

CAPÍTULO VII -1. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. CALIDAD DEL AGUA	1
1.2. SOSTENIBILIDAD.....	1
2. TIPOS DE TRATAMIENTO	3
2.1. PREMISAS BÁSICAS.....	3
2.1.1. <i>Desinfección</i>	3
2.1.2. <i>Filtración en Aguas de Origen Superficial</i>	3
2.1.3. <i>Fluoruración</i>	3
2.2. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN: CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS A CONSIDERAR	4
2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	4
3. TRATAMIENTOS PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS	5
4. TRATAMIENTOS PARA AGUAS SUPERFICIALES.....	6
4.1. PRETRATAMIENTOS	6
4.2. FILTRACIÓN LENTA.....	7
4.3. FILTRACIÓN RÁPIDA	9
4.4. DESINFECCIÓN FINAL.....	10
4.5. NEUTRALIZACIÓN DEL PH DEL EFLUENTE FILTRADO	10
5. TRATAMIENTOS ESPECIALES.....	11
6. ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO	15

6.1. SELECCIÓN TÉCNICA DE LOS PROCESOS CONSIDERANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE DE AGUA	15
6.2. CAPACIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA FUENTE	18
6.3. SELECCIÓN DE PROCESOS CONSIDERANDO LAS CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LA LOCALIDAD.....	18
6.3.1. <i>Fase Inicial.....</i>	<i>18</i>
6.3.2. <i>Fase de Preselección de Procesos de Tratamiento de Agua</i>	<i>22</i>
6.4. PRESELECCIÓN DE PROCESOS	27
6.5. FASE DE SELECCIÓN.....	27
7. BIBLIOGRAFIA.....	32

LISTA DE ILUSTRACIONES

TABLAS

Tabla 1. Tecnologías aplicadas para tratamiento sin coagulación química, de acuerdo a los parámetros básicos máximos del agua cruda.....	8
Tabla 2. Selección de la Tecnología de Tratamiento con Filtración Rápida, de acuerdo a los valores límites de los parámetros del agua cruda, según la frecuencia en estudio	9
Tabla 3. Utilización de membranas en la potabilización de aguas salobres	12
Tabla 4. Clasificación de aguas crudas para potabilización	16
Tabla 5. Clasificación preliminar de aguas brutas en relación a los procesos de tratamiento	17
Tabla 6. Selección del proceso de tratamiento	21
Tabla 7. Nivel técnico social.....	22
Tabla 8. Categorías según disponibilidad del recurso	22
Tabla 9. Procesos de tratamiento de agua con sus registros operacionales	23
Tabla 10. Restricción al uso de procesos de tratamiento de agua en función del grado de desarrollo de las localidades	24
Tabla 11. Criterios de selección de procesos de tratamiento de agua.....	28
Tabla 12. Valores de “K” y “n” para América Latina.....	29

FIGURAS

Figura 1. Selección de proceso de tratamiento de agua	20
Figura 2. Análisis Costo-Capacidad	29
Figura 3. Costos de construcción plantas de agua potable en Colombia, Arboleda Valenciana, 1982	30

1. INTRODUCCIÓN

La selección del sistema de potabilización a emplear tiene directa relación con la calidad del agua cruda, los requisitos a cumplir para la calidad del agua de consumo y las condiciones que aseguren la sostenibilidad del sistema y su eficiencia a través del tiempo.

La alternativa a elegir debe ser aquella de menor costo a valor presente, que surja de la comparación con otras que produzcan beneficios sanitarios equivalentes y que sean compatibles con los objetivos de calidad y sostenibilidad mencionados.

1.1. CALIDAD DEL AGUA

Con el concurso de laboratorios de reconocida confiabilidad, y tomando los recaudos debidos de acuerdo a las técnicas recomendadas para cada caso para la toma y transporte de las muestras, debe conocerse detalladamente la calidad del agua cruda, en sus aspectos físicos, químicos y microbiológicos, incluyendo la eventual variabilidad estacional, de acuerdo a las condiciones locales o regionales. Puede parecer innecesario poner énfasis en la necesidad de conocer perfectamente el agua a tratar; sin embargo, el tiempo y dinero que se invierta en estos estudios sin duda permitirá evitar errores de diseño que serán mucho más difíciles y costosos de reparar.

1.2. SOSTENIBILIDAD

Está relacionada con una serie de factores, cuya enunciación apunta a valorar las condiciones para asegurar la viabilidad de una tecnología y sus eventuales costos adicionales que puedan generarse y que por lo tanto, deban ser considerados en el estudio de alternativas:

Institucionales

- Tipo de entidad existente y la necesidad de transformaciones a implementar: transformación en empresa estatal, mixta, empresa privada, cooperativa, etc.
- Factibilidad de tercerización de actividades.
- Capacidad económica-financiera y autonomía en el manejo de los recursos.
- Capacidad gerencial.
- Cultura organizativa e industrial.
- En el caso de la utilización de tecnologías patentadas, el establecimiento claro de las responsabilidades del proveedor en cuanto a las garantías de eficiencia de los equipos.
- Aptitud técnica y calidad de los recursos humanos para la operación de la planta y estimación de su posible evolución a través de planes de capacitación.

- Marco regulatorio de aplicación y necesidad de legislaciones y disposiciones complementarias.
- Existencia o posibilidad de implementación de programas de educación sanitaria, que difundan adecuadamente los beneficios del sistema a implementar, tales como la preservación de la salud y la calidad de vida, nivel de servicio a otorgar y su evolución prevista en el tiempo, explicación en forma realista y acompañada de las justificaciones de las innovaciones a realizar y las eventuales postergaciones decididas, las recomendaciones pertinentes, etc.
- Existencia o posibilidad de implementación de programas de información a la población sobre: políticas tarifarias a aplicar y su justificación, datos actualizados de las condiciones de la prestación del servicio, etc.

Locales y regionales

- Tamaño de la población.
- Materiales, equipos y mano de obra necesarios para la construcción.
- Facilidad de comunicación con proveedores de servicios y repuestos, para la adquisición y recepción de los mismos.
- Existencia de talleres y especialistas locales que apoyen los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo que requieran las tecnologías propuestas.
- Nivel de conocimientos requeridos de la tecnología en cuestión para la operación y para el mantenimiento.
- Identificación de insumos críticos (productos químicos, repuestos, etc.).
- Identificación a nivel global de las áreas problema y de los elementos que presentaren mayor frecuencia de atención y/o reposición.

Socioeconómicos y financieros

- Voluntad de pago de la población.
- Relación de la tarifa surgida a partir de los costos de inversión y operación del sistema a implementar y los ingresos de la población.

Ambientales

- Destino final de la descarga de aguas residuales de la planta, riesgos operacionales y demás factores analizados en el capítulo correspondiente de las presentes Fundamentaciones.

2. TIPOS DE TRATAMIENTO

2.1. PREMISAS BÁSICAS

La premisa básica de todo abastecimiento de agua es que la calidad del líquido a distribuir debe atender en primer lugar a satisfacer los requisitos vinculados con la salud de la población y los usos biológicos a que esté destinado.

Por lo tanto, los procesos básicos (mínimos), que debe contener todo sistema de tratamiento son los siguientes:

2.1.1. Desinfección

Debe tenerse presente que si bien la calidad del agua está definida por parámetros físicos, químicos y microbiológicos, estos últimos son los que tienen mayor importancia sanitaria debido a los riesgos que involucran: efectos graves y de acción rápida sobre la salud humana.

Por ello, en todos los casos, cualquiera sea la calidad del agua captada, el tratamiento debe prever una desinfección final y garantizar además una acción residual que permita que llegue hasta el usuario una agua de calidad segura.

Por otra parte, especialmente para el caso de aguas superficiales, las distintas etapas de tratamiento deben contribuir a garantizar la eficiencia de la desinfección final.

2.1.2. Filtración en Aguas de Origen Superficial

A fin de prevenir los problemas que pudieren originarse por eventuales contaminaciones de las aguas superficiales, siempre debe preverse como mínimo una etapa de filtración (mediante filtros lentos o filtros rápidos) antes de la desinfección final, aún en el caso de agua cruda cuya calidad física cumpla los requisitos de potabilidad, como podría ocurrir con determinados arroyos de montaña.

2.1.3. Fluoruración

De acuerdo a la legislación vigente, debe asegurarse para el agua de consumo, el nivel de flúor adecuado, previendo en caso necesario las instalaciones correspondientes para cumplir con las dosis que fijan los organismos de Salud Pública en cada caso.

2.2. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN: CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS A CONSIDERAR

En todos los casos la tecnología a emplear debe contar con suficientes antecedentes de resultados satisfactorios y ser apropiada a las condiciones locales y acorde con la capacidad técnica de la entidad que se encargue de la operación.

Por otra parte, debe señalarse que los estudios en planta piloto constituyen la metodología más adecuada, toda vez que existieren dudas sobre la eficiencia de una determinada tecnología a implementar.

Asimismo, para aguas superficiales, los ensayos de tratabilidad en laboratorio, como por ejemplo la prueba de jarras, conforman una herramienta importante para establecer parámetros de diseño adecuados.

Por último, en el caso de considerar la utilización de tecnologías patentadas, los procedimientos de adquisición deben apuntar a garantizar la competencia entre proveedores y la sostenibilidad de la eficiencia a lo largo del período de diseño. Además, a los efectos de la comparación técnico – económica con tecnologías convencionales construidas en el lugar, deben contemplarse las distintas magnitudes a asignar a la vida útil de las estructuras y equipos a incorporar en cada caso.

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

A grandes rasgos, una primera clasificación de los tratamientos de potabilización, puede establecerse según el tipo de agua cruda captada: superficial o subterránea.

En el caso de aguas superficiales, usualmente el tratamiento debe enfocar prioritariamente los aspectos físicos tales como turbiedad, color, sabor y olor y a garantizar la eliminación de agentes patógenos microbianos hasta el lugar de consumo. La clasificación de las tecnologías de tratamiento para las aguas superficiales se realiza en función del tipo de filtración: rápida o lenta.

En el caso de aguas subterráneas, pueden presentarse cuatro situaciones que pueden considerarse típicas:

- Calidad fisicoquímica adecuada con relación a las Normas de aplicación para el agua de consumo.
- Calidad fisicoquímica inadecuada por ser agua salobre, sin la identificación de un elemento crítico en particular.
- Calidad fisicoquímica inadecuada por presencia de elementos críticos específicos, como por ejemplo la presencia de flúor y/o arsénico, que son característicos de algunas regiones del país, acompañados de baja salinidad.
- Calidad fisicoquímica inadecuada por presencia de elementos críticos específicos, acompañados de sales totales elevadas.

3. TRATAMIENTOS PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS

Cuando la calidad fisicoquímica de las aguas se ajusta a las Normas sólo es necesario un tratamiento de desinfección y eventualmente una fluoruración.

Cuando la calidad no se ajusta a las Normas por tratarse de aguas salobres, existen diversas tecnologías de desalinización aplicables, entre las cuales las de utilización de membranas son las de mayor desarrollo en los últimos tiempos.

En el caso de la presencia de elementos críticos específicos pueden analizarse las siguientes alternativas:

- Reducir los elementos críticos a niveles aceptables de potabilidad, a través de los tratamientos especiales apropiados para cada caso, como por ejemplo la filtración directa para la reducción de arsénico con oxidación previa, la utilización de filtros con hueso molido para la reducción de flúor, la aeración para la reducción de hierro, etc.
- Reducir todos los minerales presentes en el agua, ya sean críticos o no críticos con las tecnologías de desalinización, como por ejemplo, las de membranas.

Para el caso de aguas subterráneas además puede plantearse, por razones económicas, la necesidad de tratar parcialmente el volumen de agua captada, dividiendo el abastecimiento en agua para consumo humano y agua para otros usos. La primera debe reunir todos los requisitos de potabilidad establecidos en las Normas de aplicación, mientras que la segunda puede no cumplirlos, si bien de todas maneras como mínimo debe asegurarse su adecuada desinfección.

El detalle de las tecnologías mencionadas, puede verse en los Capítulos VIII “Tratamientos Especiales” y X “Desinfección” de las presentes Fundamentaciones.

4. TRATAMIENTOS PARA AGUAS SUPERFICIALES

4.1. PRETRATAMIENTOS

En muchos casos los procesos de potabilización de aguas de origen superficial requieren de unidades de pretratamiento para evitar obstrucciones y problemas que puedan complicar el funcionamiento previsto del sistema de potabilización seleccionado.

Los pretratamientos más comunes se basan en la remoción por medios físicos y son:

Desbaste

Para la remoción de elementos gruesos que pueda arrastrar el agua y que puedan afectar u obstruir los equipos y conducciones aguas abajo. Esto se consigue mediante la interposición de rejillas.

Desengrasado o desaceitado

Los aceites y grasas también pueden crear problemas en el tratamiento previsto, aunque debe señalarse que en general no es común su presencia en el agua cruda. Generalmente son más livianos que el agua y por lo tanto tienden a subir a la superficie. En consecuencia, debe buscarse para su separación reducir la velocidad del flujo e interponer un tabique que permita el paso del agua por debajo y retenga esas materias en la superficie para ser posteriormente evacuadas.

Tamizado

Es una filtración sobre mallas dispuestas generalmente sobre tambores cilíndricos. Pueden distinguirse el macrotamizado y el microtamizado. En el primer caso, se pueden retener partículas de hasta 0,3 mm lo que permite remover insectos, residuos y algas. En el segundo, se pueden retener partículas de hasta 100 micrones, lo que permite remover plancton.

Desarenado

Tiene por objeto retirar del agua cruda la grava, arena y partículas relativamente finas, para evitar la sedimentación de las mismas en las conducciones, proteger los equipos y mejorar la eficiencia del sistema de potabilización.

Sedimentación simple

Para aguas con turbiedades altas de hasta 500 UT o picos estacionales que de tal manera no puedan ser tratados directamente por filtración lenta, o si se comprueba que mediante su utilización se economiza coagulante y se optimiza el proceso de filtración rápida, puede analizarse el diseño de un sedimentador simple cuando ensayos del agua cruda indiquen que se puede lograr una separación de partículas finas por medios físicos (sedimentación en un tiempo razonable con 1 a 3 hs de permanencia).

Tiene como desventaja el costo de inversión, debido a la envergadura de la obra civil necesaria.

La eficiencia a considerar en las condiciones expuestas depende del tipo de partículas en suspensión ya que no sedimentan las partículas coloidales.

Filtración gruesa en mantos de grava y arena gruesa o prefiltración

Es una alternativa a la sedimentación simple. Conviene evaluar la conveniencia de su utilización como etapa previa a la filtración lenta para reducir la turbiedad del agua cruda a niveles compatibles con este proceso, especialmente en el caso de picos estacionales de turbiedad.

4.2. FILTRACIÓN LENTA

La filtración lenta convencional sin pretratamiento, es aplicable para el caso de aguas superficiales cuando en el 80 % del tiempo el color aparente y la turbiedad no excedan respectivamente 20 UC y 20 UT. Este sistema también permite la retención de hierro y manganeso dentro de ciertos límites. La presencia de Fe y Mn generalmente no involucra quejas de los usuarios. El filtro lento se caracteriza específicamente por su alta eficiencia en la remoción de microorganismos.

No debe utilizarse la filtración lenta con dosificación de productos químicos. Sólo en caso de emergencia puede utilizarse un proceso de coagulación-floculación-decantación, con un presedimentador previo a la filtración para picos excepcionales de turbiedad.

La filtración lenta se caracteriza por los menores costos de operación y los mayores costos de inversión respecto a la filtración rápida. Debe considerarse que en la filtración lenta se requiere un área por lo menos 20 veces mayor, lo cual limita su campo de aplicación en grandes poblaciones.

Para aumentar el rango de aplicación en cuanto a la calidad de agua cruda y facilitar la operación de limpieza, se puede prever la incorporación de mantas sintéticas.

Asimismo, la variabilidad estacional de la turbiedad del agua cruda puede hacer necesaria la previsión de un pretratamiento, constituido usualmente por un filtro grueso de grava y arena gruesa o, eventualmente por un presedimentador.

Las distintas alternativas disponibles, en función de las características del agua cruda, para un proceso de potabilización mediante filtración lenta, pueden sintetizarse así:

Parámetros básicos del agua cruda	Valores máximos para tecnologías sin coagulación química				
	Filtración lenta solamente	Filtración lenta con mantas sintéticas	Filtración gruesa + filtración lenta	Filtración gruesa + filtración lenta con mantas sintéticas	Filtración dinámica de grava + filtración gruesa + filtración lenta con mantas sintéticas
	FL solamente	FL con MS	FG + FL	FG + FL con MS	FD + FG + FL con MS
Turbiedad (UT)	10	10	25	50	100
Color verdadero (ua)	5	5	5	5	10
DBO ₅ (mg/L)	5	5	10	10	10
Coliformes totales (NMP/100 ml)	1.000	2.000	5.000	10.000	20.000
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	500	500	1.000	3.000	5.000
Densidad algal (UPA/ml)	250	250	1.000	1.000	2.000
Oxígeno disuelto (mg/L)	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4	≥ 4
Hierro total (mg/L)	1	3	3	3	3
Manganeso (mg/L)	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5
Sustancia potencialmente perjudicada a la salud pública	Corresponden a valores máximos establecidos en Normas de Potabilización				

Fuente: “Métodos y Técnicas de Tratamiento de Agua” de Luis Di Bernardo (Publicación patrocinada por ABES-Brasil-1993).

Referencias:

- FD: filtración dinámica con manto de grava.
- FG: filtración gruesa con manto de grava o arena gruesa.
- FL: filtración lenta de arena, con o sin manta sintética sobre la superficie filtrante.
- MS: manta sintética.
- D: desinfección del efluente filtrado que debe aplicarse en todos los casos.
- N: neutralización del pH cuando los valores superen o sean inferiores a los límites establecidos en Normas de Potabilización.

Nota: En todos los casos la concentración del hierro debe ser $F_e \leq 1$ mg/l y del manganeso $M_n \leq 0,2$ mg/l

Tabla 1. Tecnologías aplicadas para tratamiento sin coagulación química, de acuerdo a los parámetros básicos máximos del agua cruda

Filtración dinámica

Es un caso particular de la filtración lenta, aplicable a pequeñas poblaciones necesitándose de un caudal disponible de alimentación diez veces mayor que el caudal a filtrar.

Resulta, en consecuencia, un mayor costo de los canales y conductos que conducen el líquido hasta el filtro, de la necesidad de contar con una fuente de mayor capacidad y de derivar los excedentes. Estas circunstancias pueden comprometer la factibilidad económica del proyecto en especial si la captación se encuentra alejada de la planta.

En relación a los filtros lentos, debido al sistema de autolimpieza superficial los filtros dinámicos pueden admitir turbiedades más altas.

De la observación efectuada en filtros dinámicos en operación y en la investigación efectuada en La Rioja, que se detalla en el Capítulo VII – Plantas de Potabilización, Numeral 4 – Filtración Lenta, el campo de aplicación está dado para:

- Turbiedad no superior a 50 UT durante la mayor parte del año, con picos no mayores a 150 UT en cortos períodos.
- Color no superior a 30 UC y eventualmente 50 UC en cortos períodos.
- Coliformes fecales: acepta valores relativamente elevados del orden de 10^3 / 100 ml ya que el sistema ha demostrado ser eficiente en la reducción bacteriana.

4.3. FILTRACIÓN RÁPIDA

Existe la posibilidad de seleccionar diversas tecnologías de tratamiento en función de las características del agua cruda, de su variabilidad a lo largo del año y de la capacidad técnica del personal a cargo de la operación de la planta, que pueden sintetizarse así:

Parámetros del agua cruda		Frecuencia del período en un año %	Tecnología de Tratamiento con Filtración Rápida				
			Convencional (coagulación, floculación, sedimentación y filtración rápida descendente)	Directa descendente	Directa ascendente	Directa ascendente – descendente con manto de:	
						Arena gruesa	Grava
Turbiedad T (UT)		80	≤ 800	-	-	-	-
		90	≤ 1000	-	≤ 25	≤ 50	≤ 100
		95	-	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200
		100	≤ 1500 (a)	≤ 100 (d)	≤ 100	≤ 200	≤ 250
Color C (UT)		80	≤ 70	-	-	-	-
		90	≤ 150	-	≤ 20	≤ 50	≤ 100
		95	-	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200
		100	-	≤ 50 (e)	≤ 100	≤ 200	≤ 250
Coliformes (NMP/100 ml)	Totales (CT/100 ml)	95	≤ 3000	≤ 500	-	-	-
		100	≤ 3000	≤ 2500	≤ 5000	≤ 20000	≤ 20000
	Fecales (CF/100 ml)	95	≤ 600 (b)	≤ 100	-	-	-
		100	≤ 600 (b)	≤ 500	≤ 1000	≤ 5000	≤ 5000
Concentración de algas (UPA/ml))		90	(c)	≤ 500	-	-	-
		100	(c)	≤ 1000	≤ 500	≤ 2500	≤ 5000

- (a) Para turbiedad $T > 1500$, presedimentar (sedimentación natural) en embalses naturales: estanques lagunas, embalses, etc.
- (b) Para coliformes fecales $CF > 600$ NMP/100 ml se debe preclorar y para $CF > 10.000$ NMP/100 ml se debe cambiar de fuente.
- (c) Sin restricciones.
- (d) Para el color verdadero inferior a $d = UC$: turbiedad $T \leq 200$ UT.
- (e) Para turbiedad inferior a $T = 5$ UT : color verdadero $C \leq 100$ UC.

En caso de que algún parámetro supere normalmente el valor máximo admitido, debe cambiarse la fuente o establecer un riguroso control en el caso de los coliformes, especialmente cuando se tenga más de $CF = 4.000$ NMP/100ml. Cuando el límite máximo de los coliformes fecales no es superado, pueden incrementarse los valores límites máximos de los coliformes totales.

Tabla 2. Selección de la Tecnología de Tratamiento con Filtración Rápida, de acuerdo a los valores límites de los parámetros del agua cruda, según la frecuencia en estudio

Filtración a presión

El principio de funcionamiento y el campo de aplicación es similar a los filtros rápidos abiertos salvo en la presión a que está sometida el agua que filtra. Con un único equipo de bombeo se puede cumplir la etapa de filtración y la aducción a la reserva de agua tratada.

La decisión respecto a la selección de la filtración a presión o la filtración rápida abierta debe basarse en consideraciones económicas y en la evaluación de la sostenibilidad de acuerdo a los criterios ya detallados.

4.4. DESINFECCIÓN FINAL

En cualquier caso, con o sin pretratamiento previo, debe desinfectarse el efluente filtrado.

4.5. NEUTRALIZACIÓN DEL PH DEL EFLUENTE FILTRADO

Cuando en el tratamiento se incorpore coagulante, a fin de evitar el ataque a las instalaciones metálicas, se debe corregir el pH llevándolo mediante alcalizaciones a valores cercanos a 8.

5. TRATAMIENTOS ESPECIALES

Existen casos particulares de determinados elementos, cuya presencia compromete la seguridad desde el punto de vista sanitario del agua de consumo o la aceptación por parte de los usuarios. Los casos más característicos se resumen a continuación y el detalle de cada solución ha sido desarrollado ampliamente en el Capítulo VIII de las presentes Fundamentaciones.

Olores y sabores

La presencia de algunas sustancias químicas como el ácido sulfhídrico o determinadas especies de algas pueden hacer superar los límites de olor y sabor establecidos en las normativas de aplicación.

La aeración, la pre o postcloración y la utilización de carbón activado pueden constituir soluciones a considerar, así como también otras que cuenten con suficientes antecedentes exitosos de aplicación.

En todas las plantas que traten aguas superficiales, particularmente aquellas que se alimentan de lagos o embalses, deben preverse instalaciones para la adición de productos químicos que permitan controlar la eventual aparición de olores y sabores desagradables. La adición de los productos debe hacerse antes de otros procesos de tratamiento, de manera de asegurar un tiempo de contacto adecuado para un uso efectivo y económico de los mismos.

Color

El color de las aguas puede deberse a la presencia de iones metálicos naturales, materia orgánica natural y efluentes industriales.

La presencia de color puede producir el rechazo del agua por los consumidores y cuando es debido a materia orgánica natural debe considerarse la posibilidad de que se formen subproductos indeseables durante la desinfección.

El color se remueve con coagulantes metálicos como Al (III) y Fe (III). Los procesos de coagulación son complejos y se requiere alcanzar pH más bajos que los necesarios para remover turbiedad.

Algas

Al margen de la constante vigilancia y limpieza del sistema para evitar su proliferación, puede considerarse la aplicación de algún alguicida como el sulfato de cobre u otros que no generen perjuicios a la salud de los consumidores.

Descarbonatación

La descarbonatación con cal es el más generalizado método para la reducción de la dureza bicarbonatada o dureza natural del agua.

Utilización de membranas

La utilización de membranas es el método actualmente utilizado para aguas salobres, no resultando competitivas por lo general otras tecnologías tales como la destilación y el intercambio iónico. Las de mayor aplicación para aguas de consumo en la actualidad son la electrodiálisis y la ósmosis inversa.

En general por razones económicas, la primera es más conveniente para tenores de sales de hasta 3000 mg/l, mientras que la segunda se utiliza para valores mayores.

En la **Tabla 3** se pueden apreciar los distintos tipos de membranas y su campo de aplicación.

	Electrodiálisis	Ósmosis inversa	Nanofiltración	Ultrafiltración	Microfiltración
Tipo de partículas a remover	Sólidos en solución	Sólidos en solución	Pequeñas partículas orgánicas	Grandes partículas orgánicas	Coloides
Tamaño de partículas a remover	> 0,0001µm	> 0,0001µm	> 0,001µm	> 0,01µm	> 0,1µm

Tabla 3. Utilización de membranas en la potabilización de aguas salobres

Debe tenerse muy presente al evaluar la factibilidad de aplicación de estas tecnologías, el análisis sobre la sostenibilidad del sistema de acuerdo a lo expuesto más arriba.

Por otra parte, resulta de fundamental importancia el conocimiento detallado del agua a tratar, no solamente desde el punto de vista de los contaminantes a remover sino también de los elementos que puedan interferir el proceso. Al respecto, debe prevenirse mediante un pretratamiento la incrustación de las membranas, el ensuciamiento y el ataque bacteriano o químico.

Filtración directa con mantos convencionales, especiales y patentados

Puede utilizarse para el caso de presentarse un agua con elementos tóxicos específicos tales como flúor o arsénico, sin haber un tenor de sales totales que exceda los límites para el agua de consumo establecidos en las Normas de aplicación. También puede utilizarse para la remoción de hierro y manganeso.

Para el proceso valen los criterios expuestos en las presentes Fundamentaciones, pudiendo necesitarse un pretratamiento para la oxidación del tóxico, (por ejemplo la cloración para la oxidación del arsénico, de As^{+3} a As^{+5}), con la finalidad de disminuir su solubilidad, facilitándose así su remoción posterior en el filtrado.

Para el flúor es común la utilización de mantos de hueso molido, lo que puede verse en detalle en el Proyecto Típico correspondiente.

Reducción de flúor

Varias técnicas de tratamiento para reducir flúor han sido estudiadas, entre las cuales se pueden mencionar: ablandamiento con cal, coagulación con aluminio, alúmina activada, resinas de intercambio iónico, ósmosis inversa, hueso molido, etc.

A la hora de definir la alternativa más adecuada se debería tener en cuenta también que algunos procesos (resinas de intercambio, ósmosis inversa) pueden ser útiles si al mismo tiempo se necesita desmineralizar el agua o reducir otros elementos, pero podrían ser más costosas que los tratamientos específicos para remoción de flúor solamente, como el de hueso molido.

Reducción de arsénico

Vale lo expresado en el párrafo anterior, salvo en lo referido al sistema de hueso molido, que es aplicable sólo al flúor.

Reducción de hierro y manganeso

En las aguas superficiales, el hierro y el manganeso se encuentran generalmente en estado oxidado y precipitado, por lo que se pueden eliminar por los tratamientos clásicos de clarificación.

En las aguas subterráneas en cambio se requiere un tratamiento específico.

Los métodos empleados para la remoción de hierro y manganeso se pueden encuadrar en dos grandes grupos: métodos físico-químicos convencionales y métodos biológicos.

Entre los métodos físico-químicos pueden mencionarse:

- Formación de precipitado y filtración, transformando mediante oxidación la forma soluble de ambos metales en la forma insoluble, para su posterior separación. La oxidación puede lograrse por aeración o mediante un agente químico.
- Remoción sub-superficial por infiltración, inyectando agua libre de hierro y saturada con oxígeno en el suelo a través de un pozo, lográndose así posteriormente extraer del mismo pozo mayor cantidad de agua libre de hierro.
- Estabilización con polifosfatos.
- Intercambio iónico.
- Ablandamiento.

Ablandamiento

Consiste en la remoción de compuestos de calcio y magnesio que se encuentran en solución en el agua. Estos compuestos provocan dureza.

El objeto del ablandamiento es eliminar las sales que producen la dureza a fin de reducirla a valores que permitan el control de la formación de incrustaciones, reducir la corrosión y mejorar la calidad del agua para diversos usos.

Los métodos de ablandamiento normalmente utilizados son:

- Utilización de cal-soda.
- Intercambio iónico.

Intercambio iónico

Se utiliza para remover aniones y cationes a través del pasaje de la corriente de agua por un lecho constituido, generalmente por resinas orgánicas sintéticas que tienen la capacidad de intercambiar un ión con dicha corriente. Como la reacción es reversible una vez que el lecho se saturó, puede regenerarse. Haciendo pasar aguas mineralizadas sucesivamente a través de lechos aniónicos y catiónicos o por lechos mixtos se puede obtener agua libre de sales.

Aeración

La aeración se utiliza como un proceso destinado a mejorar el sabor, optimizar el proceso de tratamiento o remover trazas de sustancias volátiles que el agua contiene.

Para ello se emplean sistemas de contacto gas-líquido que mejoran la transferencia de compuestos volátiles de la fase líquida a la gaseosa.

Los equipos utilizados pueden clasificarse en:

- Inyección de agua en aire.
- Inyección de aire en agua.

Adsorción

Durante muchos años la adsorción se empleó en la elaboración de alimentos y bebidas para la decoloración de soluciones. Actualmente debido al creciente nivel de exigencia en la calidad del agua de consumo tiene también aplicaciones muy importantes en el tratamiento de agua.

El carbón activado tanto en polvo como granular se utiliza para absorber moléculas que causan problemas de sabor, olor y color así como de mutagenicidad y toxicidad. Asimismo la utilización de resinas específicas puede ser un método adecuado para la remoción de cierto tipo de moléculas orgánicas.

Oxidación química

La oxidación química es un método comúnmente utilizado que permite, entre sus muchas aplicaciones, efectuar un control del desarrollo biológico en las instalaciones, remover olor, color y sabor, reducir la concentración de contaminantes orgánicos, precipitar metales, favorecer la coagulación, fomentar la nitrificación del NH_3 así como proveer un nivel de desinfección en los sistemas de distribución de agua.

Los oxidantes químicos pueden ser incorporados en distintos momentos durante el proceso de tratamiento dependiendo de los fines que se persigan.

Tradicionalmente el oxidante más utilizado en el tratamiento de agua ha sido el cloro.

6. ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO

La selección de los tratamientos debe realizarse en base a una metodología de selección que asegure que los procesos adoptados sean compatibles con las características del agua de la fuente seleccionada y con el grado de desarrollo socioeconómico existente en la localidad en estudio, con el objetivo de contar con proyectos de una tecnología apropiada, adecuada a la capacidad de los recursos locales que permitan construirlos, operarlos y mantenerlos correctamente.

6.1. SELECCIÓN TÉCNICA DE LOS PROCESOS CONSIDERANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE DE AGUA

El factor que más influencia tiene en el proceso de selección de métodos a ser utilizados en una planta de tratamiento es la calidad del agua cruda y el nivel del producto final es decir el agua tratada.

A continuación se puede observar en las **Tabla 4**, una clasificación preliminar de aguas crudas para ser sometidas a tratamientos de potabilización.

Puede darse el caso de tener que utilizar procesos de tratamiento complejos debido a la calidad del agua cruda disponible. A modo de ejemplo se puede ver la **Tabla 5**, donde se especifican distintas tecnologías de tratamiento posibles en función de las características físico – químicas del agua cruda.

Contaminante o característica	Tipo de Agua Cruda según ABTN (d)			
	A	B	C	D
<i>DBO (mg/L):</i> -Promedio mensual -Máximo (cualquier muestra)	< 1,5 3,0	1,5-2,5 4,0	2,5-4,0 6,0	>4,0 >6,0
<i>Coliformes Totales (NMP/100 ml):</i> -Promedio mensual -Máximo día	50-100 > 100 (a)	100-5000 > 5.000 (b)	5.000-20.000 > 20.000 (c)	> 20.000 -
<i>pH:</i> -Promedio	5-9	5-9	5-9	,8-<10,3
<i>Cloruros (mg/L):</i> -Máximo	< 50	50-250	250-600	>600
<i>Fluoruros (mg/L):</i> -Máximo	< 1,5	1,5-3,0	> 3,0	-

(a) En menos del 5% de las muestras examinadas.

(b) En menos del 20% de las muestras examinadas.

(c) En menos del 5% de las muestras examinadas.

(d) ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas (Proyecto de Plantas de Tratamiento para Abastecimiento Público (1989).

TIPO A: Aguas superficiales o subterráneas provenientes de áreas sanitariamente protegidas que exigen únicamente desinfección y eventualmente corrección del pH a fin de cumplir con Normas de Calidad del agua potabilizada.

TIPO B: Aguas superficiales o subterráneas provenientes de áreas no protegidas sanitariamente que no exigen coagulación química y que deben tratarse con las siguientes tecnologías a fin de cumplir con Normas de Calidad:

- sedimentación preliminar para aguas con contenido de sólidos sedimentables que deben ser removidos previamente.
- Filtración, precedida o no de sedimentación, cuando la turbiedad y color aparente son inferiores respectivamente a 40 UT y 20 UC.
- Desinfección final y eventualmente corrección del pH.

TIPO C: Aguas superficiales o subterráneas provenientes de áreas no protegidas sanitariamente que exijan coagulación química, seguida de los siguientes procesos; sedimentación o no, filtración rápida, desinfección y corrección del pH.

TIPO D: Aguas superficiales subterráneas provenientes de áreas no protegidas sujetas a contaminación y que requieren el tratamiento mínimo del TIPO C y tratamiento complementario, apropiado para cumplir con las Normas de Calidad.

Tabla 4. Clasificación de aguas crudas para potabilización

Características Físicas y Químicas (1)										
Clases	Bacteriológicos NMP de bacterias coli en 100 mL	Turbiedad	Color	Fe	Sólidos Totales	Cloruros	Dureza	Plancton y Material Suspendido	Tratamientos mínimos posibles	Observaciones
I	< 2,2	< 25	< 50	< 1,0	< 1.500	< 600	< 250	Insignificante (2)	No necesarios (3)	Fuentes subterráneas
II	< 2,2	< 25	< 50	< 1,0	< 1.500	< 600	< 250	Insignificante	Cloración	
III	< 50	< 25	< 50	< 1,0	< 1.500	< 600	< 250	Excesivos	Microtamizado y cloración	Lagos Represas
IV	< 50	< 25	< 50	< 1,0	< 1.500	< 600	< 250	Insignificante	Remoción Hierro y cloración	
V	< 50	< 25	< 50	< 1,0	< 1.500	< 600	> 250	Insignificante	Reducción dur. y cloración	Pozos
VI	< 1.000	< 25	< 70	< 2,5	< 1.500	< 600	< 250	Insignificante	Filtración lenta y cloración	
VII	< 5.000	< 75	(4)	< 2,5	< 1.500	< 600	< 250	Insignificante (5)	Filtración ascend. y cloración	Represas
VIII	< 20.000	< 250	(4)	< 2,5	< 1.500	< 600	< 250	Insignificante	Coagulación, decantación y filtración rápida	Aguas superficiales
IX	< 20.000	< 250	(4)	> 2,5	< 1.500	< 600	< 250	Insignificante	Aeración – coagulación – decantación.	Aguas superficiales
X	< 20.000	< 250	(4)	< 2,5	< 1.500	< 600	< 250	Insignificante	Filtración rápida, cloración Presedimentación – coagulación	Ríos muy turbios
XI	< 20.000	> 250	(4)	< 2,5	< 1.500	< 600	> 250	Insignificante	Decantación Filtración rápida, cloración Coagulación, decantación, filtración	Aguas superficiales
XII	< 20.000		O con tóxicos encima de los límites						Reducción dureza cloración Caso especial (6)	

Fuente: Técnica de Abastecimiento e tratamiento da água, Volumen 2, CONVENIO CETESB - ABES

(1) Los límites para tóxicos deberán ser satisfechos

(2) El exceso de plancton (de algas) o de materiales discretos en suspensión, generalmente originados en lagos y represas, deberá ser evaluado por el especialista.

(3) La cloración podrá ser consignada

(4) No son indicados límites

(5) Con la presencia de cercarías de equistosomas se recomienda doble filtración

(6) Casos especiales deberán ser examinados aparte por especialistas

Tabla 5. Clasificación preliminar de aguas brutas en relación a los procesos de tratamiento

6.2. CAPACIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA FUENTE

Es de vital importancia realizar el análisis de la capacidad de la fuente (Ver Capítulo IV Estudios de Fuentes y Captaciones Superficiales de las presentes Fundamentaciones). Este puede ser un factor limitante. Puede darse una fuente de calidad óptima y poca capacidad o bien una fuente de menor calidad y gran disponibilidad a lo largo del período de diseño. Se debe realizar un análisis de costos previo a seleccionar la fuente adecuada.

6.3. SELECCIÓN DE PROCESOS CONSIDERANDO LAS CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LA LOCALIDAD

A partir de la consideración de las características de la localidad y de indicadores socioeconómicos y tecnológicos, se puede determinar la capacidad de los recursos locales y compararlos con los requerimientos de los diversos procesos de tratamiento posibles en función de los recursos humanos y materiales necesarios para cada alternativa que pueda ser planteada.

El proyectista deberá determinar, en cada caso, el método más idóneo que le permita identificar el o los procesos que pueden considerarse adecuados para la capacidad existente en la localidad. Estos procesos no necesitan ser de alta o baja tecnología, sino específicamente de una tecnología apropiada a la capacidad y grado de desarrollo existente.

Se resume una metodología desarrollada en la Universidad de Oklahoma con el auspicio del AID, y la colaboración de diversos organismos internacionales, tales como el CEPIS/OPS en América Latina, el Centro Internacional de Referencia / OMS de Holanda, las Universidades de Delft, Nairobi, América de Beirut y varios otros.

Las principales etapas se pueden sintetizar en la forma que se indica en la **Figura 1**.

6.3.1. Fase Inicial

En esta fase se debe recopilar información de base referente a:

1). Datos demográficos

En base a estos datos se calcula la proyección de población según lo desarrollado en el Capítulo II - Estudios Previos Numeral 3 Estudios Demográficos de estas Fundamentaciones.

2). Capacidad del sistema

Para determinar la capacidad del sistema se debe elaborar un Estudio de Demanda a partir de la proyección de población y el período de diseño establecido. Se puede disponer entonces de los datos necesarios para calcular la capacidad del sistema.

3). Calidad del agua cruda

Se debe conocer las características del agua cruda de la principal fuente posible de abastecimiento, o de fuentes alternativas según el caso. (ver Capítulo III Criterios de Calidad de Agua de las presentes Fundamentaciones). Además se debe determinar sus variaciones durante por lo menos, de un año hidrológico, que resulta de fundamental importancia para el fin buscado.

4). Calidad de agua para consumo humano exigido por la normativa vigente

Se deben definir las principales características físicas, químicas y bacteriológicas, exigidas por las normas vigentes en la zona del estudio y en caso de no existir, por la norma nacional aplicable y en su defecto por las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. con el objetivo de conocer las limitaciones desde el punto de vista de la tecnología de tratamiento a utilizar. (Ver Capítulo III – Calidad de Agua de las presentes Fundamentaciones).

5). Factores técnico sociales

La información sobre las características técnico sociales de la localidad debe servir para determinar las condiciones socioeconómicas y por ende el nivel técnico social.

El nivel técnico social se determina asignando un factor de peso, según la **Tabla 6**, a cada factor técnico social considerado. Luego de determinado el puntaje total como suma de los puntajes parciales asignados, se clasifica la localidad según su nivel técnico social según los valores de la **Tabla 7**.

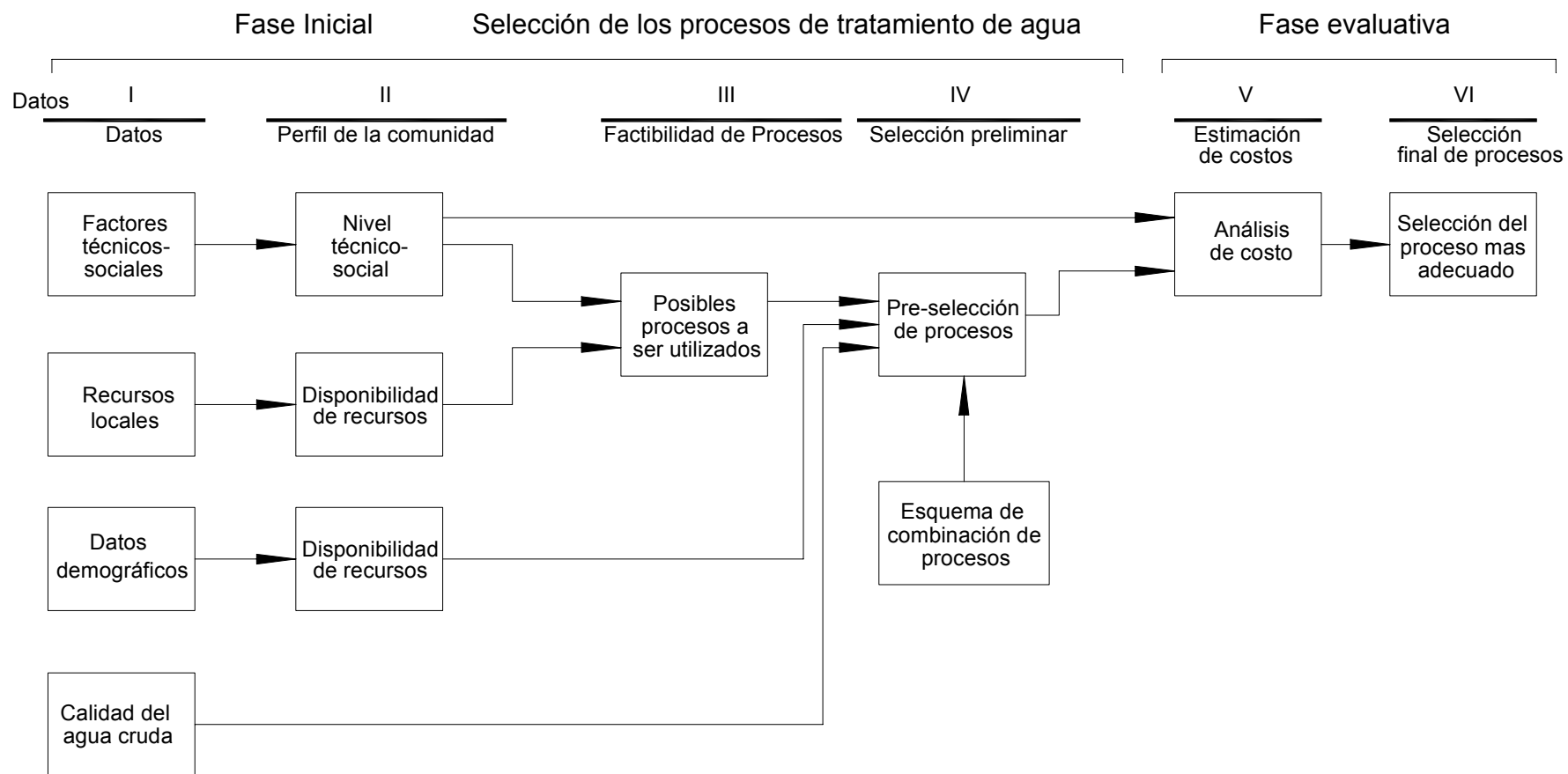


Figura 1. Selección de proceso de tratamiento de agua

Número	Factor técnico - sociales	Selecciones posibles	Factor de peso
1	Nivel de educación	1	0
		2	5
		3	10
		4	15
2	Distribución de fuerza laboral	1	0
		2	5
		3	10
		4	15
3	Nivel de ingresos	1	0
		2	4
		3	8
		4	12
4	% de trabajadores extranjeros	5	15
		1	4
		2	3
		3	2
5	Escolaridad	4	1
		5	0
		1	0
		2	5
6	Más alto grado de enseñanza	0	0
		1 – 6	2
		7 – 10	4
		11 – 12	7
7	Distancia al colegio más cercano	12 +	10
		1	3
		2	2
		3	1
8	Educación primaria obligatoria	4	0
		1	10
		2	5
		1	5
9	Disposición de programa de entrenamiento técnico y vocacional	2	0
		1	5
		2	5
		1	10
10	Disposición de programas de entrenamiento	2	0
		1	3
		2	0
		1	10
11	Existencia de universidades	2	0
		1	3
		2	0
		1	10
12	Especialidad de ingeniería a nivel universitario (química, construcciones)	2	0
		1	3
		2	0
		1	10
13	% de desempleo	2	0
		1	3
		2	0
		1	10
14	Disponibilidad de servicios de extensión	2	0
		1	3
		2	0
		1	10
15	Disponibilidad de estudiantes universitarios	2	0
		1	3
		2	0
		1	10
16	Nivel de tecnología disponible	2	0
		1	3
		2	0
		1	10
17	Gobierno como usuario de mano de obra	2	0
		1	3
		2	0
		1	10
18	Disponibilidad de cargos públicos	2	0
		1	3
		2	0
		1	10
19	Capacidad de financiamiento	2	0
		1	3
		2	0
		1	10

Fuente: Programa Regional HPE / OPS / CEPIS de Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano – Manual II.

Tabla 6. Selección del proceso de tratamiento

Nivel técnico-social	Puntaje
1. Elemental o básico	1 - 23
2. Medio	24 - 51
3. Relativamente avanzado	52 - 93
4. Avanzado	94 - 133

Tabla 7. Nivel técnico social

No necesariamente el proyectista debe utilizar las **Tabla 6** y **Tabla 7** precedentes, pero sí puede adecuarlas a su propia modalidad con datos obtenidos de organismos oficiales de estadísticas locales, nacionales, o encuestas de disposición de pago, etc., o utilizar otro mecanismo que le permita alcanzar el resultado buscado.

6). Recursos locales

En relación a los recursos locales (ver **Tabla 8**) es posible clasificar a las localidades en categorías diferentes, teniendo en cuenta, por ejemplo, si en las mismas se dispone de:

- Equipo para la operación de los sistemas (motores, bombas, medidores, equipos de laboratorio, etc.).
- Fabricación de materiales (tuberías, válvulas, tanques, instrumentos de medición, conexiones, etc.).
- Materiales básicos, tanto para la construcción civil (ladrillos, piedra, arena, etc.) como para las instalaciones del sistema a ejecutar (grava, arena para filtros, etc.).
- Insumos para operación y mantenimiento (coagulantes, carbón activado, cal, clorógeno, drogas para laboratorio).
- Agua subterránea o superficial (río, arroyo, lago, embalse) en caudales suficientes para atender la demanda calculada.

Categoría	Disponibilidad del recurso
1	Equipos de operación
2	Materiales elaborados
3	Materiales básicos
4	Sustancias químicas
5	Disponibilidad de agua

Tabla 8. Categorías según disponibilidad del recurso

6.3.2. Fase de Preselección de Procesos de Tratamiento de Agua

En esta etapa se deben analizar los posibles procesos de tratamiento en base a la información obtenida y a los análisis previos. Se debe tener en cuenta en primer lugar los procesos disponibles y luego las restricciones existentes para la aplicación de algunos de ellos.

7). Posibles procesos de Tratamiento de Agua a ser utilizados

En el **Tabla 9**, se correlacionan los procesos y métodos más usuales de tratamiento de agua, con sus requerimientos de recursos humanos y materiales para su adecuada construcción, operación y mantenimiento.

Recursos	Humanos			Materiales				
Métodos de tratamiento	No capacitado	Capacitado	Profesional	Operación equipos	Mantenimiento	Sustancias Químicas	Disp. de agua subterránea	Materiales
Sin tratamiento		X					X	X
Pretratamiento		X			X			
Filtración lenta		X			X			
Filtración rápida convencional		X	X	X	X	X		X
Ablandamiento		X	X	X	X	X		X
Desinfección		X		X	X	X		X
Sabor-olor-Fe, Mn		X		X	X	X		X
Desalinización		X	X	X	X	X		X

Fuente: Programa Regional HPE / OPS / CEPIS de Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano – Manual II.

Tabla 9. Procesos de tratamiento de agua con sus registros operacionales

8). Restricciones de los procesos aplicables

Nivel de desarrollo requerido

Basándose en esta correlación y en las características típicas de los diferentes grados de desarrollo de las localidades, se elaboró la **Tabla 10** en la que se indican los procesos más usuales de tratamiento de agua y el nivel mínimo de desarrollo necesario para lograr su construcción y posterior mantenimiento y operación. En los casos en que se requiera una solución tecnológica de un grado más elevado que el existente en la comunidad, es imprescindible elevar el nivel tecnológico existente capacitando personal y garantizando la disponibilidad continua de materiales y equipos.

Proceso	Nivel de desarrollo mínimo requerido	Observación
1. Sin tratamiento	I a II	Limitado por la calidad y capacidad de la fuente de agua
2. Pre –Tratamiento		
2.1 Desarenadores	I	
2.2 Sedimentación preliminar	I	
2.3 Filtración gruesa	I	
2.4 Micro – cernido	III	
2.5 Control de algas	IV	
2.6 Coagulación	III	
2.7 Floculación	III	
2.8 Sedimentación	III	
3. Filtración Lenta		
3.1 Filtros convencionales	I	
3.2 Filtros modificados	I	
3.3 Filtros de flujo ascendente	II	
3.4 Filtros dinámicos	I	
4. Filtración rápida		
4.1 Convencional	III	En caso simple hasta nivel II
4.2 De velocidad declinante	III	
4.3 Filtración directa: ascendente o descendente	IV	De velocidad declinante y de autolavado.
4.4 Filtración doble: ascendente-descendente	IV	
5. Desinfección		
5.1 Hipoclorito	I	
5.2 Cloro	III	Preferible IV
5.3 Ozono	IV	
6. Otros Procesos		
6.1 Control de olores y sabores	III	
6.2 Control de corrosión	III	
6.3 Control de algas	III	II en casos muy simples
6.4 Fluoruración	III	
6.5 Remoción de fluoruros	IV	II en casos simples
6.6 Remoción de contaminantes inorgánicos	IV	III en soluciones simples
6.7 Remoción de contaminantes orgánicos	IV	
6.8 Desalinización		
6.9 Disposición y tratamiento de lodos	IV	
6.10 Ablandamiento	IV	III en casos simples
6.11 Aeración	II	IV en casos complicados

Fuente: Programa Regional HPE / OPS / CEPIS de Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano – Manual II

Tabla 10. Restricción al uso de procesos de tratamiento de agua en función del grado de desarrollo de las localidades

A continuación se describen las características generales que tiene cada nivel de desarrollo de las localidades:

Localidades Nivel I

Las localidades del Nivel I son aquellas cuyo progreso económico y social depende del empleo continuo de recursos humanos especialmente de instituciones públicas y privadas, con recursos humanos locales insuficientes.

Normalmente, la localidad del Nivel I es básicamente de tipo agrícola y la mayor parte de la población es de tipo rural, ejecutan actividades de subsistencia que contribuyen marginalmente a una economía de mercado.

Existe normalmente falta de potencial humano de nivel medio y alto: profesional y subprofesional, administrativo, maestros, supervisores. En muchas de estas localidades el número total de personas nativas en la población que tienen educación secundaria o su equivalente es menor del uno por ciento.

En muchas comunidades del Nivel I la población deja de ser estable y empieza a aumentar de acuerdo a los progresos con la ampliación de los servicios de salud.

La educación en las comunidades del Nivel I alcanza únicamente a una pequeña fracción de la población, su calidad es baja, siendo incapaz de satisfacer aún las necesidades mínimas de recursos humanos locales de nivel medio.

En muchos casos el servicio de agua potable está a cargo del centro vecinal de la localidad y recibe apoyo técnico de empresas prestadoras zonales.

Localidades del Nivel II

En su mayoría dependen de las ciudades centrales más avanzadas para satisfacer sus necesidades de recursos humanos esenciales de ingeniería. Pero pueden producir la mayor parte de sus propios recursos humanos no técnicos de nivel medio. Entre ellos están: administradores y supervisores con algo de ayuda de organismos nacionales o de otras áreas del país. En muchas áreas, una buena parte de la población participa en actividades de subsistencia fuera de la economía de mercado. La mayoría de la población agrícola produce algunos productos básicos. En algunas áreas existe un núcleo de industria. Algunas localidades tienen fábricas de textiles y plantas manufactureras de metal ligero, mientras que otras tienen grandes compañías petroleras o mineras, la mayoría de las cuales son de propiedad nacional o de empresas extranjeras.

Los establecimientos comerciales tienen un nivel inicial desarrollado, igual a los sistemas de transporte y comunicaciones. Así pues, el sector moderno de la comunidad es más grande y más complejo que el de la comunidad del Nivel I.

En casi todas las comunidades del Nivel II existe una conciencia bien difundida de la necesidad de un rápido desarrollo económico y social. En comparación con las comunidades del Nivel I, hay una mayor participación de los habitantes en la vida política de la comunidad y por lo tanto, mayor presión para ampliar la educación y mejorar en general el nivel de vida.

En nuestro país muchas localidades de este nivel cuentan con Cooperativas de Agua Potable cuando específicamente para la atención del servicio público de agua potable su desarrollo ha tenido relación directa con el tamaño del sistema.

Localidades del Nivel III

La proporción de inscripciones en escuelas secundarias es tres veces más alta que en las comunidades del Nivel II y la inscripción en escuelas primarias es del cincuenta por ciento más. Se cuenta prácticamente con todos los recursos humanos de nivel profesional que se necesitan, salvo aquellas ocupaciones que requieren de personal técnico y científico especializado. Son de aplicabilidad las tecnologías modernas sin ayuda exterior importante.

La cantidad y calidad de recursos humanos de alto nivel en las comunidades del Nivel III es mucho menor que en las comunidades del Nivel IV. La comunidad del Nivel III es seguidora mas que originadora de innovaciones, tecnológicas y organizativas. Una localidad de este nivel tiene una amplia base de educación primaria con escuelas secundarias generalmente bien desarrolladas y probablemente en instituciones de educación superior. No se ha podido desarrollar los recursos humanos e institutos de investigación que son característicos de las comunidades del Nivel IV. En el área de recursos humanos, las instituciones, aunque capaces de satisfacer las necesidades mínimas iniciales, frecuentemente están orientadas inadecuadamente para enfrentarse al desafío que representa la rápida modernización. En algunos casos se están capacitando a demasiadas personas en campos donde hay insuficiente demanda prospectiva. La industrialización es más avanzada que en las comunidades del Nivel II. La mayoría de las localidades de Nivel III no tienen una orientación predominantemente agrícola. Por lo general están bien desarrollados el transporte, la energía y las comunicaciones. Sin embargo, existen cuellos de botella en áreas tales como producción de electricidad, servicios públicos etc.

Igual que muchas de las comunidades del Nivel I y II, algunas de las comunidades del Nivel III tienen excedentes de recursos humanos no capacitados. Generalmente los sueldos que se pagan al personal de nivel alto en la mayor parte de las comunidades del Nivel III, son suficientes como para atraer a los jóvenes a capacitarse en dichos campos.

Localidades del Nivel IV

La comunidad típica en el cuarto nivel de desarrollo de recursos humanos tiene una economía industrial avanzada. Es capaz de hacer descubrimientos e innovaciones importante de tipo científico, tecnológico y organizacional, porque cuenta con un grupo relativamente grande de recursos humanos de alto nivel, sobretodo científicos, profesionales, ingenieros, personal administrativo y gerencial. La comunidad se ha comprometido a proporcionar educación, especialmente educación superior y existen programas de desarrollo de recursos humanos en general. Ya que los rápidos cambios en la tecnología afectan las habilidades y ocupaciones en todos los niveles de la comunidad industrial avanzada, la educación y la capacitación tienden a estar dirigidas hacia la flexibilidad en lugar de hacia la especialización.

Las medidas del desarrollo educativo muestran diferencias muy pequeñas, que no dejan de ser importantes. Por ejemplo, las comunidades del Nivel IV tienen más de tres veces el número de estudiantes inscriptos en la educación de primer nivel (primaria) que las comunidades del Nivel I y que una quinta parte más que las comunidades del Nivel III.

Los porcentajes de los inscriptos en organismos educacionales, técnico y científicos son mayores, que los inscriptos en humanidades bellas artes y leyes. Finalmente, las comunidades del Nivel IV gastan una mayor parte de sus ingresos para la educación pública.

6.4. PRESELECCIÓN DE PROCESOS

Luego de definir todos los factores y las restricciones que influyen en la selección de procesos de tratamiento, el último paso de la fase inicial consiste en realizar la selección y combinación de los procesos unitarios más adecuados.

En la **Tabla 11** se puede ver como ejemplo, la metodología adoptada por el CEPIS para seleccionar procesos de tratamiento de agua, así como diferentes soluciones tecnológicas para clarificar aguas, considerando dos parámetros, turbiedad y contenido de partículas, así como también el grado de desarrollo de la comunidad. Se supone que el agua cruda cumple con los límites permisibles para el resto de las características físico-químicas y bacteriológicas, caso contrario, se debe considerar adicionalmente los procesos unitarios correctivos. Para la aplicación de este modelo, se ha considerado turbiedad originada principalmente por partículas en suspensión con un tamaño mayor a una micra, para seleccionar los procesos de componentes de plantas de filtración lenta. Aguas crudas con turbiedades originadas por partículas en estado coloidal requieren procesos correctivos en plantas de filtración rápida con la inyección de coagulantes.

6.5. FASE DE SELECCIÓN

En esta fase se debe realizar el análisis de costos y la selección final de los procesos.

A nivel de estudio de “factibilidad” se debe determinar los costos de construcción, operación y mantenimiento, con un grado de confiabilidad que permita un orden adecuado de comparación. Se deben utilizar datos de la provincia o de la región. Es muy útil utilizar funciones de costo cuando no se dispone de toda la información necesaria. Por ejemplo se pueden utilizar ecuaciones del siguiente tipo:

$$C = K Q^n \text{ (ecuación general de costos)} \quad (1)$$

$$C = \text{costo inicial}$$

$$Q = \text{capacidad de la planta en m}^3 / \text{s}$$

$$K \text{ y } n = \text{constantes que dependen de la solución tecnológica y de los valores nacionales o regionales.}$$

Clasificación de la comunidad	Capacidad de operación	Desarrollo Industrial	Turbiedad UN (Normal – Media – Máxima) y Tamaño de Partícula > 10 Micrones					
			5 – 10 – 20	30 – 50 - 100	100 – 150 - 250	250 – 750 – 1200	250 – 750 – 1500	10,000
URBANA	Sin capacidad	Sin posibilidad de prefabricación	Filtración Lenta	Filtración lenta	Sedimentación preliminar y filtración lenta	Filtración gruesa de grava + sedimentación preliminar y filtración lenta	Sedimentación estanques naturales + sedimentación preliminar y filtración lenta	Uso de otras fuentes
	Con capacidad	Sin posibilidad de prefabricación	Filtración directa descendente	Filtración directa ascendente	Filtración directa ascendente – descendente	Filtración rápida	Filtración rápida con o sin sedimentación en estanques naturales	Filtración rápida + sedimentación en estanques naturales
		Con posibilidad de prefabricación	Filtración directa descendente	Filtración directa ascendente	Filtración directa ascendente – descendente	Filtración rápida	Filtración rápida con o sin sedimentación en estanques naturales	Filtración rápida + sedimentación en estanques naturales
RURAL	Sin capacidad	Sin posibilidad de prefabricación	Desinfección	Filtración Lenta	Filtración gruesa de grava y filtración lenta	Sedimentación preliminar + Filtración gruesa de grava y filtración lenta	Sedimentación en estanques naturales + sedimentación preliminar + filtración gruesa de grava y filtración lenta	Uso de otras fuentes

Fuente: Programa Regional HPE / OPS / CEPIS de Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano – Manual II

Tabla 11. Criterios de selección de procesos de tratamiento de agua

La **Tabla 12** detalla a título de ejemplo valores de “K” y “n” estimados para América Latina, referidos a 1977.

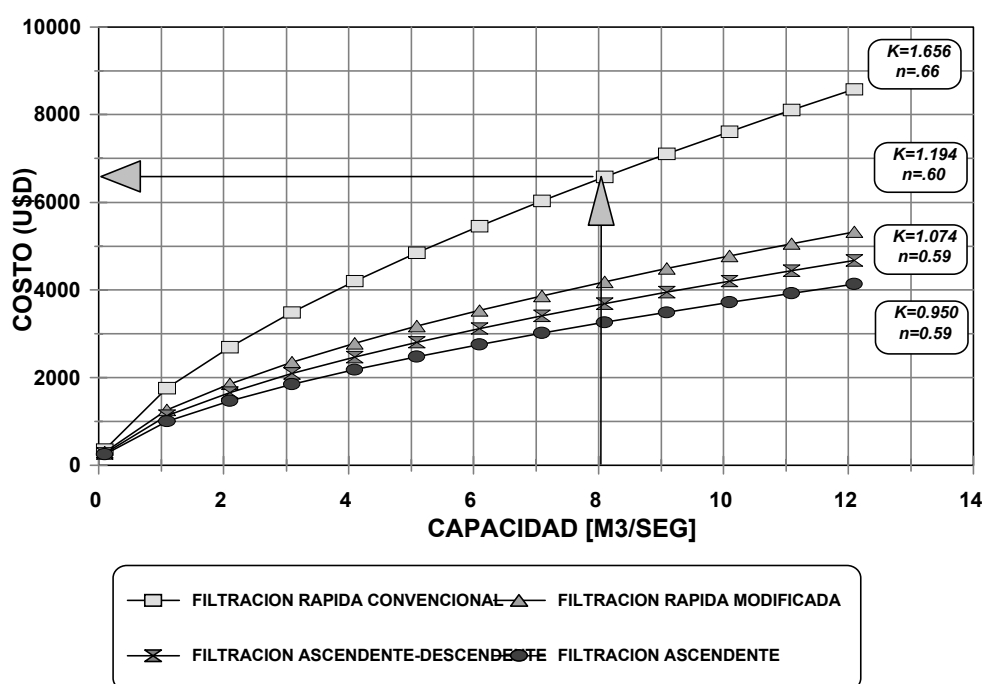
Solución	K	n
Filtración rápida convencional	1.656	0.66
Filtración rápida modificada	1.194	0.60
Filtración ascendente – descendente	1.074	0.59
Filtración ascendente	0.950	0.59

Fuente: Programa Regional OPS/EMP/CEPIS, de mejoramiento de calidad de agua para consumo humano. Módulo Selección de procesos en función del grado de desarrollo de las comunidades – Lima 1991

Tabla 12. Valores de “K” y “n” para América Latina

Si se gráfica la ecuación (1) para cada tecnología de tratamiento para lo que se requiere contar con un número suficiente de plantas que apliquen dicha tecnología con capacidades diferentes, utilizando los valores de K y n es posible obtener la **Figura 2**.

En general conviene trazar funciones de costos con valores de plantas construidas localmente y luego determinar la función a los efectos de poder calcular los costos de cada alternativa posible a ser seleccionada.



Fuente: Programa Regional OPS/EMP/CEPIS, de mejoramiento de calidad de agua para consumo humano. Módulo Selección de procesos en función del grado de desarrollo de las comunidades – Lima 1991.

Figura 2. Análisis Costo-Capacidad

En la **Figura 3** se han graficado los costos de construcción totales y unitarios respectivamente. Estas curvas se realizaron a modo de ejemplo en base a valores dados por Arboleda Valencia el año 1982 en plantas de Colombia. Una vez realizado el gráfico se puede determinar la ecuación correspondiente a la curva.

Donde:

X = capacidad

Y = costo

R = índice de correlación

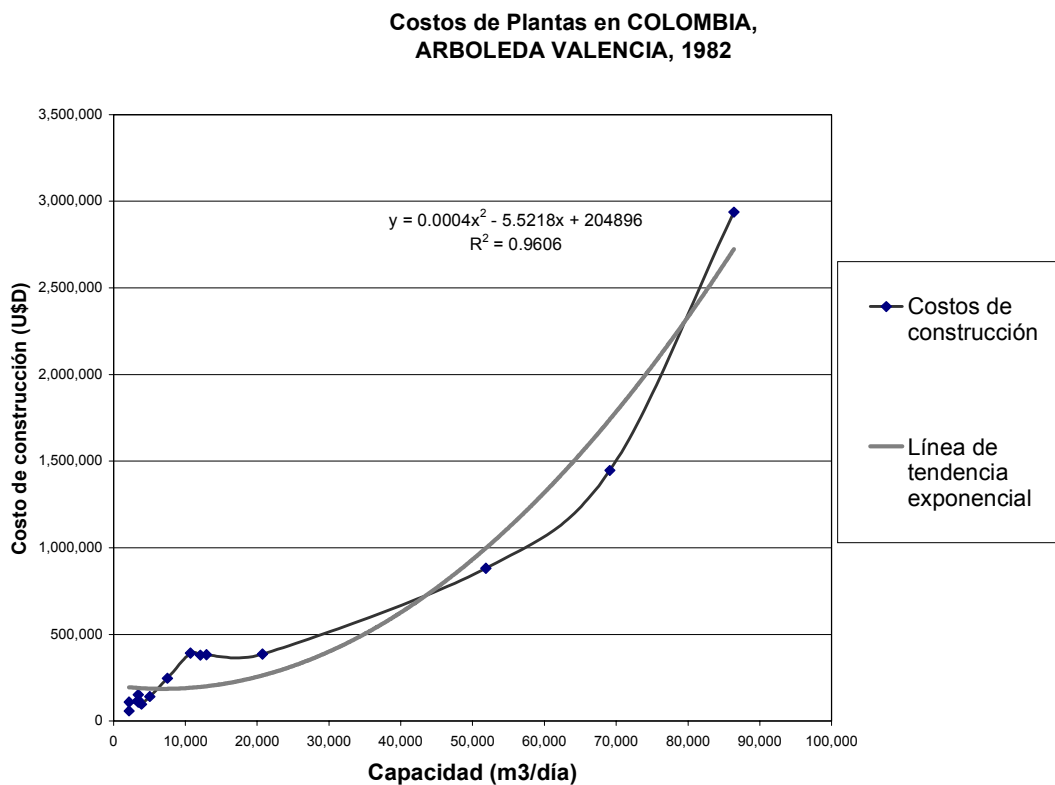


Figura 3. Costos de construcción plantas de agua potable en Colombia, Arboleda Valenciana, 1982

Otro ejemplo se puede obtener utilizando los valores recomendados por el Ing, Lauría* para construcción de plantas en Estados Unidos (consulta realizada por profesionales de Hytsa Estudios y Proyectos S. A. el Ing. D. Lauría –Junio 1999) quien planteó una ecuación del tipo:

$$C = \alpha Q^{\beta}$$

donde el costo es medido en millones de dólares y la capacidad en millones de galones por día.

El exponente $\beta = 0,7$ es llamado factor de economía de escala. Generalmente para plantas potabilizadoras este valor varía entre 0,6 y 0,8, en cualquier parte del mundo con un valor de 0,7 promedio. Este exponente mide el porcentaje de cambio en el costo por cada uno por ciento de cambio en la capacidad.

A su vez α representa el costo de una planta cuya capacidad es = 1.

* Ing. Donald Lauría. Consultor de los Organismos Internacionales de Crédito. Autor de diversos trabajos respecto a la disposición al pago por los servicios de saneamiento.

7. BIBLIOGRAFIA

- Aldo Bruno Mattion, El Proyecto en Ingeniería, El Ateneo, 1992.
- Carrion Ing. José M. Pérez, Programa Regional OPS/EHP/CEPIS de Mejoramiento de Calidad de Agua para Consumo Humano – Manual de Instrucción. Ciclo: Conceptos Generales sobre aprovisionamiento de agua – Módulo: Selección de Procesos en función del grado de desarrollo de las comunidades – 1991.
- Celia Medina Nava, Economía para Ingenieros, Alfaomega, 1992.
- Eng. Jose M de Azevedo Netto, Eng. Eduardo Ferreira Borba Junior, Eng. Tetsuaki Misawa y otros, Cetesb, Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Basico e de Controle de Poluicao das Aguas Projeto de Sistemas de Distribucao de Agua Sao Paulo, 1975 Capitulo 1.
- Enrique Cabrera, Miguel Andrés and Francisco Planells, Network maintenance through analysis of the cost water. Journal, AWWA, 1995.
- Fair, Geyer y Okun , Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales. Tomo 1, Limusa, 1997.
- Gordon M. Fair, John C. Geyer, Daniel A. Okun, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales Abastecimiento De Agua Y Remoción de Aguas Residuales, México 1968, Volumen 1.
- Hytsa Estudios y Proyectos S.A., Cofapys, Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento, Normas de Estudio, Criterios de Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales para localidades de hasta 30.000 habitantes.
- Hytsa Estudios y Proyectos S.A., Evaluación Integral de Proyectos de Agua Potable y Desagües Cloacales, Curso dictado en FENTOS año 1998.
- J. M. de Acevedo Netto – Guillermo Acosta Alvarez, Manual de Hidráulica, Harla, México 1976.
- Muñoz, Aurelio Hernández Colegio de Ingenieros, Canales y Puertos Colección Senior N° 6, Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M.) 1993 -, Abastecimiento y distribución de Agua.
- OMS, Organización Mundial de la Salud, Gestión Financiera del Abastecimiento del Agua y del Saneamiento, Manual, Ginebra, 1995.
- OMS, Organización Mundial de la Salud, Operation and Maintenance of Urban Water Supply and Sanitation Systems, A Guide for Managers, World Health Organisation, GENEVA, 1994.
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS, Diagnóstico dos Servicos de agua e Esgoto –1996, Modernização do Sector Saneamento-PMSS, Brasília Novembro 1997.
- Snap, Servicio Nacional de Agua Potable, Normas de Estudios Diseño y Presentación de Proyectos.

- Sola Berríos, Plan Estratégico para el mantenimiento de la red de agua potable, Chile, XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ambiental, La Habana, Cuba, 1992.
- Subsecretaria de Programación y Coordinación con el Sector Publico, Guía para la Evaluación de Proyectos Urbanos, Agua Potable y Alcantarillado. Documento de Trabajo SP N° 26 abril 1989. Programa de Asistencia Técnica para la Gestión del Sector Público Argentino Préstamo Banco Mundial 2712-AR.