, etc... todo ello con el fin de establecer propuestas de reuso de aguas residuales que no rompan drásticamente con los patrones preestablecidos en la zona por los productores y sí busquen alternativas más rentables de aprovechamiento tanto del recurso suelo como del recurso agua, sin comprometer la calidad sanitaria de los productos obtenidos.

## I.6 Correlación de información

La correlación de información se facilita si conforme se avanza en la recopilación de información se van creando bases de datos, y se digitaliza la información temática (planos generales del área de estudio, planos específicos como tipo de suelos, de infraestructura hidroagrícola, etc.), existen paquetes computarizados como el ARCVIEW, que facilitan el procesamiento de información al permitir la correlación de archivos raster (como las imágenes de satélite, la fotografía aérea y los modelos digitales de elevación), archivos vectoriales (coordenadas geográficas o de UTM) y relacionar información sobre algunos atributos específicos de interés y todo ello totalmente georeferenciado a la base de datos del software, lo que facilita la sobreposición de planos, para realizar un adecuado análisis (Figura 11).

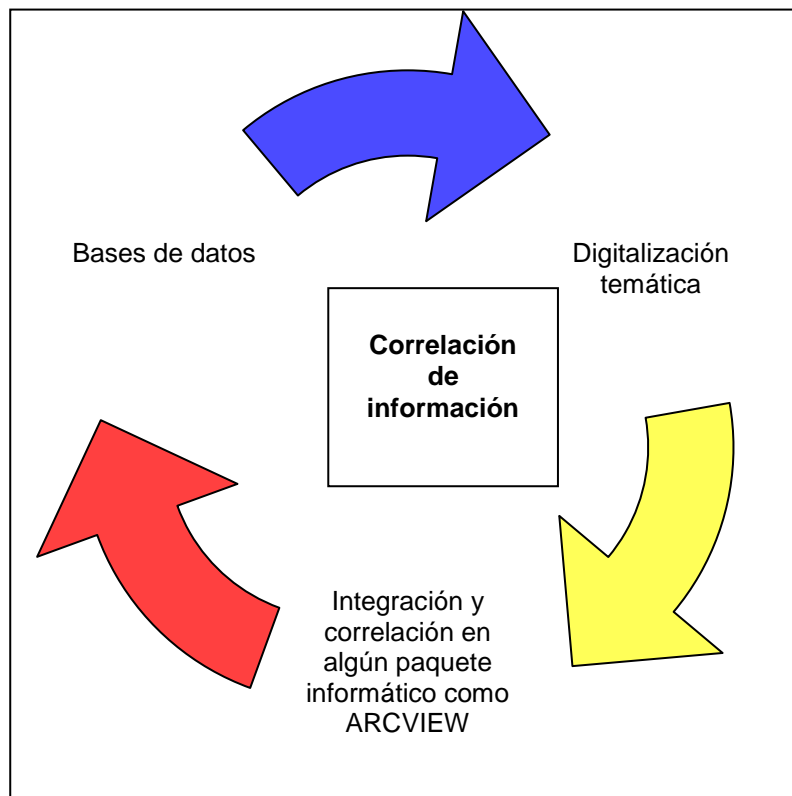


Figura 11. Consideraciones para una adecuada correlación de información.

## I.7 Anteproyecto de aprovechamiento de las aguas residuales para riego agrícola.

En esta fase se desarrolla y genera el documento técnico que integra la propuesta general de aprovechamiento de las aguas residuales de tipo municipal para el riego agrícola que constituye el anteproyecto propiamente dicho (Figura 12). En esta fase también se establece una reunión formal con los productores, usuarios o clientes para hacerles una presentación audiovisual en la cuál se incluye el nombre del anteproyecto, sus objetivos generales, una breve descripción de la metodología y los resultados esperados así como el costo aproximado. Este anteproyecto se somete a consideración, adecuación y aceptación por parte de los usuarios y constituye la fase previa al desarrollo detallado del proyecto.

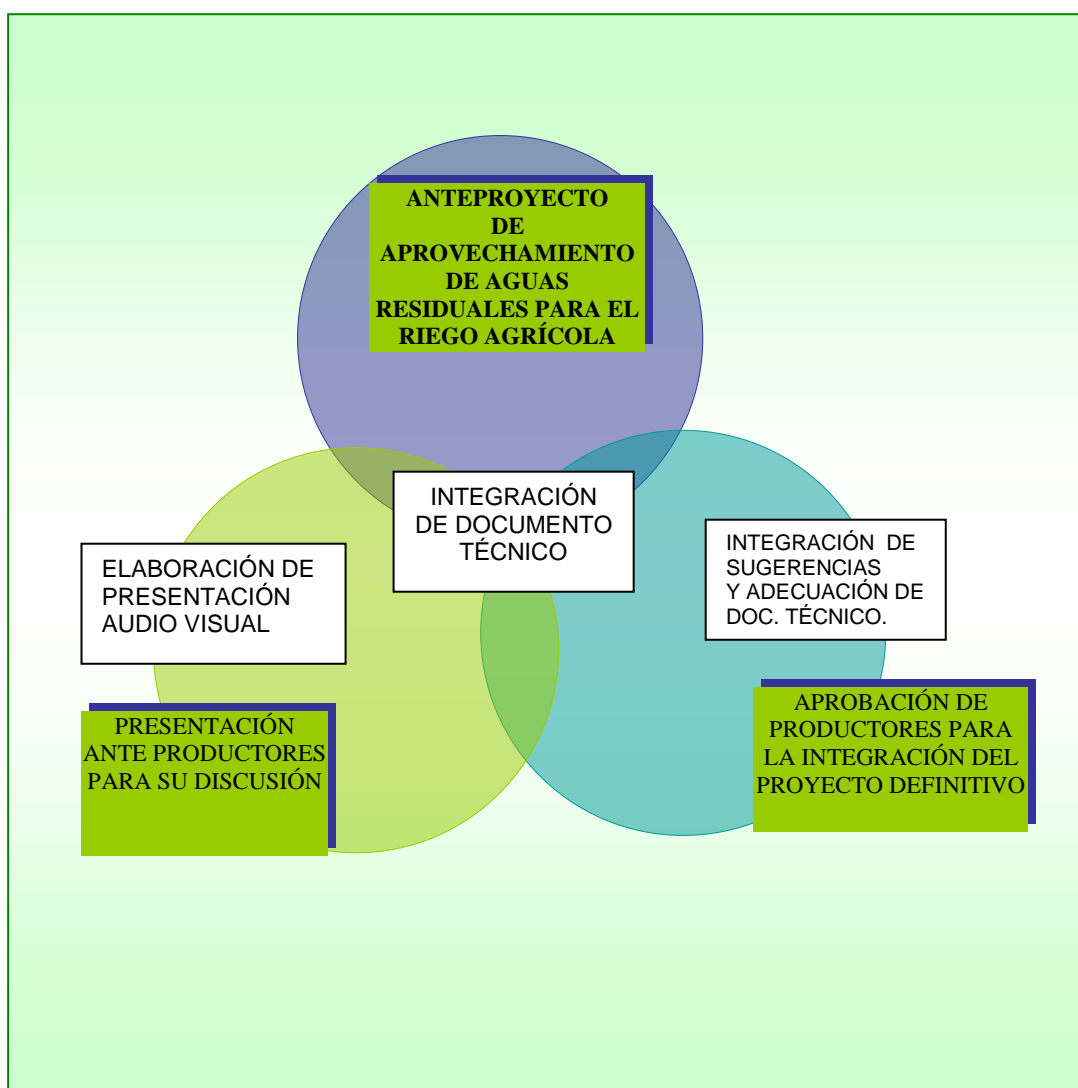
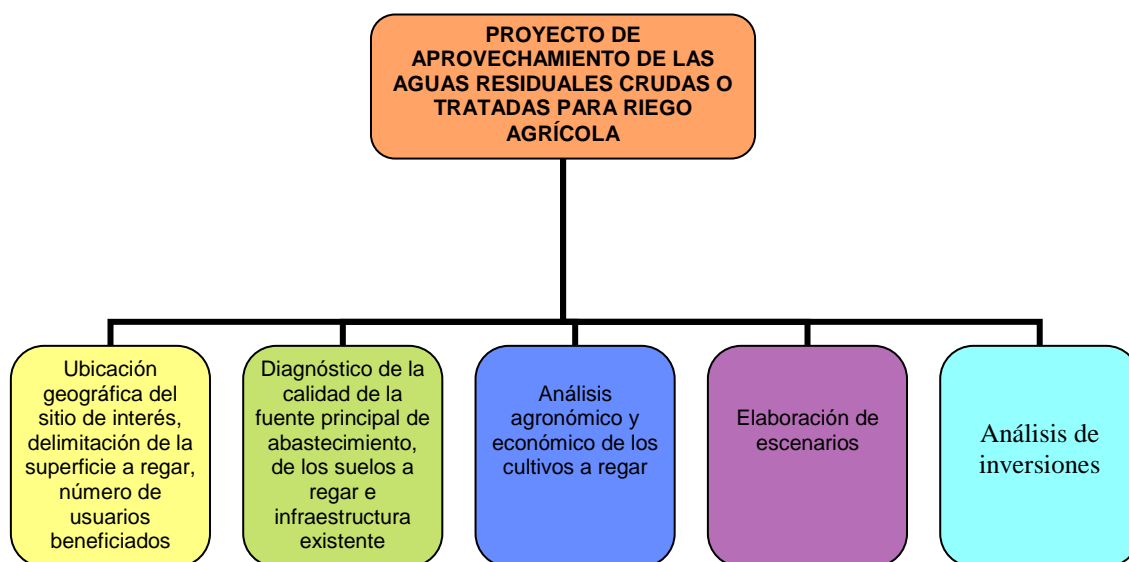


Figura 12. Consideraciones para la integración del documento técnico.

## I.8 Proyecto de aprovechamiento de las aguas residuales en agricultura

La última fase de la planeación, la constituye la integración del documento final del proyecto de aprovechamiento de las aguas residuales tratadas o crudas para riego agrícola (Figura 13), el cual proporciona un análisis detallado sobre la ubicación específica del proyecto, la delimitación de la superficie a regarse con éstas aguas, el número de beneficiarios, la calidad del agua a provechar, el tipo de suelos donde se aplicará, el tipo y cantidad de infraestructura de tratamiento existente, el análisis agronómico y económico de los cultivos a regar, la elaboración de escenarios de acuerdo a las condiciones existentes y las inversiones necesarias para ejecutar el proyecto; en caso de que se requieran realizar adecuaciones a la infraestructura hidroagrícola existente para conducir el agua del efluente tratado a una zona no periférica a las plantas de tratamiento, o bien para construir infraestructura para mejorar la calidad de la fuente principal de abastecimiento del riego o en su defecto adecuar la infraestructura existente para aprovechar las aguas residuales crudas que se generen por las poblaciones asentadas en la zona de interés. Toda esta información constituirá el documento final del proyecto y proveerá del sustento técnico y la justificación a la organización de usuarios o al cliente para solicitar apoyos económicos de algún programa de gobierno o de la iniciativa privada para ejecutar el proyecto.



**Figura 13. Esquema resumido de los rubros a considerar en proyectos de reúso de aguas residuales para riego agrícola.**



## II. MODELOS PARA EL APROVECHAMIENTO RACIONAL DE AGUAS RESIDUALES A PROYECTOS AGRÍCOLAS.

### II.1 Modelos de reúso

Con base en las consideraciones anteriores, se esboza el escenario ideal para el reúso de aguas residuales, considerando un modelo general (Figura 14) y dos modelos de acuerdo con el tipo de sistema de tratamiento (Figuras 15 y 16), que le confiere a las aguas tratadas un grado de calidad diferenciado.

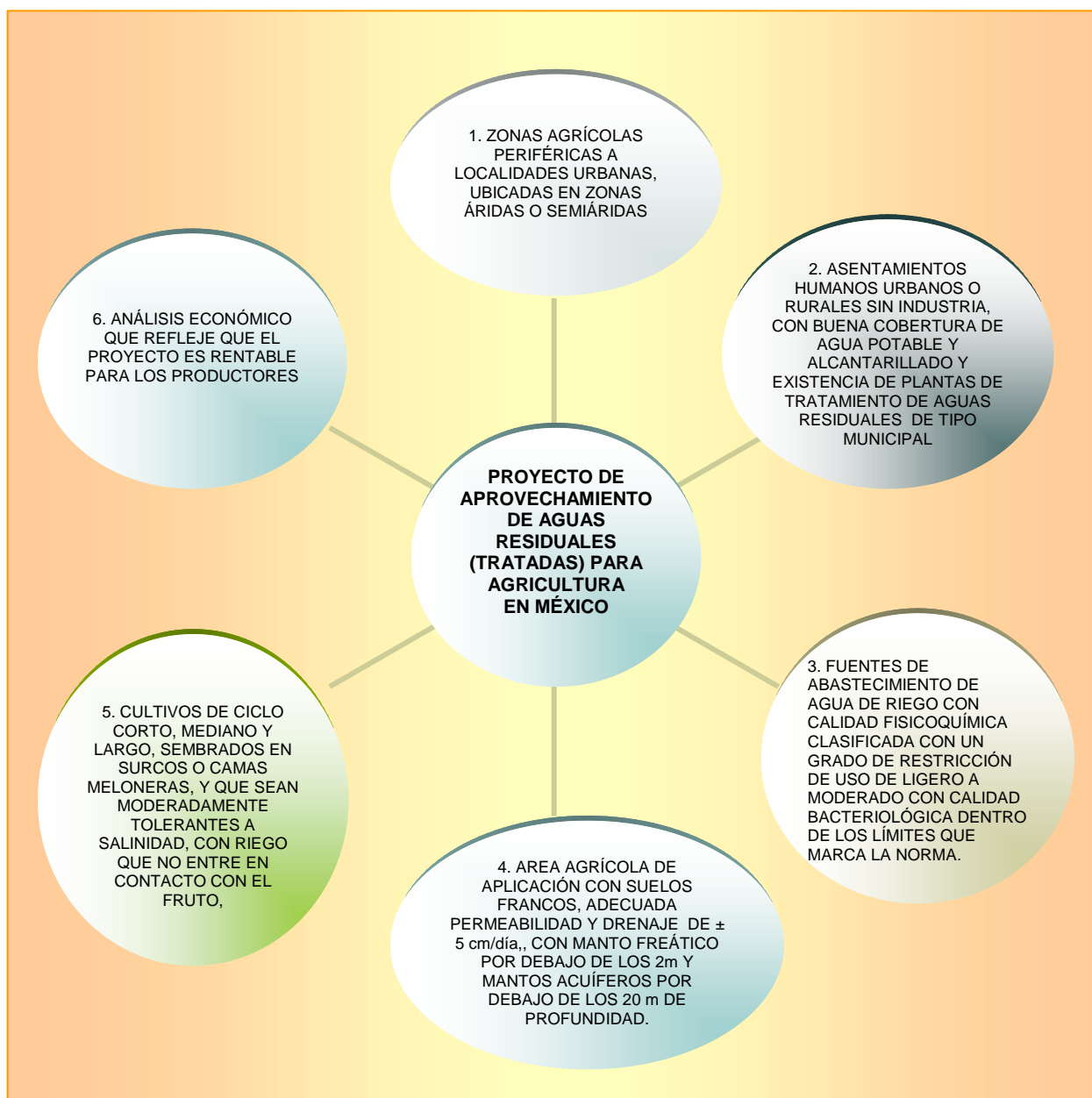
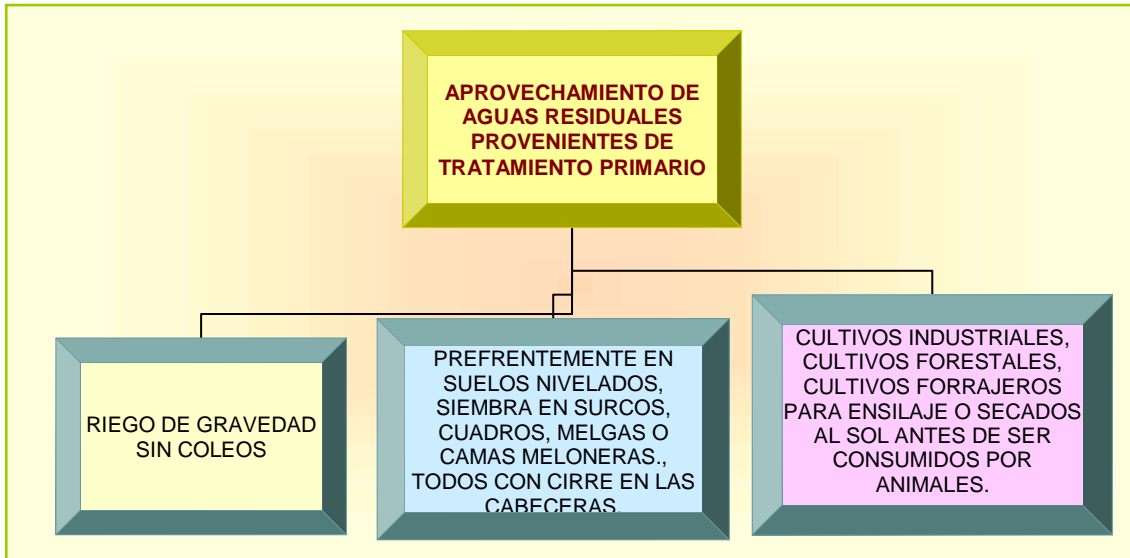
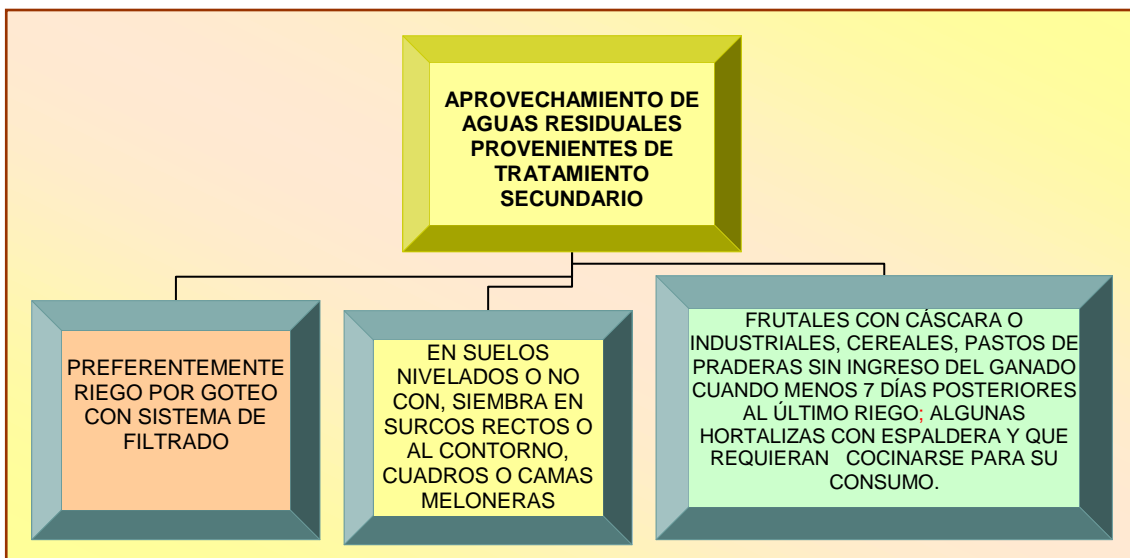


Figura 14. Modelo General para reúso de aguas residuales para proyectos agrícolas de riego.



**Figura 15. Modelo para aprovechar aguas residuales con tratamiento primario.**



**Figura 16. Modelo para aprovechar aguas residuales con tratamiento secundario.**

### III. GUÍA DE REFERENCIA PARA MINIMIZAR RIESGOS DE SALUD PÚBLICA EN JORNALEROS Y REGADORES.

Dado que el uso de aguas residuales en el riego agrícola implica en si un riesgo de salud para los jornaleros agrícolas que laboran en los campos que son regados con éstas aguas. Se deberá establecer un programa de difusión de información referente a estos riesgos. Los cuales se derivan del contacto de éstos con el agua y de la concentración de contaminantes entre ellos los patógenos que ésta contenga, así como las formas de reconocer el problema una vez que se presenten y lo más importante establecer medidas preventivas que minimicen los riesgos de contraer enfermedades cuyo origen sea el agua de riego (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Guía de referencia sobre factores de riesgo y medidas de prevención de enfermedades para trabajadores agrícolas que entran en contacto con el agua de riego residual.**

FACTOR DE RIESGO Y AGENTE CAUSAL	PROBLEMA QUE CAUSA	FORMA DE TRANSMISIÓN	MEDIDAS DE PREVENCIÓN QUE MINIMIZAN RIESGOS
Parasitosis por helmintos (Acylostoma duodenale y Necator americano)	En su fase inicial causa dermatitis cutánea. En su fase de movilidad por vasos sanguíneos, vasos linfáticos, pulmones e intestino causan una enfermedad debilitante denominada anquilostomiasis que se caracteriza por causar cuadros de anemia y desnutrición que son factores que favorecen el desarrollo de otras enfermedades.	Por contacto con sitios contaminados como suelos. Las larvas atraviesan la piel de los pies desnudos de regadores y jornaleros	Utilizar botas largas de hule durante las labores.  Desparasitación al menos 1 vez al año.
Parasitosis por Amibiasis (Entamoeba hystolítica)	Puede no dar síntomas o puede producir diarrea, colitis amibiana, inflamación del colón, disentería fulminante entre otras.	Ingestión de agua o alimentos contaminados con materia fecal que puede contener el agua de riego. Los quistes pueden introducirse en los alimentos o en las bebidas de manera indirecta a través de la manipulación con las manos y uñas sucias.	No ingerir alimentos durante las labores de manipulación de regaderas y agua de riego.  Lavarse las manos con agua y jabón antes de ingerir alimentos.  Desparasitación al menos 2 veces al año.
Enterocolitis salmonelosis	Cuadros febriles asociados a problemas gastrointestinales (diarrea	Ingestión de agua o alimentos contaminados con	No ingerir alimentos durante las labores de

	principalmente)	<p>materia fecal que puede contener el agua de riego.</p> <p>La bacteria puede introducirse en los alimentos o en las bebidas de manera indirecta a través de la manipulación con las manos y uñas sucias.</p>	<p>manipulación de regaderas y agua de riego.</p> <p>Lavarse las manos con agua y jabón antes de ingerir alimentos o bebidas.</p> <p>Vacunación oral o parenteral con refuerzos cada 5 y 3 años respectivamente.</p>
<p>Hepatitis por virosis La más común es la hepatitis A.</p>	<p>Inflamación del Hígado. Se produce cansancio, debilidad, picores, dolor en el lado superior derecho del abdomen, orina de color marrón, heces de color claro, falta de apetito y pérdida de peso, así como pigmentación de color amarillo en la piel principalmente de las manos y de la parte blanca del ojo.</p>	<p>Ingestión por agua o alimentos contaminados con materia fecal que puede contener el agua de riego.</p> <p>Los virus pueden introducirse en los alimentos o en las bebidas de manera indirecta a través de la manipulación con las manos y uñas sucias.</p>	<p>No ingerir alimentos durante las labores de manipulación de sifones o regaderas y agua de riego.</p> <p>Lavarse las manos con agua y jabón antes de ingerir alimentos o bebidas.</p> <p>Vacunación.</p>

## **Bibliografía**

Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje No. 29, Rev. 1.

FAO, 1992. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO Irrigation and Drainage paper 47.

World Health Organization. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II, wastewater use in agriculture UNEP, FAO, 196 p.

Noyola Robles A. Vega González E. Ramos Hernández J. Calderón Mólgora C. 2000. Manual de Alternativas de tratamiento de aguas residuales. 3ra Edición. IMTA-SEMARNAP. 2000. 144 pp.

Norma Oficial Mexicana, 1996. NOM-001-SEMARNAT-96. En: Diario Oficial de la Federación, 06 de enero de 1997.

IMTA-SEMARNAT, 2008. Diagnóstico del uso de las aguas residuales en la agricultura en México. Informe Final de Proyecto RD-0802.1 157 pp.