

Características y tratamientos de las aguas residuales industriales por sectores: agrícolas y alimentarias II. Instalaciones bodegueras, bebidas alcohólicas y elaboración de azúcar de remolacha.

I.- Los vertidos de las industrias bodegueras

I. A.- Introducción e importancia del sector

En una campaña normal, la producción española media de vino se sitúa entre 3.700 y 3.800 millones de litros, lo que supone aproximadamente el 15 % del total mundial. La producción de la campaña 2004-2005, en que la climatología no era adversa, fue de 4.280 millones de litros, por un valor de 1.250 millones de euros

No obstante, es un sector en claro retroceso, dadas las enormes diferencias entre las cantidades que se producen y las que se consumen, siendo necesario destinar gran parte de la producción, 1.060 millones de litros en la campaña 2004-2005, a la destilación con ayudas procedentes de la UE (550 millones de euros) y que con la OCM están llamadas a descender considerablemente.

En España el viñedo de uva para vinificación es un cultivo importante, en el año 2005 ocupaba una superficie superior a 1,1 millones de hectáreas, destacando entre sus aspectos positivos medioambientales, el que en amplias zonas de España es la única cobertura vegetal en los meses de verano, capaz de evitar con su desarrollo los riesgos de la erosión.

En términos de participación en el PIB, el vino viene a representar el 0,65% al suponer las ventas totales unos 4.800 millones de euros, cifra importante que se refleja en un empleo industrial en torno a los 15.000 trabajadores y 330.000 viticultores (de los que 165.000 constan como productores de uva/vino de las 63 Denominaciones de Origen que existen en España). Se mantienen muchos empleos tanto en el cultivo como en las bodegas y en la industria auxiliar asociada, sobre todo relacionada con el embotellado: fábrica de botellas, tapones, artes gráficas y cartonajes,..

La producción española se reparte en diversas comunidades autónomas, destacando las producciones de La Mancha, el llamado viñedo de Europa, con más de 300 bodegas y 600.000 hectáreas de superficie, más del 50% del viñedo español y la tercera parte de la producción, generando más de 9 millones de jornales al año.

En Rioja la producción anual está en torno a los 250 millones de litros, con unas 55.000 hectáreas destinadas al viñedo y más de 250 bodegas de crianza. En Andalucía existen unas 40.000 hectáreas destinadas al viñedo de uva para vinificación, estando la producción total en torno a unos 200 millones de litros de vino al año, variando en función de la climatología.

El sector andaluz, tanto en calidad como cantidad y valor económico, se centra en cuatro importantes zonas en las que se elaboran lo que se denomina "Vinos de Calidad Producidos en Región Determinada (V.C.P.R.D.)". En el 2005 la Denominación de Origen "Jerez-Xeres-Sherry y Manzanilla-Sanlúcar de Barrameda", cuenta con 80 bodegas, mientras que en "Montilla-Moriles", el número de bodegas son 30, en "El Condado de Huelva" 23 y en la denominación de Málaga son 11.

Desde el punto de vista medioambiental, las aguas residuales que se generan es sin lugar a dudas el aspecto más significativo. Establecer el vertido tipo de una bodega es difícil, cada región vinícola ha intentado cuantificar los suyos. A la hora de analizar los vertidos encontramos unos rangos de contaminación muy amplios, siendo en general vertidos con una alta carga orgánica, aunque poco tóxicos.

En la tabla siguiente se resumen las principales operaciones que generan aguas residuales en una bodega:

Fases	Generación de vertidos
Recepción de uva en remolques	Limpieza de los remolques y de la tolva de recepción
Recepción de uva en cajas	Limpieza de las cajas
Despalillado	Limpieza de la despalilladora
Encubado	
Fermentación alcohólica	Limpieza de depósitos
Remontados	Limpieza de bombas
Descube	Limpieza de tuberías
Fermentación maloláctica	
Prensado	Limpieza de prensas
Filtración / Centrifugación	Limpieza de filtros / centrifuga
Crianza en barricas	Limpieza de barricas
Embotellado	Limpieza tren de embotellado
Todas las etapas	Limpieza de derrames y fugas de mosto o vino
Refrigeración	Aguas limpias de refrigeración
Embotellado	Aclarado de botellas

Al vertido de éstas “aguas de lavado” pueden incorporarse los derrames accidentales, aguas sanitarias, escorrentías,..., tal y como se expone más adelante.

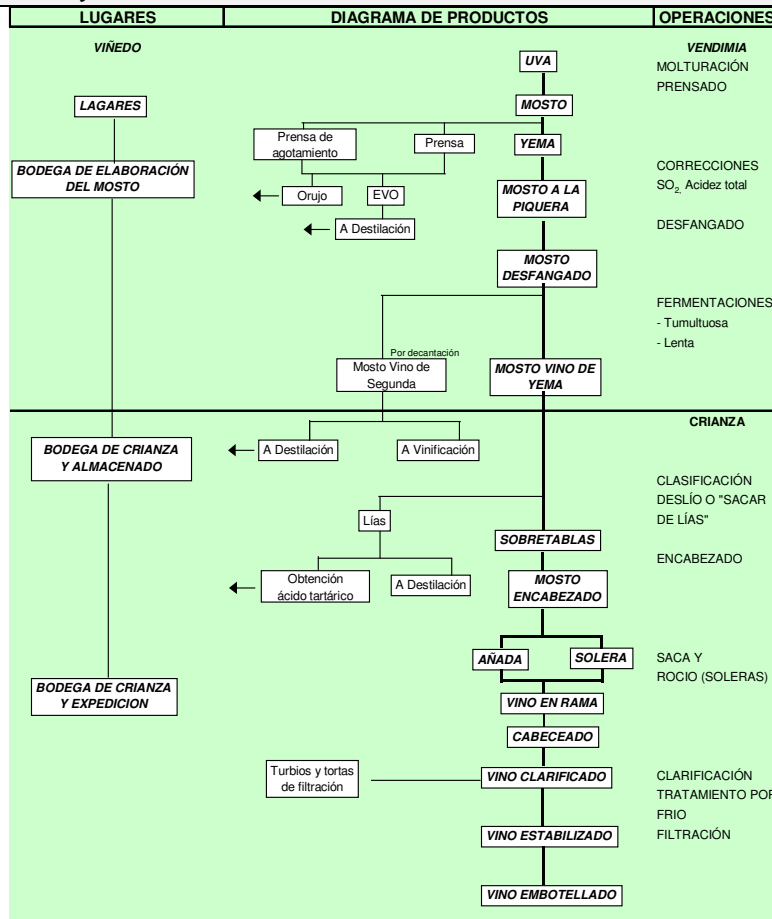
Existen notables diferencias en función de las particularidades de cada empresa, y del tipo de vinos que elaboren; siendo, por ello, de gran interés el conocimiento de los procesos, la evolución de las tareas que se realizan a lo largo del año y la localización de los posibles puntos de vertidos, cuando éste no es único, ya que inciden enormemente en la cantidad y calidad de sus efluentes.

Para los asistentes no familiarizados con el sector, se exponen muy brevemente y a modo de ejemplo, los esquemas el proceso de vinificación en blanco que se sigue en las bodegas de Jerez, y el del método tradicional de elaboración de vinos tintos.

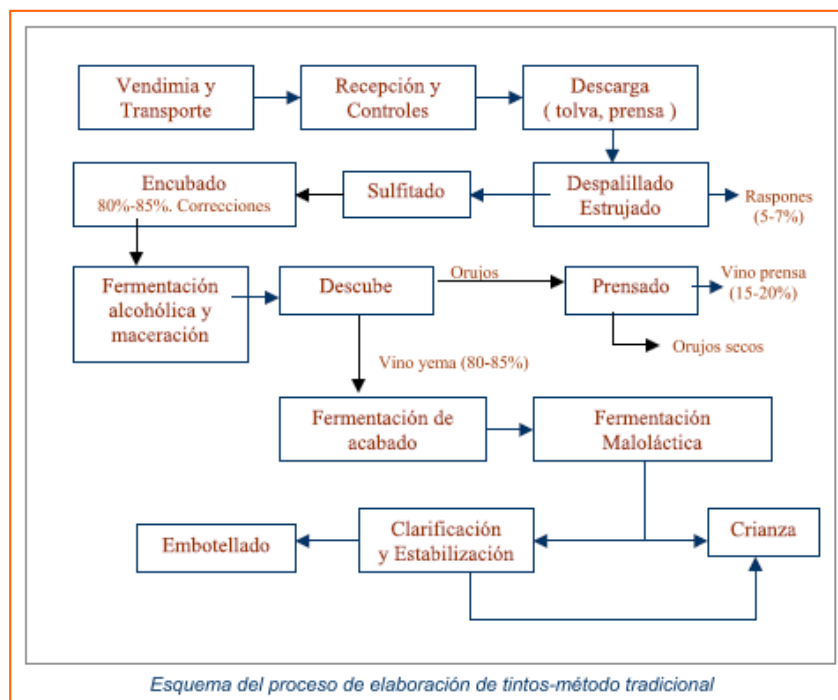
Uno de los esquemas de la página siguiente recoge el proceso completo de elaboración, crianza, almacenamiento y expedición de vinos de Jerez. Se tratan de vinos blancos especiales, a los que se les añade alcohol vínico dentro de su proceso de elaboración y que se someten a un proceso de envejecimiento mediante soleras. No existen añadas como en la mayoría de los vinos con denominación de origen.

La mayor parte de la producción se realiza en los llamados centros de vendimia, en los que además de las operaciones descritas anteriormente, se realiza la fermentación, clasificación y primeras fases del proceso de crianza.

La diferencia principal de la denominación de Jerez con la de Montilla, es que ésta no necesita la adición de alcohol (encabezado) al tener uvas con mayor cantidad de azúcares, produciendo de forma natural un vino con mayor contenido alcohólico.



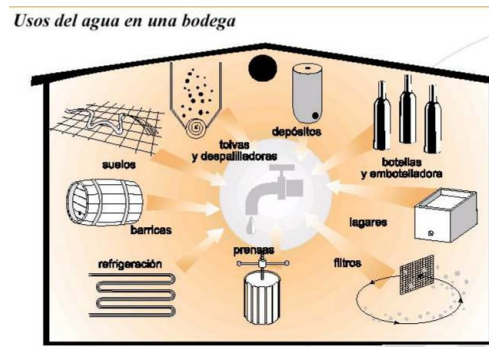
Para los vinos tintos se emplean dos sistemas diferentes. El más extendido actualmente consiste en retirar los raspones en la despalladora, antes de la fermentación, y se obtiene con él vinos apropiados para un largo período de envejecimiento. Por el contrario, si la uva entera pasa a los depósitos de fermentación, el sistema seguido, tradicional en Rioja, es el conocido como "maceración carbónica".



I.C.- Consumos y usos del agua.

En las bodegas el agua se utiliza en un gran número de procesos, entre los que destacan los siguientes:

- ✓ Limpieza de camiones, tolvas, cajas y despalladoras
- ✓ Limpieza de prensas y lagares
- ✓ Limpieza de depósitos
- ✓ Limpieza de botas y barricas
- ✓ Limpieza de botellas y máquina embotelladora
- ✓ Aparatos de refrigeración
- ✓ Puesta en marcha y limpieza de lechos filtrantes
- ✓ Limpieza de suelos



La mayoría del agua consumida se dedica al lavado y limpieza de equipos e instalaciones. Un estudio de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, indica que el 90 % del consumo de agua de las bodegas se destina a las operaciones de limpieza. Los métodos de limpieza a presión son más eficaces y emplean un menor volumen de agua. Los suelos pueden limpiarse con rastrillo o con escobones en vez de a manguerazos o con agua a presión.

El empleo del agua como refrigerante en la fermentación a temperatura controlada, tras la vendimia, supone un consumo cada vez es menor, ya que todas las instalaciones importantes disponen de torres de refrigeración.

El consumo de agua en las bodegas oscila desde 1 a 6 litros de agua por litro de vino elaborado, dependiendo de muchos factores, de entre los que cabe destacar los siguientes:

- ✓ Instalaciones: tipo de suelos, mangueras a presión, número de tanques, maquinaria, etc.
- ✓ Material y hábitos de limpieza.
- ✓ Costes de abastecimiento y depuración del agua

En general, el consumo depende de la etapa, así durante la vinificación se requiere de 1-3 l de agua por kg de uva, en la crianza de 1-2,5 l de agua por litro de vino y en el almacenamiento y embotellado entre 0,5-1,5 litros.

En términos generales se estima que del consumo anual de agua en una bodega, entre el 40-50% del total se realiza durante la vendimia y trasiegos, entre el 25-35% para tratamientos y crianza, y del 15 al 25% en la estabilización y embotellado.

Es perfectamente viable el ratio de 1 litro de agua por litro de vino, siendo hasta ahora los aspectos económicos y legales, antes que las exigencias de depuración de los efluentes, los que inclinarán al industrial por invertir y velar por consumir menos agua.

I. D. Características de las aguas residuales.

La composición de estas aguas residuales tiene su origen en los propios componentes de la uva, del mosto o del vino: piel, raspón, tierra, azúcares, ácidos, alcohol, ácidos, polifenoles, etc., los productos que se añaden y los residuos que se generan en los diversos procesos.

En general se caracterizan por una carga orgánica elevada, aportada por etanol o azúcares, déficit de nutrientes (nitrógeno y fósforo), pH variable, normalmente ácido y concentraciones apreciables de sólidos en suspensión. En general son compuestos, salvo los polifenoles, que son fácilmente biodegradables.

Otra forma de clasificar las características principales de los diferentes residuos que se pueden encontrar con estos efluentes es al siguiente: (Puig, 1994):

- Solubles en agua: ácidos, azúcares, etc.
- Hinchables en agua: almidón, proteínas.
- Emulsionables: grasas, lípidos.
- Insolubles: tierra, metales, celulosa, papel.
- Solubles en medio ácido: carbonato cálcico.
- Solubles en medio alcalino: tartratos.

Puesto que las aguas residuales no domésticas que vierten las bodegas proceden de operaciones de lavado, refrigeración y derrames accidentales originados en los numerosos trasvases que en ellas se realizan, las características de los vertidos de las bodegas varían ampliamente en función de la época del año y de la operación que origina el vertido, generalmente relacionada con una localización determinada dentro de la instalación.

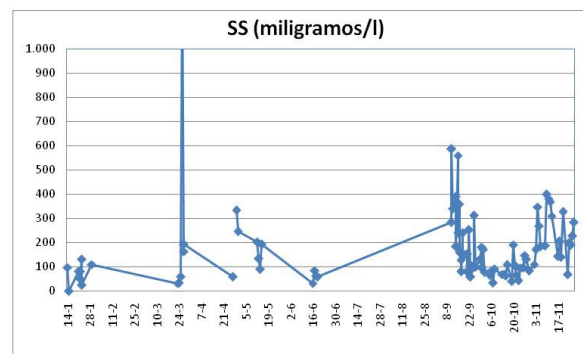
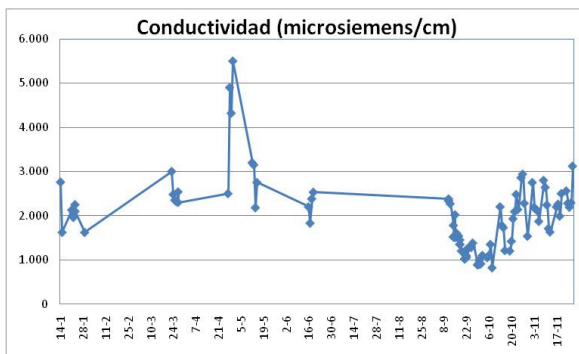
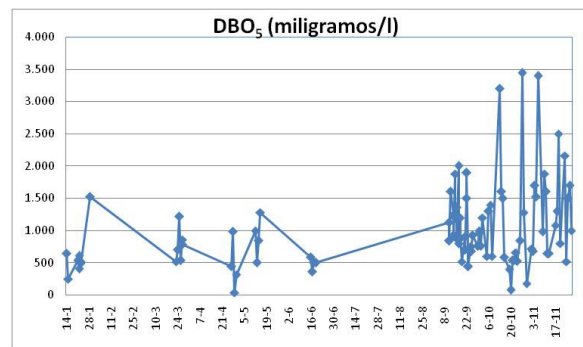
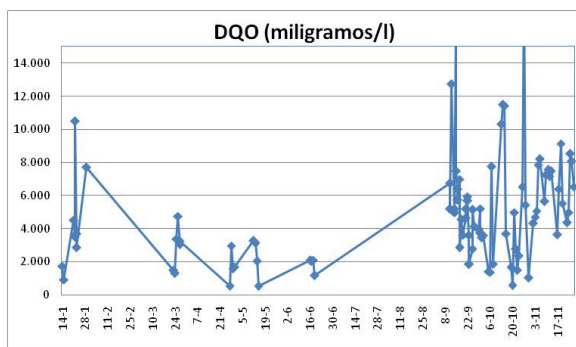
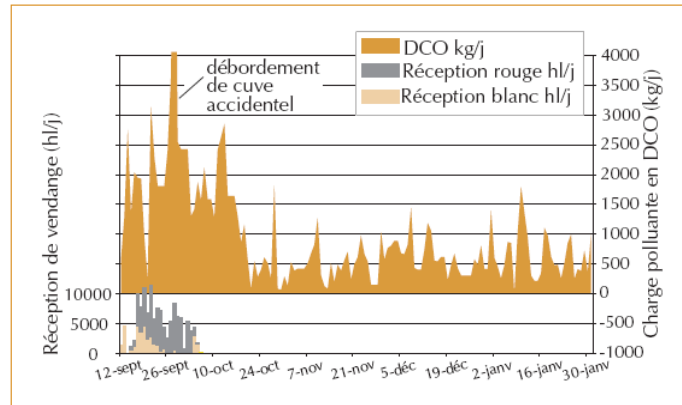
En esa gran discontinuidad diaria y estacional, tanto en su caudal como en su composición, aún dentro de una misma zona de la instalación y época del año, influyen notablemente factores como el elemento que se esté lavando (no es lo mismo una bota que un depósito o un filtro) la fase del lavado en que se tome la muestra, los productos de limpieza, el caudal que se mezcle con el vertido antes de su llegada al alcantarillado, la importancia de los derrames, etc...

En algunas instalaciones se dispone de pozos propios como fuente de abastecimiento alternativa y/o complementaria a la red municipal, lo que unido a la existencia de varios puntos de conexión a la red de alcantarillado, dificulta la determinación de las cargas contaminantes de estos vertidos.

Por lo general, las características están relacionadas con una serie de operaciones semanales, mensuales, etc., que se realizan, dificultando la caracterización de estas aguas residuales y obligando a emplear equipos automáticos de tomas de muestras para obtener muestras representativas, realizándose su programación sobre la base del conocimiento previo de las operaciones que se realizan en la bodega y los horarios de vertidos.

Pondremos dos ejemplos, el primero es la gráfica con la evolución de la carga contaminante, a lo largo de 5 meses, en una importante bodega francesa que elabora tanto vinos blancos como tintos. Observen los picos motivados por derrames accidentales durante la vendimia y la clara diferencia entre este periodo y el de fermentación.

El otro ejemplo, es el de la evolución anual de las concentraciones de los vertidos diarios de muestras compuestas diarias, tomadas a lo largo de un año en una importante bodega de Jerez, en un punto de vertido que engloba tanto las tareas de vendimia como las de elaboración, crianza, embotellado, etc.



En Francia calculan, en términos generales, que cada litro de vino genera una carga contaminante de entre 8 a 12 g de DBO₅ y que a nivel nacional los efluentes vinícolas equivalen a 10 millones de habitantes equivalentes. Además indican que la carga orgánica de estos vertidos está fundamentalmente compuesta por alcohol etílico (etanol), llegando a suponer un 80% del total de la DQO soluble, encontrando que $DQO \text{ soluble} = 2,7144 \times [\text{etanol}]$ con un coeficiente $R^2 = 0,9517$.

El resto de los compuestos son ácidos orgánicos (tartárico, málico, láctico), ácido acético, glicerol y azúcares (glucosa y fructosas) sobre todo durante la vendimia. De esta forma, pueden considerarse globalmente estos vertidos como una disolución hidroalcohólica (1-2%) conteniendo los productos secundarios mencionados anteriormente.

La Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir estima que las cargas contaminantes específicas producidas por estas bodegas son de unos 2,5 kg de DBO₅ por m³ de vino durante todo el proceso de vinificación y otros 1,8 kg en el de envejeci-

miento y embotellado. Estos ratios respecto a los sólidos en suspensión suponen 0,75 y 1,6 kg por m³ de vino en cada una de las citadas etapas.

Un estudio de la Fundación Caja Rioja, establece que la composición de los vertidos de las bodegas de esa denominación de origen, están dentro del siguiente rango:

Parámetro	Valor máximo	Valor mínimo
pH (unidades de pH)	8,5	3,5
DQO (mg Oxígeno/L)	20.000	2.000
DBO ₅ (mg Oxígeno/L)	13.000	1.250
SS (mg/l)	5.000	1.500
N (total Kjeldhal) (mg/L)	70	15
P (mg/L)	70	3

En Jumilla (Murcia) han publicado la siguiente tabla:

Parámetro	Valor máximo	Valor mínimo
pH (unidades de pH)	4,2	7,8
DQO (mg Oxígeno/L)	15.000	1.000
DBO ₅ (mg Oxígeno/L)	5.900	200
SS (mg/l)	1.500	200
Conductividad (Microsiemens/L)	2.000	600
Grasas y aceites (mg/L)	55	3

En otro estudio para la Rioja, publicado en el 2004, enmarcado dentro del Proyecto Life Sinergia, dicen lo siguiente:

	Período de vendimia		Período de trasiegos	
	Intervalo normal	Valor medio	Intervalo normal	Valor medio
pH	4-6	4,5	4-6,5	5
DBO ₅ (mg/l de O ₂)	2.000-6.000	4.500	1.500-4.000	2.500
DQO (mg/l)	4.000-10.000	7.000	2.000-8.000	4.000
Sólidos en Suspensión (mg/l)	1.000-2.500	1.800	1.000-2.500	1.500
Nitrógeno (mg/l)	20-100	80	25-200	100
Fosfatos (mg/l)	10-50	35	10-25	20

Por otro lado, las aguas residuales de la elaboración de vinos tintos tienen el inconveniente de presentar un contenido en polifenoles hasta cinco veces mayor que las de los vinos blancos, lo que dificulta su tratamiento de depuración por vía biológica.

Las épocas y zonas de esta industria que conviene diferenciar, a efectos de vertidos, son las siguientes: Vendimia, Bodega y Embotellado.

- **Vendimia.**

Esta labor, realizada en un periodo de 2 a 4 semanas, tiene una particular trascendencia respecto a los vertidos de aguas residuales. Con las labores de molturación de uva se producen vertidos ocasionados por eventuales derrames y sobre todo labores de limpieza

de los circuitos y maquinaria empleada, llegándose en ocasiones incluso a apreciar visualmente la presencia de pepitas de uva y hollejos en el alcantarillado.

Normalmente es la época en que se produce un mayor volumen de efluentes y con una mayor carga contaminante, estimándose que el 35-40% del agua consumida por una bodega se produce en esta época.

Estos vertidos contienen restos del zumo de uva, originados tanto por derrames accidentales, como por las operaciones de limpieza de los equipos y depósitos. Tienen valores bajos de pH, entre 3 y 5, y altas cargas orgánicas.

Los resultados analíticos disponibles, correspondientes a siete vendimias de la zona de Jerez, denotan la existencia de bajos valores de pH y altas concentraciones de SS y carga orgánica, siendo ésta muy biodegradable. Los intervalos de los valores medios de cada vendimia, son los siguientes:

Parámetro	Valor máximo	Valor mínimo
pH (unidades de pH)	6,97	4,20
DQO (mg Oxígeno/l)	27.082	2.100
DBO ₅ (mg Oxígeno/l)	21.000	1.053
SS (mg/l)	26.000	2.178
Conductividad (Microsiemens/cm)	22.600	1.400

No obstante, se han encontrado valores de muestras compuestas diarias aún bastante más alejados de las concentraciones permitidas para su vertido a la red de alcantarillado. En Carriñena, un estudio reciente de la Universidad de Zaragoza ofrece los siguientes resultados;

Parámetro	Limpieza de prensas	Limpieza de barricas y depósitos
pH (unidades de pH)	4,38	3,89
DQO (mg Oxígeno/l)	3.005	6.000
Nitrógeno total (mg N/l)	12,3	26,3
Fósforo total (mg/l)	1,14	2,50
Polifenoles (microgramos/l)	30	105

• Vertidos de Bodega.

En las bodegas de crianza y almacenamiento se realizan operaciones que generan tres grupos de contaminantes que, de no gestionarse adecuadamente, pueden verterse al alcantarillado:

1. Partes inferiores de los depósitos de fermentación, con una apariencia entre líquida y semisólida, procedentes de la primera fermentación del mosto y del proceso de elaboración del vino. En su gran mayoría se envían a destilación.
2. Residuos del tratamiento en frío que se realiza para clarificar el vino antes de su embotellado. Se suele filtrar o centrifugar los sedimentos que precipitan, y la torta que se produce puede ser seca o no. En este último caso el efluente de lavado que se vierte al alcantarillado está más cargado de materia orgánica.
3. Precipitados de cristales de bitartrato potásico, que se incrustan en las paredes y que para su limpieza se emplea sosa cáustica y en ocasiones detergentes. Estas aguas de lavado están contaminadas con los tartratos, materia orgánica, restos de sosa y detergentes, presentando un alto pH.

Durante los controles efectuados en estas zonas, se han detectado altos valores de pH, conductividad y DQO. Un estudio de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, indica que en la limpieza de depósitos se producen aguas con un *pH entre 3 y 10*, y *valores de DQO entre 15.000 y 50.000 mg/l*, *oscilando los sólidos en suspensión entre 4.000 y 15.000 mg/l*.

En las bodegas de envejecimiento los trasiegos son mucho menores y la cantidad de vertidos en consecuencia también. Tan solo se han detectado valores de pH fuera de lo permitido, tanto altos como bajos y elevadas DQO. Algunas bodegas están empleando sosa para lavar los depósitos y desprender el bitartato, siendo ésta la causante de los altos valores de pH que se detectan.

- **Vertidos de Embotellados**

La contaminación principal de los efluentes proviene de las operaciones de limpieza y desinfección de los circuitos, y que normalmente se realizan al inicio y final de la jornada. Generalmente se emplea agua caliente, sosa e hipoclorito sódico. En el lavado y reciclado de botellas, cada vez menos empleado, el pH resultante es elevado, debido al aporte de NaOH. Por otro lado, los derrames de vinos son escasos y normalmente están bien controlados, dado su elevado coste.

En la caracterización de los vertidos de esta zona se han detectado puntualmente valores de pH superiores a 12, y DQO de hasta 20.000.

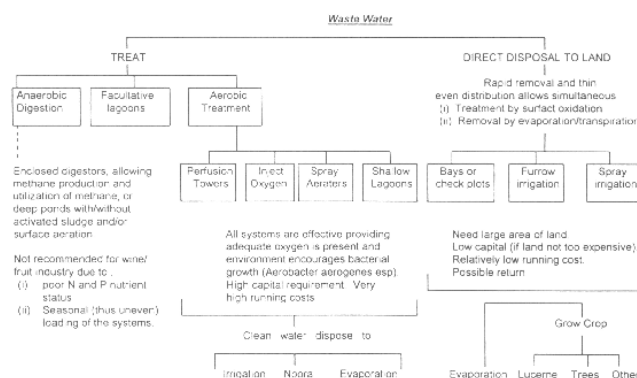
- **Vertidos de Laboratorio y sanitarios**

Aguas domésticas: proceden de los comedores, cocinas, oficinas y sanitarios, son similares a las aguas residuales domésticas, incluyen aceites, detergentes y materia orgánica.

Aguas de laboratorio: presencia de productos químicos contaminantes utilizados en determinaciones y mediciones de parámetros en el laboratorio enológico, incorporan pH fuera de rango y metales pesados.

I.E.- Tratamiento de las aguas residuales

Existe una gran variedad de sistemas disponibles para depurar estas aguas residuales, que van desde un mínimo pretratamiento hasta un tratamiento completo incluyendo su reutilización en la misma industria o riego del viñedo. A modo de ejemplo, en la siguiente tabla se resumen las alternativas consideradas en una región australiana, en la que han apostado por la irrigación de campos en los que han plantado eucaliptos, considerando que como mínimo se necesitan 14 días para que se cumpla el ciclo de evaporación, transpiración e infiltración. La carga orgánica total no debe exceder de 100 kg de DBO₅ por hectárea y día.



En las tablas siguientes se agrupan los tratamientos aplicables a estos vertidos, de forma secuencial, así como los principales contaminantes y la eficacia en su reducción.

TREATMENT STEP	PRE-TREATMENT	PRIMARY TREATMENT	SECONDARY TREATMENT		TERTIARY TREATMENT	ADVANCED TREATMENT		
Treatment Technologies	Screening (0.5 - 1.0 mm)	Primary Sedimentation Flotation	Aerobic Biological Treatment	Anaerobic Biological Treatment	Secondary Sedimentation Flotation	Filtration Adsorption Ion-Exchange	Membrane Technologies	Oxidisation Irradiation
Specific Process Mechanisms	Static Screens (Strainers)	Gravity Settling (Sedimentation Tanks)	Complete-Mixed Activated Sludge	Complete-Mixed Anaerobic Reactor	Gravity Settling (Sedimentation Tanks)	Sand Filtration	Micro-Filtration	Ultraviolet Irradiation
	Rotating Screens (Strainers)	Clarification (Static Upflow Clarifier)	Sequencing Batch Reactor (SBR)	Contact Process Anaerobic Reactor	Clarification (Static Upflow Clarifier)	Disc Filtration	Ultra-Filtration	Ozonation
	Auger Screens (Strainers)	Chemically Assisted Sedimentation (CAS)	Moving-Bed Bio-Reactor	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)	Chemically Assisted Sedimentation (CAS)	Continuous Cleaning Screen Filtration	Nano-Filtration	Per-Ozonation (+ H ₂ O ₂)
	Flow and Loading Equalisation	Dissolved Air Flotation (DAF)	Fixed-Bed Bio-Reactor	Fixed-Film Anaerobic Reactor	Dissolved Air Flotation (DAF)	Granular Activated Carbon (GAC)	Reverse Osmosis	Chlorination
		Cavitation Air Flotation (CAF)	Bio-Filtration	Fluidised-Bed Anaerobic Reactor	Cavitation Air Flotation (CAF)		Electrodialysis	
		Induced Air Flotation (IAF)			Induced Air Flotation (IAF)			
		Electro flocculation (EF)			Electro flocculation (EF)			
	Tangential Flow Separator (TFS)							
SOLIDS	Sludge Streams from these processes will usually require dewatering - the main methods being: Drying-beds, Vacuum De-watering, V-fold belt-press or Centrifuge.							

CONTAMINANT REMOVAL RATES	PRE-TREATMENT	PRIMARY TREATMENT	SECONDARY TREATMENT		TERTIARY TREATMENT	ADVANCED TREATMENT		
CONTAMINANT CATEGORY	Screening (0.5 - 1.0 mm)	Primary Sedimentation Flotation	Aerobic Biological Treatment	Anaerobic Biological Treatment	Secondary Sedimentation Flotation	Filtration Adsorption Ion-Exchange	Membrane Technologies	Oxidisation Irradiation Disinfection
Gross Solids	2	3	•	3	1	1	1	•
Suspended Organic Matter	4	2	•	3	1	1	1	•
Dissolved Organic Matter	4	3	1	2	4	1	1	•
Diatomaceous Earth	4	2	•	•	2	•	•	•
Total Nitrogen	•	•	4	4	•	3	2	•
Total Phosphorus	•	2	3	4	2	•	1	•
Sulphides	•	•	1	•	•	1	1	•
Salinity	•	•	•	•	•	•	2	•
Pathogens	•	4	4	4	4	3	1	2

Key (Removal Rates): 1 = 80 to 100%, 2 = 60 to 80%, 3 = 20 to 50%, 4 = 0 to 20%, • = Not Applicable.

Otra comparativa entre las diversas opciones, contemplando otros criterios, es la siguiente:

Comparación de los diferentes sistemas de tratamiento.

Criterios	Tratamiento al terreno o irrigación	Lagunas facultativas anaeróbica	Lagunas aireadas mixtas aeróbicas	Flotación + RBC	Flotación + filtro por gravedad	Lodos activado + oxidación en zanjas	Anaeróbico UASB + sistema aeróbico
Costes de inversión	*	**	***	****	****	*****	*****
Costes operacionales	**	*	**	***	***	*****	***
Costes mantenimiento	*	*	***	****	***	*****	****
Complejidad	*	*	***	****	****	*****	****
Consumo de energía	*	*	***	***	***	*****	***
Requerimiento de espacio	*****	****	***	*	*	***	***
Eficiencia eliminación de DBO	**	****	****	*****	*****	*****	*****
Fiabilidad	**	***	***	*****	*****	***	*****

* **Bajo** ***** **Alto**

La adopción de un método determinado o la combinación de varios, para conseguir el rendimiento deseado, dependerá de las condiciones particulares de cada bodega, entre las que podemos citar su tamaño, disponibilidad de terrenos, ubicación, posibilidad de vertido al alcantarillado, exigencias de vertido, coste del agua, canon de vertido, etc.

A modo de ejemplo, se incluye la tabla orientativa sobre el tipo de proceso biológico depurativo a aplicar, que han publicado en la Rioja:

TIPO BODEGA		SOLUCIÓN DEPURATIVA		
		COLECTOR	CAUCE PÚBLICO	REUTILIZACIÓN
Pequeñas bodegas (< 100 m ³ /d)		BIOL. AEROBIO (Convencional / SBR)	MBR	MBR
Grandes bodegas (> 100 m ³ /d)	< 5.000 Kg DQO	BIOL. AEROBIO (Convencional / SBR)	BIOL. AEROBIO	MBR
	> 5.000 Kg DQO	ANAER	ANAER + BIOL. AEROB.	ANAER + MBR

* SBR = Reactor biológico por ciclos secuenciales; MBR = Reactor biológico por membranas

La alternativa de reutilizar el vertido como **riego** en el propio viñedo, se aplica en aquellas zonas que los reglamentos lo permitan. Esta práctica tiene como inconveniente las grandes superficies necesarias, la posible generación de malos olores y los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas. Por el contrario, tiene como ventajas que se cierra el ciclo de nutrientes, no se produce vertido y que es un método blando de depuración. La relación media DBO₅:NTK:P del efluente es de 200:1,4:0,30, es decir, que tiene una falta de nutrientes de nitrógeno y fósforo. Si corregimos el pH y la ausencia de nutrientes, podemos aplicar estos vertidos como riego en viñedo

Antes de implantar ningún tratamiento, es recomendable separar las aguas pluviales del resto del agua empleada en la bodega, ahorraremos el dinero que supone tratar un agua que no lo necesita. Lo mismo podemos afirmar sobre la conveniencia de reducir la contaminación a tratar, estando entre las medidas para reducir el volumen de vertidos y/o su carga contaminante, las siguientes:

- ✓ Recuperación de los derrames de mostos y vinos producidos por trasiegos y reboses de depósitos, los vertidos accidentales de vinos o mostos, además de una pérdida económica, introducen corrientes con alta carga orgánica
- ✓ Redes de saneamiento diferenciadas, con el fin de poder reutilizar o reciclar las aguas que sean susceptibles para ello (refrigeración, limpieza,..)
- ✓ Limpieza en seco, siempre que sea posible, sobre todo en las lías de fermentación.
- ✓ Rejillas en los sumideros que impidan que las lías, heces o raspones pasen al vertido: facilitando la recogida de los desechos acumulados en estas rejillas para llevarlos a la alcoholera.
- ✓ La primera agua de lavado de tanques, depósitos y cubas puede enviarse junto con la fracción destinada a la alcoholera por su contenido alcohólico.
- ✓ Emplear pistolas con difusores para realizar las labores de limpieza, puede ahorrar hasta el 50% del consumo; las mangueras conectadas directamente a grifos gastan más agua.

- ✓ Neutralizar sus vertidos del laboratorio enológico antes de verterlos, las oscilaciones de pH dificultan el mantenimiento de los sistemas de depuración.

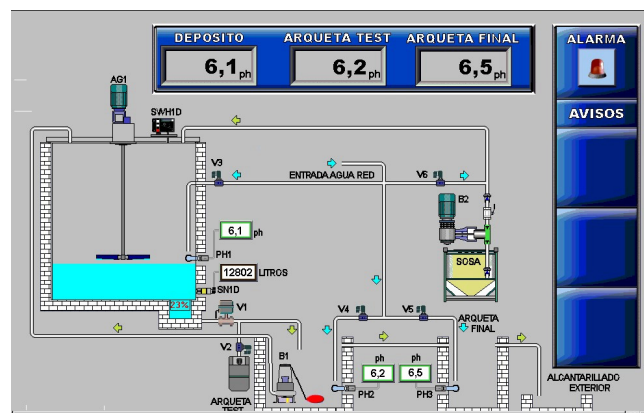
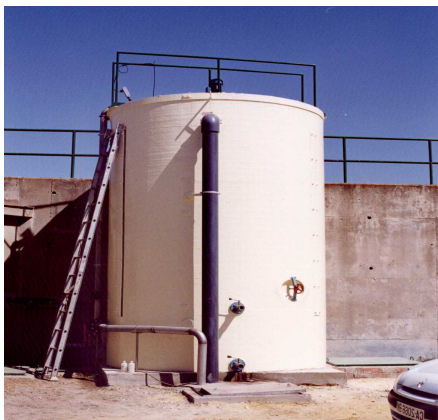
A continuación, se describen brevemente los principales procesos de tratamiento que se emplean para tratar los vertidos de aguas residuales de las bodegas, incluyendo algunos ejemplos:

- **Pretratamiento y neutralización**

Es la primera operación a que se someten los residuos líquidos. Consiste por un lado en retener los sólidos que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de las plantas de tratamiento, y por el otro ajustar el pH para permitir su tratamiento posterior o el vertido al alcantarillado cuando sea posible.

La mayoría de las industrias bodegueras del marco de Jerez disponen de una o varias conexiones a las redes de alcantarillado municipales, tratándose por las depuradoras de aguas residuales municipales junto con las urbanas. En las bodegas de mayor producción, para intentar cumplir con los requerimientos de vertidos a la red municipal, que imponen las ordenanzas correspondientes, se han instalado pretratamientos que como mínimo constan de desbaste y neutralización. Es imprescindible disponer de un sistema de medición del pH y neutralización en continuo, sobre todo para evitar el ataque químico a los materiales de la red de alcantarillado. Es recomendable concentrar todas las aguas residuales en un solo depósito final previo al ajuste de pH, aprovechándose de esta forma la neutralización entre sí de las diversas corrientes.

En el esquema y fotos siguientes pueden observarse instalaciones de este tipo.



Para la retirada de los sólidos que arrastra el vertido, además de instalar rejillas en las salidas de lavado de las prensas, es necesario hacer pasar el agua por unas rejillas o tamices con paso de luz 1 mm.



Dentro de los pretratamientos, es útil el empleo de un depósito o estanque homogenizador, requiere que disponga de inyección de aire para impedir la formación de malos olores y favorecer la mezcla. Debe tener una capacidad aproximada de un 60% del flujo diario, donde caudales punta, pH y temperaturas son homogeneizados, resultando un efluente de características uniformes.

- **Tratamiento primario**

Consisten en la separación de un porcentaje significativo de los sólidos suspendidos, contenidos en las aguas residuales, de forma natural o por precipitación, mediante procesos físicos y/o químicos

Siempre que no se exijan rendimientos elevados, la primera alternativa de depuración a contemplar, es la del **tratamiento físico-químico** que fundamentalmente consiste en una dosificación de floculante y coagulante, añadidos en un tanque de mezcla rápida y otro de floculación, anteriores a la decantación, con el objeto de eliminar con los lodos la mayor cantidad de materia orgánica posible.

Con estas instalaciones pueden obtenerse rendimientos del orden del 30-40 % de eliminación de DQO, empleando preferentemente como reactivos de coagulación sulfato de alúmina o sulfato ferroso, a pH 12. También se consigue una reducción del contenido en polifenoles, del orden del 40%, un 60% del fósforo y un 95% del nitrógeno, con los beneficios que ello supone tanto para el medio donde se vierta, como para su posterior tratamiento en una depuradora bioquímica.



La dosis óptima de alúmina oscila en torno a los 330 mg/l y la de sulfato ferroso es 700 mg/l, estimándose el coste de este tratamiento parcial, sin amortización pero incluyendo el reajuste de pH a 7-9 y el tratamiento de los lodos, en un mínimo de 0,95 €/m³.

Con el incremento de los controles y exigencias de la Administración, estos sistemas de tratamiento primario debieron aumentar su rendimiento en la reducción de la carga orgánica de las aguas, y ello se fue consiguiendo a base de incrementar los volúmenes de reactivos y el tiempo de personal, aumentando con ello los costes de explotación. Por ello, en algunas instalaciones se ha completado con una línea de tratamiento biológico, sin desechar las instalaciones físico-químicas, en algunos casos de bajo consumo energético.

- **Tratamientos secundarios**

La elección del sistema de tratamiento secundario, dependerá de un gran número de factores, entre los que podemos mencionar: requerimientos del efluente (estándares de descarga), sistema de pretratamiento escogido, la disponibilidad del terreno, regulaciones ambientales locales y viabilidad económica de una planta de proceso. La relación de DBO₅ /DQO en estos efluentes de bodega es del orden de 0,7 a 0,8 lo que unido a la presencia de materia

orgánica soluble, permiten un tratamiento de depuración biológico como forma de tratamiento, que podría realizarse por vía anaerobia o aerobia, que en ambos casos tendrían que complementarse con una adecuada disposición final de los lodos.

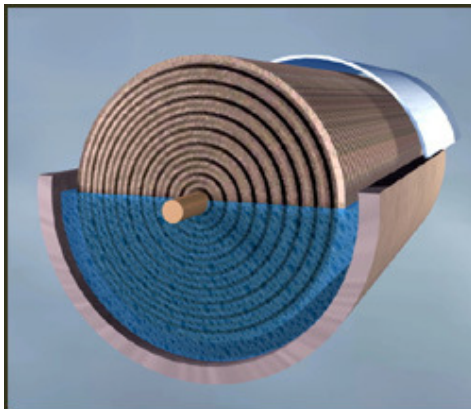
Los efluentes de estas industrias son adecuados para su tratamiento por digestión anaerobia (ver Anejo I) en lagunas o reactores cerrados. No obstante, puesto que estas industrias, además de tener un fuerte carácter de estacionalidad no vierten un alto caudal, normalmente no se instala la línea anaerobia, al no compensarse el elevado coste de inversión, frente al de un tratamiento que no la incluya, a pesar del mayor consumo energético que supone el no disponer de la etapa previa anaerobia, y el consiguiente incremento en los costes operacionales.

Todos los métodos de tratamiento aeróbico existentes pueden aplicarse a estos efluentes: lodos activados, lagunas aireadas, filtros de goteo (percoladores o lechos bacterianos) y contactores biológicos rotatorios (CBR). La reducción máxima de DQO conseguida con estos efluentes suele ser del 90%, por lo que a veces es necesario utilizar más de una etapa de depuración para alcanzar los valores exigidos por la legislación vigente. En estos casos en que se necesitan elevados rendimientos de depuración, normalmente la mejor tecnología convencional disponible es una **combinación de una etapa anaerobia a la que continua una aerobia**, conforme al esquema siguiente:

- ⊗ *Línea de agua: Desbaste (tamizado), homogeneización, decantación, ajuste de pH, digestión anaerobia, tratamiento aeróbico (lodos activados) y decantación secundaria.*
- ⊗ *Línea de lodos: Espesamiento y deshidratación.*

Dentro del tratamiento aerobio, además de los clásicos lodos activados, pueden emplearse lechos bacterianos (filtros percoladores) y biodiscos (contactores biológicos rotativos), tal y como se emplean en algunas bodegas riojanas, presentando las siguientes ventajas:

- Bajo consumo de energía, alrededor 1,5 kW por día para 1.000 personas equivalentes
- Sistema modular y adaptable a otras instalaciones, con posibilidad de ampliaciones.
- Mínimo coste de mantenimiento y ausencia de ruidos y olores.
- Rapidez de montaje y escasa necesidad de superficie para su instalación.



Sección de biodisco.

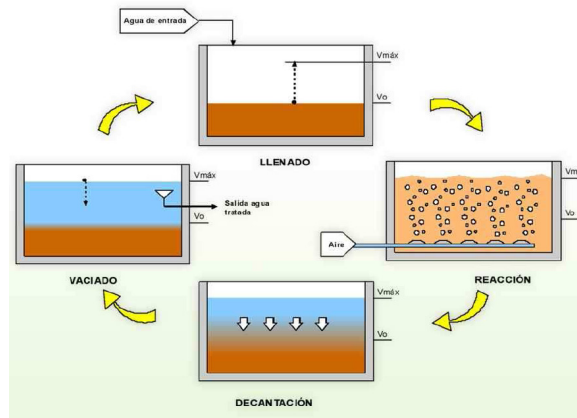


Distribuidor de lecho bacteriano

Los tratamientos de estos efluentes con lodos activados suelen dar problemas de proliferación de bacterias filamentosas y bulking, dificultando la sedimentación en el clarificador final. Una de las opciones que últimamente se recomienda seguir como línea de tratamiento, es la que emplea reactores biológicos secuenciados (SBR), conforme al siguiente esquema:

1. - Recepción del vertido en pozo de bombeo y bombeo posterior al tamiz mediante bomba sumergible.

- 2.- Tamizado mediante tamiz rotativo, de 1 mm. de luz de malla.
- 3.- Homogeneización del vertido en una balsa dotada de aireadores para evitar decantaciones, olores, y mantener los sólidos en suspensión, y posterior bombeo al tratamiento biológico.
- 4.- Tratamiento biológico SBR.



Un reactor biológico secuenciado (SBR) es un sistema de tratamiento de lodos activados que es operado en fases de llenado y vaciado (es decir en forma "batch") Dado que los sistemas SBR usan el mismo tanque para estabilización biológica de contaminantes y sedimentación de sólidos, eliminan la necesidad de tener un tanque de sedimentación secundario. En general, la operación de un SBR consiste de cinco períodos (Alimentación, Reacción, Asentamiento, Decantación y Reposo) que comprenden un ciclo completo.

Desde el punto de vista económico, la falta de necesidad de tanques de asentamiento secundarios y en ciertos tipos de SBR, la eliminación de sistemas de bombeo para retorno de lodos, ofrecen ahorros potenciales en la construcción de depuradoras con SBR. Además, por lo general, las depuradoras con procesos SBR se diseñan sin tanques de sedimentación primaria, lo cual agrega un factor de ahorro de capital adicional.

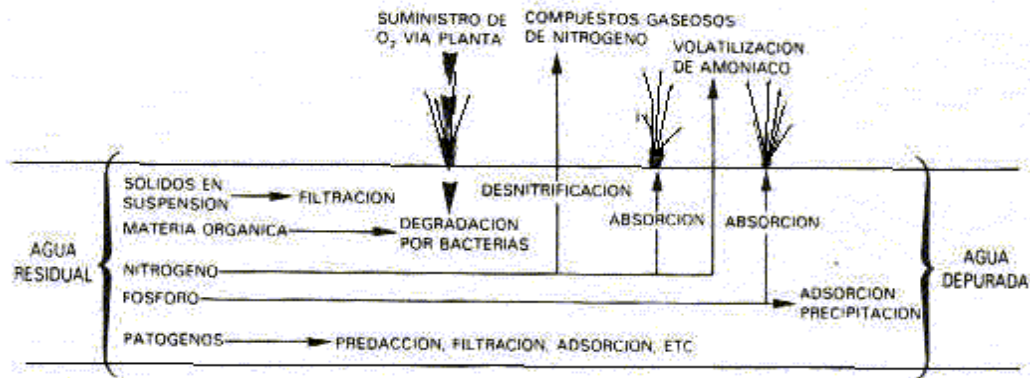
Otra tecnología que se está empleando con éxito es la de los lechos fijos sumergidos, donde la biomasa crece sobre soportes plásticos, con una gran superficie específica y volumen de huecos, que están dentro del reactor a modo de relleno. Tienen la ventaja de disminuir el volumen del reactor y los problemas de bulking al reducir la concentración de sólidos que llega al clarificador final, siendo más fáciles de operar que los lodos activados

• Tratamientos blandos

En las pequeñas bodegas de Francia suelen emplear los lagunajes o almacenamientos aireados como método de depuración Tiene como principales inconvenientes la gran superficie necesaria (se necesita al menos una capacidad para los vertidos de 4 a 6 meses), los olores y los riesgos de desbordamientos por lluvias.

En algunas bodegas se está ensayando con el sistema de depuración mediante macrófitos. Los humedales tienen procesos naturales de autodepuración de las aguas. Estos procesos son el resultado de la interacción de todos los seres vivos que coexisten en equilibrio. Bacterias, hongos, algas, protozoos, gusanos, rotíferos, crustáceos, peces, plantas superiores (macrófitos) forman una cadena que aprovecha las sustancias disueltas o en suspensión que hay en el agua.

El sistema combina diferentes métodos de depuración, siendo su funcionamiento como sigue: en la parte superior de la masa de agua se desarrollan procesos aerobios de degradación de la materia orgánica. En la parte inferior se produce la fermentación de la materia orgánica que se ha ido sedimentando en el fondo. Debido a la ausencia de oxígeno en esta zona son los microorganismos anaerobios los encargados de llevar a cabo este proceso.



Las plantas extraen, de los elementos resultantes de la descomposición de la materia orgánica, los nutrientes que necesitan para su crecimiento. Existe un amplio rango de plantas acuáticas que tienen la capacidad de tratar el agua residual, entre ellas destacan: Carrizo (*Phragmites australis*), junco de agua (*Scirpus lacustris*), lirio amarillo (*Iris pseudacorus*), caña o espadaña (*Typha latifolia*, *T. glauca*, *T. angustifolia*), (*Eleocharis* spp), alpiste (*Phalaris arundinacea*), etc.

• Tratamientos avanzados (terciarios)

- **Filtración con membranas:** Se utilizan no solamente para eliminar parte de la materia orgánica de los efluentes sino que también permite la recuperación de sustancias reaprovechables, actualmente desechadas y la reutilización del agua. Sin embargo, es una tecnología demasiado costosa como método de tratamiento de efluentes y sólo será un proceso competitivo o complementario a los sistemas de tratamiento convencionales, cuando el terreno sea escaso y costoso, existan sustancias orgánicas valiosas recuperables en las corrientes o se precise recircular el agua en el proceso. Dependiendo del tamaño de partícula a filtrar, se puede utilizar la técnica de osmosis inversa, ultrafiltración, microfiltración y nanofiltración.

La recuperación de compuestos polifenólicos, mediante nanofiltración, es de gran interés dado que los ácidos fenólicos y flavonoides que contienen, poseen baja biodegradabilidad y son antioxidantes naturales y presentan propiedades anticancerígenas.

Este método de filtración con membranas, combinado con una etapa previa de lagunaje aireado, se está desarrollando en Francia, al tener la ventaja de disminuir el tiempo de retención hidráulica en la laguna, su consumo energético y mejorar la calidad del efluente final.

- **Recuperación del etanol por stripping:** Esta tecnología está en fase de desarrollo en Francia, consiguiendo resultados prometedores. Se basa en la separación del contenido en etanol que tienen estos efluentes, que viene a suponer más del 85% de su DQO soluble, mediante stripping. En el caso de que el vertido contenga azúcares, se pueden fermentar previamente. Para una mayor descontaminación, el proceso se combina con una evaporación consiguiéndose un vertido con una DQO de 240 mg/l con un consumo energético que es el 60% del de un tratamiento biológico aeróbico

convencional, con las ventajas de no generar lodos y que el etanol recuperado tiene un valor económico considerable

II.- Los vertidos de las industrias de bebidas alcohólicas (espirituosas)

II.A.- Introducción e importancia del sector

Según el Reglamento (CEE) nº 1576/89, se entiende por **bebida espirituosa** al líquido alcohólico destinado al consumo humano, de caracteres organolépticos especiales y un grado alcohólico mínimo del 15% en volumen. No obstante, en este apartado no se incluyen los vinos con más de 15º, denominados generosos, ya que se trataron anteriormente.

Las principales bebidas espirituosas elaboradas en España son: el aguardiente de frutas, el aguardiente de orujo de uva, las bebidas espirituosas anisadas, el *brandy*, la ginebra, los licores, bebidas espirituosas de frutos, el ron y el *whisky*.

De gran importancia es la producción del "Brandy de Jerez", agrupando el 95% de la producción de esta bebida en España, y que tiene su propio consejo regulador de Denominación de origen específica, al que pertenecen 32 bodegas de los términos de Jerez, Sanlúcar y El Puerto.

La producción en el 2006 estuvo en torno a los 67 millones de botellas de 70 cl., de las cuales un 60% aproximadamente se consumen en el mercado nacional y un 40% en los mercados exteriores. La producción anual de Brandy de Jerez requiere una entrada mínima anual al sistema de envejecimiento de unos 18 millones de litros absolutos de alcohol de vino. Esto supone unos 146 millones de litros de vino o unos 232 millones de kg de uvas. En términos de superficie, más de 49.000 hectáreas de viñedo íntegramente destinadas a este fin.

El volumen de negocio del Brandy de Jerez superó en el año 2006, los 444 millones de euros de los cuales cerca de 130 millones de euros fueron aportados a la Hacienda Pública por diversos conceptos impositivos. El Brandy de Jerez mantiene unos 15.000 empleos en viñas, destilerías, bodegas e industrias auxiliares (fábricas de botellas, cartonajes, artes gráficas, transportes, etc.).

Existen fábricas con importantes producciones de ginebra en el Puerto de Sta. María (Rives), y en Málaga (Larios), así como fábricas de elaboración de ron en la zona de Motril y en Málaga y de anís en Cazalla y Rute.

La producción del alcohol vínico que se emplea en su elaboración, es, desde el punto de vista medioambiental, la fase más importante a controlar. No obstante, en Andalucía apenas se produce, sino que es en la zona de La Mancha, con poblaciones entre las que destacan Tomelloso, Alcázar, Socuellamos, y en Almedralejo, donde las propias empresas bodegueras han instalado las alcoholeras.

Hasta dichas poblaciones se transportan las lías y orujos que se producen en Jerez y en las que, junto con los vinos de su zona, cuyo precio es muy inferior al de Jerez, constituyen la materia prima de las alcoholeras.

En el aspecto económico del vino, rápidamente hemos de referirnos a la destilación de alcohol de uso de boca (6,6 millones de hectolitros en la campaña 2004-2005) y la otra destilación, la de crisis (cuatro millones de hectolitros).

La industria de Jerez necesita el alcohol vínico para la elaboración del brandy y el propio proceso de elaboración del Jerez (encabezado alcohólico). No obstante, la mayoría del alcohol

se produce para regular el mercado de vino, que en las determinadas zonas produce muchos excedentes, por lo que las producciones dependen de las cosechas y el mercado.

Dentro del ámbito nacional, también son importantes las producciones de orujo en Galicia, Pacharán en Navarra, whisky en Segovia (Dyc), brandy del Penedés y anís en Chinchón...

II.B.- Procesos y generación de aguas residuales

Las bebidas alcohólicas se dividen en dos grupos dependiendo del modo de preparación: bebidas fermentadas, como el vino y la cerveza, y bebidas destiladas, como el whisky y el brandy. Los licores se preparan básicamente mezclando zumos o extractos de frutas, frutos secos u otros productos alimenticios. La producción de licores destilados comprende las siguientes fases: recepción de los cereales, molienda, cocción, fermentación, destilación, conservación, mezclado y embotellado. El elevador de cereales recibe y pesa el grano que le llega y lo coloca en los recipientes apropiados. La molienda consiste en moler el grano necesario para la cuba de bracear la cerveza, clave del proceso de fermentación. Las bebidas espirituosas se producen por destilación (calentamiento y condensación) de frutos o cereales fermentados con agua, a fin de lograr un alcohol fuerte pero agradable al paladar. El producto de la destilación puede dejarse envejecer a granel o mezclarse con otros alcoholes o aromas antes de proceder a su embotellado.

Los aguardientes de frutas se obtienen mediante la fermentación alcohólica y la destilación de un fruto carnoso o de un mosto de dicho fruto, con o sin huesos, tienen un grado alcohólico que no podrá ser inferior a los 37,5 % volumen.

El aguardiente de orujo de uva se obtiene a partir de orujos de uva fermentados y destilados, bien directamente por vapor de agua, bien previa adición de agua, a los que habrán podido añadirse lías en una proporción a determinar por la Comisión de la U.E...

El Aguardiente de vino tiene un grado alcohólico volumétrico mínimo de 37,5%. El *brandy* deberá obtenerse a partir de aguardientes de vino asociados o no a un destilado de vino. El grado alcohólico mínimo previsto es el de un 36 % volumen.

Los anisados resultan de la aromatización de un alcohol etílico de origen agrícola con extractos naturales de anís estrellado, de anís verde de hinojo o de cualquier otra planta que contenga el mismo constituyente aromático principal, por uno de los siguientes procedimientos o el empleo combinado de los mismos: maceración y/o destilación; redestilación del alcohol o adición de extractos destilados naturales de plantas anisadas. Para que pueda denominarse "anís", su aroma característico deberá provenir exclusivamente del anís verde, del anís estrellado o del hinojo. La graduación alcohólica mínima del "anís" es de 35% vol.

Las bebidas espirituosas al enebro ("ginebra", "gin", etc.) se obtienen por la aromatización de un alcohol etílico de origen agrícola, de un aguardiente de cereales o de un destilado de cereales con bayas de enebro (*Juniperus Communis*). Se admite, además, el empleo de otras sustancias aromatizantes o plantas aromáticas, siempre que los caracteres organolépticos del enebro puedan percibirse, aceptando incluso que estén algo "atenuados", en el producto final.

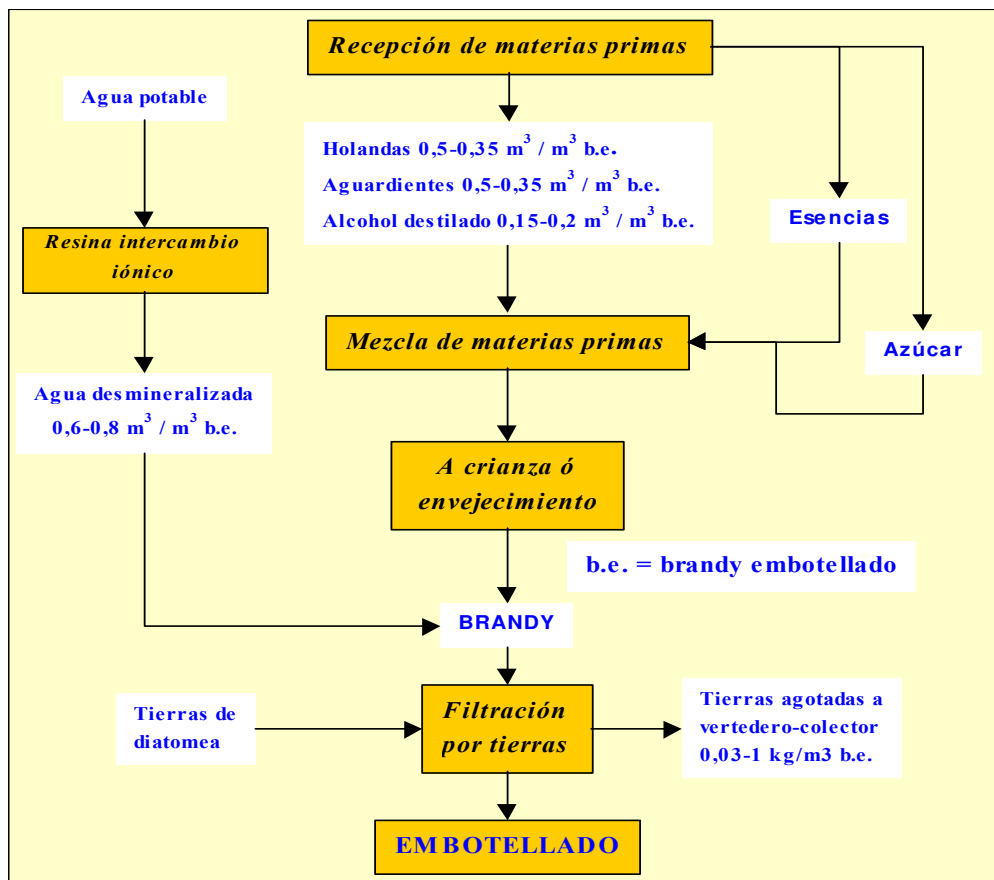
Las "bebidas espirituosas de frutos" son las obtenidas por maceración de un fruto en alcohol etílico de origen agrícola y/o en un destilado de idéntico origen y/o en aguardiente, dentro de unas proporciones mínimas a establecer en cada caso. El "Pacharán" se obtiene por maceración de endrinas (*Prunus spinosa*) con una proporción mínima de 250 g de fruto por litro de alcohol puro, siendo la graduación entre 25° y 30° G L.

El ron se obtiene exclusivamente por fermentación alcohólica y destilación, bien de melazas o de jarabes procedentes de la fabricación de azúcar de caña, bien del propio jugo de la caña.

El whisky elaborado en España es una mezcla de aguardiente de malta y destilado de cereal, envejecidos separadamente en barriles de roble americano. El primero se obtiene de la cebada; el segundo, del maíz. Posteriormente se mezclan y se dejan listos para ser embotellados. En la maltería la cebada se convierte en malta. Para ello, la cebada se humedece y descansa cinco días en una caja de germinación, donde se forman unas enzimas que serán necesarias para la elaboración del aguardiente de malta. Tras un secado, reposará durante un mes y medio. La cebada germinada es lo que se denomina malta.

En la destilería de malta se produce aguardiente de malta a partir de la malta. En unos tanques especiales se mezcla la malta molida con agua caliente, produciéndose la sacarificación, de la que saldrá un mosto azucarado. Éste, por medio de levadura, se transformará en mosto fermentado con un contenido de alcohol de aproximadamente el 8%, de un olor y apariencia idénticos a los de la cerveza. La diferencia principal está en que ésta no necesita concentrar posteriormente su alcohol. El mosto fermentado se destila en alambiques de cobre mediante un proceso de doble destilación, obteniéndose un aguardiente de malta con aproximadamente un 70% de alcohol. Este aguardiente es el ingrediente principal del whisky; luego se envía a las bodegas para su posterior envejecimiento. En la destilería se obtiene el alcohol de grano. De nuevo, en unos tanques especiales, el maíz se cuece con agua, transformándose el almidón del cereal en mosto azucarado con la ayuda de una pequeña cantidad de malta molida. Este mosto fermentará con ayuda de levadura y, tras destilarse en columnas, se obtendrá el destilado de cereal, con un 94,7% de alcohol.

Nos centraremos en el de elaboración de brandy, concretamente en el de Jerez, siendo las principales fases que componen el proceso de elaboración.”.



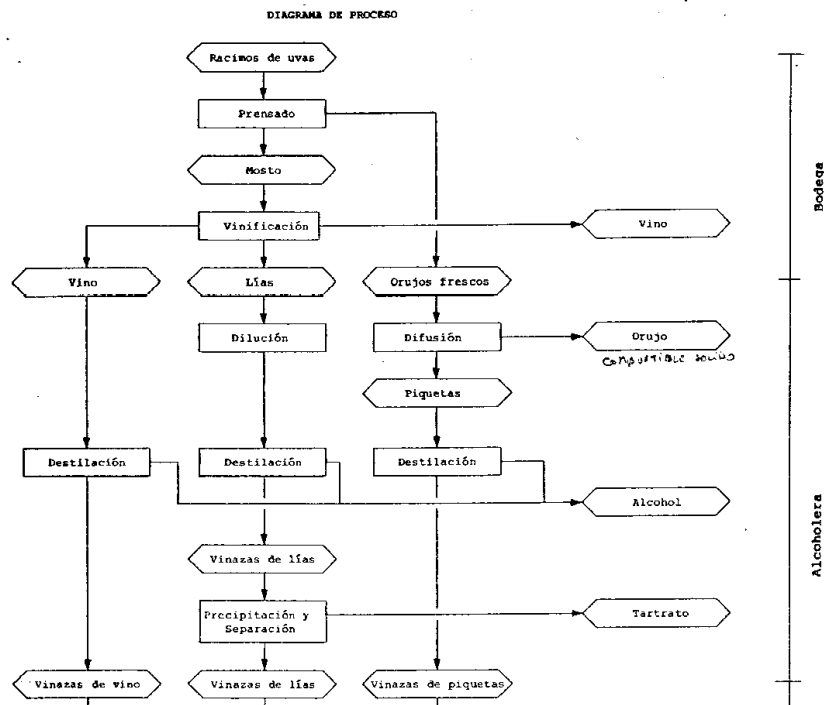
La materia prima son los alcoholes destilados y/o holandas (alcohol de 60-70%) de origen vínico. Y se envejece por el sistema de Criaderas y Soleras en botas de roble previamente

envinadas con Vino de Jerez, El alcohol se obtiene en columnas y alquitaras, generándose un residuo líquido denominado “vinaza”.

Las holandas se maduran en botas de roble americano durante el tiempo necesario para la calidad del brandy que se desee y, finalmente, se acondiciona el grado alcohólico mediante el aporte de agua desmineralizada, para lo que se emplean resinas de intercambio iónico o membranas para ósmosis inversa.

Para la elaboración de las holandas y destilados, pueden emplearse tanto vinos como sub-productos de su elaboración (lías y piquetas).

En el esquema adjunto puede apreciarse el proceso de elaboración de estos alcoholes, indicando las materias primas y diferenciando las operaciones de bodega de las propias a realizar en la alcoholera.



II.C.- Características de las aguas residuales

Para la elaboración del brandy es necesario eliminar las sustancias minerales del agua de abastecimiento. En el vertido de estas instalaciones es posible detectar valores altos de conductividad en los rechazos y/o efluentes de regeneración de las resinas, así como en los excesos de ácido y/o base empleados en la regeneración, con valores de pH fuera del rango 6 – 9,5.

En ésta zona se ha detectado altas conductividades y pH muy elevado.

En la elaboración de las esencias, se emplean mezclas hidroalcohólicas para la maceración y se utiliza el agua para la limpieza de los tanques, resultando unas aguas muy cargadas que no suelen verterse, al utilizarse en la preparación de nuevas maceraciones.

La limpieza de los depósitos donde se efectúa la mezcla de materias primas se realiza normalmente 1 ó 2 veces por depósito y año, utilizando sosa cáustica para la limpieza. Estas aguas tienen una DQO alta, del orden de 30.000 mg/l.

Volviendo a las vinazas generadas en las alcoholeras, en la siguiente tabla, obtenida durante la explotación de la depuradora existente en Tomelloso, puede observarse la gran carga contaminante de estos vertidos. En la obtención de un litro de alcohol, se generan 8 litros de vinaza de vino ó 20 litros de vinazas de lías.

Puesto que las producciones son de decenas de millones de litros al año, puede entenderse que la carga contaminante a tratar en la citada depuradora, supere los 300.000 habitantes equivalentes.

:

Parámetro	Vinazas de vino	Vinazas de piquetas	Vinazas de lías
S. sedimentables (ml/l)	< 0,05	1 - 2	8 - 12
S. en suspensión (mg/l)	50 - 300	800 - 1.200	30.000 - 40.000
S. totales (mg/l)	18.000 - 22.000	20.000 - 25.000	45.000 - 65.000
S. volátiles disueltos (mg/l)	16.500 - 20.000	17.500 - 22.000	13.000 - 22.000
S. volátiles totales (mg/l)	16.600 - 20.300	18.300 - 33.100	38.000 - 57.000
pH	3,5 - 4,0	4,0 - 5,0	4,0 - 5,5
DQO soluble (mg O ₂ /l)	16.000 - 26.000	19.000 - 26.000	14.000 - 22.000
DQO total (mg O ₂ /l)	17.000 - 27.000	20.000 - 28.000	40.000 - 80.000
Sulfatos (mg/l)	100 - 200	100 - 200	1.500 - 3.500

II.D.- Tratamiento de las aguas residuales

Para depurar los vertidos de la elaboración de brandy, en primer lugar resulta necesaria una neutralización del pH y, en algunos casos, almacenamiento de las aguas de regeneración de resinas, para verterlas lentamente con dilución con otras aguas residuales de la actividad. Posteriormente ha de someterse el vertido a un proceso de reducción de la carga orgánica, originada por los restos de alcohol y residuos que se generan durante derrames y lavados de depósitos durante los procesos.

Para las alcoholeras, indudablemente la mejor tecnología es la digestión anaerobia, obteniéndose eliminaciones superiores al 90% de la DQO con altas producciones de biogás. Se trata de un vertido con una alta carga orgánica y temperatura, cuya composición se ajusta a la necesaria para este proceso. Lógicamente hay que ajustar el pH y, en el caso de las lías, reducir el contenido de sólidos, pero no son necesarios costes en calentamiento ni adición de nutrientes.

Existen tres grandes plantas de este tipo en España. La primera es la de Tomelloso, que solo dispone de la digestión anaerobia, finalizándose el tratamiento en la otra EDAR municipal; después entró en funcionamiento la planta de Alcázar de San Juan, que incluye una etapa final aerobia mediante lodos activados. La instalación de Almendralejo es municipal y también tiene una etapa final aerobia.

La depuradora de Tomelloso está diseñada para un caudal de 105 m³/h con una concentración media de entrada de 22.500 mg/L en DQO y 2.500 mg/L en sólidos en suspensión (SS). Como datos de salida tiene una DQOS medio, menor o igual que 1.200 mg/L, un contenido en SS menor o igual que 700 mg/l y un pH entre 7 y 9. Las vinazas de siete destilerías llegan al depósito de entrada mediante una red de conducciones, de poliéster reforzado con fibra de vidrio, (PRFV). La planta tiene las siguientes particularidades:

- ✓ Desde el depósito de entrada se bombean las vinazas hacia los digestores, haciéndolas pasar por los intercambiadores de calor de placas, para ajustar la temperatura al rango mesofílico de digestión (35 °C) y se corrige el pH mediante inyección en línea de sosa.
- ✓ La impulsión se une con la recirculación de los digestores y se introduce por la cúpula de los mismos. En ocasiones también resulta necesario inyectar un antiespumante en la corriente que se envía a digestión.
- ✓ La digestión se efectúa en tres digestores cilíndricos, a los que se alimenta en paralelo, con una capacidad de 2.000 m³ / cada uno, y unas dimensiones de 14 m de diámetro y 13 de altura. Del volumen total de cada digestor, 1.400 m³ están ocupados por anillos corrugados de PVC y el resto, 600 m³, es ocupado por líquido clarificado y almacenamiento de gas en la cúpula.
- ✓ La vinaza tratada sale de los digestores y pasa a través de un depósito desgasificador de 30 m³, equipado con un agitador. Posteriormente los sólidos que lleva la vinaza tratada sedimentan en dos decantadores, uno de 12,5 y el otro de 17 m de ø, de tracción periférica. El sobrenadante de los decantadores se vierte directamente a la red de vaciados de la instalación que conecta con el alcantarillado municipal.
- ✓ Los lodos son enviados a una centrífuga, en donde se separa el fango hacia un camión o remolque, para su transporte y empleo como enmienda orgánica para los suelos destinados a cultivos, y por otra parte el líquido clarificado que vuelve al depósito de entrada.
- ✓ El biogás generado en los digestores, más de 15.000m Nm³/ al día a pleno rendimiento, se emplea de tres formas:
 - ✓ Para agitar los digestores mediante compresores.
 - ✓ Como combustible, previa compresión, en las calderas de las alcoholeras.
 - ✓ Para quemarlo en la antorcha cuando no haya consumidores.

Cuando se trata de vinazas de lías, la conducción descarga en un depósito de almacenamiento independiente, desde donde son enviadas a las centrífugas. En las centrífugas se separan la mayoría de los sólidos suspendidos que contienen las lías, y el líquido clarificado es enviado al depósito de vinazas de vino.

En Navarra se instaló una depuradora en una alcoholera, mediante un proyecto subvencionado por la Dirección General XIII de la UE por su carácter innovador, al considerar que incorporaba una serie de técnicas que lograban solucionar el problema de los vertidos en destilerías. El proceso entró en funcionamiento en el año 1998 y tras un periodo de campaña de trabajo en la que se asimiló la tecnología y se puso a punto, se ha conseguido el objetivo de depuración de aguas, implementando nuevas tecnologías. Este proyecto consiste básicamente en:

- ✓ Un tratamiento físico-químico con centrífugas continuas para eliminar la materia en suspensión de los vertidos.

- ✓ Una digestión anaerobia utilizando un digestor de mezcla completa (sin relleno) donde las bacterias que transforman la materia orgánica soluble en gas metano se desarrollan en la masa de agua que está continuamente en movimiento.
- ✓ Un tratamiento aerobio mediante inyección de oxígeno líquido.
- ✓ Un lagunaje con un largo tiempo de residencia para eliminar la DQO refractaria más difícil de degradar.

El vertido final, descontaminado en un 95%, se realiza a la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) municipal de Estella. Además, los fangos orgánicos obtenidos en el proceso se utilizan como enmienda húmica para los agricultores socios de la empresa.

En el año 2003 se proyectó la ampliación y mejora de este sistema de depuración, enfocado, ante todo, a erradicar el olor de los vertidos almacenados por falta de capacidad de la estación depuradora. El proyecto contempla un nuevo digestor (de 5.600 m³ de capacidad, por los 2.600 del actual). El tiempo de estancia del vertido en el digestor podría así triplicar los diez días de media actuales, disminuyendo notablemente su carga contaminante.

III.- Los vertidos de la elaboración de azúcar de remolacha.

III.A.- Introducción e importancia del sector.

España producía en torno al 7% del total de azúcar de remolacha elaborado en Europa, al tener asignada una cuota de producción de 1.000.000 Tm de azúcar, equivalente al 7,3% de la cuota total de la Unión Europea. Ahora la cuota se ha reducido al 50%, y en este contexto, España es un país aún más importador de azúcar proveniente de otros países, al ser su consumo interno aproximadamente 1.250.000 Tm

La situación en España con el descenso de las cuotas y las ayudas para la remolacha azucarera, ha conducido en los últimos años al abandono de su cultivo en muchos miles de hectáreas y al cierre de más de la mitad de las azucareras dentro del plan de reestructuración para asegurar la viabilidad del sector, en el marco de la nueva OCM del azúcar (en vigor hasta 2013-14) impulsada por la Unión Europea con la intención de reducir la producción de azúcar en Europa.

CUADRO Nº 1: EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE REESTRUCTURACIÓN AZUCARERA EN ESPAÑA

(*) Respecto a la Cuota española Anexo III R (CE) nº 318/ 2006	CAMPAÑA 2005/06	CAMPAÑA 2006/07	CAMPAÑA 2007/08	CAMPAÑA 2008/09	CAMPAÑA 2009/10
CUOTA TOTAL DE AZÚCAR EN ESPAÑA (t.)	996.960,9	903.842,4	887.163,6	630.586,3	498.480,3
Nº TOTAL DE AZUCARERAS OPERATIVAS	12	9	9	6	5
CUOTA ABANDONADA EN EL AÑO (t.)	0	93.118,5	16.678,8	256.577,3	132.106
Nº AZUCARERAS DESMANTELADAS EN EL AÑO	0	3	0	3	1
ABANDONO DE CUOTA ACUMULADA (t.)	0	93.118,5	109.797,3	366.374,6	498.480,6
% ABANDONO SOBRE TOTAL CUOTA ESPAÑOLA(*)	0 %	9,34 %	11,01 %	36,75 %	50,01 %

CUADRO Nº 2: REDUCCION DE CUOTA POR EMPRESAS

	TOTAL CUOTA ABANDONADA (t.)	% DE CUOTA ABANDONADA
TOTAL ESPAÑA	498.480,6	50,01%
ACOR	47.727,9	28,45%
AZUCARERA EBRO	371.615,6	49,54%
ARJ	79.137,1	100,00%

CUADRO Nº 3: SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA ANTES Y DESPUES DE LA REESTRUCTURACIÓN NACIONAL

ANTES DE INICIARSE LA REESTRUCTURACIÓN (Campaña 2005/06)			DESPUES DE FINALIZAR LA REESTRUCTURACIÓN (Campaña 2009/10)		
INDUSTRIA	CUOTA TOTAL y % sobre total cuota nacional	NOMBRE DE AZUCARERAS	INDUSTRIA	CUOTA TOTAL y % sobre total cuota nacional	NOMBRE DE AZUCARERAS
ACOR	Total: 167.727,9 t. 16,82 %	VALLADOLID OLMEDO	ACOR	Total: 120.000,0 t. 24,07 %	OLMEDO
ARJ	Total: 79.137,1 t. 7,94 %	LINARES	ARJ	-	-
EBRO	Total: 750.095,9 t. 75,24 %	PEÑAFIEL MIRANDA TORO	EBRO	Total: 378.480,3 t. 75,93 %	MIRANDA
	Norte: 426.510,7 t. 42,78 %	LA BAÑEZA CIUDAD REAL		Norte: 294.404,7 t. 59,06 %	TORO
	Centro: 22.285,7 t. 2,23 %	GUADALCACIN GUADALETE		Sur: 84.075,6 t. 16,87 %	LA BAÑEZA
	Sur: 301.299,5 t. 30,23 %	LA RINCONADA GUADALFEO			GUADALETE

Ante esta situación, algunas azucareras se reconvertirán en plantas de biodiesel, caso de Jédula y Linares, y en otras en cambio incluso se completa la producción durante todo el año, mediante el refinado de azúcar moreno procedente de países no perteneciente a la UE.

En los últimos cinco años el sector ha realizado una profunda reestructuración en las instalaciones, con el consiguiente aumento de la productividad, reduciendo los costes de producción con particular atención al ahorro energético y a los problemas medioambientales.

Cada azucarera tiene más de 200 personas trabajando durante los 2-3 meses que dura la campaña y, además, con la recogida y transporte de la remolacha también se generan muchos empleos

III.B.- Usos del agua, procesos y generación de aguas residuales

El agua tiene una gran importancia en este sector, tanto por las cantidades que emplea como por la carga contaminante de sus aguas residuales.

Las azucareras emplean grandes cantidades de agua, que toman normalmente del río o canales de riego, y que tras los tratamientos de adecuación, es utilizada en los distintos proce-

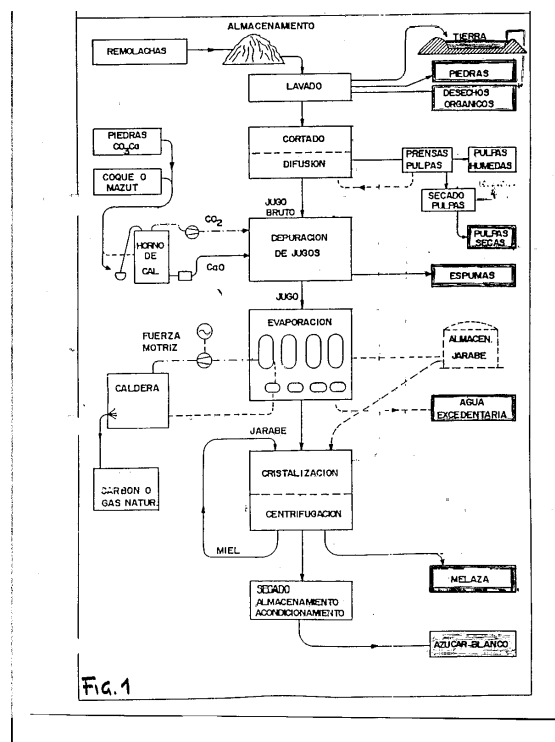
Los principales son de fábrica, siendo los principales el de transporte y lavado de remolacha y el de condensación barométrica. También se emplea en la refrigeración de las distintas máquinas del proceso de fabricación, lavador de gas del horno, lavados de maquinaria, uno sanitario, etc. En la mayoría de los casos se reutilizan las aguas varias veces, antes de verterlas.

La remolacha azucarera tiene en torno al 77 % de agua y tan solo un 15% de azúcares. Desde hace más de una década la tendencia es a recuperar el máximo de ese agua, reduciendo el consumo y el vertido, por lo que es mayor el contenido en sólidos y la materia orgánica disuelta en el agua residual. En los puntos de fábrica que antiguamente aportaban agua limpia a través de la red interna de alcantarillado (que terminaba en el circuito de transporte y lavado), se utiliza agua decantada (afinado final del lavadero, bombas de remolacha, limpiezas interiores de fábrica, etc.).

Para la obtención de azúcar, la remolacha es objeto de una serie de tratamientos por difusión y centrifugación de los que se extraen, por una parte, los jugos o jarabes y, por otra, las pulpas que se utilizan para alimentar al ganado. Una vez obtenidos los jugos, son depurados y sometidos a un proceso de concentración del que tras la cristalización se obtiene el azúcar y del que resulta como subproducto más importante la melaza. La melaza puede ser utilizada para fermentación, obteniendo así alcohol etílico, levadura y ácido cítrico, o bien para su reciclaje, con el objeto de obtener más azúcar o ser destinada a piensos.

Las características de los vertidos de estas industrias agroalimentarias varían ampliamente entre el periodo de campaña de molturación y elaboración de azúcar y el resto del año. También influye la operación que origina el vertido, generalmente relacionada con una localización determinada dentro de la instalación; sin embargo, no existen diferencias importantes derivadas de las particularidades de cada empresa.

Antes de continuar con la descripción de los procesos, primero se exponen unos esquemas con las principales etapas del proceso de fabricación





La riqueza en azúcar de la remolacha depende de la variedad, la zona donde se cultiva con su climatología (regadío o no) y del año. En la zona sur, de cada 100 kilos de remolacha se obtienen en torno a 15 kilos de azúcar y 5 kilos de melazas.

El 50% de las melazas se fermentan para alcohol y el resto se destina a alimento para el ganado o a la fabricación de piensos. En ocasiones se emplea el proceso de Quentín para disminuir el contenido en azúcar de la melaza, consistiendo en sustituir el potasio y el sodio por el magnesio, mediante resinas de intercambio iónico, consiguiendo que un porcentaje mayor de sacarosa cristalice.

El alcohol procedente de melazas supone una cuarta parte del total del alcohol de origen agrícola (el 40% procede del vino y el resto de otras frutas, cereales y patatas). El alcohol de origen agrícola puede destinarse a uso de boca, esto es, para la fabricación de bebidas alcohólicas, o a usos sanitarios, de perfumería y otros. En la mayoría de los casos mencionados, el alcohol de melazas es sustituible por otros alcoholes agrícolas, sin embargo, no sucede lo mismo en la perfumería.

Realizaremos un resumen de las diferentes etapas del proceso de fabricación del azúcar a partir de la remolacha, deteniéndonos en los diferentes circuitos de agua implicados en el mismo.

- **Recepción y control de peso y calidad de la remolacha.**

Aquí es donde está la primera corriente de agua del proceso azucarero, y de cara al medio ambiente, quizás el de mayor importancia.

En primer lugar se toma una muestra de la remolacha para determinar la tierra que lleva (tara o descuento) y el contenido en sacarosa (riqueza). Entre las impurezas se encuentran las tierras, piedras, hierbas y corona de las remolachas. Se considera que del peso total de las impurezas, que supone en torno al 8% de la remolacha, aproximadamente un 40% es tierra.

La remolacha se almacena en silos en espera de su paso al proceso de fabricación.

- **Transporte y lavado.**

La remolacha se envía a fábrica, en función de las necesidades del proceso, siendo la forma habitual mediante un conjunto de canales hidráulicos, aprovechando que la remolacha flota en agua. Se emplean grandes volúmenes de agua (650 m³/ 100 Tm de remolacha) para hacer llegar la remolacha hasta el lavadero previo a su entrada en fábrica, utilizando norias o bombas de remolacha para elevar el agua con remolacha desde la cota cero (o incluso inferior a cero) hasta el lavadero. Se interponen en este circuito, equipos para retirar las piedras y hierbas que pueda arrastrar.

El lavado correcto y efectivo de la remolacha es necesario, entre otras razones, para:

- Reducir infecciones en el proceso.
- Mejorar la filtrabilidad y depuración de jugos.
- Evitar desgastes de maquinaria y minimizar las pérdidas de azúcar en el agua.

El consumo aproximado de agua es de **150 m³/ 100 Tm** de remolacha lavada.

Existe una alternativa que consiste en el transporte por vía seca de la remolacha hasta el lavadero, a través de cintas.

- **Cortado, extracción y prensado de pulpas.**

El azúcar es extraído de la remolacha mediante difusión del jugo interior de la célula, siendo necesario para ello que la remolacha lavada se corte en finas tiras, denominadas cosetas, que presentan una gran superficie.

Para que de este proceso se obtenga la mayor cantidad de sacarosa posible, se realiza la extracción con agua caliente de la materia soluble contenida en las cosetas (azúcares y no azúcares), al difundir ésta a través de la pared celular. Se lleva a cabo en difusores continuos por cuyo interior avanza la coseta empujada por dos tornillos sinfín inclinados circulando en contracorriente con el agua que, a su paso por dicho difusor, irá extrayendo la sacarosa de la remolacha convirtiéndose en el jugo bruto o jugo de difusión.

La difusión ha de llevarse a cabo a temperaturas elevadas. (Un exceso de temperatura rompería las paredes de la célula, perdiendo rigidez las cosetas). El jugo extraído al final debe ser lo más denso posible, para que tengamos que evaporar luego la menor cantidad de agua posible.

Al final tendremos que la coseta entra por un extremo y aparece por el otro en forma de pulpa, mientras que el agua de aportación entra por donde salen las pulpas y a su salida tiene un alto contenido en azúcares y se llama jugo. La temperatura en el interior del tambor difusor es de 72-77 °C.

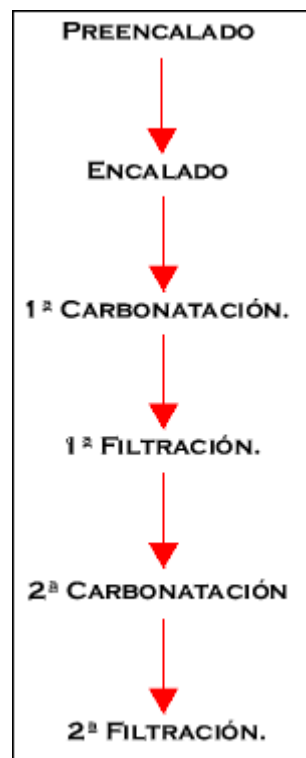
La pulpa cuando sale de la difusión posee tan solo un 7% de materia seca, por lo que se prensa para extraer un líquido (**agua de prensas**) que contiene un 1% de azúcar y es devuelto a la difusión. La pulpa prensada (25-30% materia seca) se envía a secaderos. El producto de salida (**pulpa seca**) son gránulos que se utilizan para alimento de ganado, su principal componente son los hidratos de carbono. La pulpa es fácilmente degradable por la flora microbiana del rumen y del ciego, dando lugar a una elevada proporción de acético, lo que favorece la síntesis de grasa en animales lecheros.

- **Depuración de jugos.**

El jugo salido de la difusión contiene junto casi todo el azúcar de la remolacha, sales minerales e impurezas y otros compuestos orgánicos, partículas que forman flóculos de materias proteicas y, además, es ácido (lo que al calentamiento provocaría inversión de azúcares) y daría color en el producto final. Por lo tanto debe ser “depurado” para que, por evaporación posterior, se obtenga azúcar.

El proceso de depuración, llamado calcocarbónico, consta de una primera adición de CaO (lechada de cal) con calentamiento hasta formar sacaratos, sales que no son solubles en agua. El siguiente paso es una neutralización con CO₂, y se filtra el precipitado. El jugo filtrado se somete entonces a una segunda carbonatación y filtración. El precipitado (Carbonato Cálcico) ha arrastrado impurezas y colorantes, liberando sacarosa en el filtrado. El precipitado que se forma se filtra y constituye las llamadas “**Espumas de Carbonatación**” que se utilizan como enmiendas minerales.

La cal y el anhídrido carbónico se forman en la misma fábrica en los denominados hornos de cal, por disociación del carbonato de cal al calentar la piedra de cal con coke y recuperar el CO₂. El esquema de este proceso es el siguiente:



- **Evaporación de jugos.**

En esta fase lo que se busca es concentrar el jugo ya depurado, eliminado el agua que lo acompaña. Para ello se utiliza un proceso de evaporación de múltiple efecto, de forma que los vapores generados en un efecto calientan el jugo en el siguiente.

La evaporación tiene lugar en cajas donde se ponen en contacto, a través de tubos el jugo a evaporar y el vapor. De esta forma el jugo pasa del 14 – 15 % de materia seca) al 65 – 70, denominándose, a partir de este momento, **Jarabe**.

Las aguas generadas en este proceso se recuperan en su mayor parte hacia la difusión, y existe un excedente de agua condensada que se puede estimar como de 28 m³/ 100 Tm de

remolacha. Este exceso de agua ha tenido una gran importancia en el proceso en estos últimos años, debido a la sequía, ya que se ha convertido en fuente de agua para las fábricas.

- **Cuarto de azúcar: cristalización y centrifugado.**

La cristalización consiste en introducir unos cristales de azúcar en una solución sobresaturada, provocando que el azúcar disuelto se deposite sobre los cristales iniciales, hasta dejar la solución saturada.

La cocción se efectúa en unos equipos denominados "Tachas", a vacío, con el objeto de realizar la evaporación del agua a menor temperatura. El vacío se consigue poniendo en contacto los vahos generados con una corriente de agua fría que los condensa. Aquí es donde aparece el circuito de "Agua de los condensadores barométricos".

La masa de azúcar producida (masa cocida) se envía hacia unas centrifugas donde se separa una fase sólida (azúcar cristalizado) de una fase líquida que contiene agua, azúcar y todo el no - azúcar. De aquí se ha obtenido una miel pobre que vuelve a cristalizarse para así obtener una mayor cantidad de azúcar. Este proceso se puede llegar a repetir hasta una tercera vez (masa cocida de II y de III).

El producto final del que ya no puede extraerse más azúcar se denomina Melaza, que suele tener una pureza de 58 –60 % (gr de azúcar por 100 gr de materia seca). El azúcar así obtenido se pasa a una instalación de secado.

Podemos decir, en líneas generales, que de una remolacha que tenga una riqueza del 16%, se producen unas pérdidas de 0,7 entre el almacenamiento y lavado, por lo que al proceso pasa el 15,3%.

El azúcar que sale de fábrica supone de media el 12,8%, lo que quiere decir un rendimiento del 80%. El resto del azúcar se encuentra en la melaza (2,5%).

III.C.- Características de las aguas residuales.

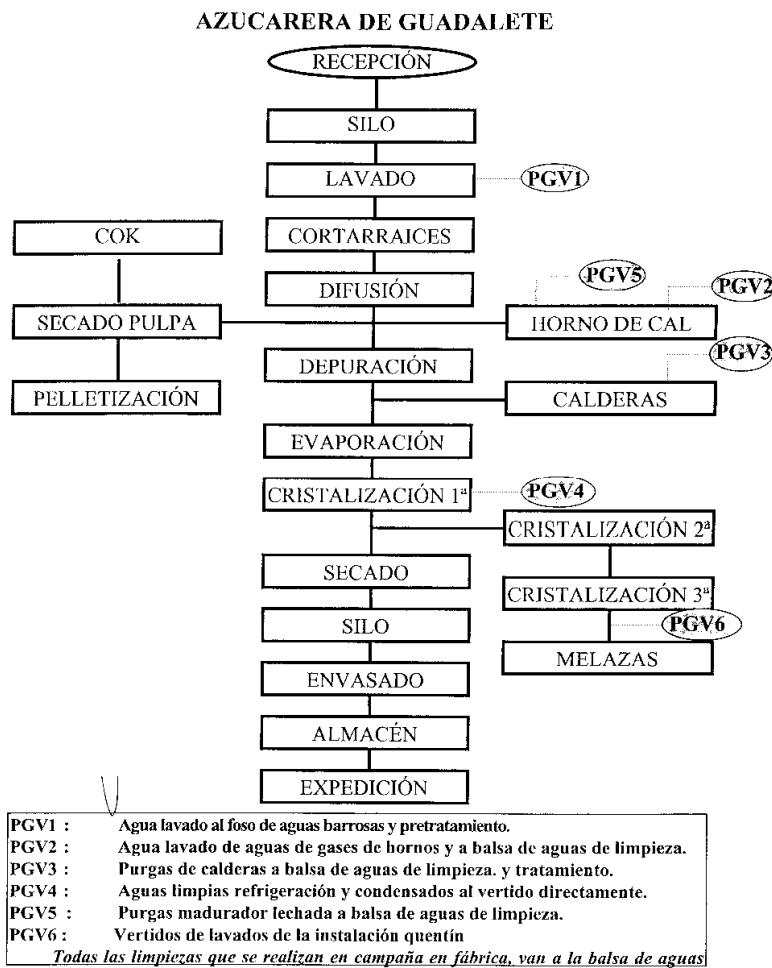
Una azucarera genera una contaminación orgánica que se puede cifrar en **2,5 – 3,5 kg DQO/ Tm de remolacha**; lo que para una fábrica capaz de tratar 10.000 Tm de remolacha al día, supone unos 30.000 kg DQO/día.

En el esquema de la página siguiente, pueden apreciarse los principales puntos de generación de vertidos que existen en una azucarera.

- **Circuito de transporte y lavado.**

Es un circuito que, como se ha visto, requiere un gran volumen de agua en circulación, y que antes se vertía de forma directa al río. Actualmente se recupera en su totalidad, evitando tanto un alto consumo como una gran contaminación; además, suelen incorporársele los otros circuitos, salvo el de quentín.

Se precisan 800 m³/ 100 Tm de remolacha, lo que supone que para una fábrica que molture 10.000 Tm/ día, se necesitan 3.400 m³/h, o 80.000 m³/d.



Tras el lavadero, la remolacha entra en el cuerpo de fábrica, quedando el agua cargada de arena, limo, arcilla y materia orgánica. Para hacerla recuperable se la hace pasar por un conjunto de instalaciones para la eliminación física de las partículas. El proceso suele constar de:

- Rejas para eliminar gruesos (piedras, trozos de remolacha).
- Filtros rotativos de luz de 1 – 2 mm. para separar piedras, trozos de plásticos, etc.
- Desarenadores rectangulares con un tiempo de residencia de 2 – 5 minutos para eliminar arenas gruesas.
- Decantadores circulares con un tiempo de residencia de 2 – 4 horas, para separar arcillas y limos.

El agua clarificada que sale del decantador es la que se utiliza de nuevo para el desensilado y lavado. La **purga de lodos** del fondo se envía a balsas para que terminen de decantar los limos y arcillas, y poder separar el agua que las acompañan. De esta forma, con esta purga se ha eliminado el global de la tierra que ha acompañado a la remolacha y la mayor parte de la materia orgánica que por difusión ha pasado al agua.

Esta materia orgánica es la parte principal de la contaminación acuosa que genera la azucarera y que debe someterse a tratamiento posterior. Entre las impurezas, que suponen un 9% en peso, se encuentran las tierras, piedras, hierbas y corona de las remolachas, considerándose que aproximadamente un 40% del peso total de las impurezas, es tierra y que ésta es la

que se elimina en el circuito de lavado y arrastre. En consecuencia, para un consumo de 700.00 Tm de remolacha, la cantidad de tierras sería la siguiente:

$$700.000 \times 0,09 \times 0,4 = 25.200 \text{ Tm}$$

por lo tanto, para una duración de unos 80 días, la cantidad diaria sería 315 Tm lo que para una concentración media del 25 % en las purgas de lodo de los decantadores, supone el siguiente caudal medio horario:

$$(315.000 / 24) / 250 = 52,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Las características medias de las aguas de este circuito, tomadas del proyecto de construcción de una de las balsas de decantación, son las siguientes:

Parámetro	Concentración
Conductividad (Microsiemens/cm)	9.100
pH	12,16
DQO (mg Oxígeno/l)	4.848
DBO ₅ (mg Oxígeno/l)	4.580
Sólidos en suspensión (gr/Kg)	270

Ya con datos reales de la campaña 2006-2007, tenemos que los valores medios, máximos y mínimos de los sobrenadantes de las balsas a las que se conducen las purgas de los decantadores que recuperan el agua de este circuito, y a la que se unen los restantes de la azucarera, son los siguientes:

	pH	C.E. (microS/cm)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)
Medios	7,46	5.858	2.180	191	1.688	116	996
Máximos	7,63	6.710	2.922	300	2.509	147	1.334
Mínimos	7,23	5.180	1.249	100	952	75	620

III.D.- Tratamiento de las aguas residuales.

Hemos visto que la mayoría del agua se reutiliza y que el caudal vertido es pequeño, pero con una gran concentración. Los tratamientos anaerobios se están imponiendo, existiendo ya 8 plantas de este tipo en España, una de ellas en San José de la Rinconada (Sevilla) y próximamente, por traslado desde Peñafiel, en Guadalete (Jerez). Cinco de estas plantas disponen de reactores del tipo contacto (o mezcla completa), y los otros 3 reactores son del tipo UASB.

Antes se ha visto como el empleo de las balsas, es útil como:

- Almacenamiento del excedente de agua que se genera.
- Lugar donde se produce el proceso de acidificación del agua residual previo al tratamiento de depuración.

Dada las altas concentraciones de materia orgánica fácilmente biodegradable que tienen estos vertidos, es recomendable el empleo de la digestión anaerobia (cuyos fundamentos se explican en el Anejo I).

Las diferencias más importantes entre los sistemas aerobios y los anaerobios están recogidos en la siguiente Tabla.

PARÁMETRO	AEROBIO	ANAEROBIO
DQO entrada	< 1,500 mg O ₂ / L	> 1,500 mg O ₂ / L
Estado de la biomasa	floculenta	granular
Formación de biomasa	0.7 Kg / Kg DQO eliminada	< 0.02 Kg / Kg DQO eliminada
Carga volumétrica	0.3 – 0.7 Kg / m ³ · d	10 – 30 Kg / m ³ · d
Carga másica	0.2 – 0.5 Kg / Kg SSV · d	0.5 – 1 Kg / SSV · d
Relación DBO / N / P	100 / 5 / 1	1,000 - 350 / 5 / 1
Rendimiento	90 – 95 %	80 – 85 %
Formación de biogas	NO	SÍ
Superficie requerida	Grande	Pequeña
Control de pH	Según los casos	Imprescindible
Parada de un reactor	Obliga a vaciar y arrancar de nuevo si es por cierto tiempo	La biomasa puede permanecer parada durante meses
Arranque del reactor	Rápida sin necesidad de aporte de biomasa externa	Lenta, y requiere el aporte de biomasa externa

La configuración básica del sistema anaerobio se encuentra representada en la siguiente

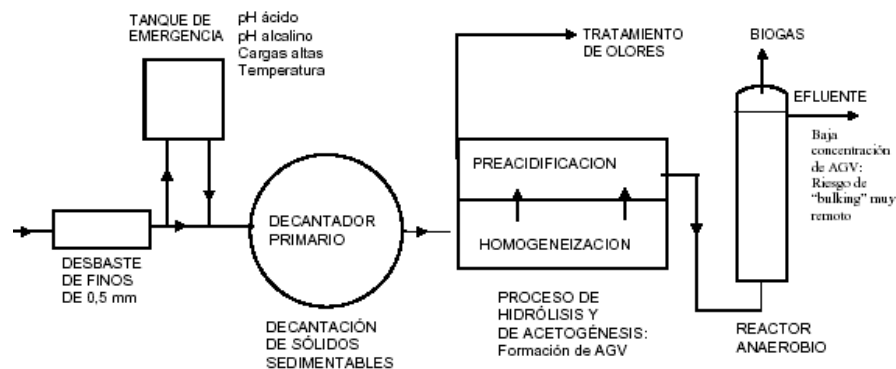


figura:

Para ampliar las razones que aconsejan la elección de un proceso de tratamiento anaerobio, vamos a realizar una comparación para una azucarera de tamaño medio con los siguientes parámetros de diseño:

- Caudal: 100 m³/ h.
 - DQO Entrada: 5500 mg/ L.
 - DQO Salida 500 mg/ L.
 - Rendimiento: 90 % DQO.
 - DQO Eliminada.: 5000 mg/ L. (5 kg/ m³)
 - kg DQO/ h eliminados = 100 * 5 = 500 kg/h.
- Tratamiento Anaerobio.
 - Producción de Gas: $0.35 * 100 * 5 = 175 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{h} = 1.533.000 \text{ m}^3 / \text{año}$
 - Ahorro Energético en Fuel = 1.270 Tm al año.
 - Tratamiento Aerobio.
 - 500 kg DQO /h. aproximadamente igual a 300 kg DBO₅/h

Consumo eléctrico por aireación: $0,5 \text{ kWh} / \text{kg DBO}_5 = 150 \text{ kWh}$.

Consumo energético = $1.314.000 \text{ kWh}$ al año

Este balance energético tan favorable, es capaz de asumir un tratamiento aerobio posterior para los casos en que se requiere una mayor calidad de efluente.

Para el calentamiento del influente al reactor anaerobio, en el caso de la industria azucarera se utiliza generalmente el calor del agua del circuito de condensadores barométricos que antes vimos. Esto supone, además, una manera de reducir la carga térmica a la torre de refrigeración y recuperación de agua. De esta forma no se precisa de una fuente externa de calor y se puede aprovechar el biogás generado en las calderas de fábrica.

El aprovechamiento del biogás en las calderas o secaderos de pulpa de la fábrica, hace que este tipo de tratamiento sea rentable frente a otros llamados tratamientos blandos o de bajo coste como el lagunaje.

Los tratamientos anaerobios instalados en aquellas plantas que solo tiene azucarera, a veces constan únicamente de un reactor anaerobio, dado que los rendimientos alcanzados los hacen suficientes para situar el vertido por debajo de los límites marcados por las respectivas confederaciones hidrográficas.

En las fábricas que tienen Azucarera + Destilería siempre es preciso una fase aerobia posterior a la anaerobia que afine los rendimientos obtenidos. Esto se debe a la menor biodegradabilidad del agua generada por la alcoholera frente al agua de la azucarera que podemos decir que es 100% biodegradable.

En estos procesos la eliminación de la demanda biológica de oxígeno se sitúa en torno al 95% en el reactor anaerobio y en el 97% en las plantas con reactor Anaerobio + Aerobio. Los procesos anaerobios se adaptan muy bien al funcionamiento por campañas de las azucareras, realizándose arranques rápidos, (en los que se alcanza el 100% de la carga a tratar en 7 días), tras nueve meses de parada.

En España el biogás tiene aprovechamientos térmicos y eléctricos a partir del tratamiento de cuatro tipos de residuos biodegradables, entre los que destacan los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de los vertederos –por eso, geográficamente, Madrid y Barcelona están a la cabeza– y los residuos industriales de empresas **cerveceras, azucareras, alcoholeras, lácteas** y otras.

Los otros dos recursos, los procedentes de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) y los residuos ganaderos –especialmente los purines– tienen aprovechamientos dispares. Los primeros se están implantando con éxito, mientras que los segundos sufren la competencia de las plantas de secado que emplean gas natural en el proceso de depuración.

La producción eléctrica con biogás contaba con 141 MW instalados a finales de 2004, que superaba con creces el objetivo de la planificación energética anterior, fijado en 111 MW para 2010. La nueva planificación apuesta por conseguir 235 MW, equivalentes a 188.000 tep.

- **Evaporación Directa.**

Este método se basa en que la evaporación, por ejemplo en la zona de Jerez, llega a ser de hasta 9 ó 10 mm/ día en los meses de verano y con lluvias reducidas a lo largo del año, por lo que el único requerimiento es tener suficiente superficie de balsas de almacenamiento para que el agua se evapore en los nueve meses de intercampaña.

Este sistema tiene dos grandes inconvenientes: la gran superficie que se necesita, del orden de las 20 hectáreas de material impermeable y, sobre todo, que en las balsas no se produce únicamente la evaporación, sino que los procesos de autodepuración del agua conllevan la emisión de unos olores muy desagradables a la atmósfera.

No hay que olvidar que al final hay que retirar el residuo de las balsas, para dejar sitio para la próxima campaña, lo que supone un coste nada despreciable.

ANEJO I. Digestión anaerobia de aguas y lodos

La digestión anaerobia es un proceso en el que la materia orgánica se descompone por la acción de los microorganismos en la ausencia de oxígeno molecular y se produce un gas, al que se denomina biogás formado básicamente por metano y dióxido de carbono.

El proceso se puede representar con la siguiente ecuación:

Materia Orgánica + H₂O + Nutrientes + Microorganismos → Nuevas células + Materia Orgánica resistente + CO₂ + CH₄ + NH₃ + H₂S + Calor

En la mayoría de los casos el CO₂ y el CH₄ constituyen más del 99 % del gas total producido.

El proceso se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado, que se alimenta generalmente de forma discontinua, en los que intervienen varios tipos de microorganismos. Entre los más importantes y específicos de este proceso están las bacterias productoras de ácidos y las bacterias productoras de metano. Las bacterias acidogénicas transforman la materia orgánica compleja en productos intermedios. Las bacterias metanogénicas actúan sobre dichos productos intermedios transformándolos en gases y subproductos estabilizados. El proceso que se origina es lento y requiere unas condiciones determinadas. La primera fase del proceso se denomina fase ácida, con pH por debajo de 6,8, la segunda fase se denomina metánica, la cual aumenta el pH a valores de 7,4, estas bacterias son muy sensibles a los valores de pH y se inhiben con valores inferiores a 6.

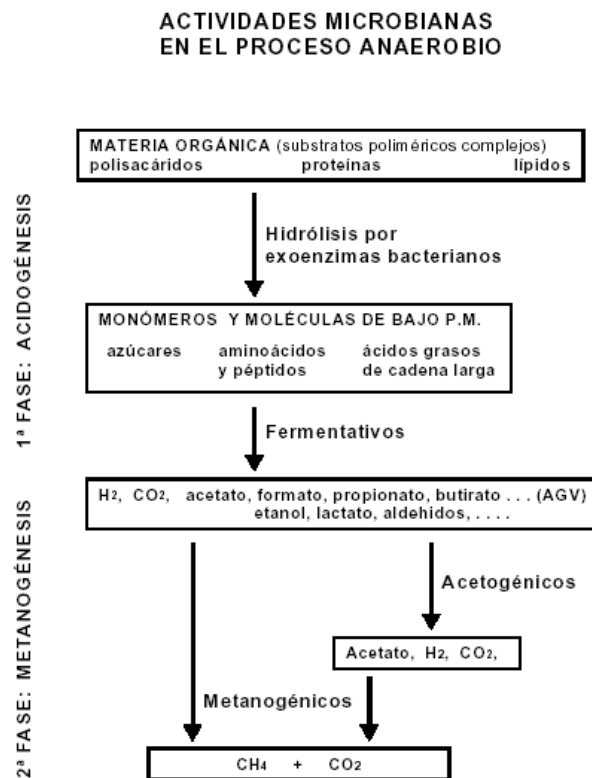
Los digestores anaerobios pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- **Baja Carga:** No se calienta ni mezcla el digestor, por lo que los tiempos de retención superan los cuarenta días.
- **Alta carga:** Aquí si se calienta y mezcla el digestor, y los tiempos están entre 20 y 25 días.

Los principales inconvenientes que suelen achacarse a la digestión anaerobia resultan de dos factores: la complejidad relativa del proceso, que involucra la actuación secuencial y/o simultánea de varios grupos de microorganismos específicos, y los elevados costes de inmovilizado que suele presentar frente a las otras alternativas. Así, respecto del primer aspecto mencionado, cabe resaltar que las actividades de los principales grupos bacterianos responsables del proceso suelen clasificarse en cuatro etapas diferenciadas y secuenciales:

- a) **Etapa hidrolítica:** ruptura enzimática de las macromoléculas orgánicas en monómeros utilizables metabólicamente. Se desarrolla mediante exoenzimas excretadas por los microorganismos responsables de la fase subsiguiente.
- b) **Etapa acidogénica:** biodegradación, mediante un grupo de microorganismos denominados "acidogénicos" de los monómeros formados en la anterior etapa hasta ácidos grasos de cadena corta, dióxido de carbono e hidrógeno

- c) **Etapa acetogénica:** transformación de los ácidos grasos de cadena corta, (principalmente ácido propiónico y ácido butírico) hasta ácido acético e hidrógeno
- d) **Etapa metanogénica:** transformación de los productos intermedios anteriores hasta metano y dióxido de carbono por los microorganismos denominados “metanogénicos”. En esta etapa pueden distinguirse, a su vez, dos subetapas caracterizadas por los sustratos utilizables así como por el tipo de microorganismos capaces de realizar la transformación.
- d.1) **Microorganismos metanogénicos acetoclásticos:** capaces de transformar el acetato en metano y dióxido de carbono.
- d.2) **Microorganismos metanogénicos utilizadores de hidrógeno** (también denominados “protón reductores”): capaces de transformar el dióxido de carbono e hidrógeno en metano y agua.



Las reacciones bioquímicas básicas que tienen lugar en un sistema anaerobio están esquematizadas en la figura: anterior.

Para el correcto funcionamiento del proceso de degradación anaerobia es necesario, por tanto, que las velocidades de transformación metabólica de los diferentes grupos bacterianos estén equilibradas ya que los productos finales de una etapa son consumidos en la siguiente, dando lugar a una relación simbiótica que estabiliza el proceso.

Sin embargo, la tolerancia de los diferentes grupos bacterianos implicados a las modificaciones en las variables de estado del sistema son muy diferentes, encontrándose que las bacterias metanogénicas son mucho más sensibles (además de presentar velocidades específicas de crecimiento inferiores) frente a cualquier modificación del medio.

Por todo ello, cuando se producen distorsiones en el sistema (aumentos de la carga orgánica alimentada, acidificación del medio, modificaciones de la temperatura, acumulación de sustancias tóxicas, etc.) sobreviene una acumulación de productos intermedios (en general ácidos grasos de cadena corta e hidrógeno) que provocan una mayor acidificación del medio y, en consecuencia, se establece un "círculo vicioso" que conduce a la paralización del proceso global.

El gas es almacenado, generalmente en un gasómetro de campana flotante, y el sobrante se quema en una antorcha que actúa automáticamente en función del volumen almacenado. El gas se aprovecha para la producción de energía eléctrica y térmica mediante instalaciones de cogeneración.

- Digestión convencional

El proceso convencional se suele llevar en una única fase, llevándose a cabo de forma simultánea la digestión, espesado y formación de sobrenadantes.

Los digestores están constituidos por tanques cerrados con dispositivos para la mezcla, calentamiento y recolección del gas. Se opera en el rango mesofílico alrededor de los 35°C. La adición del residuo a tratar y la retirada del digerido se realiza intermitentemente, con tiempos de retención hidráulica que suelen superar los 25 días.

La concentración del digestor es baja (entre 30 y 60 gr/l) y el cultivo está en suspensión. La gran mayoría de los digestores de lodos de depuración de aguas residuales urbanas obedecen a este concepto de diseño.

- Tipo de reactores anaerobios

Los digestores anaerobios pueden clasificarse, al igual que en el caso de los reactores aerobios en sistemas con biomasa suspendida y en sistemas con biomasa fija: Los tipos de reactores anaerobios más conocidos se agrupan en los siguientes sistemas, atendiendo a la forma en que los microorganismos son retenidos en el interior del reactor:

- Sistema de Contacto de fangos.
- Sistema de Lecho de fangos o lecho suspendido.
- Sistema de lecho fijo o filtro
- Sistema de lecho extendido y fluidizado.

- ✓ Sistema de contacto de fangos

En este tipo de digestor hay una separación externa de los microorganismos y fango, que vuelven de nuevo al reactor por recirculación. Este proceso está especialmente indicado para el tratamiento de aguas residuales con elevada cantidad de sólidos lentamente digeribles y que sedimentan con facilidad. La velocidad de carga suele ser de 1 a 6 kg DQO/m³/día, con tiempo de residencia en el digestor superior a un día. Por este motivo, los reactores son voluminosos.

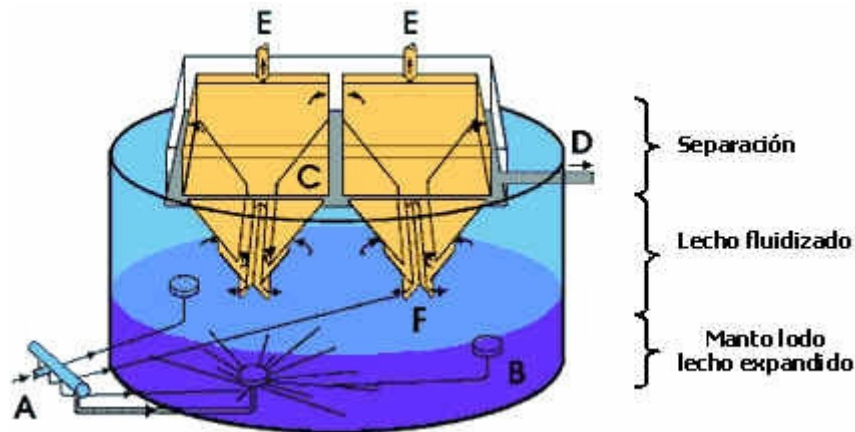
La ventaja de este sistema de contacto es la facilidad de poder separar las distintas fases del proceso, admitiendo la posibilidad de poder intercalar otros pasos tecnológicos. También es de destacar su gran estabilidad.

- ✓ Sistema de lechos de fangos o lecho suspendido

La tecnología **UASB** (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) está basada en la acumulación de microorganismos en un reactor, cuyas características de sedimentación impidan su

arrastre fuera del mismo. El efluente pasa a través de un manto de lodo que logra que los microorganismos floquen o granulen, de manera que permanezcan en el reactor.

Los reactores UASB consisten, básicamente, en un proceso de crecimiento en suspensión en el que se consigue la retención de los microorganismos en el sistema fomentado su aglomeración en flóculos bacterianos y mediante un diseño específico del reactor que actúa, también, como separador interno.



No se dispone de un medio inerte para desarrollar los microorganismos, sino que hay que favorecer la coagulación y la floculación de los lodos, manteniendo condiciones adecuadas.

Otras dos propiedades esenciales que reúne este tipo de reactor son, por una parte, el dispositivo de separación gas-líquido-sólido, por medio de campanas colectoras situadas en su parte alta, mediante la cual se consigue la sedimentación de los flóculos de pequeño tamaño que ascienden adheridos a las burbujas de gas; y por otra la disposición de un sistema de introducción y distribución uniforme del influente (aguas de entrada), en la base del reactor.

Las concentraciones de biomasa van desde 60 g. de sólidos totales por litro, en el fondo, hasta 10 g/litro cerca de la salida.

En condiciones normales de trabajo actuando un solo digestor, el pH debe mantenerse en la zona de 6,5-7,8; la temperatura debe estar entre 38 y 40°C.

Debido a la gran concentración de lodos dentro del reactor, pueden conseguirse velocidades de carga orgánica de 5-30 kg DQO por m³ y día y tiempos de residencia entre 0,2-2 días; siendo ésta la principal ventaja de este tipo de digestor, ya que con un poco volumen se consigue una gran efectividad.

✓ Sistema de lecho fijo o filtro

Entre las diferentes tecnologías utilizables con retención interna de microorganismos en forma de biopelícula pueden resaltarse las denominadas "filtro anaerobio" y "lecho fluidizado anaerobio". La primera de ellas suele utilizar un lecho soporte fijo, con flujo ascendente o descendente, mientras que la segunda requiere la utilización de pequeñas unidades de soporte de baja densidad, gran porosidad (normalmente es recomendable la utilización de partículas con una adecuada distribución de macro y microporos) y alta superficie específica que se mantienen fluidizadas en el sistema mediante un elevado caudal de recirculación.

La biomasa metanogénica está retenida en el interior del reactor, mediante la adhesión en forma de biopelícula en los intersticios de un soporte inerte, que rellena el digestor y a través del cual se hace pasar el agua residual a depurar.

Este relleno puede ser desordenado o canalizado: Reactor Anaerobio de Película Fina (RAPF), y desordenado: Filtro Anaerobio (FA). El primero opera comúnmente con flujo descendente, facilitando la transparencia de la materia el gas producido, al circular en contracorriente con el agua residual a depurar. El FA opera con flujo ascendente. Por la constitución de estos digestores tiene una influencia primordial el relleno (tipo, material, etc) sobre el rendimiento del reactor.

La biomasa se encuentra dispuesta dentro del biofiltro tanto formando una biopelícula sobre las partículas del relleno, como formando flóculos que se hayan atrapados entre sus huecos.

Es adecuado para aguas con carga orgánica soluble o fácilmente hidrolizable. La distribución del líquido es muy importante, ya que no pueden formarse canales preferenciales. Esto produce menores tiempos de residencia.

La etapa más difícil y lenta es la puesta en marcha del mismo. Las ventajas al elegir este tipo de reactor son: la tolerancia que presenta frente a amplias variaciones de la carga orgánica aplicada (1-15 kg DQO/m³/día) y el relativo corto tiempo de residencia (de 1 a 3 días).

✓ Sistema de lecho expandido y fluidizado

Este tipo de reactor ha sido desarrollado al comprobar que las películas adheridas estáticas permiten una acumulación de biomasa por unidad de volumen de diez veces superior a las conseguidas en sistemas microbianos suspendidos. Tomando lo anterior como base se llegó a este proceso, ya que con él se logra que los microorganismos se adhieran sobre pequeñas partículas inertes, con un flujo ascensional con velocidad suficientemente elevada para provocar la expansión y fluidización del mismo, de forma que eliminen los peligros de oclusiones.

Para conseguir estas velocidades de flujo es necesario recircular parte del efluente. En este tipo de lechos fluidizados la expansión puede llegar al 100 por 100. Velocidad de líquido característica 20 – 30 m/h

Se caracteriza porque la biomasa se encuentra adherida a partículas de pequeño diámetro (incluso menores de 1 mm), empleando como soportes: arena, grava, carbón activo, bolas de vidrio, etc. La alimentación ingresa por la parte inferior del reactor, entonces una alta velocidad vertical del líquido fluidiza el lecho.

La utilización de soportes pequeños permite mantener en el reactor altas concentraciones de biomasa con un área específica notoriamente elevada.

Factores muy importantes a tener en cuenta en este sistema son la elección del soporte para los microorganismos, así como el conseguir una buena distribución del fluido. En estos digestores, la mayor parte de la biomasa (80-100 por 100) se encuentra adherida, siendo muy pequeña la fracción de biomasa suspendida libremente.

Los resultados experimentales de este proceso aportan las desventajas de mayor coste de energía (recirculación) y las siguientes mejoras:

- ✓ Capacidad de tratamiento superior a 50 kg DQO/m³ /día, con tiempos hidráulicos de residencia de menor de cinco horas.

- ✓ Seguridad en su trabajo, una vez logrado crecimiento estable de la biomasa.
- ✓ Se reactiva fácilmente después de paradas frecuentes, aunque éstas sean largas.
- Digestión anaerobia en dos fases

En la digestión anaerobia de una fase se emplea únicamente un reactor, donde se efectúan simultáneamente: mezcla íntima del influente con todos los grupos de microorganismos, mediante bombeo, circulación o recirculación de fluidos; reacciones bioquímicas de la digestión y sus consecuencias de formación de distintos gases; espesamiento de fangos y formación del sobrenadante clarificado o efluente.

Al aplicar este proceso simple, a principios de los años setenta, a residuos sólidos suspendidos y aguas residuales con elevada carga orgánica de carbohidratos, lípidos y proteínas se observó frecuente inestabilidad global en la depuración, debido al desequilibrio entre la síntesis de los ácidos grasos volátiles (AGV) y degradación posterior. Por esta causa se planteó el tratamiento de este tipo de influente en dos fases o etapas.

El proceso de dos fases produce dos grupos de reacciones en dos digestores instalados en serie. Esta depuración requiere, por tanto, la colaboración de dos tipos o grupos distintos de microorganismos:

- Hidrolíticos y formadores de AGV, en el primer reactor.
- Acetogénicos y metanogénicos, en el segundo.

El éxito de este tratamiento comienza con una adecuada separación de estos dos grupos de bacterias, bien por diálisis, inhibición selectiva o por ajustes de velocidad de dilución, actuando con ello sobre el control cinético del crecimiento de las bacterias de dichos grupos. El progresivo afianzamiento de la separación se conseguirá a lo largo del funcionamiento, debido a la propia selección bacteriana que se realizará en cada uno de los reactores, con distintos medios trabajando con el Tiempo Hidráulico de Residencia (THR) adecuado.

Las ventajas que aporta este proceso de dos fases, respecto con el de una sola, son:

- ✓ El primer reactor actuará de amortiguador a la llegada de algún golpe de carga del influente, aportando gran seguridad y estabilidad al sistema; también este reactor eliminará el oxígeno disuelto del influente, por lo que la eficacia en el segundo reactor será óptima.
- ✓ Permite conseguir un biogás de mayor riqueza en metano, lo que repercute en el balance económico.
- ✓ Puede conseguirse un aumento cinético de la hidrólisis por agitación en el primer reactor, y evitar la pérdida de microorganismos de esta primera etapa intercalando un decantador y bomba, para retornar éstos a su origen.

Resumiendo este sistema admite una mayor flexibilidad en variaciones de carga, pH y temperatura, a la vez que ofrece mayores facilidades en la actuación, seguimiento y control del proceso.

- Ventajas energéticas de los procesos anaerobios frente a los aerobios, para el tratamiento de aguas residuales de industrias agroalimentarias.

En la siguiente tabla se aprecian claramente las ventajas en kWh por cada m³ de vertido tipo de las diversas industrias.

COMPARACIÓN DE BALANCES ENERGÉTICOS ENTRE LOS PROCESOS AEROBIOS Y ANAEROBIOS				
INDUSTRIA	Agua Residual DQO p.p.m.	AEROBIO KWh/m³	ANAEROBIO kWh/m³	AHORRO ENERGÉTICO
ALMAZARA	100.000	100	570	670
ALCOHOLERAS	25.000	25	142	167
QUESERÍAS	25.000	25	140	165
Fca. LEVADURAS	10.000	10	57	67
Fca. ANTIBIOTICOS	8.000	8	45	53
MATADEROS	5.000	5	28	33
CERVECERAS	4.000	4	22	26
CONSERVAS VEG.	3.000	3	17	20
CENTRAL LECHERA	1.500	1.5	8.5	10
AZUCARERAS	1.000	1	5.7	6.7