

Nº 29
261



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL,
AVANCES Y PERSPECTIVAS

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A :
MARGARITA OLIVA CASTELAN SANCHEZ



MEXICO, D. F.

1992

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	pag.
R E S U M E N	1
1. PROBLEMATICA MUNDIAL	2
1.1 RELACION DE LA PRODUCCION MUNDIAL DE PULPA Y PAPEL	2
1.2 PROCESOS DE OBTENCION DE PULPA	14
1.2.1 Procesos químicos	14
1.2.2 Proceso al sulfito	15
1.2.3 Proceso al sulfato	15
1.2.4 Procesos semiquímicos y químico-mecánicos	16
1.2.5 Proceso mecánico	16
1.3 BLANQUEADO DE LA CELULOSA	17
1.4 FABRICACION DE PAPEL	18
1.4.1 Formación de la hoja de papel	18
2. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS: EMISIONES Y EFLUENTES	20
2.1 RESIDUOS SOLIDOS	20
2.2 EMISIONES ATMOSFERICAS	21
2.3 AGUAS RESIDUALES	21
2.3.1 INTRODUCCION	21
2.3.2 Tratamiento de efluentes de blanqueado de pulpa al sulfito	22
2.3.3 Proceso BI-VIS (pulpeo-extrusión)	22
2.3.4 Tratamiento anaerobio de efluentes de obtención de pulpa al sulfito	23
2.3.5 Tratamiento anaerobio de aguas residuales a partir de pulpa químico-termomecánica	24
2.3.6 Proceso TAMAN	25

	pag.
3. PROBLEMATICA NACIONAL	28
3.1 PRODUCCION DE PULPA Y PAPEL EN MEXICO	29
4. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA MEXICO	55
4.1 Sólidos suspendidos, coloidales y disueltos	55
4.2 Sistemas de tratamiento a nivel de laboratorio	58
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
6. AGRADECIMIENTOS	65
7. BIBLIOGRAFIA	66

INDICE DE FIGURAS

	pag.
1-1 Elementos esenciales de una máquina de papel.....	19
2-1 Diagrama del proceso Tamen de la fábrica de papel Anjala.....	27
3-1 Localización de las plantas productoras de celulosa y papel en México.....	53

INDICE DE TABLAS.

	pag.
1-1 Capacidad instalada para la producción de celulosa en Norteamérica.....	3
1-2 Producción de celulosa en Norteamérica.....	4
1-3 Proyección de la capacidad instalada para la producción de celulosa en Norteamérica.....	5
1-4 Capacidad instalada para la producción de papel en Norteamérica.....	6
1-5 Producción de papel en Norteamérica.....	6
1-6 Proyección de la capacidad instalada para la producción de papel en Norteamérica	7
1-7 Volumen y participación relativa de la producción de celulosa en países miembros de CICEPLA.....	9
1-8 Volumen y participación relativa de la producción de papel en países miembros de Cicepla.....	11
1-9 Consumo percapita de papel en países miembros de Cicepla.....	13
1-10 Procesos de obtención de pulpa.....	17
2-1 Condiciones de operación de pulpeado.....	23

2-2	Características de los efluentes de madera blanda de pulpa química-termomecánica.....	23
2-3	Composición del agua residual del proceso de producción de pulpa químico-termomecánica.....	24
2-4	Especificaciones del proceso Tamen en la fábrica de papel Anjala.....	26
3-1	Producción total de celulosa.....	29
3-2	Producción de celulosa por grupos y por entidades federativas y su participación relativa respecto del total de 1990	30
3-3	Producción de celulosa por tipos y su participación relativa.....	32
3-4	Participación relativa por grupos en la producción de celulosa.....	34
3-5	Análisis histórico en la producción de celulosa química de madera.....	35
3-6	Análisis histórico de la producción de celulosa química de plantas anuales.....	36
3-7	Análisis histórico de la producción de pasta mecánica de madera y otras celulosas.....	37
3-8	Producción total de papel.....	37
3-9	Producción total de papel por grupos y por entidades federativas y su participación relativa respecto del total de 1990	39
3-10	Participación relativa de la relación de papel por grupos.....	41
3-11	Volumen del consumo de materias primas fibrosas en la producción de papel.....	42
3-12	Participación relativa del consumo de materias primas fibrosas en la producción de papel.....	45
3-13	Exportación por tipos de celulosas.....	48

	pag.
3-14	Importación de papel por tipos.....49
3-15	Balanza comercial celulosas y pastas.....51
3-16	Papel.....52
3-17	Localización de las plantas productoras de celulosa y papel en la República Mexicana.....54
4-1	Características de aguas residuales blancas de una fábrica de papel.....59
4-2	Resumen de resultados.....59
4-3	Características de aguas blancas.....60
4-4	Velocidad de remoción de diferentes sistemas.....61

R E S U M E N

Existen estudios relacionados con la temática del tratamiento de aguas residuales de la industria de la celulosa y el papel, ya que este segmento industrial genera cantidades muy considerables de efluentes líquidos con contenidos de materia orgánica coloidal y disuelta sumamente elevados. Basta mencionar que para la industria del papel, la concentración de contaminantes está entre 30 y 60 veces la de los desagües domésticos y la degradación de esta materia orgánica por métodos biológicos es bastante menor que la de los desagües domésticos.

En el marco de un proyecto global iniciado en 1987 se estudiaron a nivel de laboratorio, diferentes sistemas aerobios y anaerobios para tratar estos efluentes. En la primera fase experimental se estudiaron sistemas aerobios aplicando los sistemas de lodos activados y de lagunas aeradas, así como el de discos rotatorios. También se realizaron en el estudio experimentos empleando sistemas anaerobios. En esta fase se utilizaron un reactor de lecho fluidificado y otro de lecho empacado de flujo ascendente. Finalmente con las mejores opciones, aerobia y anaerobia, se realizó una serie de experimentos conectándolos secuencialmente.

Con objeto de determinar el estado del arte a nivel mundial sobre estos sistemas, en esta monografía se hace una investigación bibliográfica exhaustiva sobre las fuentes de celulosa y papel en el continente americano para constatar el estado que guarda este sector industrial, así como algunos de los resultados que otros investigadores han obtenido para estos efluentes, todo esto con el propósito de ubicar la problemática ambiental de este sector y minimizar el diseño experimental a escala de planta piloto, prototipo y semiindustrial para el tratamiento de sus efluentes líquidos y obtener resultados veraces y confiables.

CAPITULO 1

PROBLEMATICA MUNDIAL

Los países del norte, que cuentan con recursos forestales, son los principales productores de pulpa de celulosa y de productos a partir de ésta (papel, cartón, etc.).

En estos países existen bosques altamente desarrollados, donde es posible una vigorosa industria de la celulosa y donde se tiene un bosque cada día mejor, debido a que el recurso forestal es renovable y puede tener una potencialidad en el tiempo, mayor que la del propio recurso petrolero, de modo que lejos de deteriorarse se incrementa la riqueza silvícola.

Existen dos tipos de industrias, de acuerdo a la naturaleza de sus procesos e instalaciones y en función de sus productos manufacturados. Estos son:

Industrias integradas.- Son aquellas que, a partir de madera, bagazo de caña de azúcar o productos vegetales anuales, fabrican papel y pulpa de celulosa en cualquiera de sus variantes.

Industrias no integradas.- Son aquellas que sólo elaboran un producto, ya sea celulosa o papel en cualquiera de sus variantes.

1.1 RELACION DE LA PRODUCCION MUNDIAL DE PULPA Y PAPEL

En las tabla 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5 y 1-6 se da una relación de la producción de pulpa y papel en los países desarrollados.

En la Tabla 1-1 se puede observar que Estados Unidos de América es el país con la mayor capacidad de producción de celulosa con relación a los demás países productores del norte con una capacidad de producción de aproximadamente dos terceras partes de la capacidad de producción total de celulosa en los países de norte América.

En la Tabla 1-2 se puede observar que la producción real de celulosa en Norte América en el periodo de tiempo de 1982 a 1990 fué mayor para los Estados Unidos de América con aproximadamente dos terceras partes de la producción total de celulosa en los países de Norte América.

En la Tabla 1-3 se observa que la proyección de la capacidad instalada para la producción de celulosa en los países de Norte América en el período de tiempo que comprende los años de 1991 a 1995 y por concepto de celulosa de madera blanca es mayor para los Estados Unidos de Norte América con aproximadamente un 80%

de la proyección de producción total de celulosa. En cuanto a la producción de celulosa de madera sin blanquear se observa una considerable diferencia de más del 90% de proyección de la capacidad instalada de celulosa en los Estados Unidos respecto de los otros países de Norte América.

En cuanto a la proyección de la capacidad instalada para la producción de celulosa de plantas anuales Canadá se encuentra con un 0% mientras que Estados Unidos y México tienen un porcentaje para cada uno de aproximadamente 50%. En cuanto a la proyección de producción de celulosa mecánica se encuentra a Canadá en el primer lugar con aproximadamente un 60% seguido por los Estados Unidos y México con un porcentaje muy pequeño. Con respecto de otras fuentes de celulosa, Estados Unidos se encuentra en el primer lugar con prácticamente el total de la producción de celulosa. En cuanto a la proyección de la capacidad instalada para la producción total de celulosa y pastas, Estados Unidos es el número uno con un porcentaje aproximado del 60% con respecto a los otros países de Norte América.

Tabla 1-1 CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PRODUCCION DE CELULOSA EN NORTE AMERICA (Miles de toneladas métricas)

PAIS	AÑOS	1982	1983	1984	1985	1986
Canadá		23,165	23,418	23,846	23,903	24,833
EE.UU.A.		50,966	50,986	51,837	53,165	54,027
México		1,023	1,078	1,068	1,035	957
TOTAL AREA		75,154	75,482	76,571	78,103	79,817

Continúa la tabla 1-1

PAIS	AÑOS	1987	1988	1989	1990
Canadá		24,740	25,021	26,030	26,525
EE.UU.A.		55,170	56,860	58,322	59,425
México		947	1,060	1,029	1,139
TOTAL AREA		80,857	82,941	85,381	87,089

Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (Memoria estadística 1991)

Tabla 1-2 PRODUCCION DE CELULOSA EN NORTEAMERICA
(Miles de toneladas)

PAIS	AÑOS	1982	1983	1984	1985	1986
Canadá		17,140	19,396	20,329	20,419	21,688
EE.UU.A.		44,755	47,568	50,323	49,144	51,726
México		748	760	801	820	773
TOTAL AREA		62,643	67,724	71,453	70,383	74,187

Continúa la Tabla 1-2

PAIS	AÑOS	1987	1988	1989	1990
Canadá		23,013	23,679	23,708	22,835
EE.UU.A.		54,026	55,530	56,244	57,214
México		781	809	799	772
TOTAL AREA		77,820	80,018	80,751	80,821

Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del
Papel (Memoria estadística 1991)

Tabla 1-3 PROYECCION DE LA CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PRODUCCION DE CELULOSA (Miles de toneladas métricas)

CONCEPTO	AÑOS	1991	1992	1993	1994	1995
CELULOSA DE MADERA BLANCA						
Canadá		11,374	11,675	11,710	11,748	11,748
EE.UU.A.		27,774	29,045	29,463	29,697	29,697
México		262	248	268	268	268
Total área		39,410	40,968	41,441	41,713	41,713
CELULOSA DE MADERA SIN BLANQUEAR						
Canadá		2,523	2,447	2,444	2,446	2,446
EE.UU.A.		21,443	21,648	21,363	21,401	21,401
México		232	230	230	230	230
Total área		24,198	24,325	24,037	24,077	24,077
CELULOSA DE PLANTAS ANUALES						
Canadá		--	--	--	--	--
EE.UU.A.		325	327	327	327	327
México		306	317	321	324	324
Total área		631	644	648	651	651
PASTA MECANICA*						
Canadá		13,417	13,746	13,964	14,055	14,055
E.U.A.		10,736	10,778	10,717	10,719	10,719
México		281	281	281	281	281
Total área		24,434	24,805	24,962	25,055	25,055
OTRAS CELULOSAS						
Canadá		247	247	247	247	247
E.U.A.		1,385	1,385	1,385	1,385	1,385
México		--	--	--	--	--
Total área		1,632	1,632	1,632	1,632	1,632
TOTAL CELULOSAS Y PASTAS						
Canadá		27,561	28,115	28,365	28,496	28,496
E.U.A.		61,663	63,183	63,255	63,529	63,529
México		1,081	1,076	1,100	1,103	1,103
Total área		90,305	92,374	92,720	93,128	93,128

* Incluye pastas químico-termomecánica y termomecánica.

Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (Memoria estadística 1991)

En la Tabla 1-4 se puede observar que la capacidad instalada para la producción de papel en Norte América para los años de 1982 a 1990 es notablemente mayor para los Estados Unidos con un porcentaje aproximado del 80%.

Tabla 1-4 CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PRODUCCION DE PAPEL EN NORTEAMERICA (Miles de toneladas)

PAIS	AÑOS	1982	1983	1984	1985	1986
Canadá		15,269	15,397	15,552	15,783	16,690
EE.UU.A.		63,683	64,242	65,988	68,457	68,601
México		2,804	2,967	3,098	3,313	3,316
Total área		81,756	82,606	84,638	87,553	88,607

Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (Memoria estadística 1991)

Continúa la Tabla 1-4

PAIS	AÑOS	1987	1988	1989	1990
Canadá		16,045	16,638	16,583	16,466
EE.UU.A.		67,534	69,477	69,660	71,519
México		2,575	2,594	2,737	2,871
Total área		86,154	88,709	88,980	90,856

Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (Memoria estadística 1991)

En la Tabla 1-5 se puede observar que la producción de papel en Norte América en los años de 1982 a 1990 es aproximadamente del 90% para los Estados Unidos de América, en tanto que Canadá y México se encuentran abajo con un porcentaje muy pequeño.

Tabla 1-5 PRODUCCION DE PAPEL EN NORTEAMERICA (Miles de toneladas)

PAIS	AÑOS	1982	1983	1984	1985	1986
Canadá		12,431	13,088	13,945	14,439	15,261
EE.UU.A.		53,817	58,967	62,096	60,847	64,307
México		1,986	2,062	2,240	2,448	2,470
Total área		68,234	74,117	78,281	77,734	82,038

Continúa la Tabla 1-5

PAIS	AÑOS	1987	1988	1989	1990
Canadá		16,045	16,638	16,583	16,466
EE.UU.A.		67,534	69,477	69,660	71,519
México		2,575	2,594	2,737	2,871
Total área		86,154	88,709	88,980	90,856

Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (Memoria estadística 1991)

En la Tabla 1-6 referente a la proyección de la capacidad instalada para la producción de papel en el período comprendido de 1991 a 1995 se observa que en el concepto de papel periódico y libro de texto, Canadá se encuentra en primer lugar con aproximadamente el 68%, seguido por Estados Unidos y, por último, México con una cifra muy pequeña. En cuanto al concepto de papeles blancos para escritura e impresión Estados Unidos se encuentra en primer lugar con un porcentaje aproximado al 90%, dejando muy por debajo a Canadá y México. En cuanto al total de papel para escritura e impresión los Estados Unidos se encuentran en primer lugar, seguidos por Canadá con aproximadamente la mitad de la producción de los Estados Unidos y, por último, México con aproximadamente un 2% de el total de la producción total. En cuanto a los conceptos de papel de empaque y papel sanitario y facial, los Estados Unidos se encuentran en primer lugar con un porcentaje aproximado del 90%, mientras que Canadá y México se encuentran con un porcentaje aproximado de 5% para cada uno. Con respecto al concepto de producción de papeles especiales, a los Estados Unidos les corresponde prácticamente el total, mientras que Canadá y México se encuentran con una producción muy pequeña. En cuanto a la producción total de papeles, Estados Unidos se encuentra en el primer lugar con aproximadamente el 80%, mientras que Canadá se encuentra con un porcentaje aproximado del 18% y, por último, se encuentra México con un 2% aproximadamente.

Tabla 1-6 PROYECCION DE LA CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PRODUCCION DE PAPEL (Miles de toneladas métricas)

CONCEPTO	AÑOS	1991	1992	1993	1994	1995
PERIODICO Y LIBRO DE TEXTO						
Canadá		10,430	10,925	10,990	11,025	11,025
EE.UU.A.		6,487	6,654	6,740	6,753	6,753
México		430	440	440	450	450
Total área		17,347	18,019	18,170	18,228	18,228
PAPELES BLANCOS PARA ESCRITURA E IMPRESION						
Canadá		4,297	4,555	4,623	4,742	4,742
EE.UU.A.		22,524	23,279	23,799	23,965	23,965
México		656	788	802	813	823
Total área		27,477	28,622	29,224	29,520	29,530
TOTAL ESCRITURA E IMPRESION						
Canadá		14,727	15,480	15,613	15,767	15,767
EE.UU.A.		29,011	29,933	30,539	30,718	30,718
México		1,086	1,228	1,242	1,263	1,273
Total área		44,824	46,641	47,394	47,748	47,758
EMPAQUE						
Canadá		3,746	3,833	3,864	3,876	3,876
EE.UU.A.		43,841	44,829	45,920	46,303	46,303
México		2,210	2,357	2,426	2,482	2,554
Total área		49,797	51,019	52,210	52,661	52,733

Continúa la Tabla 1-6

CONCEPTO	AÑOS	1991	1992	1993	1994	1995
SANITARIO Y FACIAL						
Canadá		614	646	651	656	656
EE.UU.A.		5,546	5,656	5,760	5,818	5,818
México		467	467	492	536	538
Total área		6,627	6,769	6,903	7,010	7,012
ESPECIALES						
Canadá		44	45	45	45	45
EE.UU.A.		1,644	1,677	1,696	1,696	1,696
México		52	53	53	54	54
Total área		1,740	1,775	1,794	1,795	1795
TOTAL PAPELES						
Canadá		19,131	20,004	20,173	20,344	20,344
EE.UU.A.		80,042	82,095	83,915	84,535	84,535
México		3,815	4,105	4,213	4,335	4,419
Total área		102,988	106,204	108,301	109,214	109,298

Fuente: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (Memoria estadística 1991)

Para los países latinoamericanos, miembros de la Confederación Industrial de la Celulosa y del Papel Latinoamericana (Cicepla), los datos disponibles se presentan en las Tablas 1-7, 1-8 y 1-9. En las dos primeras se da información sobre la producción de celulosa y papel desde 1980 hasta 1989. En la tercera se presenta la información sobre consumos de papel per capita en cada país.

En la Tabla 1-7, que se refiere al volumen y participación relativa de la producción de celulosa en países miembros de la Cicepla, se observa que Brasil es el país con un porcentaje ligeramente mayor al 50%, dejando muy por debajo a los demás países miembros de la CICEPLA.

En la Tabla 1-8 referente a volumen y participación relativa de la producción de papel en países miembros de la Confederación Industrial de la celulosa y del papel latinoamericana, Cicepla, se vuelve a encontrar que el país con el mayor porcentaje es Brasil con un porcentaje aproximado del 50%.

En la Tabla 1-9 referente al consumo per cápita de papel en países miembros de la confederación industrial de la celulosa y del papel latinoamericana, Cicepla, encontramos que Venezuela México y Argentina son en orden descendente los países con mayor consumo per cápita.

Tabla 1-7. VOLUMEN Y PARTICIPACION RELATIVA DE LA PRODUCCION DE CELULOSA EN PAISES MIEMBROS DE CICEPLA (Miles de toneladas métricas)

PAIS	AÑOS	1980	1981	1982	1983	1984
Argentina		337.0 6.2%	297.0 5.6%	390.0 7.3%	619.0 10.7%	640.0 10.6%
Brasil		3,224.0 59.05%	3,116.0 58.8%	3,207.0 59.7%	3,098.0 53.5%	3,387.0 56.1%
Colombia		206.0 3.7%	204.0 3.8%	193.7 3.6%	189.0 3.2%	189.0 3.1%
Chile		763.1 14.0%	743.3 14.1%	667.7 12.4%	796.0 13.8%	839.0 13.9%
Ecuador		N.D.	24.0e 0.5%	26.0 0.5%	4.0 0.1%	25.0 0.4%
México		731.8 13.4%	742.5 14.0%	748.1 13.9%	759.5 13.1%	800.6 13.3%
Parú		141.7 2.6%	103.0 1.9%	74.9 1.4%	59.0 1.0%	59.0e 1.0%
Uruguay		N.D.	23.0 0.4%	21.0 0.4%	28.0 0.5	30.0 0.5%
Venezuela		62.6 1.1%	46.1 0.9%	41.6 0.8%	236.0 4.1	67.0 1.1%
TOTAL		5,466.2 100.0%	5,298.9 100.0%	5,370.0 100.0%	5,788.5 100.0%	6,036.6 100.0%

Continúa la tabla 1-7

PAIS	AÑOS	1985	1986	1987	1988	1990
Argentina		682.7 10.3%	723.0 10.7%	725.0 10.4%	729.0 10.1%	722.0 9.9%
Brasil		3,864.3 58.5%	3,970.0 58.7%	4,137.0 59.3%	4,292.0 59.5%	4,501.0 61.7%
Colombia		220.1 3.3%	234.0 3.5%	247.0 3.5%	247.0 3.4%	256.0 3.5%
Chile		837.3 12.7%	847.0 12.5%	861.0 12.3%	910.0 121.6%	841.0 11.5%
Ecuador		25.0 0.4%	25.0e 0.4%	6.0 0.1%	6.0 0.1%	6.0 0.1%
México		820.4 12.4%	772.5 11.4%	780.5 11.2%	809.2 11.2%	799.0 11.0%
Perú		73.0 1.1%	73.0 1.1%	90.0 1.3%	92.0 1.3%	53.0 0.7%
Uruguay		18.6 0.3%	24.0 0.4%	26.0 0.4%	26.0 0.4%	26.0 0.4%
Venezuela		68.4 1.0%	88.0 1.3%	101.0 1.5%	103.0 1.4%	88.0 1.2%
TOTAL		6,609.8 100.0%	6,756.5 100.0%	6,973.5 100.0%	7,214.2 100.0%	7,292.0 100.0%

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y de Papel, Memoria estadística 1991)

NOTAS:

N.D. Datos no declarados.

e.- Datos estimados.

Tabla 1-8. VOLUMEN Y PARTICIPACION RELATIVA DE LA PRODUCCION DE PAPEL EN PAISES MIEMBROS DE CICEPLA (Miles de toneladas métricas)

PAIS	AÑOS	1980	1981	1982	1983	1984
Argentina		704.0 9.5%	656.0 9.1%	730.0 9.8%	887.0 11.4%	943.0 11.1%
Brasil		3,362.0 45.5%	3,103.0 43.1%	3,328.0 44.9%	3,418.0 44.0%	3,765.0 44.2%
Colombia		366.6 5.0%	371.0 5.2%	376.0 5.1%	365.0 4.7%	365.0e 4.3%
Chile		326.2 4.4%	319.6 4.4%	262.4 3.5%	324.0 4.1%	375.0e 4.4%
Ecuador		41.0 0.5%	54.0 0.7%	59.0 0.8%	44.0 0.6%	72.0e 0.9%
México		1,896.4 25.4%	1,950.3 27.1%	1,986.5 26.8%	2,061.8 29.6%	2,239.7 26.3%
Perú		203.1 2.7%	197.0 2.7%	145.0 2.0%	130.0 1.7%	138.0e 1.6%
Uruguay		51.0 0.7%	51.0 0.7%	47.0 0.6%	47.0 0.6%	54.0 0.6%
Venezuela		500.8 6.7%	501.0 7.0%	481.3 6.5%	487.0 6.3%	558.0 6.6%
TOTAL		7,451.1 100.0%	7,202.9 100.0%	7,415.2 100.0%	7,763.8 100.0%	8,509.7 100.0%

Continúa la Tabla 1-8

PAIS	AÑOS	1985	1986	1987	1988	1989
Argentina		853.5 9.5%	991.0 10.2%	1,064.0 10.3%	963.0 9.4%	917.0 8.9%
Brasil		4,054.3 45.1%	4,485.0 46.3%	4,712.0 45.9%	4,684.0 45.5%	4,831.0 45.9%
Colombia		446.6 5.0%	457.0 4.7%	488.0 4.7%	504.0 4.9%	503.0 4.9%
Chile		396.4 4.1%	388.0 4.0%	442.0 4.3%	450.0 4.4%	445.0 4.3%
Ecuador		68.0 0.8%	68.0 0.8%	67.0 0.6%	67.0 0.6%	67.0 0.7%
México		2,447.8 27.2%	2,470.2 25.5%	2,574.6 25.1%	2,593.5 25.2%	2,736.0 26.6%
Perú		149.5 1.7%	152.0 1.6%	214.0 2.1%	260.0 2.5%	210.0 2.0%
Uruguay		45.3 0.5%	54.0 0.6%	58.0 0.6%	66.0 0.6%	66.0 0.6%
Venezuela		550.5 6.1%	611.0 6.3%	654.0 6.4%	708.0 6.9%	525.0 5.1%
TOTAL		8,984.9 100.0%	9,676.2 100.0%	10,273.6 100.0%	10,295.5 100.0%	10,300.0 100.0%

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

NOTAS: e.- Datos estimados

Tabla 1-9. CONSUMO PERCAPITA DE PAPEL EN PAISES MIEMBROS DE CONFEDERACION INDUSTRIAL DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL LATINOAMERICANA CICEPLA (Kilogramos)

PAIS	AÑOS	1980	1981	1982	1983	1984
Argentina		33.6	30.0	32.2e	32.0	32.0
Brasil		27.9	29.1	26.0e	26.0	24.5
Colombia		17.0	16.8	16.7e	16.1	16.1e
Chile		28.7	25.0	19.3e	22.9	22.4e
Ecuador		9.9	10.9	11.6e	11.6	11.1e
México		36.7	36.0	30.2e	30.2	29.2
Perú		12.6	10.0	9.1e	9.3	9.6e
Uruguay		21.9	25.0	16.8e	16.9	20.0
Venezuela		45.3	44.9	47.5e	46.4	45.4

Continúa la Tabla 1-9

PAIS	AÑOS	1985	1986	1987	1988	1989
Argentina		29.0	33.6	34.1	31.7	26.6
Brasil		27.0	29.0	29.1	26.5	28.1
Colombia		19.0	18.0	17.4	19.2	18.4
Chile		23.0	25.0	24.0	27.6	27.8
Ecuador		8.0	13.0e	5.9	9.5	9.3
México		32.0	30.0	29.3	29.3	31.3
Perú		10.0	10.0e	12.4	14.3	7.3
Uruguay		16.0	16.0	17.0	22.4	22.3
Venezuela		41.0	43.0	40.4	49.2	32.9

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

NOTA: N.D. Datos no declarados.
e.- Datos estimados

A continuación se presenta una breve introducción sobre los procesos de obtención de pulpa y papel y la incidencia que estos tienen en la problemática ambiental.

1.2 PROCESOS DE OBTENCION DE PULPA

1.2.1 Procesos químicos

En estos procesos se utilizan licores de cocimiento, los cuales se componen de reactivos que eliminan la lignina y sustancias celulósicas durante el cocimiento, dejando las fibras de celulosa libres (Ayanegui, 1982; Romero-Tena, 1984).

Los procesos químicos más utilizados para la obtención de pulpa son los siguientes:

- 1), Proceso a la sosa
- 2) Proceso al sulfito
- 3) Proceso al sulfato (proceso Kraft)

siendo los dos últimos los más usados (Ayanegui, 1982; SRH, 1974; Romero-Tena, 1984; Libby, 1979).

El rendimiento de pulpa en estos procesos es aproximadamente la mitad del peso de la madera cargada al digestor (Libby, 1979).

En los procesos alcalinos, el licor gastado (licor negro), es concentrado por evaporación y posteriormente quemado dentro de un horno. Mediante esta combustión se recuperan tanto el calor en forma de vapor como los productos químicos a partir de las cenizas fundidas, los cuales son convertidos nuevamente a su estado activo, por caustificación (SRH, 1974; Romero-Tena, 1984; Libby, 1979). Por ejemplo:

Productos químicos cargados



Fusión



Caustificación



El licor de este proceso se compone de carbonato dibásico de sodio (Na_2CO_3) y de cal (Ca(OH)_2) (SRH, 1974; Libby, 1979).

El papel obtenido de esta pulpa es de baja resistencia, debido a que las fibras se debilitan (SRH, 1974).

1.2.2 Proceso al sulfito

En este proceso se utiliza madera como principal materia prima (Vidal de los Santos, 1987; Romero-Tena, 1984).

El reactivo principal de este proceso es el dióxido de azufre (SO_2) y a partir de éste, se libera el ion bisulfito que reacciona con la lignina formando ácidos sulfónicos, y estos al combinarse con una base de calcio, magnesio, sodio o amonio forma la sal de lignina sulfónica correspondiente (Vidal de los Santos, 1987; SRH, 1974; Libby, 1979).

El complejo de ácido sulfónico de lignina formado, se fragmenta a moléculas más pequeñas por medio de una hidrólisis. Sin embargo, esta hidrólisis ataca también a la celulosa y hemicelulosa, provocando una reducción en su grado de polimerización y viscosidad (Vidal de los Santos, 1987).

La pulpa obtenida por este proceso presenta una menor resistencia a la obtenida en el proceso Kraft pero con un color más claro, permitiendo, en mejor blanqueado (Romero-Tena, 1984).

Descripción del proceso

La madera previamente descortezada es reducida a astillas, y posteriormente colocadas en un reactor digestor "Cocedor" al que se adiciona el licor y el aire es desplazado por medio de vapor. Posteriormente, se eleva la temperatura y la presión. La digestión finaliza cuando se agota el dióxido de azufre y el licor se oscurece. Posteriormente, la carga del cocedor es llevada a un tanque de recepción o descargas y de ahí es enviado a un sistema de refinado o cribado y lavado (Vidal de los Santos, 1987; Ayanegui, 1982)

1.2.3 Proceso al sulfato

El proceso al sulfato también se conoce como proceso Kraft, que en alemán y sueco significa "fuerte", debido a la alta resistencia del papel obtenido de la pulpa de este proceso, por lo que es usado para envoltura (Qui, 1988; Reeve, 1991; SRH, 1974; Romero-Tena, 1984; Ferguson 1985).

Descripción del proceso

Los principales reactivos de este proceso son hidróxido de sodio, NaOH, y sulfuro de sodio, Na_2S , que forman el "licor blanco", el cual es alimentado al digestor junto con la madera en forma de astillas.

Cada reactivo ataca a la madera en diferente forma, el NaOH la ataca en forma especial, pero también ataca a la celulosa lo cual no es deseable; mientras que el Na_2S incrementa el ataque a la

lignina y suaviza el ataque que se ejerce sobre la celulosa. (Ferguson, 1985; Geller, 1985; Vidal de los Santos, 1987; Ayanegui, 1982; SRH, 1974; Romero-Tena, 1984).

Una de las ventajas de los procesos químicos, es la recuperación de calor y prácticamente todos los reactivos cargados al digestor, mediante la incineración de los licores residuales concentrados de la digestión resultando un proceso cíclico, con ventajas económica y ambiental, si los gases de combustión son lavados y enviados sin contaminantes a la atmósfera (Kroiss, 1985; Vidal de los Santos, 1987; Romero-Tena, 1984).

1.2.4 Procesos semiquímicos y químico-mecánicos

Estos procesos son una combinación de los procesos químicos y mecánicos. Se definen como procesos en dos etapas, la primera consiste en un tratamiento químico moderado sobre las astillas de madera para separar las fibras (SRH, 1974; Romero-Tena, 1984; Blanck, 1991).

Los rendimientos obtenidos en estos procesos van desde un 55 a un 95% (Vidal de los Santos, 1987; Ayanegui, 1982; SRH, 1974; Romero-Tena, 1984; Libby, 1979).

La diferencia entre los procesos químico-mecánicos y los procesos semiquímicos, es que en los primeros no se producen mayores cambios en la lignina (Libby, 1979).

El objetivo principal de estos procesos es la conservación de la madera y la reducción de costos (Libby, 1979).

1.2.5 Proceso mecánico

En este proceso no se requiere de reactivos químicos sino que la pulpa es obtenida forzando la madera contra una piedra de molino que gira a alta velocidad. En este proceso se utiliza prácticamente toda la madera del tronco, incluyendo la celulosa y la lignina. Por lo que el rendimiento de pulpa en este proceso es de un 90-95% (Rekunen, 1985; SRH, 1974; Romero-Tena, 1984; Libby, 1979).

La pulpa obtenida de este proceso se utiliza principalmente para la fabricación de papel periódico (Ayanegui, 1982; Libby, 1979).

La razón más importante para usar pulpa mecánica en la fabricación de papeles de impresión es su bajo costo (Vidal de los Santos, 1987; Libby, 1979).

En la tabla 1-10 se presenta una clasificación de los procesos de obtención de pulpa.

Tabla 1-10. Procesos de obtención de pulpa (Libby, 1979)

Proceso	Rendimiento, %
Mecánico (pasta mecánica)	90 - 95%
Químico-mecánico (pasta mecánica)	85 - 90%
Químico-mecánico:	
A la sosa en frío, al sulfito de sodio, al bisulfito	85 - 95%
Semiquímico:	
Al sulfito neutro, al bisulfito, Kraft, a la sosa	65 - 85%
De fibras corrientes:	
Con vapor, con tratamiento químico moderado	70 - 90%
Químico de alto rendimiento:	
Kraft, al sulfito	50 - 65%
Químico:	
Al sulfato, a la sosa, al sulfito, al bisulfito	40 - 50%
Al sulfato, con prehidrólisis	35 - 40%

En la Tabla 1-10 se observa que los procesos con mayor porcentaje de producción de pulpa son el mecánico, el químico-mecánico y el semiquímico.

1.3 Blanqueado de la celulosa

En esta operación se requieren grandes cantidades de agua, en cada una de las etapas. Siendo esta operación la de mayor consumo de agua de primer uso en el proceso de elaboración de papel (Vidal de los Santos, 1987).

El blanqueado se utiliza para eliminar el color provocado por impurezas residuales, para lo cual se emplean agentes oxidantes tales como: cloro, hipoclorito de sodio y bióxido de cloro (Kovacs, 1986; Ayanegui, 1982).

Una innovación para el blanqueo

El peróxido de hidrógeno puede ser fácilmente adicionado a la secuencia de blanqueado sin interrumpir el proceso y puede reemplazar al hipoclorito parcial o totalmente. El hipoclorito tiende a atacar la lignina y la celulosa, mientras que el peróxido de hidrógeno puede mejorar la calidad de la pulpa. (Walsh, 1991; Kovacs 1986)

1.4 Fabricación de papel

La fabricación de papel comienza con la preparación de la pulpa, dicha preparación consiste en adicionarle encolantes con el propósito de ayudar a unir entre sí las fibras de celulosa. Algunos de estos encolantes son: sulfato de aluminio, almidón y derivados de resina (Vidal de los Santos, 1987; Ayanegui, 1982; Nachtergaele, 1989).

Otras materias primas que se adicionan son: caolín, colorantes, blanqueadores ópticos, etc. La mezcla de pulpa, encolantes y otras materias primas, suspendidas y disueltas en agua reciben el nombre de pasta (Ayanegui, 1982).

1.4.1 Formación de la hoja de papel

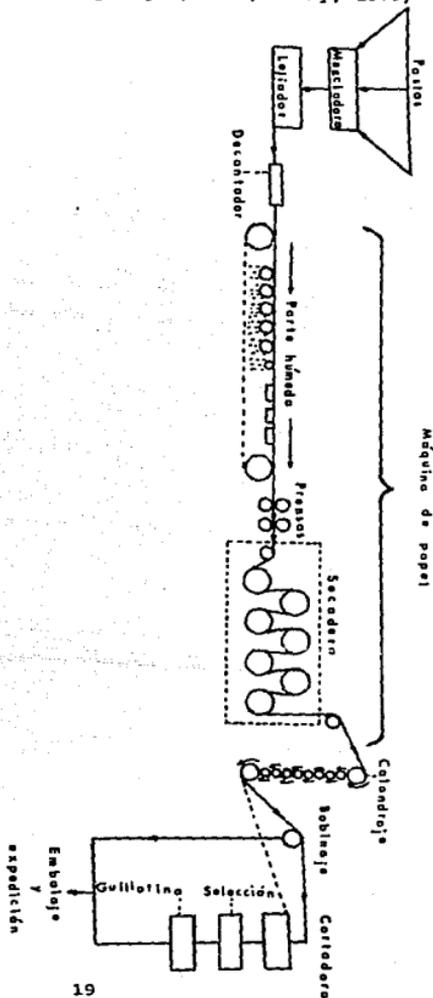
Se coloca la pasta preparada en la mezcladora y los encolantes en las pilas refinadoras. Posteriormente, la pasta pasa a una tina de lejía, provista de agitadores, en donde la mezcla es diluida mediante una corriente de agua. Después la mezcla pasa a una decantadora, donde se depositan las impurezas pesadas.

La pasta llega a la máquina de papel y corre sobre la mesa de fabricación, la cual está provista de dos tipos de movimiento: uno de traslación longitudinal, y otro de vibración transversal. Mediante las vibraciones de los rodillos se elimina una parte de agua. Posteriormente, se elimina más agua mediante tambores aspirantes fijos. La hoja pasa entre los cilindros y el agua se extrae por presión, la hoja pasa después por dos prensas que la laminan y extraen agua.

La secadora es la última parte de la máquina. La hoja circula sobre una serie de cilindros de fundición, calentados interiormente por medio de vapor. El agua es eliminada definitivamente en forma de vapor. Al salir de la máquina la hoja llega a las calandrias, serie de rodillos de acero y papel comprimido que forman prensas por donde debe pasar la hoja. Finalmente, se embobina por medio de una bobinadora. Si se debe entregar en hojas, se corta del tamaño deseado mediante guillotinas. En la figura 1-1 se indican los elementos esenciales de una máquina de papel (Vidal de los Santos, 1987; Ayanegui, 1982; Libby, 1979).

En el siguiente capítulo se presentan los sistemas más usados para tratar los residuos generados en este giro industrial (sólidos, líquidos y gaseosos).

Fig. 1-1. Elementos esenciales de una máquina de papel (Vidal de los Santos, 1987; Ayanegui, 1982; Libby, 1979)



Capítulo 2

PROCESOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS: EMISIONES Y EFLUENTES

2.1 Residuos sólidos

En el proceso de transformación de la madera, bagazo de caña o desperdicios del papel, así como en la manufactura del papel, se presentan varios puntos en donde se generan importantes cantidades de sólidos. Dichas fuentes se resumen como sigue:

- Preparación de la madera
- Recuperación del licor de cocimiento
- Cribado y refinado
- Lavado y espesado
- Preparación de la pulpa
- Máquina formadora de papel
- Acabado del papel
- Sistema de tratamiento de aguas residuales

La naturaleza de los residuos sólidos es variada y comprende desde pedacería de corteza, aserrín, residuos de sales, nudos y ligazones, fibra, arena, metales, material de recubrimiento hasta los lodos primarios y secundarios de los sistemas de depuración de las aguas residuales.

Los rechazos de corteza y aserrín se generan principalmente en los patios de madera, estos pueden ser reciclados.

Los nudos y ligazones provenientes de las cribas son, en la mayoría de los casos destinados a un relleno sanitario, pero haciendo uso de tecnologías modernas estos pueden ser enviados nuevamente al digestor y ser convertidos a pasta.

El material fibroso es el más abundante en muchos puntos de la planta. Generalmente, por su condición de material en suspensión, se encuentra asociado a las aguas residuales, elevando la carga orgánica y de sólidos sedimentables de las mismas. Por medio de sistemas de flotación es posible recuperar un gran porcentaje de fibras y retornarlas al proceso.

Las arenas se encuentran frecuentemente en sistemas de preparación de la pasta de celulosa, antes de su ingreso a la máquina de papel. Esto se debe a que las fábricas de papel compran la celulosa a otra planta y con el transporte va incorporando impurezas que requieren ser removidas (Levenberger, 1985; Lotter, 1985; Okada, 1985; Richards, 1986; Terashima, 1984; Vasili'e, 1989; Veldkamp, 1984)

Las fábricas de papel que utilizan desechos de papel y cartón como materia prima, enfrentan serios problemas por la generación de sólidos indeseables tales como: alambre, grapas arena y plásticos.

La generación de lodos procedentes de los sistemas de aguas residuales, representan sin duda el problema más grande de todos los anteriores. Eventualmente puede ser recuperado el material fibroso de los efluentes, mediante el uso de sedimentadores apropiados, el cual puede ser reciclado para la fabricación de láminas de cartón.

La disposición final de los lodos sigue siendo un problema para la industria. Las alternativas que se emplean son la incineración, el rociado en suelos agrícolas y la disposición en rellenos sanitarios (Airenne, 1988; Bertoletti, 1988; Benjamin, 1984; Caro, 1986; Comeau, 1985; Galvao, 1981; Hakulinen, 1985).

2.2 Emisiones atmosféricas

El principal problema de algunos de los procesos de fabricación de pulpa, como el proceso kraft, es la contaminación del aire por malos olores. Esta contaminación es debida a que las aguas residuales descargadas contienen contaminantes de mal olor concentrados, tales como el dimetil sulfuro, el metil sulfuro, metil mercaptano y ácido sulfhídrico (Endo y Tohya, 1985). Por ello es necesario plantear un tratamiento fisicoquímico cerrado de estas aguas residuales y los gases lavarlos antes de arrojarlos a la atmósfera. El agua de lavado debe ser reprocessada al sistema para evitar que contamine (Endo, 1985; Ferguson, 1984; Gommer, 1988; Gönenc, 1985; Kovacs, 1986; Larrea, 1988; Maree, 1985; Milstein et al, 1988; Prasad, 1991; Qui, 1988; Reeve, 1991; Walsh, 1991; Webb, 1985; Curtis 1988; Luonsi 1986; Luonsi 1988).

2.3 Aguas residuales

2.3.1 Introducción

La contaminación causada por las descargas líquidas de las fábricas de pulpa y papel representa un problema muy grande. El promedio del volumen del agua descargada está entre 80 - 150 metros cúbicos/tonelada de producto terminado. Esta agua residual es descargada en ríos, lagos y mares y si no reciben un tratamiento apropiado, pueden causar un daño ambiental a dichos ecosistemas. Los efluentes provenientes de estas industrias están compuestos de sustancias complejas. Los métodos apropiados para su tratamiento están basados en sistemas convencionales, tratamiento físico, fisicoquímico y biológico (Galvao et al., 1988; Rantala et al 1985; Puhakla et al 1988)

Como se mencionaba en la sección de emisiones a la atmósfera, en el caso del proceso kraft, las aguas residuales descargadas contienen contaminantes de mal olor concentrados,

tales como el dimetil sulfuro, el metil sulfuro, metil mercaptano y ácido sulfhídrico. Su tratamiento puede ser fisicoquímico o microbiológico, que es más económico que el fisicoquímico, si se logran aislar cepas de tiobacterias que degraden estos compuestos. Es necesario estabilizar, posteriormente, esta biomasa microbiana antes de disponer de ella para que no genere problemas ambientales. Los gases del proceso deben ser lavados, como se mencionaba antes, para que su efecto en la atmósfera sea mínimo y estas aguas de lavado recicladas al sistema de tratamiento (Frostell, 1985; Galvao et al, 1981; Geller, 1985; Iza, 1991)

2.3.2 Tratamiento de efluentes de blanqueado de pulpa al sulfito

El tratamiento con microorganismos solamente no es satisfactorio por lo que es necesario emplear un proceso combinado. Este consiste de una precipitación química de cloroligninas de alto peso molecular, seguido de un tratamiento anaerobio del sobrenadante (Polprasert et al 1985; Priest 1985)

De este modo 30 - 65 % de la materia orgánica contaminante, medida como demanda química de oxígeno (DQO), obtenida en los licores de blanqueado, puede ser removida después con un post-tratamiento anaerobio que, además del 40% de DQO removida químicamente, da un total de remoción de material contaminante de 70-95% (Aivasidis y Wandrey, 1988)

2.3.3 Proceso BI-VIS (pulpeo-extrusión)

Este proceso, que no fue descrito en el capítulo anterior, consiste en lo siguiente:

Las astillas de madera son desfibradas en un extrusor Bi-Vis, el cual posee el sistema de doble tornillo girando en la misma dirección. Este extrusor, empleando fuerzas de cizallamiento y compresión, permite la obtención de una pulpa bien desfibrada. El extrusor Bi-Vis ofrece la ventaja de realizar varias operaciones unitarias en el mismo equipo: desfibración, lavado y blanqueado.

Las astillas de la madera blanda (abeto) son pre-impregnadas con una corriente de vapor con sulfito de sodio a pH 9 con una temperatura de 130°C durante 20-30 minutos. Las condiciones de operación se dan en la tabla 2-1. La extrusión es seguida de un alto refinado y se obtiene pulpa de buena calidad (Welandner, 1985).

Tabla 2-1. Condiciones de operación de pulpeado (4 madera seca) con extrusión

Sosa cáustica	2
Peróxido de hidrógeno	3
Silicato de sodio	4
Agente quelante	0.1
Rendimiento de pulpa	90 -92 %

La carga de contaminación de los efluentes líquidos de este proceso varía con el tiempo de tratamiento y la temperatura, carga de sulfito de sodio y sosa cáustica y depende del grado de reciclado de los efluentes de lavado y blanqueado. La composición de los efluentes de maderas blandas de pulpa química termomecánica (PQTM) se da en la tabla 2-2.

TABLA 2-2. Características de los efluentes de madera blanda de pulpa química termomecánica (PQTM) (kg/metro cúbico de efluente)

DQO	10.0	Lignina	3.4
DBO, kg	3.2	Poliacrilamidas, kg	0.8 - 1.2
Sólidos suspendidos	0.5	Acidos volátiles, kg	3.5
Material seco, kg	12.3	Compuestos de azufre, kg como S	0.8

La DQO/DBO₅ es una razón mayor de tres, por lo que es claro que un sistema microbiológico no será capaz de degradar una porción considerable de la materia contaminante. Por lo tanto, la eficiencia del tratamiento anaerobio que se use será limitada. Los agentes quelantes se encuentran como trazas en el efluente, que es importante considerar cuando se adicionan metales para mejorar el sistema anaerobio. La mayoría de los compuestos de azufre están presentes en forma de sulfato (0.7 kg como S, hay algunos lignosulfonatos (0.1 kg como S) y algunas trazas de sulfito. Estos pueden también inhibir algunas de las reacciones anaerobias (Christenden, 1988; Gruber, 1991; Habbets y Knelissen, 1985).

2.3.4 Tratamiento anaerobio de efluentes de obtención de pulpa al sulfito

Debido a que los condensados tienen que ser neutralizados antes del proceso anaerobio con óxido de calcio, cal o carbonato de calcio, se usaron reactores de crecimiento disperso o floculado, ya que los sistemas de crecimiento adherido no pueden manejar el problema de precipitación de carbonato de calcio en el reactor anaerobio. Fueron usados reactores de flujo ascendente

con agitación suave, porque con estos reactores se obtuvieron buenos resultados (Ryhiner 1988; Salkinoja et al 1988; Webb a,b,c , d y e 1985).

La reducción económica de la carga de contaminación fué de importancia primaria, mientras que la cuestión de producción de biogás fué de menos importancia. La carga orgánica se basó en la DQO ya que la DBO₅ se determinó con menos frecuencia. Los ácidos orgánicos se determinaron con cromatografía de gases (Kroiss et al, 1985; Herington, 1985; Hickey, 1991; Iza, 1991; Kennedy y Droste, 1991; Lemma et al, 1991; Anderson 1985; Curtis 1988; Webb a,b,c, d y e 1985; Welander 1986).

2.3.5 Tratamiento anaerobio de aguas residuales a partir de pulpa químico-termomecánica

En el proceso de producción de pulpa químico-termomecánica blanqueada con peróxido el sistema de agua es casi cerrado, por lo que el agua residual está más concentrada de lo normal. En la tabla 2-3. , se da la composición del agua residual.

Tabla 2-3. Composición del agua residual del proceso de pulpa química-termomecánica

DQO	6000 - 9000	mg/L
DBO	3000 - 4000	mg/L
Acido acético	1500	mg/L
Carbohidratos	1000	mg/L
Extractos de madera	1000	mg/L
Sólidos suspendidos	500	mg/L
Ión sulfato	500	mg/L
Peróxido de hidrógeno	0 - 500	mg/L
DTPA	100	mg/L

El peróxido de hidrógeno usado para el blanqueado de la pulpa, es un compuesto muy tóxico. El DTPA, es un fuerte agente quelante, que es usado para estabilizar el peróxido y tiene efectos bactericidas. Los extractos de madera parecidos a ácidos resinosos son tóxicos también. En un medio anaerobio, el sulfato será reducido a sulfito, el cual puede inhibir la formación de metano si está presente en altas concentraciones. (Ghosh et al; 1985; Grobberlaar et al 1988; Millot 1988; Blank 1991; Zabranská et al 1985)

Las bacterias anaerobias obligadas son más sensibles al peróxido que las aerobias y las anaerobias facultativas, esto se debe a que estas dos últimas poseen enzimas que catalizan la descomposición del peróxido. El peróxido de hidrógeno puede ser quitado antes de tratar el agua residual en el reactor productor de metano.

Como ya se sabe, la conversión anaerobia de biopolímeros a bióxido de carbono y metano es llevada a cabo en una serie de pasos y requiere la interacción de diversos grupos de bacterias. La hidrólisis y la acidogénesis, los dos pasos iniciales, son realizados por un grupo muy heterógeno de bacterias, algunas de las cuales son anaerobias facultativas. La acetogénesis y la metanogénesis, los dos pasos finales en la secuencia de degradación, son llevadas a cabo por dos grupos muy especiales de bacterias, las acetógenas reductoras de protón obligadas y las metanógenas.

Se propuso el uso de dos reactores en serie para el proceso de digestión anaerobia. La hidrólisis y la acidogénesis pueden tener lugar en el primer reactor, al también llamado estado acidogénico, mientras que la acetogénesis y metanogénesis, pueden tener lugar en el segundo reactor, también llamado estado metanogénico (Dohányos 1985; Hall 1987; Lettinga 1991; Mc Carty et al 1991; Mogens 1982; Nähle 1991; Orivouri 1985; Pavlostathis et al 1991; Pichon et al 1986; Poggi-Varaldo y col. 1990).

Las ventajas de un proceso de dos-estados es que para tratamientos anaerobios de aguas residuales conteniendo compuestos que son tóxicos para bacterias metanogénicas, es que pueden ser degradados en un estado acidogénico. El uso de un proceso de dos-estados puede prevenir el contacto entre los compuestos tóxicos y de las bacterias metanogénicas (Welandar et al, 1985).

2.3.6 Proceso TAMAN

El diagrama del proceso Taman de la fábrica de papel Anjala de Finlandia, se muestra en la Figura 2-1.

La designación final del proceso Taman depende del tipo de agua residual a ser tratada. La solución en la fábrica de papel Anjala (Fig. 2-1), consta de dos estadios anaerobios asegurando la acidificación efectiva del material fermentable, así como la formación de metano.

Los tratamientos en estadios separados incrementan la actividad específica del lodo anaerobio y disminuyen el volumen requerido del reactor. Además, crean mejores condiciones de crecimiento para diferentes especies de bacterias anaerobias. El proceso en dos etapas es más resistente a cambios en la carga y la concentración de compuestos tóxicos. Esto es especialmente importante con las aguas residuales provenientes de la industria de la pulpa y el papel (Rounssley, 1991).

El proceso Taman fué construído en dos estadios. El volumen total del reactor de la primera etapa, completado en verano de 1985, fué de 3000 metros cúbicos. Este fué alimentado con filtrado de agua blanca proveniente de la máquina de papel.

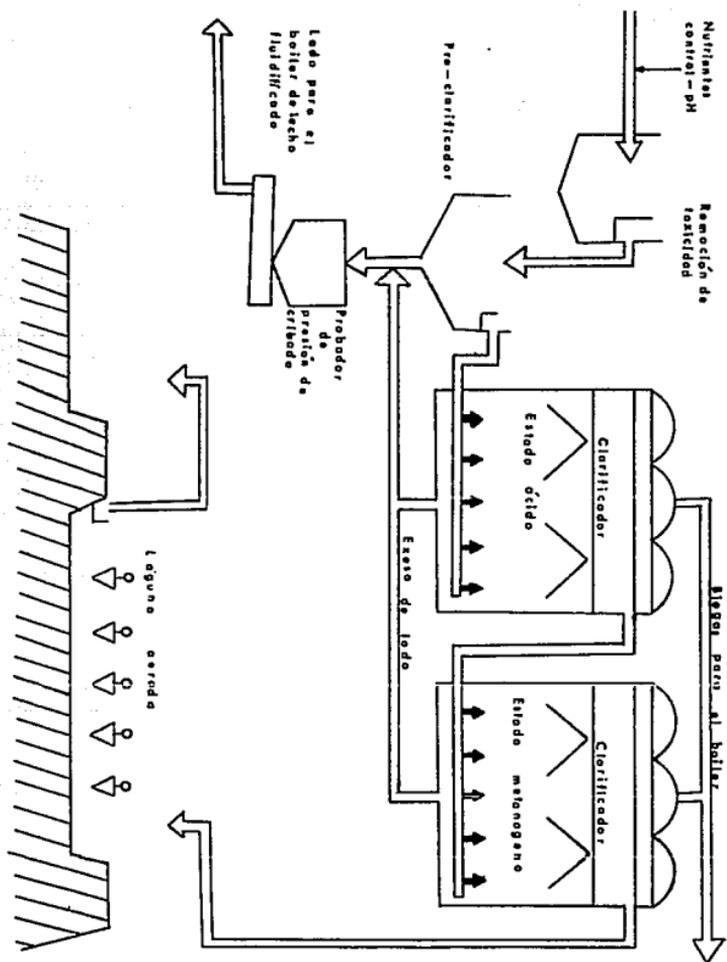
Debido a las extensas alteraciones en los sistemas de circulación de agua en la fábrica, la carga de los reactores Taman fué baja. El segundo estadio del proyecto está ahora finalizado. Los reactores Taman tienen un volumen total de 6000 metros cúbicos y están listos para tratar un promedio de 11000 metros cúbicos de aguas residuales por día.

La tabla 2-4 muestra las especificaciones del proceso Taman incluyendo resultados a escala piloto.

Tabla 2-4 . Especificaciones del proceso Taman en la fábrica de papel Anjala (Rantala y Väänänen, 1985)

	TAMAN I	TAMAN II	PLANTA PILOTO
Instalada en los años	1985	1986	1986
Flujo m ³ /día	4500	11000	1.2
Vol.tot. m ³	3000	6000	0.2
THR/reactor, h	8	6.5	2
Cargado, kgDQO/m ³ d	10	11	34
DBO ₇ reducción %	75	80	80

Fig. 2-1. Diagrama del proceso Tapan de la fábrica de papel Anjala (Lehtomäki Matti, 1988)



Capítulo 3

PROBLEMATICA NACIONAL

En México muy pocas industrias tratan sus agua residuales con sistemas de tratamiento primario y en algunos casos se utilizan tratamientos secundarios.

El tratamiento primario consiste básicamente en la remoción de sólidos suspendidos (materiales orgánicos y fibrosos).

El tratamiento secundario tiene como principal propósito la remoción de la materia orgánica soluble medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) usando procesos de tratamiento biológicos, aerobios y anaerobios o combinaciones de ambos. Dentro de estos se usan los de sistema floculado o disperso (lodos activados, lagunas de estabilización, lagunas aeradas y/o facultativas, etc.) o de película (reactores empacados o de lecho de lodos, de biodiscos, etc).

El tratamiento terciario se usa para obtener una remoción adicional o "pulimiento" de las aguas residuales antes de descargarlas a los cuerpos acuíferos (aguas receptoras) o al suelo. La remoción se lleva a cabo por separación química, adsorción, etc.

Debido a las condiciones legales imperantes en nuestro país, es imposible que las industrias productoras de celulosa posean sus propios bosques o por lo menos el control del aprovechamiento de los mismos. Sin embargo, la ley ha contemplado la posibilidad de abastecimiento con base en asociaciones no bien definidas y forzadas entre el industrial y el poseedor del bosque; donde generalmente se generan conflictos.

Las técnicas forestales han sido orientadas a la prevención de la destrucción del bosque y no a lograr su aprovechamiento y desarrollo integral a pesar de que el recurso forestal es renovable.

Esto ha llevado a importaciones indiscriminadas de papel de desperdicio para producir papel reciclado sin emplear tecnologías adecuadas para reciclar y, eventualmente, tratar los efluentes obtenidos de estas empresas que emplean papel reciclado como materia prima.

Por otro lado, en México y otros países tropicales se cultiva la caña de azúcar, un recurso renovable que crece mucho más rápidamente que cualquier bosque y del que podría aprovecharse la celulosa presente en el bagazo de la caña. Sin embargo, como en los países desarrollados no se han generado las tecnologías para su uso, en nuestros países y, particularmente, en México, este recurso se incinera para complementar el suministro energético de los ingenios azucareros creando

problemas severos de contaminación atmosférica, en vez de utilizarse para producir celulosa virgen.

A continuación se presenta un panorama somero de la industria de la celulosa y el papel en México y de su problemática.

3.1 PRODUCCION DE PULPA Y PAPEL EN MEXICO

La Tabla 3-1 presenta datos sobre la producción nacional de celulosa en los últimos diez años. Puede verse que este sector ha tenido un franco retroceso a partir de 1986, donde no solamente no se incrementó su producción de acuerdo con el aumento en las necesidades del mercado sino que se redujo.

Tabla 3-1. PRODUCCION TOTAL DE CELULOSA
(toneladas métricas)

CONCEPTO	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
Producción Tons.		742,483	748,119	759,480	800,642	820,416
Variación Tons.		10,714	5,636	11,361	41,162	19,774
Variación %		1.5	0.8	1.5	5.4	2.5

Continúa Tabla 3-1

CONCEPTO	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
Producción Ton.		772,539	780,535	809,217	799,043*	771,845
Variación Ton.		-47,877	7,996	28,682	-10,174	-27,198
Variación %		-5.8	1.0	3.7	-1.3	-3.4

*En este volumen no se consideran 10,202 toneladas de fibra regenerada, debido a una reclasificación de ésta, como materia prima fibrosa secundaria.

FUENTE. Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (Memoria estadística 1991)

En esta tabla no están consideradas 7,639, 9,946 y 14,186 toneladas de celulosa de borra de algodón en los años de 1988, 1989 y 1990 respectivamente, debido a que gran parte de esta producción no se destina a la fabricación de papel.

En la Tabla 3-2, referente a la producción de celulosa por grupos y por entidades federativas y su participación relativa respecto del total de 1990 dada en toneladas métricas, se observa que en lo que se refiere al concepto de celulosa de madera los estados con mayor porcentaje son Jalisco, Chihuahua y Michoacán, respectivamente. En cuanto al concepto de celulosa a partir de plantas anuales (tales como la caña de azúcar), solamente la producen Veracruz y México, teniendo la mayor participación Veracruz con un porcentaje de 69.5%. Con respecto al concepto de pasta mecánica de madera, solamente los estados de Oaxaca y Durango la producen siendo el primero el mayor productor con un porcentaje de 68.4%. En cuanto al concepto de producción total, Veracruz se encuentra en primer lugar con un porcentaje de 22.9 seguido por los demás estados con porcentajes muy similares entre ellos.

En la Tabla 3-3, que se refiere a la producción de celulosa por tipos de proceso y su participación relativa durante el periodo de tiempo de 1981 a 1990, se observa que la mayor producción se obtiene de los procesos al sulfato blanqueada y de celulosa química de madera al sulfato sin blanquear. En cuanto al concepto de obtención de celulosa de plantas anuales se encuentra el mayor porcentaje en el proceso de celulosa química de bagazo de caña. En cuanto a los procesos de celulosa de pasta mecánica y otras celulosas los porcentajes de producción son muy pequeños.

Tabla 3-2. PRODUCCION DE CELULOSA POR GRUPOS Y POR ENTIDADES FEDERATIVAS Y SU PARTICIPACION RELATIVA RESPECTO DEL TOTAL DE 1990 (toneladas métricas)

CONCEPTOS	CELULOSA DE MADERA		CELULOSA DE PLANTAS ANUALES		PASTA MECANICA DE MADERA*	
	VOL.	%	VOL.	%	VOL.	%
Veracruz	-	-	176,634	69.5	-	-
Chihuahua	106,456	27.1	-	-	-	-
Jalisco	122,614	31.3	-	-	-	-
México	33,264	8.5	77,384	30.5	-	-
Oaxaca	-	-	-	-	86,098	68.4
Michoacan	94,820	24.2	-	-	-	-
Durango	34,777	8.9	-	-	39,798	31.6
TOTAL	391,931	100.0	254,018	100.0		

Continúa la tabla 3-2

CONCEPTOS	TOTAL	
	VOL.	%
Veracruz	176,634	22.9
Chihuahua	106,456	13.8
Jalisco	122,614	15.9
México	110,648	14.3
Oaxaca	86,098	11.1
Michoacán	94,820	12.3
Durango	74,575	9.7
TOTAL	771,845	100.0

*Incluye volúmenes de pasta termomecánica.

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

La Tabla 3-4 presenta la participación relativa de procesos usados para la producción de celulosa en los últimos diez años. Puede observarse que el porcentaje mayor está dado por la celulosa química a partir de madera, siguiendo la que se obtiene a partir de pastas de plantas anuales y, finalmente, la obtenida por el proceso mecánico. En este caso no ha habido variación en el decenio.

Tabla 3-3 PRODUCCION DE CELULOSA POR TIPOS DE PROCESO Y SU PARTICIPACION RELATIVA (toneladas métricas)

TIPOS	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
CELULOSA QUIMICA DE MADERA						
Química de madera al sulfato blanqueada		221,884	209,424	188,750	219,995	224,220
		29.9%	28.0%	24.9%	27.5%	27.3%
Química de madera al sulfato blanqueada de fibra corta		13,715	22,233	22,296	26,709	29,347
		1.8%	3.0%	2.9%	3.3%	3.6%
Química de madera al sulfato sin blanquear		177,510	181,672	193,514	180,904	201,421
		23.9%	24.3%	35.5%	22.6%	24.6%
Química de madera al sulfito blanqueada		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
Química de madera al sulfito sin blanquear		8,119	9,014	9,894	10,063	7,366
		1.1%	1.2%	1.3%	1.3%	0.9%
Subtotal		421,228	422,343	414,454	437,671	462,354
		56.7%	56.5%	54.6%	54.7%	56.4%

Continúa la Tabla 3-3

TIPOS	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES						
Química de bagazo de caña blanqueada		225,892	237,056	247,606	254,331	229,939
		30.4%	31.7%	32.6%	31.8%	28.0%
Química de bagazo de caña sin blanquear		37,046	27,752	33,630	35,222	16,021
		5.0%	3.7%	4.4%	4.4%	2.0%
Química de paja de trigo o cebada sin blanquear		1,848	1,398	1,896	2,172	2,431
		0.3%	0.2%	0.3%	0.2%	0.3%
Química de borra de algodón blanqueada*		2,755	2,502	1,048	-	-
		0.4%	0.3%	0.1%	-	-
Subtotal		267,541	268,708	284,391	291,721	248,391

Continúa la tabla 3-3

TIPOS	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
PASTA MECANICA DE MADERA 2		50,028	53,410	56,130	65,481	102,944
		6.7%	7.1%	7.4%	8.2%	12.5%
OTRAS CELULOSAS 3		3,686	3,658	4,716	5,765	6,727
		0.5%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%
TOTAL		742,483	748,119	759,480	800,642	820,416
		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Continúa la Tabla 3-3

TIPOS	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
CELULOSA QUIMICA DE MADERA						
Química de madera al sulfato blanqueada		201,081	191,657	183,819	209,735	196,521
		26.0%	24.6%	22.7%	26.2%	25.5%
Química de madera al sulfato blanqueada de fibra corta		31,210	27,601	32,258	28,101	30,836
		4.0%	3.5%	4.0%	3.5%	4.0%
Química de madera al sulfato sin blanquear		189,794	218,918	217,085	175,613	164,574
		24.6%	28.0%	26.8%	22.0%	21.3%
Química de madera al sulfito blanqueada		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
Subtotal		422,085	438,176	433,162	413,449	391,931
		54.6%	56.1%	53.5%	51.7%	40.8%
CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES						
Química de bagazo de caña blanqueada		216,800	224,980	245,091	256,872	252,102
		28.1%	28.8%	30.3%	32.2%	32.7%
Química de bagazo de caña sin blanquear		6,821	-	-	-	-
		0.9%	-	-	-	-
Química de paja de trigo o cebada sin blanquear		2,342	2,412	2,152	2,429	1,916
		0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%
Química de borra de algodón blanqueada*		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
Subtotal		225,963	227,392	247,243	259,301	254,018
		29.3%	29.1%	30.6%	32.5%	32.9%

Continúa la Tabla 3-3

TIPOS	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
PASTA MECANICA DE MADERA 2		117.472 15.2%	107,502 13.8%	118,062 14.6%	126,293 15.8%	125,896 16.3%
OTRAS CELULOSAS 3		7,019 0.9%	7,465 1.0%	10,750 1.3%	- -	- -
TOTAL		772,539 100.0%	780,535 100.0%	809,217 100.0%	799,043 100.0%	771,845 100.0%

NOTAS:

* Únicamente la destinada a la fabricación de papel.

2 En los años de 1988 y 1990, se incluye pasta químico-termomecánica y termomecánica.

3 Incluye fibra regenerada.

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

Tabla 3-4 PARTICIPACION RELATIVA POR GRUPOS EN LA PRODUCCION DE CELULOSA

GRUPOS	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
CELULOSA QUIMICA DE MADERA (%)		57.2	57.0	55.2	55.4	57.2
CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES (%)		36.1	35.9	37.4	36.4	30.3
PASTA MECANICA DE MADERA (%)		6.7	7.1	7.4	8.2	12.5
TOTAL (%)		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

GRUPOS	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
CELULOSA QUIMICA DE MADERA (%)		55.5	57.1	54.8	51.7	50.8
CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES (%)		29.3	29.1	30.6	32.5	32.9
PASTA MECANICA DE MADERA (%)		15.2	13.8	14.6	15.8	16.3
TOTAL		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

La Tabla 3-5 presenta el análisis histórico de la producción de celulosa química de madera para el lapso 1981-1990. Puede decirse que la mayor producción se obtiene con el proceso al sulfato usando el sistema de blanqueo. El proceso al sulfito es poco empleado.

Tabla 3-5. ANALISIS HISTORICO DE LA PRODUCCION DE CELULOSA QUIMICA DE MADERA (toneladas métricas)

TIPOS	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
AL SULFATO						
Blanqueada*		235,599	231,657	211,046	246,704	253,567
Sin blanquear		177,510	181,672	193,514	180,904	201,421
AL SULFITO						
Blanqueada		-	-	-	-	-
Sin blanquear		8,119	9,014	9,894	10,063	7,366
TOTAL		421,228	422,343	414,454	437,671	462,354

Continúa la tabla 3-5

TIPOS	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
AL SULFATO						
Blanqueada *		232,291	219,258	216,077	237,836	227,357
Sin blanquear		189,794	218,918	217,085	175,613	164,574
AL SULFITO						
Blanqueada		-	-	-	-	-
Sin blanquear		-	-	-	-	-
TOTAL		422,085	438,176	433,162	413,449	391,931

* Incluye celulosa de fibra corta.

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

La Tabla 3-6 presenta también un análisis histórico pero para la producción de celulosa a partir de plantas anuales. Puede observarse que el bagazo de caña, como ya se mencionaba, es la principal fuente de materia prima. Ha ido aumentando su uso, sobre todo usando el proceso de blanqueo y compite con la producción de celulosa química de madera al sulfato (Tabla 3-5).

Tabla 3-6. ANALISIS HISTORICO DE LA PRODUCCION DE CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES (toneladas métricas)

TIPOS	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
BAGAZO DE CAÑA						
Blanqueada		225,892	237,056	247,606	245,331	229,939
Sin blanquear		37,846	27,752	33,630	35,222	16,021
BORRA DE ALGODON						
Blanqueada		2,755	2,502	1,048	-	-
PAJA DE TRIGO						
Sin blanquear		1,848	1,398	1,896	2,172	2,431
TOTAL		267,541	268,708	284,180	291,725	248,391

Continúa la Tabla 3-6

TIPOS	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
BAGAZO DE CAÑA						
Blanqueada		216,800	224,980	245,091	256,872	252,102
Sin blanquear		6,821	-	-	-	-
BORRA DE ALGODON						
Blanqueada		-	-	-	-	-
PAJA DE TRIGO						
Sin blanquear		2,342	2,412	2,152	2,429	1,916
TOTAL		225,963	227,392	247,243	259,301	254,018

Continúa la Tabla 3-6

TIPOS	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
BAGAZO DE CAÑA						
Blanqueada		216,800	224,980	245,091	256,872	252,102
Sin blanquear		6,821	-	-	-	-
BORRA DE ALGODON						
Blanqueada		-	-	-	-	-
PAJA DE TRIGO						
Sin Blanquear		2,342	2,142	2,152	2,429	1,916
TOTAL		225,963	227,392	247,243	259,301	254,018

FUENTE: Cámara nacional de las industrias de la celulosa y del papel (Memoria estadística)

La Tabla 3-7 presenta el desglose del último rubro de la Tabla 3-4, que se refiere al análisis histórico de la producción de celulosa a partir de pasta mecánica y de otras fuentes. Este rubro se ha ido incrementando paulatinamente en este decenio, duplicándose su producción a partir de 1985.

Tabla 3-7. ANALISIS HISTORICO DE LA PRODUCCION DE PASTA MECANICA DE MADERA Y OTRAS CELULOSAS (toneladas métricas)

TIPOS	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
Pasta mecánica de madera*		50,028	53,410	56,130	65,481	102,944
Otras celulosas		3,686	3,658	4,716	5,765	6,727
TIPOS	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
Pasta mecánica de madera*		117,472	107,502	118,062	126,293	125,896
Otras celulosas		7,019	7,465	10,770	-	-

* En los años de 1988, 1989 y 1990, se incluye pasta químico-termomecánica y termomecánica.

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

En las Tablas 3-8 a la 3-12 se presenta la información recopilada por la Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, CNICP, sobre la producción de papel. En la tabla 3-8 se presenta la producción anual de este producto. Hasta 1985 se incrementó hasta en un 9% y, a partir de ese año aunque ha aumentado, el incremento no ha sido tan considerable.

Tabla 3-8. PRODUCCION TOTAL DE PAPEL (toneladas métricas)

CONCEPTO	AÑOS	1981	1982	1983	1984
Producción Tons.		1'950,264	1'986,473	2'061,791	2'239,679
Variación Tons.		53,861	36,209	75,318	177,888
Variación (%)		2.8	1.9	3.8	8.6

Continúa la Tabla 3-8

CONCEPTO	AÑOS	1986	1987	1988	1989
Producción Tons.		2'470,229	2'574,624	2'593,551	2'736,768
Variación Tons.		22,464	104,395	18,927	143,217
Variación (%)		0.9	4.2	0.7	5.5
CONCEPTO	AÑOS	1990			
Producción Tons.		2'870,922			
Variación Tons.		134,154			
Variación (%)		4.9			

Índice de crecimiento compuesto en el período 1981-1990: 4.4%

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

En la Tabla 3-9 se tiene la producción de papel por grupos y entidades para 1990. El rubro mayor lo tiene el papel para empaque con prácticamente el 50% de la producción total (aproximadamente 3 millones de toneladas) y el estado de México es el que produce la tercera parte. Le sigue en importancia el de escritura e impresión con una producción de casi un millón de toneladas y el estado de Veracruz es el que produce proporcionalmente la mayor cantidad (aproximadamente el 20%). El papel sanitario y facial representa una séptima parte de la producción total para ese año y el estado de México también produce un poco más del 30%. Por último, se encuentra el rubro de los papeles especiales, de los que se producen solamente unas 40 mil toneladas. Nuevamente, en el estado de México es donde se producen estos tipos de papel.

En la Tabla 3-10 se presenta la distribución de estos diferentes tipos de papel para los años 1981 a 1990. La producción de papel para empaque ha sido relativamente constante (alrededor del 50%), mientras que para papel para escritura e impresión se ha incrementado ligeramente del 28.5 a 32.2%. La producción de papeles especiales se ha incluso reducido por los costos inherentes a su producción y la apertura de mercados en casi un 50%.

Tabla 3-9. PRODUCCION DE PAPEL POR GRUPOS Y POR ENTIDADES FEDERATIVAS Y SU PARTICIPACION RELATIVA RESPECTO DEL TOTAL DE 1990 (toneladas métricas)

CONCEPTOS	ESCRITURA E IMPRESION		EMPAQUE		SANITARIO Y FACIAL	
	VOL.	%	VOL.	%	VOL.	%
México	148,230	16.0	545,416	35.3	118,696	30.8
Querétaro	107,501	11.0	90,640	6.0	105,246	27.3
Veracruz	191,323	20.7	28,780	1.9	82,694	21.5
Nuevo León	16,483	1.8	250,087	16.4	12,079	3.1
D. F.	34,132	3.7	158,942	10.4	8,669	2.3
Jalisco	-	-	190,224	12.5	-	-
San L. P.	145,549	15.7	20,393	1.3	9,000	2.3
Oaxaca	155,718	16.8	-	-	-	-
Chihuahua	20,465	2.2	81,176	5.3	-	-
Michoacán	86,592	9.4	1,591	0.1	-	-
Durango	-	-	61,698	4.1	-	-
Tlaxcala	186	-	6,252	0.4	34,650	9.0
Puebla	18,992	2.1	19,415	1.3	-	-
Morelos	-	-	32,198	2.1	-	-
Sonora	-	-	25,180	1.7	-	-
Baja Calif. N.	-	-	11,040	0.7	13,998	3.7
TOTAL	925,171	100.0	1,523,014	100.0	385,032	100.0

Continúa la tabla 3-9

CONCEPTOS	ESPECIALES		TOTAL	
	VOL.	%	VOL.	%
México	15,045	39.9	827,387	28.8
Querétaro	-	-	303,387	10.6
Veracruz	-	-	302,797	10.5
Nuevo León	12,383	32.8	291,032	10.1
D. F.	7,491	19.9	209,216	7.3
Jalisco	-	-	109,224	6.6
S. L. P.	-	-	174,942	6.1
Oaxaca	-	-	155,718	5.4
Chihuahua	-	-	101,641	3.5
Michoacán	-	-	88,183	3.1
Durango	-	-	61,698	2.2
Tlaxcala	2,590	6.9	43,678	1.5
Puebla	196	0.5	38,603	1.4
Morelos	-	-	32,198	1.1
Sonora	-	-	25,180	0.9
Baja Calif. N.	-	-	25,038	0.9
TOTAL	37,705	100.0	2'870,922	100.0

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

Tabla 3-10. PARTICIPACION RELATIVA DE LA PRODUCCION DE PAPEL POR GRUPOS

GRUPOS	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
ESCRITURA E IMPRESION (%)		28.5	29.1	29.3	31.6	32.0
EMPAQUE (%)		57.4	55.9	53.5	52.9	523.5
SANITARIO Y FACIAL (%)		11.5	12.5	11.9	12.2	12.5
ESPECIALES (%)		2.6	2.7	2.9	2.7	2.6
TOTAL (%)		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
GRUPOS	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
ESCRITURA E IMPRESION (%)		33.2	31.8	31.9	31.9	32.2
EMPAQUE (%)		52.0	53.1	52.4	53.5	53.1
SANITARIO Y FACIAL (%)		12.8	13.2	13.9	12.8	13.4
ESPECIALES (%)		2.0	1.9	1.8	1.8	1.3
TOTAL (%)		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

La Tabla 3-11 presenta la información sobre el volumen de consumo de materias primas usadas en la elaboración del papel. Aquí puede observarse lo mencionado anteriormente de que la fuente principal es el papel de desperdicio de importación con más del doble de la celulosa proveniente del proceso al sulfato (un millón 200 mil toneladas versus 550 mil toneladas) para 1981 y cifras similares para 1990 en lo que a la celulosa al sulfato se refiere pero con dos millones 150 mil para pasta a partir de fibras secundarias. En esos diez años se ha incrementado de 2 a 3 millones el total requerido y, obviamente ha provenido de papel de desperdicio.

Tabla 3-11. VOLUMEN DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCION DE PAPEL (toneladas métricas)

AÑOS	1981	1982	1983	1984
MATERIAS PRIMAS	VOL.	VOL.	VOL.	VOL.
1. CELULOSA QUIMICA DE MADERA				
a) Al sulfato	553,375	575,452	568,887	636,642
Blanqueada de fibra larga	304,909	316,263	281,474	310,932
Blanqueada de fibra corta	30,765	38,240	58,572	90,460
Semiblanq. de fibra larga	19,702	21,550	15,271	35,932
Sin blanquear de fibra larga	197,999	199,399	213,570	199,318
b) Al sulfito	25,398	19,652	15,705	18,182
Blanqueada	16,018	10,457	5,340	6,041
Sin blanquear	9,380	9,195	10,365	10,141
AÑOS	1985	1986	1987	1988
MATERIAS PRIMAS	VOL.	VOL.	VOL.	VOL.
1. CELULOSA QUI-				
MICA DE MADERA				
a) Al sulfato	754,908	738,607	727,006	691,307
Blanqueada de fibra larga	343,173	318,581	297,481	290,658
Blanqueada de fibra corta	129,462	147,529	143,813	150,975
Semiblanq. de fibra larga	47,241	57,558	59,147	29,825
Sin blanquear de fibra larga	235,032	214,939	226,565	219,849
b) Al sulfito	11,935	3,779	7,179	5,394
Blanqueada	4,541	3,779	6,494	5,394
Sin blanquear	7,394	-	685	-

Continúa la tabla 3-11

AÑOS	1989	1990
MATERIAS PRIMAS	VOL.	VOL.
1. CELULOSA QUIMICA DE MADERA		
a) Al sulfato	578,822	576,119
Blanqueada de fibra larga	277,949	277,590
Blanqueada de fibra corta	109,898	112,622
Semiblanqueada de fibra larga	10,520	6,422
Sin blanquear de fibra larga	180,455	179,485
b) Al sulfito	1,863	3,301
Blanqueada	1,798	3,261
Sin blanquear	65	40

AÑOS	1981	1982	1983	1984
MATERIAS PRIMAS	VOL.	VOL.	VOL.	VOL.

2. CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES

a) De bagazo	264,999	269,570	276,652	283,604
Blanqueada	230,563	243,410	243,320	248,725
Sin blanquear	34,436	26,160	32,332	34,879
b) Otras	4,685	4,146	2,820	2,170

AÑOS	1985	1986	1987	1988
MATERIAS PRIMAS	VOL.	VOL.	VOL.	VOL.

2. CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES

a) De bagazo	245,965	227,201	225,431	258,942
Blanqueada	229,485	220,179	225,431	258,942
Sin blanquear	16,480	7,022	-	-
b) Otras	2,432	2,344	2,412	2,147

AÑOS	1989	1990
MATERIAS PRIMAS	VOL.	VOL.

a) De bagazo	263,691	259,789
Blanqueada	263,691	259,789
Sin blanquear	-	-
b) Otras	2,436	2,157

Continúa la Tabla 3-11

AÑOS	1981	1982	1983	1984
MATERIAS PRIMAS	VOL.	VOL.	VOL.	VOL.
3. PASTA MECANICA DE MADERA	78,551	82,071	70,076	80,431
4. OTRAS CELULOSAS	21,933	10,888	8,846	18,593
Subtotal celulosas	948,941	961,779	942,986	1'037,622
5. FIBRAS SECUNDARIAS	1'200,331	1'232,682	1'330,226	1'453,222
a) De color natural de la pasta	810,509	807,393	860,890	912,580
b) Periódico impreso	146,501	149,144	183,707	208,969
c) Tarjeta tabular	30,645	40,758	32,690	37,733
d) Blanco	123,954	141,020	165,003	185,599
e) Periódico sin impresión	36,001	42,081	37,114	57,292
f) Gris	52,721	52,286	50,822	51,049
TOTAL	2'149,272	2'194,461	2'273,212	2'490,844

AÑOS	1985	1986	1987	1988
MATERIAS PRIMAS	VOL.	VOL.	VOL.	VOL.
3. PASTA MECANICA DE MADERA	145,860	153,229	139,686	147,640
4. OTRAS CELULOSAS	12,471	15,888	15,614	16,631
Subtotal celulosas	1'173,571	1'141,048	1'117,328	1'122,061
5. FIBRAS SECUNDARIAS	1'533,424	1'577,442	1'719,305	1'767,942
a) Del color natural de la pasta	990,872	984,546	1'070,717	1'087,937
b) Periódico impreso	218,967	232,773	221,349	239,743
c) Tarjeta tabular	42,815	59,578	71,473	120,037
d) Blanco	205,869	220,838	254,973	220,145
e) Periódico sin impresión	20,633	30,539	46,214	60,999
f) Gris	54,268	49,168	54,579	38,399
TOTAL	2'706,995	2'718,490	2'836,633	2'890,003

Continúa la tabla 3-11

AÑOS MATERIAS PRIMAS	1989 VOL.	1990 VOL.
3. PASTA MECANICA DE MADERA	176,900	172,978
4. OTRAS CELULOSAS	4,750	6,904
Subtotal celulosas	1'028,462	1'021,248
5. FIBRAS SECUNDARIAS	1'965,783	2'147,778
a) Del color natural de la pasta	1'174,012	1'272,101
b) Periódico impreso	260,616	273,541
c) Tarjeta tabular	95,905	102,037
d) Blanco	326,488	381,003
f) Gris	49,282	45,081
TOTAL	2'994,245	3'169,026

FUENTE: Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (Memoria estadística 1991)

La Tabla 3-12 da los datos correspondientes a la participación relativa del consumo de materias primas fibrosas en la producción de papel (tomados de los datos de la Tabla 3-11), confirmando lo ya mencionado con anterioridad.

Tabla 3-12. PARTICIPACION RELATIVA DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCION DE PAPEL

AÑOS MATERIAS PRIMAS	1981 %	1982 %	1983 %	1984 %	1985 %	1986 %	1987 %
1. CELULOSA QUIMICA DE MADERA							
a) Al sulfato	25.8	26.2	25.0	25.6	27.9	27.2	25.6
Blanqueada de fibra larga	14.2	14.4	12.4	12.5	12.7	11.7	10.5
Blanqueada de fibra corta	1.5	1.7	2.6	3.6	4.8	5.5	5.0
Semiblanqueada de fibra larga	0.9	1.0	0.6	1.5	1.7	2.1	2.1
Sin blanquear de fibra larga	9.2	9.1	9.4	8.0	8.7	7.9	8.0
b) Al sulfito	1.2	0.9	0.7	0.7	0.4	0.1	0.3
Blanqueada	0.8	0.5	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2
Sin blanquear	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	-	0.1

Continúa la tabla 3-12

AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
MATERIAS PRIMAS	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
2. CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES							
a) De bagazo	12.3	12.3	12.2	11.4	9.1	8.4	7.9
Blanqueada	10.7	11.1	10.7	10.0	8.5	8.1	7.9
Sin blanquear	1.6	1.2	1.5	1.4	0.6	0.3	-
b) Otras	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3. PASTA MECANICA DE MADERA							
	3.7	3.7	3.1	3.2	5.4	5.6	4.9
4. OTRAS CELULOSAS							
	1.0	0.5	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6
Subtotal celulosas	44.2	43.8	41.5	41.7	43.4	42.0	39.4
5. FIBRAS SECUNDARIAS							
55.8	56.2	58.5	58.3	56.6	58.0	60.6	
a) Del color natural de la pasta	37.5	36.8	37.9	36.6	36.6	36.2	37.8
b) Periódico impreso	6.8	8.1	8.4	8.1	8.6	7.8	8.3
c) Tarjeta tabular	1.4	1.9	1.4	1.5	1.6	2.2	2.5
d) Blanco	5.8	6.4	7.3	7.5	7.6	8.1	9.0
e) Periódico sin impresión	1.7	1.9	1.6	2.3	0.7	1.1	1.6
f) Gris	2.4	2.4	2.2	2.0	2.0	1.8	1.9
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Continúa la tabla 3-12

AÑOS	1988	1989	1990
MATERIAS PRIMAS	‡	‡	‡
1. CELULOSA QUIMICA DE MADERA			
a) Al sulfato	23.9	19.3	18.2
Blanqueada de fibra larga	10.1	9.3	8.8
Blanqueada de fibra corta	5.2	3.2	3.5
Semiblanqueada de fibra larga	1.0	0.4	0.2
Sin blanquear de fibra larga	7.6	6.0	5.7
b) Al sulfito	0.2	0.1	0.1
Blanqueada	0.2	0.1	0.1
Sin blanquear	-	-	-
2. CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES			
a) De bagazo	9.0	8.8	8.2
Blanqueada	9.0	8.8	8.2
Sin blanquear	-	-	-
b) Otras	0.1	0.1	0.1

Continúa la tabla 3-12

AÑOS	1988	1989	1990
MATERIAS PRIMAS	%	%	%
3. PASTA MECANICA DE MADERA	5.1	5.9	5.4
4. OTRAS CELULOSAS	0.6	0.1	0.2
Subtotal celulosas	38.9	34.3	32.2
5. FIBRAS SECUNDARIAS	61.1	65.7	67.8
a) Del color natural de la pasta	37.6	39.2	40.2
b) Periódico impreso	8.3	8.7	8.6
c) Tarjeta tabular	4.2	3.2	3.2
d) Blanco	7.6	10.9	12.0
e) Periódico sin impresión	2.1	2.0	2.4
f) Gris	1.3	1.7	1.4
TOTAL	100.0	100.0	100.0

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

De las tablas 3-13 a la 16 se tiene la información sobre importaciones y exportaciones, tanto de celulosa como de papel. En la Tabla 3-13 se dan las cifras para exportación de celulosa con un total de aproximadamente 23 mil toneladas para 1990. Es importante observar que solamente se ha exportado a partir de 1987.

Tabla 3-13. EXPORTACION POR TIPOS DE CELULOSAS
(toneladas métricas)

CONCEPTO	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Celulosa al sulfato blanca		-	-	-	-	-	-	9,420
Celulosa al sulfato sin blanquear		-	-	-	-	-	-	10,166
Celulosa al sulfato fibra corta		-	-	-	-	-	-	740
Subtotal de celulosa química de madera		-	-	-	-	-	-	20,328
Pasta mecánica de madera		-	-	-	-	-	-	-
Pastra termomecánica de madera		-	-	-	-	-	-	-
Pasta químico-termomecánica		-	-	-	-	-	-	-
Total pasta mecánica de madera		-	-	-	-	-	-	-
Total celulosas		-	-	-	-	-	-	-

CONCEPTO	AÑOS	1988	1989	1990
Celulosa al sulfato blanca		29,965	30,678	22,012
Celulosa al sulfato sin blanquear		18,713	-	-
Celulosa al sulfato fibra corta		-	-	-
Subtotal de celulosa química de madera		48,678	30,678	22,012
Pasta mecánica de madera		-	-	-
Pasta termomecánica de madera		-	3,778	400
Pasata químico-termomecánica		-	-	1,336
Total pasta mecánica de madera		3,778	400	1,336
Total celulosas		52,456	31,078	23,348

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

En la tabla 3-14 se dan las cifras de importación de papel de los diferentes tipos usados en el mercado. Puede observarse que, a partir de las devaluaciones de la moneda mexicana, especialmente en el caso de papel para periódicos y libros de texto se redujo de manera impresionante (350 mil a 70 mil aproximadamente). En los casos donde se han liberalizado los precios esta tendencia se ha revertido ya que el consumidor cubre los costos de importación (papel de impresión y escritura y para empaque y, sobre todo, para papel sanitario y facial).

Tabla 3-14. IMPORTACION DE PAPEL POR TIPOS (toneladas métricas)

TIPOS	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
PERIODICO Y LIBRO DE TEXTO						
Periódico		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Libro de texto		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Subtotal		350,319	148,195	66,937	30,842	37,522
ESCRITURA E IMPRESION						
Couché*		26,551	12,025	6,535	1,870	5,316
Para fabricar tarjetas per- forables		2,752	1,717	1,109	629	632
Para cheques y billetes de banco		2,0885	1,770	846	1,158	1,060
Otros escritura e impresión		22,256	11,878	971	4,308	6,029
Subtotal		53,644	27,390	9,461	7,965	13,037
EMPAQUE						
Cartoncillo 2		6,439	7,291	2,636	422	721
Cartoncillo/li- quidos comesti- bles		35,535	41,087	27,780	5,424	7,152
Kraft con peso superior a 160 g.		25,281	4,022	20,577	6,458	8,162
Kraft con peso inferior a 160 g.		25,900	17,792	6,925	10,087	10,09
Otros para empaque		14,313	2,905	1,191	1,911	2,204
Subtotal		108,468	72,997	59,109	24,313	28,332
SANITARIO Y FACIAL						
		645	1,001	3	143	1,062
OTROS PARA USO ESPECIAL						
		55,591	31,807	10,165	14,696	25,814
TOTAL		568,667	281,390	145,675	77,959	105,767

Continúa la tabla 3-14

TIPOS	AÑOS	1986	1987	1988	1989	1990
PERIODICO Y LIBRO DE TEXTO						
Periódico		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Libro de texto		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Subtotal		25,692	14,447	36,196	27,659	69,755
ESCRITURA E IMPRESION						
Couché*		2,711	3,677	7,896	21,661	37,124
Para fabricar tarjetas perforables		591	397	354	362	323
Para cheques y billetes de banco		1,297	1,128	1,799	2,256	1,771
Otros escritura e impresión		3,199	2,615	4,182	10,782	10,085
Subtotal		7,798	7,817	14,231	35,061	49,303
EMPAQUE						
Cartoncillo 2		351	444	1,113	1,816	2,932
Cartoncillo/líquidos comestibles		2,891	4,536	14,231	21,299	22,141
Kraft con peso superior a 160 g.		7,531	9,203	24,488	11,878	18,895
Kraft peso inferior a 160 g		7,771	9,441	9,283	5,571	8,392
Otros para empaque		2,614	2,774	8,906	18,731	49,896
Subtotal		21,158	26,398	58,021	59,295	102,256
SANITARIO Y FACIAL						
		562	927	4,633	5,369	4,416
OTROS PARA USO ESPECIAL						
		15,473	16,743	30,105	46,925	53,129
TOTAL		70,683	66,332	143,186	174,309	278,859

* Incluye papeles, cartulinas y cartoncillos

2 Incluye duplex y multiplex

N.D. No existe posibilidad de desglosar

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

En las tablas 3-15 y 3-16 pueden verse las cifras para la balanza comercial, tanto para celulosa como para papel. Confirmando lo mencionado anteriormente, las cifras negativas han ido incrementándose, sobre todo para celulosas y pastas. Para papel, a partir de 1986, se tienen valores positivos.

Tabla 3-15. BALANZA COMERCIAL CELULOSAS Y PASTAS
(toneladas métricas)

CONCEPTO	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
Exportaciones		-	-	-	-	-
Importaciones		121,285	128,576	162,945	228,082	310,887
Balanza comercial		-121,285	-128,576	-162,945	-228,082	-310,887

CONCEPTO	AÑOS	1986'	1987'	1988'	1989'	1990'
Exportaciones		-	20,328	52,456	31,078	23,348
Importaciones		345,470	470,579*	356,022*	304,320*	335,736
Balanza comercial		-345,470	-450,251	-303,566	-273,242	-312,388

' La fuente de la estadística de información son datos de las empresas asociadas.

* Este volumen incluye importaciones definitivas, temporales e internacionales.

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

Tabla 3-16. PAPEL (toneladas métricas)

CONCEPTO	AÑOS	1981	1982	1983	1984	1985
Exportaciones		-	-	29,254	48,851	38,447
Importaciones		568,667	281,390	145,675	77,959	105,765
Balanza comercial		-568,667	-281,390	-116,421	-29,108	-67,320

CONCEPTO	AÑOS	1986'	1987'	1988'	1989'	1990'
Exportaciones		135,745	243,108	252,556	200,870	167,757
Importaciones		70,683	66,332	143,186	174,309	278,859
Balanza comercial		65,062	176,776	109,370	26,561	-111,102

' La fuente de la estadística de información son datos de las empresas asociadas.

* Este volumen incluye importaciones definitivas, temporales e internacionales.

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

Las plantas productoras de celulosa y papel están distribuidas de acuerdo a lo que se presenta en la Tabla 3-17 (8 de celulosa, 60 de papel y 7 integradas, dando un total de 75). En la Figura 3.1 se muestra la localización de las plantas productoras de celulosa y papel en la República Mexicana.

La mayoría de las plantas están ubicadas en el estado de México (26, 3 de celulosa, 2 integradas y 21 de papel), seguido por el Distrito Federal (10 de papel). Esto conlleva una problemática relativamente severa para esta zona, la más densamente poblada del país con casi el 30% de la población total.

Esta área debe proveer agua y otros recursos para procesar las materias primas requeridas por este sector industrial y recibir los residuos (efluentes gaseosos y líquidos y desechos sólidos) de las empresas ubicadas en la zona.

Por ello, resulta de vital importancia el control ambiental de este giro industrial para minimizar su impacto.

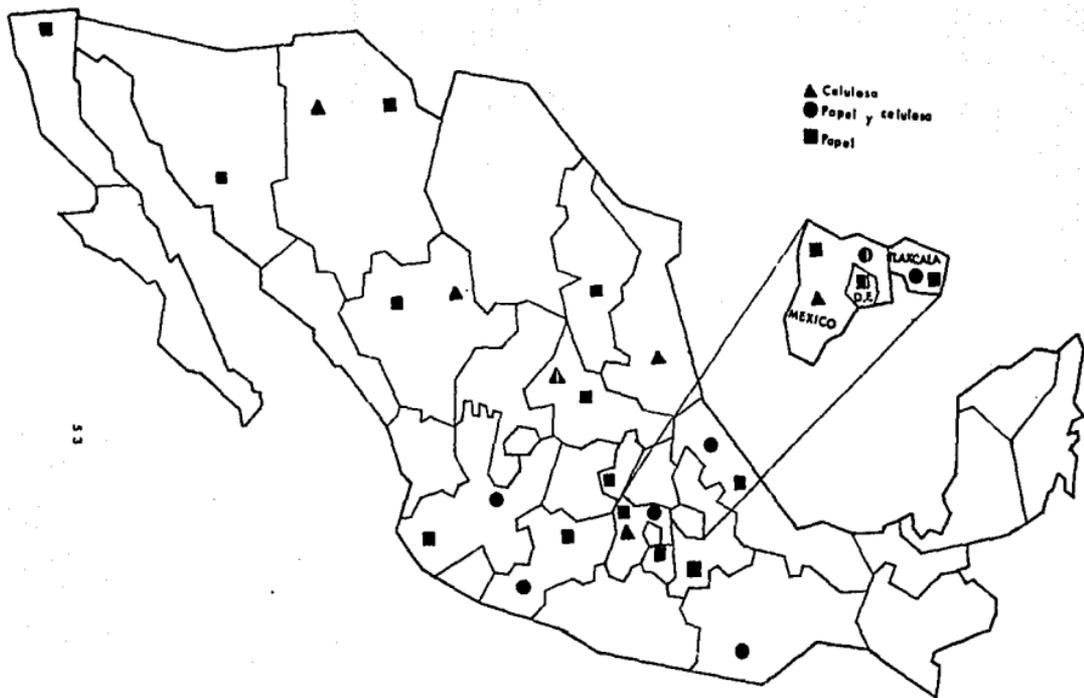


FIG.3-1 LOCALIZACION DE LAS PLANTAS PRODUCTORAS DE CELULOSA Y PAPEL

EN LA REPUBLICA MEXICANA [CNICP, 1991]

Tabla 3-17. LOCALIZACION DE LAS PLANTAS PRODUCTORAS DE CELULOSA Y PAPEL EN LA REPUBLICA MEXICANA

ESTADOS	PLANTAS	CELULOSA	PAPEL Y CELULOSA	PAPEL	TOTAL
Baja California Norte		-	-	1	1
Chihuahua		1	-	1	2
Distrito Federal		-	-	10	10
Durango		2	-	1	3
Jalisco		-	1	3	4
México		3	2	21	26
Michoacán		-	1	1	2
Morelos		-	-	1	1
Nuevo León		-	-	5	5
Oaxaca		-	1	-	1
Puebla		-	-	2	2
Querétaro		-	-	2	2
San Luis Potosí		1	-	3	4
Sonora		-	-	1	1
Tamaulipas		1	-	-	1
Tlaxcala		-	-	5	5
Veracruz		-	2	3	5
Total		8	7	60	75

Fuente: CNICP (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Memoria estadística 1991)

Capítulo 4

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA MEXICO

Las aguas residuales de la industria de la celulosa y el papel presentan problemas importantes debido a la naturaleza y características de sus componentes. Estos se agrupan en categorías, las cuales incluyen:

- Sólidos suspendidos
- Sustancias orgánicas solubles
- Color y espuma
- Sustancias tóxicas
- Sales inorgánicas insolubles

Los métodos de remoción y abatimiento de estos parámetros antes de ser vertidas las aguas residuales a los cuerpos receptores son los siguientes: (Vidal de los Santos, 1987)

4.1 Sólidos suspendidos, coloidales y disueltos

Los sólidos suspendidos y coloidales consisten de finas partículas y cieno procedentes de los patios de madera; fibras y partículas de las operaciones de producción de pulpa y papel, materiales de relleno y recubrimiento como la arcilla y el talco utilizados en la manufactura de papel. Aproximadamente de 75-95% del material suspendido es sedimentable. La mayor parte de la porción no sedimentable son partículas coloidales. En estos casos se emplean los siguientes métodos de tratamiento: (Vidal de los Santos, 1987)

- Reciclado del agua
- Sedimentación primaria
- Lagunas de sedimentación
- Sedimentadores circulares
- Clarificación
- Lagunas de estabilización
- Lagunas de oxidación o lagunas aeradas
- Lodos activados
- Filtros biológicos
- Método electroquímico

Reciclado del agua.- En este método se usa flotación para concentrar los sólidos suspendidos, permitiendo de esta forma la recuperación de grandes porciones de fibras y minerales, compensándose de esta manera los costos de control de la contaminación. Cuando el ciclo se va cerrando surgen los problemas. Los sólidos se vuelven gelatinosos e incrementan la capacidad de retención de agua. La cantidad de material fino aumenta y cuando llega a la bandas de fieltro las obstruye disminuyendo la tasa de drenaje; se incrementa la espumación y se agravan los problemas de crecimiento biológico (que da como consecuencia la adición de biocidas que, posteriormente, imposibilitan cualquier tratamiento biológico de los efluentes).

Sedimentación primaria.- Este método es el más ampliamente usado para reducir los sólidos suspendidos de los efluentes. En la mayoría de los casos el material removido no es reciclado, es enviado a los sistemas de manejo y disposición final de lodos. Esta solución, para el caso de la cuenca de México, donde están ubicadas cuando menos 10 plantas, es bastante compleja por los volúmenes manejados (Vidal de los Santos, 1987).

Lagunas de sedimentación.- Se utilizan donde los costos del terreno son accesibles. Los costos iniciales de construcción son los más importantes. Estas instalaciones reducen los sólidos sedimentables eficazmente, Pero los ahorros en los costos de construcción se equilibran con los subsecuentes problemas de limpieza (Vidal de los Santos, 1987).

En las lagunas de poca profundidad se facilita la limpieza, cuando existen grandes extensiones que aseguren que la carga superficial sea menor que la velocidad de sedimentación, de manera que las fibras sedimenten. La construcción de lagunas paralelas es común. Cuando la profundidad de los lodos es superior a 90 cm la limpieza se vuelve difícil (Vidal de los Santos, 1987).

Sedimentadores circulares.- Estos sistemas son los más aceptados para la remoción de sólidos suspendidos. La eficiencia en las fábricas de pulpa y papel es de 70-90% mientras que los sólidos sedimentables se reducen en un 95% o más.

Clarificación.- Este proceso reduce la materia orgánica coloidal (medida como DBO), mediante el arrastre de partículas en el proceso de sedimentación. Varía la eficiencia desde cero para los desechos del proceso sulfito hasta 10% para los del proceso Kraft. Para las aguas residuales procedentes de las máquinas de papel se observan eficiencias de 15-20% cuando se fabrica papel periódico ; 20-25% cuando libros y 35-65% para papel tissue o seda (Vidal de los Santos, 1987).

Para separar los sólidos disueltos, el primer paso es precipitarlos, de ser posible, empleando métodos biológicos que son los menos costosos. A continuación viene nuevamente una serie de operaciones unitarias para separar estos sólidos precipitados formados (como las ya mencionadas arriba). Los métodos ya mencionados en el capítulo 2 de este trabajo se desglosan brevemente a continuación: (Vidal de los Santos, 1987).

Lagunas de estabilización.- En estos procesos la eficiencia de remoción de material coloidal, medido como DBO, está sujeta a ciertas condiciones ambientales, básicamente la temperatura y parámetros de diseño como la profundidad y la carga superficial. Durante las estaciones calientes la reducción se registra en un orden de magnitud de 0.056 kg/metro cuadrado-día, mientras que durante las templadas se observa de 0.07-0.022 kg/metro cuadrado-día. Las lagunas de estabilización generalmente son poco profundas, de 1.5 m o menos. El coeficiente de reaeración a esta

profundidad es de 0.15. El tiempo de almacenamiento para alcanzar una remoción de la DBO del 85-90% es de 25 días o más. Es indispensable la sedimentación previa de los desechos para prevenir la formación de un sistema anaerobio que eleve substancialmente la DBO (Vidal de los Santos, 1987).

Lagunas de oxidación o lagunas aeradas.- Este proceso es el más prometedor, ya que presenta algunas ventajas tales como: una estabilidad en la operación, capacidad de carga de 6 - 10 veces mayor por metro cuadrado de la laguna de estabilización y evita los lodos secundarios de un sistema de lodos activados. La tasa de oxidación indica coeficientes de $k = 0.1$ a 20°C y $k = 0.16$ a 30°C . Muchos diseños incluyen tiempo de retención de 6 - 10 días contemplando una alimentación suplementaria de fósforo y nitrógeno (Vidal de los Santos, 1987).

A temperaturas ambientales altas se han reportado reducciones de 60-75% con tiempos de retención de cuatro días y sin alimentación adicional de nutrientes. En otros casos se reportan reducciones de 90-94% con tiempos de retención de seis días con alimentación suplementaria. Uno de los criterios para evaluar la eficiencia de estas unidades es la cantidad de material orgánico medido como DBO removido, en kilogramos por HP-día. Así, un diseño aceptable muestra un valor de 22.7 kg de DBO removida/HP-día (Vidal de los Santos, 1987).

Lodos activados.- Este método es aplicado en sus distintas modalidades en lugares en donde el costo del terreno es de primera importancia. Una laguna de lodos activados alcanza la misma reducción de DBO, de 85% en sólo 4-6 horas que la que puede alcanzar una laguna de estabilización en 25 días, o una laguna de oxidación en 6 días. (Chudoba 1985; Fernández y colaboradores 1988; Ros 1988; Yamamoto 1989)

Los lodos activados son susceptibles a los choques de cargas que ocurren ocasionalmente en este tipo de industrias, en especial cuando se agregan biocidas para reducir los crecimientos microbianos en el proceso (Vidal de los Santos, 1987)

El contenido de oxígeno que alcanza el clarificador secundario también es crítico. Poco oxígeno torna al sistema anaerobio, mientras que un exceso provoca un mezclado y pérdidas de lodos por sobre flujo. La operación sugiere temperaturas de 30°C y pH cerca de la neutralidad (Vidal de los Santos, 1987).

Los nutrientes, amonio y ácido fosfórico, son esenciales para el proceso. En el arranque el nitrógeno es añadido aproximadamente a una relación 1:20 y el fósforo a una tasa de 1:1000 kg de nutrientes por kg de DBO, respectivamente. Una vez estabilizada la operación las dosificaciones se reducen.

La principal desventaja de los lodos activados es la disposición de los lodos secundarios formados (Grobelaar, 1988; Vasil'ev, 1989; Yamamoto, 1991; Ros, 1988)

Filtros biológicos.- En este sistema la reducción de la DBO puede alcanzar hasta el 100%. Cuando los desechos sólidos son rociados en el suelo, es importante conservar una buena vegetación en cosecha para conseguir que los poros del suelo permanezcan abiertos, lo que facilita la evaporación. Los valores de pH más satisfactorios para el suelo van de 6.0 a 9.0. La tasa de absorción de sodio debe ser menor de 8.0 para prevenir taponamientos. La disposición por rociado requiere de $4.18 \text{ m}^2/\text{m}^3$ -día a $5.22 \text{ m}^2/\text{m}^3$ -día, cuidando que el fluido no mate la vegetación. Muchos suelos pueden manipular no más de 224.38 kg de DBO/metro cuadrado-día (Vidal de los Santos, 1987).

Método electroquímico.- Este método ha sido investigado en las fabricas de pulpa kraft cercanas al mar. La combinación de extracto cáustico del blanqueado diluida con agua salada es mezclada con las aguas residuales; la descarga de una corriente eléctrica produce iones cloratos, hipoclorito y cloro libre. Estos últimos oxidan los compuestos orgánicos. La reducción de las especies cloradas a iones cloruro permite ser nuevamente sujetas a hidrólisis y formar cloro activo (Vidal de los Santos, 1987).

La espumación también ha presentado serias dificultades para su control, aunque se dice que pueden ser controladas en la descarga mediante un diseño apropiado de la misma o por el uso de cercas o vallas, tales como cortinas de lana o cáñamo. La adición de agentes antiespumantes asperjados ayuda a romper la espumación pero puede sobrevenir la regeneración en el cuerpo receptor. (Vidal de los Santos; 1987).

De todos los anteriores, en los que no se mencionaron los sistemas anaerobios de remoción de contaminantes disueltos convirtiéndolos básicamente en biogás, los pocos que se emplean en México son los de separación primaria dejando los efluentes líquidos residuales con todo el material disuelto y coloidal presente en ellos.

Para el caso de las industrias de papel en México, casi todas ellas solamente dan un tratamiento primario a sus efluentes. Estos efluentes son denominados aguas blancas y contienen una elevada concentración de materia orgánica disuelta y coloidal (dos o tres veces lo que contienen las aguas negras domésticas) y con un alto contenido de sólidos suspendidos y en sales. Esto es debido a la adición de cargas, colorantes, texturizadores, mejoradores de resistencia, biocidas, etc. Estos efluentes contienen substancias recalcitrantes y tóxicas que dificultan su tratamiento biológico (Curtis, 1988; Chudoba, 1985; Gönenc, 1988; Grobbelaar, 1988; Larrea, 1991; Polprasert, 1985; Qui, 1988; Ryhiner, 1988; Terashima, 1984).

4.2 Sistemas de tratamiento a nivel de laboratorio

En México se han realizado experimentos a nivel de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales de la industria de papel o "aguas blancas". Estos experimentos se dividen en tratamientos aerobios y anaerobios, tanto en serie

como en paralelo. En la tabla 4-1 se resumen las características de las aguas blancas usadas en esos experimentos.

Dentro de los sistemas aerobios estudiados se encuentran las lagunas aeradas, lodos activados y reactores de biodiscos rotatorios y entre los anaerobios los reactores de lecho fluidificado ascendente y los empacados de flujo ascendente (Bekris y col., 1990, 1991; Fernández, 1988, 1990, 1992; Poggi y col., 1989; Vázquez y col., 1991).

Tabla 4-1. Características de aguas residuales blancas de una fábrica de papel (Vázquez y col., 1991)

Característica	Valor
Demanda química de oxígeno (DQO) total, mg/L	1,200
soluble, mg/L	470
Turbiedad, UTN (unidades de turbiedad nefelométricas)	>100
Sólidos sedimentables, mg/L	35
Alcalinidad total, mg CaCO ₃ /L	430
pH	neutro

Los resultados obtenidos fueron, para lagunas aeradas, los siguientes:

Este sistema estuvo formado por cuatro lagunas de cinco litros de volumen, operando a 2, 5, 10 y 20 días de tiempo de residencia. Se analizaron los siguientes parámetros: Demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), pH y tasa de respiración. En este sistema se obtuvieron resultados satisfactorios de remoción de demanda química de oxígeno a 10 y 20 días de tiempo de residencia en los que la remoción fué de 75 y 84%, respectivamente. En la Tabla 4.2 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 4.2 Resultados obtenidos en lagunas aeradas de laboratorio (Durán de Bazúa y col., 1988; Quintanar-Ferriz, 1992)

Lagunas	1	2	3	4
Tiempo de residencia, días	2	5	10	20
DQO influente, mg/L	1825	1825	1825	1825
efluente, mg/L	956	747	464	291
Remoción de DQO, %	47.6	59.1	74.6	84.1
S.S.V. del licor mezclado, mg/L	752	1222	1156	1048

Para el sistema a nivel de laboratorio de lodos activados se simuló el proceso de lodos activados en tres vasos abiertos con volumen de dos litros, con mecanismos de aeración y agitación que permita mantener la presencia de oxígeno disuelto en concentraciones mayores de 2 ppm.

Los lodos activados utilizados eran de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria (UNAM, México). En este sistema se mantuvieron constantes las condiciones de temperatura, carga orgánica y pH en los tres reactores variando solamente la concentración inicial de inóculo de lodos. El tiempo de residencia fue de 1 día.

El factor controlante para el sistema de lodos activados es la capacidad de sedimentación de los flóculos formados, por lo que, al término de cada experimento se mide el índice de sedimentación de los lodos.

La calidad depurativa del sistema se evaluó midiendo la demanda química de oxígeno, DQO (Fernández, et al., 1988).

Los resultados obtenidos indicaron que, independientemente de la concentración inicial de lodos, no se encontró diferencia significativa en la depuración de las aguas residuales. Los índices de sedimentación de lodos tampoco variaron significativamente. Sin embargo, la depuración obtenida fue bastante menor que con las lagunas aeradas.

Otro sistema de tratamiento aerobio, son los reactores de tipo de película activa soportada en discos rotatorios de 50 y 200 litros. En la Tabla 4.3 se dan las características de las aguas blancas. En el caso de estos experimentos se empleó una concentración inicial constante de 600 mg DQO/L (aproximadamente 460 mg DBOu/L), por lo que cuando venían de la planta con concentraciones mayores eran diluidas con agua de la llave.

Tabla 4-3. Características promedio de las aguas blancas

Característica	Intervalo de valores
DQO soluble, mg/L	400-1200
DBOu soluble, mg/L	200-700
Sólidos sedimentables, ml/L	35
pH	3.2-7.5
solidos solubles totales, mg/L	400-1100

Fuente: Bekris et al. (1988)

En estos sistemas, las eficiencias de remoción para tiempos de residencia hidráulicos de 1 día fueron de 82% para la DQO y de 85% para la DBOu.

Para el caso de los sistemas anaerobios estudiados, las aguas residuales provenientes de las fábricas de papel "aguas blancas" fueron tratadas con un reactor fluidificado anaerobio de flujo ascendente. Usando este sistema se removió entre 56-74% de carga orgánica inicial, (basada en la demanda química de oxígeno total) en un intervalo de 2.7-0.4 días de tiempo de residencia hidráulica (TRH). El rendimiento de biogás fue de aproximadamente 75%. La composición de gas fué de 80% de metano, 15% de dióxido de carbono y menos de 5% de otros gases (Poggi-Varaldo y colaboradores, 1990).

La energía asociada al metano es la productividad máxima de biogás fué equivalente a 0.3 litros de aceite combustible/metro cúbico de agua blanca tratada, para este efluente en particular.

También se realizaron experimentos con un reactor empacado de laboratorio. El comportamiento de este reactor se comparó con experimentos previos realizados con aguas residuales de un sistema "totalmente" cerrado que tenia concentraciones aproximadamente diez veces mayores (fábrica de papel ubicada en la RFA). Fue claro que este sistema funciona más eficazmente con aguas residuales concentradas que con las obtenidas de las plantas mexicanas. Su eficiencia de remoción fue menor que la del reactor de lecho fluidificado (Fernández-Villagómez, 1992)

Por esta razón, cuando se utiliza cualquier sistema anaerobio es necesario adicionar un estadio de pulimiento aerobio para cumplir con los límites establecidos por las normas técnicas ecológicas vigentes para este giro industrial (Vázquez, 1991).

En la tabla 4-4 se comparan diferentes sistemas y las velocidades de remoción de carga orgánica expresada como DQO.

Por ello, finalmente se realizó un estudio secuencial tratando las aguas blancas de una empresa mexicana usando como primera etapa un reactor anaerobio de lecho fluidificado (al que las aguas residuales entraban sin ninguna dilución, con concentraciones entre 1000 y 1400 mg DQO/L) y como segunda etapa un reactor de biodiscos (al que entraba con una concentración cercana a los 600 mg DQO/L). Ambos operaban a un tiempo de residencia hidráulico de 1 día. La eficiencia de remoción obtenida fue bastante similar a la de las aguas residuales diluidas tratadas en forma aerobia (concentración del efluente tratado entre 80 y 100 mg DQO/L y de 25 a 70 mg DBOu/L). Se encuentra en estudio una evaluación de prefactibilidad del sistema combinado anaerobio-aerobio para tratar esas aguas residuales industriales (Durán de Bazúa y colaboradores, 1992).

Tabla 4-4. Comparación de tipos de reactores anaerobios en cuanto a cargas aplicadas y eficiencias de remoción

Tipo de reactor	Carga aplicada comp DQO (kg/m ³ día)	Remoción de DQO (%)
Proceso de contacto	1-6	80-95
Filtro flujo ascendente	1-10	80-95
Lecho expandido/fluidificado	1-20	80-87
Filtro flujo descendente	5-15	75-88
Digestor de lodos, flujo descendente	5-30	85-95
Reactor anaerobio de membrana	16	95

Fuente: Fernández (1992)

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como ya se vió en los capítulos anteriores, la industria de la celulosa y el papel ha tenido un desarrollo importante en México y en todo el mundo, particularmente en el continente americano. Ya no solamente se utiliza madera como materia prima sino que ahora se utilizan también fibras de plantas anuales y desechos de papel entre otras, debido a que la demanda interna de papel ha aumentado enormemente.

A pesar de los esfuerzos hechos por México se siguen importando celulosa y papel de otros países para satisfacer la demanda de México.

Los principales contaminantes generados, contenidos en las aguas residuales de la industria de la celulosa y el papel son los siguientes: Sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos disueltos (SD), color, substancias tóxicas y sales inorgánicas, básicamente compuestos de azufre y carbonatos.

En la industria de la celulosa y el papel se utilizan grandes volúmenes de agua, siendo el principal problema el suministro de la misma y la elevada contaminación de las aguas residuales.

En estas industrias se han ido cerrando los ciclos y se recircula el agua para ahorrar la mayor cantidad posible. Sin embargo, el agua generada aunque es una cantidad mucho menor, está más concentrada y por lo tanto es más contaminante al ambiente. Naturalmente, es más fácil su manejo, ya que es un volumen menor. Estas aguas residuales deben ser tratadas antes de vertirse a los cuerpos receptores. El tratamiento a ser utilizado depende de las necesidades de las aguas residuales generadas por cada industria, de la economía de la misma, de su ubicación geográfica y de otros factores que van a condicionar los sistemas a elegir.

A pesar de todos los avances logrados por esta industria, todavía se necesita seguir investigando acerca de nuevas fuentes de materias primas, así como la recuperación de reactivos y fibras dentro de las empresas.

Los sistemas de lodos activados, lagunas aeradas, filtros biológicos e irrigación agrícola, se han aplicado en México con resultados no muy efectivos.

En México se han hecho investigaciones en laboratorio y plantas piloto para tratar las aguas residuales de la industria

papelera empleando algunos de los métodos anaerobios, aerobios y combinaciones de ambos. Según los resultados obtenidos, se han observado que, dependiendo del efluente, se tienen ventajas y desventajas para cada uno de ellos. Para efluentes concentrados, los sistemas anaerobios son los idóneos ya que tienen un bajo requerimiento energético, un bajo requerimiento de nutrientes, una baja producción de lodos, producción de energía secundaria en forma de metano, etc. Para efluentes diluidos los sistemas aerobios son los más promisorios ya que su respuesta es más rápida y no tienen problemas de inestabilidad.

Estos métodos también ofrecen la posibilidad de combinar algunas características de los reactores, para obtener los llamados reactores híbridos, y en algunos casos combinar el tratamiento anaerobio y el tratamiento aerobio lográndose buenos resultados para casos especiales de efluentes.

Actualmente se siguen investigando los métodos anaerobios para lograr mejores resultados mediante su perfeccionamiento, especialmente para tratar a las aguas residuales de la fabricación de celulosa que son las menos degradables por sistemas biológicos.

Es recomendable tratar de instrumentar sistemas cerrados de agua para minimizar el consumo de este vital líquido y optimizar los sistemas de tratamiento, tanto físicos y químicos como biológicos para minimizar los costos de operación de las plantas.

Asimismo, es recomendable que en las fábricas de papel se hagan balances económicos de los costos de uso de celulosa virgen sobre papel de desperdicio a la luz de los costos de tratamiento de las aguas residuales para ambos casos, ya que, en algunos casos es más viable económicamente importar celulosa virgen cuyas aguas residuales son menos problemáticas que importar papel de desperdicio y tratar las aguas residuales que contienen residuos de pinturas, encolantes, etc.

AGRADECIMIENTOS

Mi mayor agradecimiento es para la doctora Carmen Durán de Bazúa por todo el apoyo brindado en la realización de esta tesis.

También para la doctora Georgina Fernández Villagómez por el apoyo brindado en la realización de esta tesis.

A la Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel por la información brindada.

A la biblioteca de Biotecnología del "Cinvestav-IPN" por las facilidades prestadas para la obtención de bibliografía.

Y a todas las personas que de alguna forma contribuyeron a la realización de esta tesis.

Los experimentos realizados con las aguas blancas de una empresa papelera fueron financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (Proyecto Clave PVT/AI/NAL/87/3782), empleando equipo analítico donado por el Ministerio Federal de Investigación y Tecnología de la República Federal de Alemania y por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con sede en Nairobi, Kenya.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Airene, O. y Ruonala, S. 1988. New ideas on pollution control in the pulp and paper industry. Are there any?. Wat. Sci. Tech., 20(1):207-210.
- Aivasidis, A. y Wandrey, C. 1988. Recent developments in process and reactor design for anaerobic wastewater treatment. Wat. Sci. Tech., 20(1):211-218.
- Anderson, G. K. y Senaratne, A. U. 1985. Cost of anaerobic processes in the pulp and paper industry. Wat. Sci. Tech. 17:241-254.
- Ayanegui, J.S. 1982. Usos del agua en la industria de pulpa y papel. México, D. F.
- Bekris, J., Vázquez, M.L., Durán de Bazúa, C. 1990. Biodegradación de aguas blancas de la industria papelera en un reactor de biodiscos a nivel laboratorio. Memoria del VII Congreso Nacional de la Sociedad de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. "La Ingeniería Ambiental y la Salud". Oaxaca, Oax. Sept. 19-21. Pp. C-30-32.
- Bertoletti, E., Araújo R., Zagatto, P. y Gherardi-Golston, E. 1988. Toxicity evaluation of paper mill effluents. Wat. Sci. Tech. 20(2):191.
- Benjamin, M. M., Woods, S. L. y Ferguson, J. F. 1984. Anaerobic toxicity and biodegradability of pulp mill waste constituents. Water Res. 18(5): 601-607.
- Blank, N. P. 1991. Biomass gasification project gets funding to solve black licor safety and landfill problems. Tappi J. :65-68.
- Curtis, B. W. y Gari, A. L. 1988. Seasonal and in mill aspects of organic halide removal by an aerated stabilization basin treating a kraft mill wastewater. Wat. Sci. Tech. 21:231-239.
- Caro, T. 1986. Biorreactor for the cultivation of microorganisms on lignocellulosic materials. Commission of the European Communities. Londres y Nueva York :90-97.
- Comeau, Y., Hall, K. J. y Oldham, W. K.. 1985. A biochemical model for biological enhanced phosphorus removal. Wat. Sci. Tech. 17: 313- 314.
- Christensen, F. R., Kristensen, G. H. y Jansen J. 1988. Biofiestruure - an important and neglected parameter in wastewater treatment. Wat. Sci. Tech. 21: 805-814.
- Chudoba, J. 1985. Control of activated sludge filamentous bulking - VI. Water Res. 19 (8):1017- 1022.

Dohányos, M., Kosová, B., Záborská, J. y Grau, P. 1985. Production and utilization of volatile fatty acids in various types of anaerobic reactors. Wat. Sci. Tech. 17: 191-205.

Durán de Bazúa, C.; Fernández-Villagómez, G. y Poggi-Varaldo, H.M. 1988. Tratamiento de aguas residuales de fábricas de papel por métodos aerobios y anaerobios. Segundo informe técnico de avance. Conacyt-UNAM. Pub. Facultad de Química. México D.F.

Durán de Bazúa, C.; Luna-Pabello, V.M.; Calderón-Villagómez, H.E.; Brindis-Olvera, F.N., Orihuela-García, R. 1992. Evaluación del tratamiento secuencial anaerobio-aerobio de aguas residuales de fábricas de papel. Informe técnico PAP-02-92. Conacyt-UNAM. Pub. Facultad de Química. México D.F.

Endo, G. y Tohya, Y.. 1985. Anaerobic biological decomposition of malolorous compounds in kraft pulping wastewater. Wat. Sci. Tech. 17:39-52.

Ferguson, J. F., Eis, B. J. y Benjamin, M. M. 1984. Neutralization in anaerobic treatment of an acidic waste. Water Res. 18 (5):573-580.

Ferguson, J. F. y Benjamin, M. M. 1985. Studies of anaerobic treatment of sulfite process wastes. Water. Sci. Tech. 17 :113-121.

Frostell, B. 1985. Process control in anaerobic wastewater treatment. Wat. Sci. Tech. 17:173-189.

Fernández-Villagómez, G. 1992. Estudios cinéticos de sistemas anaerobios en reactores de película fija alimentados con aguas blancas de la industria del papel. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería, UNAM. México D.F.

Fernández-Villagómez, G., Poggi-Varaldo, H. y Durán de Bazúa, C. 1988. Usos de sistemas de lodos activados a escala laboratorio en el tratamiento de aguas residuales de fábricas de papel. Parte 1. Primer informe técnico de avance. Conacyt-UNAM. Pub. Facultad de Química. México, D. F.

Galvão, Fº J. B., Grieco, V. M., Araújo, R. P., Ortolano, M. R., Bertoletti, E. y Ramos, M. L. L. C. 1981. Treatability studies and toxicity reduction in pulp and paper mill effluents. Wat. Sci. Tech. 20 (1):149-160.

Geller, A. y Götsching, L. 1985. Anaerobic fermentation of sulphite pulp mill effluents. Wat. Sci. Tech. 17 :157-171.

Ghosh, A., Ombregt, J. P. y Pipyn, P. 1985. Methane production from industrial wastes by two-phase anaerobic digestion. Water Res. 19 (9):1083-1088.

Gommer, P. J. F., Bijleveld, W. y Kvenen, J. G. 1988. Simultaneous sulfide and acetate oxidation in a denitrifying fluidized bed reactor-I. Wat. Res. 22 (9):1075-1083.

Göncü, I. E. y Harremoës, P. 1985. Nitrification in rotating disc system -I. Water Res. 19(9):1119-1127.

Grobbelaar, J. U., Soeder, C. J., Groeneweg, J., Stengel, E. Harting, P. 1988. Rates of biogenic oxygen production in mass cultures of microalgae, absorption of atmospheric oxygen and oxygen availability for wastewater treatment. Wat. Res. 22(11):1459-1464.

Gruber, Y., Farchill, D., Arveste, G. y Goldstein, M. 1991. Start-up and running-in of the Soreq biological wastewater treatment plant. Wat. Sci. Tech.: 63-75.

Habets, L. H. A. y Knelissen, J. H.. 1985. Application of the UASB reactor for anaerobic treatment of paper and board mill effluent. Wat. Sci. Tech. 17:61-75.

Hakulinen, R., Woods, S., Ferguson, J. y Benjamin, M. 1985. The role of facultative anaerobic microorganisms in anaerobic degradation of chlorophenols. Wat. Sci. Tech. 17: 289-301.

Hall, E. R. 1987. Biofilm reactors in anaerobic wastewater treatment. Biotech. Adv. 5:257-269.

Herington, G. 1985. Small plant captures gas economically. Water/Engineering & Management. 32-34.

Hickey, R. F., Wu, W.-M., Veiga, M. C. y Jones, R. 1991. Start-up, operation, monitoring and control of high-rate anaerobic treatment systems. Wat. Sci. Tech. 24(8):207-255.

Iza, J., Colleran, E., Paris, J. M. y Wu, W.-M.. 1991. International workshop on anaerobic treatment technology for municipal and industrial wastewater: Summary paper. Wat. Sci. Tech. 24 (8):1-16.

Iza, J.. 1991. Fluidized bed reactors for anaerobic wastewater treatment. Wat. Sci. Tech. 24(8):109-132.

Kennedy, K. J. y Droste, R. L.. 1991. Anaerobic wastewater treatment in down-flow stationary fixed film reactors. Wat. Sci. Tech. 24(8):157-177.

Kovacs, T. G. y Voss, R. H. 1986. Factors influencing the effect of bleached kraft mill effluents on drinking water quality. Wat. Res. 20(9):1185-1191.

Kroiss, H., Svardal, K. y Fleckseder, H. 1985. Anaerobic treatment of sulfide pulp mill effluents. Wat. Sci. Tech. 17:145.156.

**ESTA TESTS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- Kroiss, H., Plahl-Wabnegg, F. y Svardal, K. 1985. Anaerobic treatment of viscose wastewater. Wat. Sci. Tech. 17:231-239.
- Larrea, L., Forster, C. F. y Melé, D. 1988. Kraft lignin behaviour in diffused aeration of kraft effluents. Wat. Sci. Tech. 21:241-253.
- Lehtomäki Matti. 1988. The taman process: experiences of full-scale operation at anjala paper mill. Wat. Sci. Tech. 20 (1):99-105.
- Lema, J. M., Méndez, R., Iza, J., García, P. y Fernández-Polanco, F. 1991. Chemical reactor engineering concepts in design and operation of anaerobic treatment processes. Wat. Sci. Tech. 24(8):79-86.
- Lettinga, P. y Hulshoff, P. L. W.. 1991. UASB - Process design for various types of wastewater. Wat. Sci. Tech. 24(8):87-107.
- Levenberger, C., Giger, W., Coney, R., Graydon, J.W. y Molnar-Kubica, E. 1985. Persistent chemicals in pulp mill effluents. Water Res. 19(7):885-894.
- Libby, C. E. 1984. Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo 1. Pulpa. Ed. C. E. C. S. A. México D. F.
- Lötter, L. H. 1985. The role of bacterial phosphate metabolism in enhanced phosphorus removal from the activated sludge process. Wat. Sci. Tech. 17:127-138.
- Luonsi, A., Vuoriranta, P. y Hynninen, P. 1986. Reduction of pulp and paper industry effluent loading. Wat. Sci. Tech. 18:109-125.
- Luonsi, A., Junna, J. y Nevalainen, I. 1988. The development of wastewater treatment in the Finnish pulp and paper industry. Wat. Sci. Tech. 20(1):25-36.
- Mähttän, R. K.. 1985. Anaerobic wastewater treatment process. Wat. Sci. Tech. 17:53-59.
- McCarty, P. L. y Mosey, F. E. 1991. Modelling of anaerobic digestion processes (a discussion of concepts). Wat. Sci. Tech. 24 (8):17-33.
- Maree J. P. y Strydom Wilma F. 1985. Biological sulphate removal in an upflow packed bed reactor. Water Res. 19 (9): 1101-1106.
- Memoria estadística 1991. CNICP (Cámara Nacional de las industrias de la celulosa y del papel)
- Mentu, J., Niemela, S. y Vähätänen, P. 1988. Effects of treatment of paper industry wastewater on coliform bacteria. Wat. Sci. Tech. 20(1):271.

- Millot, N., Huyard, A., Faup G. M. y Michel, J. P. 1988. Sludge liquefaction by conversion to fuels. Wat. Sci. Tech. 21:917-923.
- Mistein, O., Haars, A., Majcherczyk, A., Trojanowski, J., Tautz, D., Zanker, H. y Hüttermann, A. 1988. Removal of chlorophenols and chlorolignins from bleaching effluent by combined chemical and biological treatment. Wat. Sci. Tech. 20(1):161-170.
- Möbius, C. H.. 1988. Improvement of COD elimination in activated sludge treatment plant for pulp and paper mill wastewaters. Wat. Sci. Tech. 20(1):121-132.
- Mogens, H. 1982. IAWPRC Specialised seminar on anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors. Water Res. 17(12):1945-1983.
- Nachtergaele, W. 1989. The benefits of cationic starches for the paper industry. Starch/Starke. 41(1):27-31.
- Nähle, L. 1991. The contact process for the anaerobic treatment of wastewater: technology, design and experiences. Wat. Sci. Tech. 24(8):179-191.
- Okada, M. y Sudo, R. 1985. Simultaneous removal of phosphorus and nitrogen by sequencing batch reactor activated sludge process. Wat. Sci. Tech. 17:315-316.
- Orivouri, J. 1985. Forest industry anaerobic wastewater treatment and its future development. Wat. Sci. Tech. 17:265-270.
- Pavlostathis, S. G. y Giraldo-Gómez, E. 1991. Kinetics of anaerobic treatment. Wat. Sci. Tech. 24(8):35-59.
- Pichon, M. J. y Junet, E. 1988. Anaerobic treatment-containing effluents. Wat. Sci. Tech. 20(1):133-141.
- Poggi-Varaldo, H. M., Durán de Bazúa, C. y Rinderknecht-Seijas, N. 1990. Treatability of paper mill wastewater with anaerobic fluidized bed process. Comunicación personal.
- Polprasert, C. y Raghunandana, H. S. 1985. Wastewater treatment in a deep aeration tank. Wat. Res. 19(2):257-264.
- Prasad, D. Y. y Joyce, T. W. 1991. Color removal from kraft bleach plant effluents by *Trichoderma* sp. Pappi Journal. 165-169.
- Priest, C. J. 1985. Operational experience whit anaerobic/aerobic treatment system for paper mill wastewaters. Wat. Sci. Tech. 17:123-132.
- Puhakla, J. A., Rintala, J. A. y Vuoriranta, P. 1985. Influence of sulfur compounds on biogas production from forest industry wastewater. Wat. Sci. Tech. 17:281-288.

- Puhakka, J. A., Viitasaari, M. A., Latola, P. K. y Mäkitä, R. K. 1988. Effect of temperature on anaerobic digestion of pulp and paper industry wastewater sludge. Wat. Sci. Tech. 20(1):193-120.
- Qui, R., Ferguson, J. y Benjamin, M. M. 1988. Sequential anaerobic and aerobic treatment of kraft pulping wastes. Wat. Sci. Tech. 20(1):07-120.
- Qintanar-Ferriz, H. 1992. Estudio técnico de la degradación de la materia orgánica disuelta presente en aguas blancas de la Industria papelera empleando microorganismos floculados. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México D.F.
- Rantala, P. y Väänänen, A. 1985. Cost comparison of aerobic and anaerobic wastewater treatment systems. Wat. Sci. Tech. 17(2):55-264.
- Reeve, D. W. 1991. Organochlorine in bleached kraft pulp. Tappi Journal.:123-126.
- Richards, D. J. y Shieh, W. K. 1986. Biological fate of organic priority pollutants in the aquatic environment. Wat. Res. 20(9):1077-1090.
- Rekunen, S., Kallio, O., Nyström, T. y Oivanen, O. 1985. The Tama anaerobic process for wastewater from mechanical pulp and paper production. Wat. Sci. Tech. 17:133-144
- Romero-Tena, J.A. 1984. Evaluación de consumo de reactivos en el proceso de pulpeo al sulfito a partir de bagazo de caña. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México, D. F.
- Ros, M., Dular, M. y Farkas, P. A. 1988. An improved method using respirography for the design of activated sludge aeration systems. Wat. Res. 22(12):1483-1489.
- Rounsley, R. 1991. How paper properties can be developed using different methods of calendaring. Tappi Journal. 105-108.
- Ryhiner, G., Petrizzi, S. y Dunn, I. J. 1988. Operation of a three-phase biofilm fluidized sand bed reactor for aerobic wastewater treatment. Biotechnology and Bioengineering. 3(2):677-688.
- Salkinoja-Salonen, M. S., Hakulinen, R., Silakaki, L., Apajalanti, J., Backstrom, V. y Nurmiho-Lassila, E.-L. 1985. Fluidized bed technology in the anaerobic treatment of forest industry wastewaters. Wat. Sci. Tech. 17:77-78.
- S. R. H. Subsecretaría de Planeación. 1974. Estudio sobre usos del agua, métodos y costos para el control de la contaminación del agua residual en la industria de la celulosa y el papel.
- Terashima, Y. e Ishikawa, M. 1984. The kinetic analysis of BOD and nitrogen removal in Amsterdam. Wat. Sci. Tech. 17:291-302.

Tilche, A. y Vieira, S. M.M. 1991. Discussion report on reactor design of anaerobic filters and sludge bed reactors. Wat. Sci. Tech. 24(8):193-206.

Vasil'ev, V.B. y Vavilin, V. A.. 1989. Model of biological treatment of complex organic matter by activated sludge. Plenum Publishing Corporation, 464-469.

Vázquez, M.L., Bekris, J. y Durán de Bazúa, C. 1991. Tratamiento aerobio de aguas residuales de la industria de papel empleando reactores biológicos rotatorios. Informe técnico de trabajo PAP-01-91. Facultad de Química, UNAM. México D.F. 112 pags.

Veldkamp, R. G. 1984. Modeling phosphate sludge production. Wat. Sci. Tech. 17:107-119.

Vidal de los Santos, E. 1987. La industria de la celulosa y el papel en México. Trabajo de investigación elaborado para la asignatura "Agua y desperdicio de la Industria" División de estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería UNAM.

Walsh, P. B. 1991. Hydrogen peroxide: innovation in chemical pulp bleaching. Tappi Journal. 81-82.

Webb, L.J. 1985. a) Characteristic of paper/board mill wastewater relevant to anaerobic treatment. Wat. Sci. Tech. 17:29-38.

Webb, L.J. 1985. b) An investigation into the occurrence of sewage fungus in rivers containing paper mill effluents - I. Water Res. 19(8):947-954.

Webb, L. J. 1985. c) An investigation into the occurrence of sewage fungus in rivers containing paper mill effluents - II. Water Res. 19(8):955-959.

Webb, L. J. 1985. d) An investigation into the occurrence of sewage fungus in rivers containing paper mill effluents - III. Water Res. 19(9):961-967.

Webb, L. J. 1985. e) An investigation into the occurrence of sewage fungus in rivers containing paper mill effluents - IV. Water Res. 19(8):969-974.

Weiland, P. y Rozzi, A. 1991. The start-up, operation, and monitoring of high-rate anaerobic treatment systems: discussor's report. Wat. Sci. Tech. 24(8):257-277.

Welander, T. y Anderson, P.-E. 1985. Anaerobic treatment of wastewater from the production of chemothermomechanical pulp. Wat. Sci. Tech. 17:103-111.

Welander, T. 1988. An anaerobic process for treatment of CTMP effluent. Wat. Sci. Tech. 20(1):143-147.

Yamamoto, K, Hiasa, M., Mahmood, T. y Matsu, T. 1989. Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrans in an activated sludge aeration tank. Wat. Sci. Tech.:112-124.

Zabranská, J., Dohányos, M. y Grau, P. 1985. Direct measurement of the hydrogenase activity of anaerobic microorganisms. Wat. Sci. Tech. 17:303-306.