

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA**  
***INGENIERÍA QUÍMICA***

*Producción de ácido cítrico a partir de celulosa  
recuperada de la cáscara de arroz*

Alumnas:

Ambrosio, Rocío Lisette

Sanjuan, Agustina Aylén

Director:

Mg.Ing. Baccifava, Rubén Luis

2023

Firma de las alumnas:

Ambrosio, Rocío Lisette: .....

Sanjuan, Agustina Aylén: .....

Aceptado por Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María el  
día..... del mes.....del año.....

Aprobada por su contenido y estilo.

Presidente del Tribunal: .....

Primer Miembro Vocal: .....

Segundo Miembro Vocal: .....

Nota final de aprobación: ..... .....

---

## *AGRADECIMIENTOS*

---

En el transcurso de la ejecución de este proyecto de tesis de grado, contamos con la valiosa colaboración de numerosas personas, entre las cuales deseamos destacar a las siguientes:

- Los ingenieros Rubén Baccifava y Luciano Cesarini, cuya orientación y supervisión fueron fundamentales a lo largo de todo el proceso.
- Expresamos nuestro sincero agradecimiento a los Ingenieros Luis Toselli, Aldana Chesta, Daniel Gilli, a la Magíster Silvia Moyano y a la Contadora Rosalía Ambrosio por su constante disposición para responder a nuestras consultas y por dedicar tiempo a acompañarnos en este proyecto.

Su apoyo y compromiso fueron invaluable en la culminación exitosa de este trabajo.

Extendemos nuestro agradecimiento a nuestra respetada institución educativa, la UTN FRVM, por proporcionarnos no solo un entorno propicio para nuestro desarrollo académico, sino también los conocimientos necesarios para prepararnos como profesionales. Valoramos enormemente la alta calidad técnica y humana que caracteriza a nuestra institución y apreciamos el entusiasmo con el que se promueve la educación. Además, le agradecemos por brindarnos la oportunidad de dar nuestro primer paso en el ámbito laboral, y qué mejor manera de hacerlo que asumiendo el rol de docente en nuestra propia casa de estudios.

---

## *DEDICATORIAS*

---

*Por, Ambrosio Rocío Lisette*

A mi familia por su apoyo incansable, especialmente a mis padres, mis motores claves en este camino. También quiero agradecer a mi compañero Guille, quien siempre ha creído en mí y banco en esta marea de emociones. Además, quisiera agradecer a mis amigos de la facultad y a mi compañera Agustina por su colaboración y apoyo en este proyecto. No fue una tarea fácil, pero en equipo y con la fuerza más poderosa que nos caracteriza, la voluntad, hemos superado todos los obstáculos. Agradezco profundamente a todas las personas que me han ayudado en este camino y espero poder retribuir su generosidad en el futuro.

*Por, Sanjuan Agustina Aylén*

A mis padres por su apoyo incondicional y su amor durante estos años, gracias a su esfuerzo y dedicación, tuve la oportunidad de poder alcanzar esta gran meta, por su motivación y aliento que me han ayudado a superar cada obstáculo y desafío de este camino, gracias por ser los motorcitos de mi corazón. A mi pareja, mi gran compañero, por su amor, paciencia y apoyo incondicional, a mis amigos y familiares por su apoyo y comprensión durante este tiempo y especialmente a mi fiel compañera en este proyecto, Rocío, por su gran esfuerzo, comprensión y compañía en cada momento que hemos atravesado en este desafío juntas.

## RESUMEN

El siguiente proyecto se basa en el estudio técnico – económico con objetivo de evaluar la factibilidad de instalar una planta dedicada a la producción de ácido cítrico a partir de celulosa recuperada de la cáscara de arroz. Dicho proyecto involucra el estudio de mercado, donde se encuentra la información acerca de los consumidores potenciales del producto, la descripción de las distintas opciones viables de producción y posterior selección del proceso óptimos para la elaboración del producto. Además, se realiza un análisis de indicadores económicos financieros que determinan la viabilidad del proyecto e influyen al momento de instalar la planta en la provincia de Entre Ríos, Argentina. Se realizaron, por otra parte, los balances de masa y energía que son utilizados como entrada para el diseño y adopción óptima de los equipos involucrados. El ácido cítrico es un ácido orgánico con una gran variedad de usos destacados en la industria alimentaria, farmacéutica y química. La fermentación es el proceso elegido y para el pretratamiento de la materia prima, se selección la explosión de vapor. Dichos procesos se detallan en el presente proyecto final de grado.

**Palabras claves:** Cáscara de arroz, fermentación, ácido cítrico, residuos lignocelulósicos

## ÍNDICE

---

<i>Agradecimientos</i> .....	3
<i>Dedicatorias</i> .....	4
<i>ÍNDICE</i> .....	6
<i>Listado de abreviaturas</i> .....	13
<i>1 Fundamentos y objetivos</i> .....	17
1.1 Generalidades del proyecto .....	17
1.2 Objetivos generales.....	17
1.3 Objetivos específicos .....	18
<i>2 Introducción y generalidades</i> .....	20
2.1 Introducción .....	20
2.2 Descripción de la materia prima y los insumos .....	20
2.3 Descripción del producto.....	36
<i>3 Estudio de mercado</i> .....	45
3.1 Análisis del producto.....	45
3.2 Análisis de materia prima.....	49
3.3 Análisis de la demanda insatisfecha .....	60
3.4 Análisis FODA.....	62
<i>4 Localización</i> .....	66
4.1 Macro localización .....	66
4.2 Micro localización .....	78
<i>5 Capacidad de producción</i> .....	86
5.1 Introducción .....	86
5.2 Factores influyentes en la capacidad de la planta.....	86

5.3	Selección de la capacidad.....	88
5.4	Proyección de la demanda .....	88
5.5	Cálculo de la capacidad.....	90
5.6	Conclusión .....	92
6	<i>Descripción y selección del proceso productivo .....</i>	<i>94</i>
6.1	Introducción .....	94
6.2	Alternativas tecnológicas en la producción de ácido cítrico.....	94
6.3	Diagrama de flujo simplificado.....	95
6.4	Pretratamiento de la cáscara de arroz.....	96
6.5	Producción de ácido cítrico.....	109
6.6	Purificación del producto .....	139
6.7	Adopción del proceso productivo .....	143
6.8	Diagrama de flujo general .....	148
6.9	Descripción del proceso general en función de las operaciones seleccionadas .....	149
7	<i>Balance de masa y energía.....</i>	<i>156</i>
7.1	Introducción .....	156
7.2	Balance de masa.....	156
7.3	Balance de energía .....	156
7.4	Diagramas del proceso .....	156
8	<i>Diseño y adopción de equipos .....</i>	<i>158</i>
8.1	Introducción .....	158
8.2	Recepción y almacenamiento de materias primas, insumos y producto final 160	
8.3	Reactor de explosión de vapor .....	160

8.4	Primera filtración: Separación de insolubles.....	160
8.5	Reactor hidrólisis enzimática.....	160
8.6	Segunda filtración: filtro rotatorio.....	160
8.7	Tanque de preparación de sustrato.....	160
8.8	Intercambiador de placas para la esterilización del medio.....	160
8.9	Fermentador.....	160
8.10	Prefermentador.....	160
8.11	Tercera filtración: separación del micelio de la solución de ac.....	160
8.12	Tanque de almacenamiento producto de fermentación.....	160
8.13	Tanque de almacenamiento micelio.....	160
8.14	Formación del citrato de calcio: Neutralización.....	160
8.15	Cuarta filtración: Separación del citrato de calcio.....	160
8.16	Tanque de almacenamiento solución de glucosa.....	160
8.17	Tanque de almacenamiento solución citrato de calcio.....	160
8.18	Descomposición del citrato de calcio: Tanque desdoblador.....	160
8.19	Quinta filtración: Separación de sulfato de calcio.....	160
8.20	Tanque pulmón previo a las etapas de purificación.....	160
8.21	Evaporación.....	160
8.22	Cristalización.....	160
8.23	Centrifugación.....	160
8.24	Tanque pulmón previo a la etapa de secado.....	160
8.25	Secador ácido cítrico.....	160
8.26	Envasado y almacenamiento del producto.....	160
8.27	Secador de sulfato de calcio di hidratado.....	160
8.28	Adopción de transporte de sólidos.....	160

8.29	Cálculo y adopción de bombas .....	160
9	<i>Servicios auxiliares</i> .....	354
9.1	Introducción .....	354
9.2	Servicios de agua.....	354
9.3	Vapor de agua.....	369
9.4	gas natural .....	373
9.5	Cálculo y adopción de bombas de servicios auxiliares .....	375
10	<i>Gestión de la calidad</i> .....	389
10.1	Introducción .....	389
10.2	Buenas prácticas de manufactura .....	390
10.3	Identificación y trazabilidad.....	396
10.4	Manejo de agua y desechos.....	396
10.5	Auditorías .....	397
10.6	Procedimientos operativos estandarizados de saneamiento (poes).....	397
10.7	Sistema de control de plagas .....	398
10.8	Plan de control de calidad .....	399
10.9	Control de calidad del ácido cítrico .....	406
10.10	Mejora.....	407
10.11	Puntos crítico de control (PCC) .....	408
10.12	Control de registros .....	412
11	<i>Tratamiento de efluentes</i> .....	420
11.1	Introducción .....	420
11.2	Definiciones.....	420
11.3	Tipos de tratamientos de efluentes .....	422
11.4	Normativa sobre el vertido de efluentes .....	426

11.5	Caracterización de los efluentes de la planta.....	428
12	<i>Control automático de proceso</i> .....	434
12.1	Introducción .....	434
12.2	Control automático de procesos .....	434
12.3	Automatización de la etapa de fermentación .....	438
12.4	Hojas de especificaciones .....	442
13	<i>Obras civiles</i> .....	451
13.1	Introducción .....	451
13.2	Ubicación.....	451
13.3	Descripción general del establecimiento.....	452
14	<i>Instalaciones eléctricas</i> .....	462
14.1	Introducción .....	462
14.2	Descripción general .....	462
15	<i>Higiene y seguridad industrial</i> .....	484
15.1	Introducción .....	484
15.2	Seguridad industrial .....	484
15.3	Higiene industrial .....	487
15.4	Legislación industrial.....	489
15.5	Política de higiene y seguridad.....	491
15.6	Seguridad en el diseño.....	492
15.7	Seguridad en la construcción de la planta.....	509
15.8	Seguridad en la puesta en marcha .....	510
15.9	Seguridad en la operación .....	510
15.10	Seguridad en el mantenimiento .....	510
15.11	Seguridad en prevención, defensa y actuación.....	511

16	<i>Organización industrial</i> .....	538
16.1	introducción.....	538
16.2	Tipo de sociedad comercial .....	538
16.3	Organización de la empresa.....	539
16.4	Descripción de los puestos de trabajo .....	542
16.5	Organización de la producción y turnos de trabajo .....	552
17	<i>Estudio económico financiero</i> .....	556
17.1	Introducción .....	556
17.2	inversión .....	556
17.3	Costos de producción .....	556
17.4	Costo unitario.....	556
17.5	Ingreso por ventas.....	556
17.6	Financiación del proyecto .....	556
17.7	Evaluación económica del proyecto .....	556
17.8	Resumen de estudio económico financiero.....	556
17.9	Conclusiones.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
18	<i>Bibliografía</i> .....	585
19	<i>Anexo I: Control de calidad</i> .....	588
19.1	Determinación de arsénico (TP-01) .....	588
19.2	Determinación de cloruros (TP-02) .....	590
19.3	Determinación de hierro (TP-03).....	591
19.4	Determinación de mercurio (TP-04).....	593
19.5	Determinación de plomo (TP-05) .....	594
19.6	Determinación de oxalatos (TP-06) .....	594
19.7	Determinación del porcentaje de pureza (TP-07) .....	595

19.8	Determinación de humedad- Método Karl Fisher (TP-08) .....	596
19.9	Determinación de cenizas sulfatadas (TP-09).....	597
20	<i>Anexo II: Planimetría</i> .....	599
20.1	Plano1: Isométrico de planta .....	599
20.2	Plano 2: Corte de planta .....	599
20.3	Plano 3: Distribución de equipos internos.....	599
20.4	Plano 4: Distribución de equipos externos .....	599
20.5	Plano 5: Servicios auxiliares.....	599
20.6	Plano 6: Distribución de áreas.....	599
20.7	Plano 7: Flow Sheet.....	599
20.8	Plano 8: Flow Sheet tabla corrientes.....	599
20.9	Plano 9: Fermentador .....	599
20.10	Plano 10: Reactor explosión de vapor .....	599

---

## LISTADO DE ABREVIATURAS

---

AC: Ácido Cítrico

AS: Análisis de Sensibilidad

BO: Boletín Oficial

CAA: Código Alimentario Argentino

CABA: Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Cp: Calor específico

EPP: Elemento de Protección Personal

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FDA: Administración de Medicamentos y Alimentos

FePSA: Ferro Expreso Pampeano S.A.

FNE: Flujo Neto de Efectivo

FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas

GS: Grado de Sustitución.

HE: Horario Extendido

ICSC: Consejo Internacional de Centros Comerciales

INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos.

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

ISO: Organización Internacional de Normalización

IUPAC: Unión Internacional de Química Pura y Aplicada

IVA: Impuesto sobre el Valor Añadido

MAGyP: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

---

Mcal: megacaloría

MERCOSUR: Mercado Común del Sur.

MEyH: Ministerio de Economía y Hacienda

mo: microorganismo

MP: Materia Prima

NCA: Nuevo Central Argentino

NEA: Región Noreste

NEMA: National Electrical Manufacturers Association

NOA: Región Noroeste

PEA: Población Económicamente Activa

PLC: Controlador Lógico Programable

PM: Peso Molecular

ppm: parte por millón

PR: Período de Recupero

PRI: Período de recuperación de la inversión

PT: Producto Terminado

Q: calor

rpm: revoluciones por minuto

RRHH: Recursos Humanos

S.A. de C.V: Sociedad Anónima de capital variable.

S.A: Sociedad Anónima.

S.A.I.C: Sociedad en Comanditas Simples.

S.C.A: Sociedad de en Comanditas por Acciones.

S.R.L: Sociedad de Responsabilidad Limitada.

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos

SGC: Sistema de Gestión de Calidad

TD: Tasa de Desocupación.

TIR: Tasa Interna de Retorno

TMAR: Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento

TNA: Tasa Nominal Anual

TOR: Tasa Interna de Rentabilidad del Capital Propio

TPA: Tasa de Porcentaje Anual

USD: dólar estadounidense

VAN: Valor Actual Neto

$\Delta H$ : variación de entalpía

$\Delta T$ : variación de temperatura

%p/p: porcentaje peso en peso

%p/v: porcentaje peso volumen

# CAPÍTULO 1

---

*Fundamentos y objetivos*

# 1 FUNDAMENTOS Y OBJETIVOS

---

## 1.1 GENERALIDADES DEL PROYECTO

En el presente proyecto se evalúa y describe la posibilidad de llevar a cabo la producción de Ácido Cítrico (AC) a partir de celulosa a escala industrial en Argentina.

El AC tiene una gran utilización en la industria alimenticia, y en menor medida, en industrias de producción de detergentes, farmacéuticas, de cosméticos, químicas y de plásticos. El AC es muy demandado en Argentina, de hecho, no se registra producción nacional del mismo, lo que implica un gasto de gran magnitud al importarlo.

Una de las grandes ventajas de este producto, es que se puede obtener por vía fermentativa, utilizando como materia prima la celulosa, ésta se puede encontrar en una gran variedad de residuos lignocelulósicos como cascara de maní, paja y cáscara de trigo, bagazo de caña, paja de arroz, entre otros.

En el presente trabajo, se evalúa a partir de cáscara o cascarilla de arroz, residuo de la industria arrocera, el cual no es, en gran medida, destinado a otra actividad industrial, por lo que emplearlo para la producción del AC, impacta de manera positiva generando valor, al mismo tiempo, disminuye el impacto ambiental y, además, se logra satisfacer la creciente demanda del país del AC.

Ante este entorno, el análisis y evaluación de la instalación de una planta de ácido cítrico en Argentina, en la región del litoral, cuenta con un horizonte fructífero y prometedor.

## 1.2 OBJETIVOS GENERALES

- Determinar la viabilidad técnico-económica de un proyecto de inversión para la instalación de una planta de obtención de Ácido Cítrico en Argentina.
- Aplicar los conocimientos y habilidades desarrolladas a lo largo de la carrera universitaria para llevar adelante el proyecto.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detallar las características del mercado consumidor de Ácido cítrico y el de los proveedores de materias primas, en base a un estudio de mercado que permita tomar decisiones acertadas a partir de la anticipación de su evolución en el tiempo, teniendo en cuenta la competencia extranjera existente para dicho producto.
- Determinar la capacidad de producción, considerando la demanda insatisfecha, y la localización óptima de la planta productiva utilizando la metodología de puntuaciones ponderadas.
- Analizar y comparar las diferentes alternativas productivas, a fin de seleccionar el método más conveniente.
- Identificar las fortalezas y las debilidades del proceso productivo en cuestión.
- Emplear ingeniería básica y de detalle para la realización de balances de masa, energía, dimensionamiento, diseño y distribución de los equipos que intervienen en el proceso y en los servicios auxiliares.
- Diseñar equipos e instalaciones requeridas en el proceso productivo, como también su distribución mediante la elaboración de planos que representan las dimensiones, ubicaciones específicas y generales de las mismas.
- Análisis técnico para justificar la viabilidad del proyecto.
- Investigar diversos procesos relacionados con el proceso principal, como, control de calidad de la materia prima, proceso y producto elaborado; tratamiento de efluentes; control automático de los procesos; instalaciones eléctricas; seguridad e higiene, entre otros.
- Diseñar estrategias de control interno, para optimizar la gestión de la empresa.
- Desarrollo económico financiero, estableciendo la inversión inicial requerida y los correspondientes indicadores económicos del proyecto: la tasa interna de retorno (TIR), el período de recupero de la inversión (PRI) y el valor actual neto (VAN); para analizar el proyecto de inversión.

# CAPÍTULO 2

---

*Introducción y generalidades*

## 2 INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

---

### 2.1 INTRODUCCIÓN

La biomasa lignocelulósica tiene un alto potencial para la generación de productos de valor agregado, debido a la gran cantidad de residuos que se generan, como consecuencia de la actividad agrícola.

En el presente capítulo se proporciona información de la biomasa asociada a un desecho agroindustrial para la producción de ácido cítrico. Dado que, los materiales lignocelulósicos están conformados principalmente, por una matriz de celulosa, hemicelulosa y lignina, en posteriores capítulos, se desarrollarán las opciones de pretratamiento, seguidamente, se describe la hidrólisis enzimática, los cuales son procesos que permiten obtener compuestos de bajo peso molecular, para así, posteriormente, someterlos a sucesivas operaciones unitarias, como, esterilización, fermentación, separación de impurezas y concentración, para generar el producto final de interés, ácido cítrico anhidro.

### 2.2 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA Y LOS INSUMOS

#### 2.2.1 Características generales del arroz

La planta de arroz posee tallos ramificados y puede medir entre 0,6 y 1,8 m de altura. Los tallos terminan en una inflorescencia, una panícula de 20 a 30 cm de largo. Cada panícula se compone de entre 50 y 300 flores o espiguillas, a partir de las cuales se formarán los granos: el fruto obtenido es un cariopsis<sup>1</sup>.

El grano de arroz es un fruto de la planta, herbácea de la familia de las gramíneas. Es uno de los cereales más extendidos por el mundo. Se cultiva de forma amplia en los cinco continentes, en regiones pantanosas de clima templado o cálido y húmedo. Tiene una forma ovoide, aplanada, su color varía de amarillo a café traslúcido (Rodríguez Almarza, 2007).

---

<sup>1</sup> Cariopsis: o cariósipide, fruto seco e indehiscente en el que el pericarpo está firmemente unido a la semilla. Es el fruto típico de las gramíneas y a menudo

Este cereal ocupa el segundo lugar en la producción a nivel global después del maíz. Las bondades nutricionales del arroz han trascendido por su importancia, dado que esta gramínea es la que mayor aporte calórico brinda de todos los cereales. El almidón es el componente principal del grano de arroz, y se encuentra en una proporción de entre 70% y 80%. Se compone de amilosa y amilopectina, siendo la proporción de cada una de ellas la que determina las características culinarias del producto. A mayor proporción de amilopectina, más viscosos y pegajosos serán los granos entre sí (Pairetti & Villalba, 2022).

Tabla 2-1: Clasificación científica del arroz

<b>Clasificación científica</b>	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Oryza
Especie	O. sativa
Nombre binomial	Oryza sativa L.

Fuente: (Rodríguez Almarza, 2007).

### 2.2.2 Morfología del grano de arroz

La semilla de arroz está rodeada externamente por una estructura llamada pericarpio, conformando de esta forma un fruto llamado carióspside; éste, a su vez, está incluido dentro de la lemma y de la pálea, estructuras que constituyen la "cáscara".

El arroz descascarado o carióspside, se conoce comercialmente como arroz integral; el cual, debido a la presencia del pericarpio, es de color café. Para obtener en definitiva el arroz blanco, que es el que se comercializa en forma masiva, primeramente, se procede a la extracción del pericarpio; posteriormente, y a través de un proceso de pulido, se elimina la testa, la capa de aleurona y el embrión. El producto industrial obtenido en definitiva y que se denomina arroz blanco o pulido, corresponde al endospermo amiláceo que forma parte de las semillas.

El endospermo blanco, que es el principal componente de la semilla, está compuesto por gránulos de almidón inmersos en una matriz proteica. El embrión, por su parte, está constituido por la coleoriza, la radícula, la plúmula u hojas embrionarias, el coleoptilo y el escutelo o cotiledón.

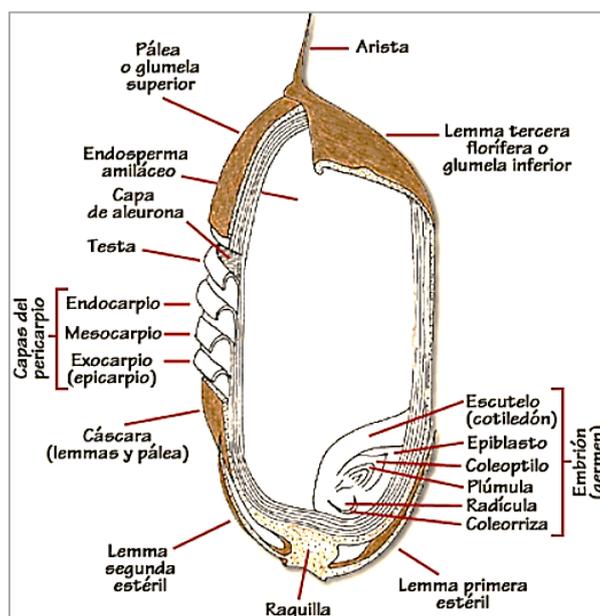


Figura 2-1: Cariósido de arroz y sus estructuras.

### 2.2.3 Cultivo y producción nacional

En Argentina, la siembra de arroz se lleva a cabo desde la primera quincena de septiembre hasta octubre y la cosecha se realiza durante los meses de febrero hasta el mes de abril.

El arroz es una planta semiacuática que se desarrolla en suelos inundados dada la presencia de un tejido parenquimático denominado “aerénquima”, tejido especializado que permite la llegada de oxígeno del aire hasta las raíces, oxigenando la rizosfera. Por esta razón, la inundación del sembradío es un requisito fundamental para obtener altos rendimientos, y esto se debe a que, evita el estrés de la planta, se regula la disponibilidad de nutrientes, impide la competencia de algunas malezas, se adecua a un microclima que favorece su evolución y previene plagas y enfermedades (Pairetti & Villalba, 2022).

#### **2.2.4 Procesamiento industrial de arroz**

El procesamiento industrial consiste en someter el arroz cáscara a un proceso de secado, el descascarillado, el pulimiento para obtener arroz blanco apto para el consumo y algunos subproductos y derivados como el arroz partido, afrechillo, cáscara, entre otros.

En su etapa industrial, el arroz puede o no pasar por un proceso de precocción, para luego ser sometido al descascarillado inicial, con lo que se obtiene el arroz integral. El proceso de precocción del arroz se realiza en molinos de mayor nivel tecnológico y requiere una mayor escala de producción. En el país, hasta el año 2017 sólo lo tienen dos plantas: Molinos Río de la Plata y Química Estrella.

Luego, el arroz integral pasa por un segundo descascarillado y pulido que da lugar al arroz blanco. Los subproductos derivados de estas etapas son el afrechillo y la cáscara de arroz (Pairetti & Villalba, 2022).

#### **2.2.5 Biomasa lignocelulósica: cascarilla de arroz**

La cascarilla o cáscara de arroz, residuo de la industria arrocera, principalmente, este residuo se genera en la molienda de arroz seco paddy, representando aproximadamente el 20% del peso del grano, y es separada en el proceso de pilado, formándose en grandes cantidades, ocasionando problemas de acumulación de este desecho.

Se estima que, de la cascarilla producida, cerca de un 15% es aprovechada como combustible y otro tanto, como elemento para esparcir en establos, siendo en su mayor proporción incinerada para reducir su volumen o arrojada a cursos de agua, repercutiendo negativamente en el ecosistema, dada las exigentes condiciones que requiere su combustión completa y su elevada resistencia al ataque biótico. Para la industria arrocera su peso y volumen generan altos costos de almacenamiento y transporte; además, debido a su poco valor proteico y baja digestibilidad, su aprovechamiento para la alimentación animal es limitado (Piñeros Castro, 2014).

##### **2.2.5.1 Composición de la cascarilla de arroz**

La cascarilla de arroz está constituida por tres polímeros diferentes, celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo un sustrato adecuado para su utilización como

materia prima en la obtención de carbohidratos fermentables. La cáscara contiene en su estructura alrededor de 35 a 40% de celulosa, 15 a 20% de hemicelulosa y 20 a 25% de lignina.

En la Tabla 2-2 se compara la composición química del arroz sin cáscara y la cascarilla de este, observándose que la cáscara contiene una elevada cantidad de fibra y proteína respecto al grano y bajos contenidos de grasas y cenizas.

Tabla 2-2: Composición química del arroz y de la cascarilla.

<b>Alimento</b>	<b>Materia seca (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>	<b>Fibra cruda (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>
Arroz sin cáscara	88,2	8,4	1,7	0,9	1
Cascarilla de arroz	92,4	2,8	0,8	41,1	18,4

Fuente: (Rodríguez Almarza, 2007).

#### 2.2.5.1.1 Celulosa

La celulosa es la macromolécula más abundante en la Tierra. Es sintetizada por una gran cantidad de organismos vivos y, aunque la mayor parte de la celulosa procesada para la producción industrial proviene de plantas, algunas bacterias, cianobacterias, hongos y algas verdes, también son capaces de sintetizarla (Ferrero & Galli, 2013).

Este polímero, consta de cadenas de glucosa unidas por enlaces  $\beta$ -1,4. Estas cadenas están unidas por fuertes enlaces hidrógeno que forman las cadenas de celulosa en microfibrillas, haciéndola de naturaleza cristalina y muy resistente a la degradación. Algunas partes de la estructura de la celulosa pueden ser de naturaleza amorfa, es decir, los enlaces hidrógeno son pocos y es más fácil de degradar. La celulosa se encuentra generalmente, combinada con la lignina y la hemicelulosa, pectina y ácidos grasos (Anderson, Yépes, & Albeiro, 2009).

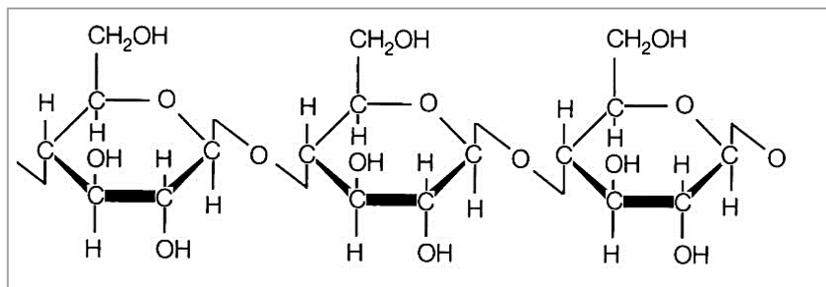


Figura 2-2: Estructura química de la celulosa

#### 1.2.1.1.1. Hemicelulosa

Las hemicelulosas son carbohidratos que forman una estructura polimérica compleja, ramificada, que consiste en la unión de diferentes unidades de azúcares como, pentosas, hexosas y ácidos de estos azúcares. La hemicelulosa suele ser un polímero de menor masa molar que la celulosa y fácilmente hidrolizable, debido a su estructura predominantemente amorfa. Éstas, al igual que la celulosa, son fuentes de azúcares (Anderson, Yépes, & Albeiro, 2009).

Generalmente, está constituida por una cadena principal que puede consistir en una única unidad (homopolímero), o estar formada por dos o más unidades (heteropolímero). De forma general, en función del azúcar dominante en la cadena principal, se pueden agrupar en: xilanos, mananos, glucanos y galactanos. Dichas cadenas, a diferencia de la celulosa, pueden presentar ramificaciones y sustituciones mediante enlaces covalentes (Ferrero & Galli, 2013).

Existen diferencias en la composición y estructura de las hemicelulosas entre los diferentes tipos de biomásas. En las maderas duras el xilano es el polímero más abundante, está altamente sustituido por grupos acetilos y puede representar hasta un 30% del peso total. Por el contrario, el polímero más abundante en las hemicelulosas de las maderas blandas es el galactoglucomanano y presenta mayor cantidad de unidades de manosa y galactosa que las maderas duras (Ferrero & Galli, 2013).

En los residuos agrícolas, el componente hemicelulósico es muy parecido al de las maderas duras, pero presentando, al igual que las maderas blandas, menor proporción de grupos acetilo (Ferrero & Galli, 2013).

Las diferencias en la composición de azúcares, la presencia de cadenas más cortas y las ramificaciones de las cadenas principales, hacen que la estructura hemicelulósica sea más fácil de hidrolizar que la celulosa (Ferrero & Galli, 2013).

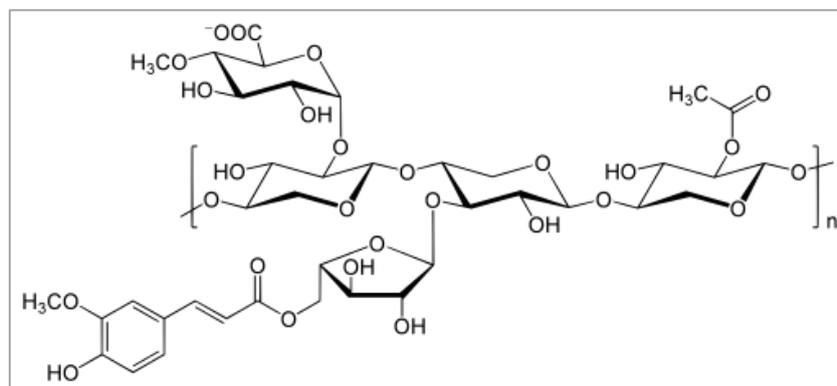


Figura 2-3: Estructura química de la hemicelulosa

#### 1.2.1.1.2. Lignina

La lignina, después de la celulosa y la hemicelulosa, es uno de los polímeros más abundantes en la naturaleza y está presente en la pared celular. Es un polímero ramificado, amorfo y heterogéneo, construido por tres unidades diferentes de fenilpropano unidos por diferentes clases de enlaces, sus funciones en el ámbito estructural son, mantener unidas la celulosa y las hemicelulosas entre sí, dar impermeabilidad y resistencia contra el ataque microbiano y el estrés oxidativo. Es insoluble en agua y ópticamente inactiva, todo esto hace que su degradación sea muy difícil (Anderson, Yépes, & Albeiro, 2009).

El contenido de lignina, al igual que en el caso de las hemicelulosas, difiere entre los diferentes materiales lignocelulósicos.

La lignina participa en el transporte interno de agua, nutrientes y metabolitos. Es más recalcitrante a la degradación enzimática que la celulosa y la hemicelulosa; se encuentra unida a ambas formando una barrera impermeable que dificulta el ataque enzimático (Ferrero & Galli, 2013).

La lignina a menudo es conocida como carbón limpio, es decir carbón libre de sulfuro, porque es la porción de las plantas antecesora del carbón. La lignina permanece sin cambios después de que los azúcares presentes en la biomasa se han fermentado. El uso económico de este subproducto es crítico para la viabilidad

financiera del proceso, el valor energético de la lignina varía dependiendo de la biomasa, entre 5.000 y 6.700 kcal/kg. Esta puede ser utilizada para generar energía térmica en el proceso de obtención de ácido cítrico. También, puede ser procesada, dependiendo de la calidad de esta, en productos de valor agregado como plastificantes, resinas fenólicas para ser utilizadas en la industria de tableros (Ferrero & Galli, 2013).

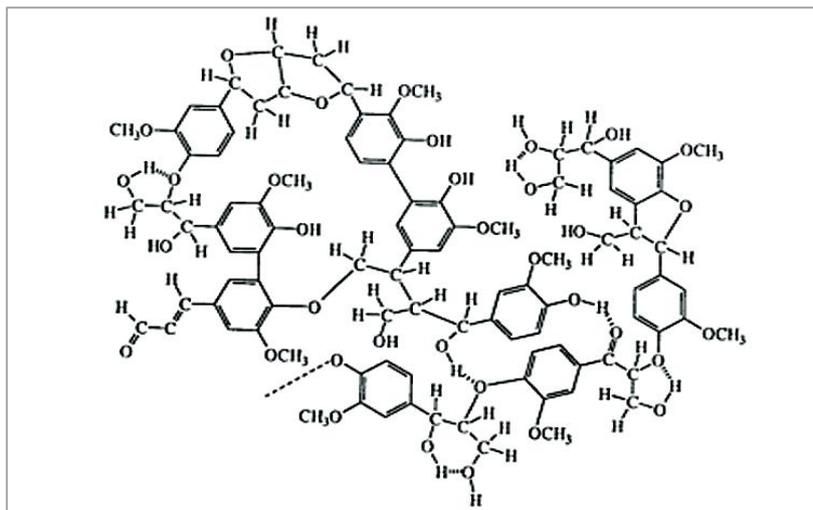


Figura 2-4: Estructura química de la lignina.

## 2.2.6 Principales insumos

### 2.2.6.1 *Aspergillus niger*

Se utiliza la cepa de *Aspergillus Níger* NRRL 567, también llamada cepa de *A. niger* ATCC 11414.

Se trata de una cepa que ha sido mejorada mediante técnicas de mutagénesis y selección para amentar su capacidad de producción de ácido cítrico, de hecho, es muy utilizada en la industria de producción de dicho ácido por su alta productividad y estabilidad genética.

### 2.2.6.2 *Hidróxido de calcio*

#### 2.2.6.2.1 Generalidades

El Hidróxido de calcio, también conocido como cal muerta o apagada, es un hidróxido cáustico con fórmula  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Es un cristal incoloro o polvo blanco,

obtenido al reaccionar óxido de calcio con agua. Puede también precipitarse mezclando una solución de cloruro de calcio con una de hidróxido de sodio.

Si se calienta a 512°C, el hidróxido de calcio se descompone en óxido de calcio y agua. La solución de hidróxido de calcio en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y ataca varios metales. Se enturbia en presencia de dióxido de carbono por la precipitación de carbonato de calcio.

Los principales usos debido a su carácter de base fuerte son:

- Floculante, para el tratamiento de aguas residuales y mejoramiento de tierras ácidas; ingrediente para hacer mortero y yeso.
- Reactivo químico: para procesos de neutralización de ácidos; en la remineralización de agua desalada; en la industria petrolera para la manufactura de aditivos para el petróleo crudo, entre otros.
- Como rellente: en la industria petroquímica para la manufactura de aceite sólido; para la manufactura de discos de freno, de ebonita, de mezclas secas para pintura, para mezclas de pesticidas, entre otros.

#### 2.2.6.2.2 Propiedades físicas y químicas

Tabla 2-3: Propiedades físicas y químicas del Hidróxido de calcio.

<b>Propiedades físicas</b>	
Apariencia	Polvo blanco
Densidad	2.211 kg/m <sup>3</sup>
Masa molar	74,093 g/mol
Punto de descomposición	653 K (380°C)
Estructura cristalina	Hexagonal
<b>Propiedades químicas</b>	
Alcalinidad (pK <sub>b</sub> )	-2,37
Solubilidad en agua	0,185 g/100cm <sup>3</sup>
Producto de solubilidad (KPS)	7,9*10 <sup>-6</sup>

Calor específico	0,28342 cal/g
------------------	---------------

La utilización de este insumo en el proceso es luego de la etapa de fermentación. Su función es la de reaccionar con el producto obtenido de la fermentación, para formar el citrato de calcio, que posteriormente será procesado para obtener finalmente ácido cítrico.

### **2.2.6.3 Ácido sulfúrico al 98%**

#### 2.2.6.3.1 Generalidades

El ácido sulfúrico es un compuesto químico muy corrosivo cuya fórmula es  $H_2SO_4$ . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.

Generalmente, se obtiene a partir de dióxido de azufre, por oxidación con óxidos de nitrógeno en disolución acuosa. Normalmente después se llevan a cabo procesos para conseguir una mayor concentración del ácido. Antiguamente se lo denominaba aceite o espíritu de vitriolo, porque se producía a partir de este mineral.

La molécula presenta una estructura piramidal, con el átomo de azufre en el centro y los cuatro átomos de oxígeno en los vértices. Los dos átomos de hidrógeno están unidos a los átomos de oxígeno no unidos por enlace doble al azufre. Dependiendo de la disolución, estos hidrógenos se pueden disociar. En agua se comporta como un ácido fuerte en su primera disociación, dando el anión hidrogenosulfato, y como un ácido débil en la segunda, dando el anión sulfato.

Además, reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor.

### 2.2.6.3.2 Propiedades físicas y químicas

Tabla 2-4: Propiedades físicas y químicas del Ácido sulfúrico.

<b>Propiedades físicas</b>	
Apariencia	Líquido aceitoso incoloro
Densidad	1.840 kg/m <sup>3</sup>
Masa molar	98,08 g/mol
Punto de fusión	283 K (10°C)
Punto de ebullición	610 K (337°C)
Presión de vapor	0,001 mmHg (20°C)
Viscosidad	26,7 cP (20°C)
<b>Propiedades químicas</b>	
Acidez (pK <sub>a</sub> )	-3;1,99
Solubilidad en agua	Miscible, exotérmico

Fuente: química.es

En el proceso es muy importante, ya que reacciona con el citrato de calcio y logra que este precipite en forma de sulfato cálcico, permitiendo liberar el ácido cítrico que se encuentra presente en la solución.

### 2.2.6.4 Sales de fósforo, magnesio y amonio

#### 2.2.6.4.1 Generalidades

##### **Sales de fósforo: Fosfatos**

Los fosfatos se emplean como aditivos alimentarios principalmente, como estabilizantes. Una de sus principales aplicaciones como aditivo es en productos cárnicos, al interactuar con las proteínas disminuyen la pérdida del agua y aumentan la jugosidad del producto. En algunas ocasiones es empleado como un regulador de la acidez y como agente quelante de algunos minerales. El uso más habitual de los fosfatos se da en la industria textil ya que actúan como agentes secuestrantes de dureza (calcio y magnesio). De forma particular, el fosfato disódico se emplea como mordiente en tintorería. El fosfato trisódico por ejemplo se emplea generalmente en

el incremento de la alcalinidad de las disoluciones utilizadas para la limpieza de la tela.

Las sales se encuentran de forma natural en el cuerpo humano y en algunos frutos. Se pueden encontrar en grandes cantidades a partir de rocas fosfóricas, también se encuentran diferentes sales del sodio y del ácido fosfórico, como, fosfato monosódico, fosfato disódico, fosfato trisódico y difosfato de sodio.

### Sales de magnesio: Sulfato de magnesio

El sulfato de magnesio o sulfato magnésico, de nombre común sal de Epsom, sal inglesa o sal de higuera, es un compuesto químico cuya fórmula es  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ . Es una fuente de magnesio (Mg).

El sulfato magnésico puede elaborarse a partir de magnesio y ácido sulfúrico o también, partiendo de los óxidos de magnesio o de sus hidróxidos más ácido sulfúrico.

Tabla 2-5: Propiedades físicas y químicas del sulfato de magnesio.

<b>Propiedades físicas</b>	
Apariencia	Sólido cristalino blanco
Densidad	2.660 kg/m <sup>3</sup>
Masa molar (heptahidratado)	246.48 g/mol
Punto de fusión	1.397 K (1124°C)
<b>Propiedades químicas</b>	
Solubilidad en agua	35,5 g/100 ml (20°C)

Fuente: química.es

### Sales de amonio: Sulfato de amonio

Es de color blanco y se presenta en forma de cristales. Su uso más común es como fertilizante de suelos. Contiene un 21% de nitrógeno y un 24% de azufre. Es insoluble en etanol, acetona, disulfuro de carbono y amoníaco líquido.

Calentado en un tubo de ensayo al aire, el sulfato de amonio se descompone a partir de 150 °C en bisulfito de amonio ácido y gas amoníaco que se libera. El sulfato de

amonio se descompone al ser calentado a más de 250 °C, primero, forma bisulfato de amonio y al ser calentado a temperaturas aún más elevadas se descompone en amoníaco, nitrógeno, dióxido de azufre, y agua.

El sulfato de amonio forma numerosas sales dobles (sulfatos de amonio metálico) cuando su solución se mezcla con soluciones equimolares de sulfatos metálicos y la solución se evapora lentamente. Con los iones metálicos trivalentes se forma alumbre como el sulfato de amonio férrico. Entre los sulfatos metálicos dobles se encuentran el sulfato de cobalto de amonio, el sulfato diamónico ferroso, el sulfato de níquel de amonio, que se conocen como sales de Tutton y el sulfato cérico de amonio.

El uso principal del sulfato de amonio es como fertilizante para suelos alcalinos, tanto para fertiirrigación como para aplicación directa al suelo por productores de hortalizas. En el suelo, el ion amonio se libera y forma una pequeña cantidad de ácido, reduciendo el equilibrio del pH del suelo, al tiempo que aporta el nitrógeno esencial para el crecimiento de las plantas. La principal desventaja del uso del sulfato de amonio es su bajo contenido de nitrógeno en relación con el nitrato de amonio, lo que eleva los costes de transporte. También se utiliza como adyuvante en la pulverización agrícola para herbicidas y fungicidas solubles en agua. Su función es unir los cationes de hierro y calcio presentes en el agua de pozo y en las células de las plantas.

*Tabla 2-6: Propiedades físicas y químicas del Sulfato de amonio.*

<b>Propiedades físicas</b>	
Apariencia	Sólido blanco higroscópico y cristalino
Densidad	1.769 kg/m <sup>3</sup> (20°C)
Masa molar (heptahidratado)	132,14 g/mol
Punto de fusión	530,5 K (257°C)
<b>Propiedades químicas</b>	
Solubilidad en agua	74,4 g/100 ml (20°C)

*Fuente: química.es*

Todas las sales antes nombradas, además del carbono, hidrógeno y oxígeno suministrado por los hidratos de carbono que son parte del sustrato utilizado, son necesarias para el medio, para el correcto desarrollo de *A. Níger*. Estas sales son suministradas en cantidades determinadas, para formar así el medio de fermentación requerido para favorecer la producción de ácido cítrico.

### 2.2.6.5 Agua

#### 2.2.6.5.1 Generalidades

El agua es un compuesto químico estable formado, a nivel molecular, por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Gracias a los puentes de hidrógeno, las distintas moléculas de agua se unen entre sí dando lugar a una de las sustancias más conocidas. El agua tiene propiedades específicas que la convierten en un elemento idóneo para la vida (Pairetti & Villalba, 2022).

Esta sustancia se caracteriza por las siguientes particularidades:

- **Polaridad:** sus moléculas son polares, lo que la convierte en un excelente disolvente de sustancias, también polares. De ahí que recibe el nombre de “disolvente universal”, aunque, precisamente por esta propiedad, no sea capaz de disolver sustancias apolares, como grasas y aceites.
- **Calores específicos de vaporización y fusión:** la cantidad de calor necesaria para evaporar, fundir o calentar el agua, es más elevada que en otras sustancias. Esto convierte al agua en un buen almacenador de calor, ayudando así a regular la temperatura del planeta y de los organismos vivos.
- **Cohesión:** una repercusión importante de la polaridad es que las moléculas, al atraerse entre sí, se mantienen como enlazadas unas con otras, lo que tiene gran interés en fenómenos como, el ascenso de la savia en los vegetales o el movimiento del agua en el suelo.
- **Densidad:** la densidad del agua es de 1000 kg/m<sup>3</sup>, va aumentando según disminuye la temperatura, alcanzando su máxima densidad a los 4 °C. A partir de aquí, según va bajando la temperatura, comienza a disminuir la densidad, provocando que el hielo flote en el agua.

## 2.2.6.5.2 Propiedades físicas

Tabla 2-7: Propiedades físicas del agua.

<b>Propiedades físicas</b>	
Densidad relativa	1,00
Punto de fusión	0,00 °C
Punto de ebullición	100 ,00°C
Presión de vapor	0.02 kg/cm <sup>2</sup> (20°C)
Viscosidad	0,0010 kg/m. s (20°C)
Calor de vaporización	584 kcal/kg (20°C)
Calor específico del líquido	1,00 kcal/kg. °C
pH	7,00

Fuente: (Pairetti & Villalba, 2022).

## 2.2.6.6 Enzimas

### 2.2.6.6.1 Generalidades

Las enzimas son catalizadores muy potentes y eficaces, químicamente son proteínas. Como catalizadores, las enzimas actúan en pequeña cantidad y se recuperan indefinidamente, además, no llevan a cabo reacciones que sean energéticamente desfavorables, no modifican el sentido de los equilibrios químicos, sino que aceleran su consecución. La característica más sobresaliente de las enzimas es su elevada especificidad, se encuentra:

1. Especificidad de sustrato: el sustrato es la molécula sobre la que la enzima ejerce su acción catalítica.
2. Especificidad de acción: cada reacción está catalizada por una enzima específica.

Las enzimas para este tipo de procesos se pueden obtener de hongos celulíticos, éstos son capaces de secretar las enzimas necesarias para la descomposición de la estructura lignocelulósica. Los hongos celulíticos generan varios tipos de enzimas para degradar la biomasa lignocelulósica, de hecho, se utilizan enzimas que hidrolizan la celulosa y hemicelulosa para la liberación de los azúcares que contiene.

Como en este proceso, se realiza un pretratamiento donde se dejan expuesta la celulosa y hemicelulosa para su posterior hidrólisis, se seleccionó la enzima Cellic CTec2.

#### 2.2.6.6.2 Descripción de la enzima Cellic CTec2:

- **Descripción:** complejo celulasa para la degradación de la celulosa a azúcares fermentables. Se trata de una mezcla de: Celulasas agresivas, alto nivel de  $\beta$ -glucosidasas y hemicelulasas.
- **Características:** Alto rendimiento de conversión, inhibidor termotolerante, compatible con múltiples materias primas y pretratamientos, es una enzima con alta estabilidad.
- **Beneficios:** se puede aplicar una dosis menor al 50%, bajos costos operativos y de capital a partir de la optimización de proceso, por ejemplo, mayor carga total de sólidos, se aprecia un incremento en la flexibilidad de los procesos y permite obtener ácido cítrico a bajo costo.
- **Temperatura óptima:** 45-50°C.
- **pH óptimo:** 5,0 – 5,5.
- **Almacenamiento:** las condiciones recomendadas son entre 0-25°C, en envases cerrados y protegidos del sol. El producto ha sido formulado para una óptima estabilidad, sin embargo, las enzimas pierden gradualmente actividad con el tiempo. Almacenamiento prolongado, temperaturas más altas, pueden conducir a una dosis de mayor exigencia.

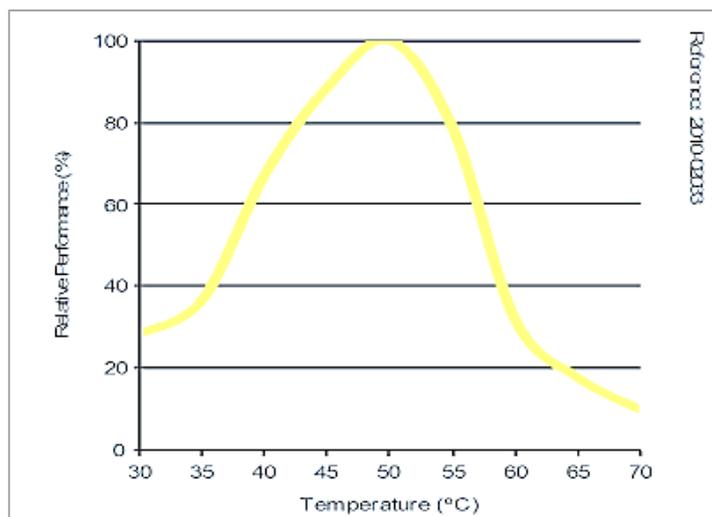


Figura 2-5: Temperatura óptima. Fuente: (Novozymes, s.f.).

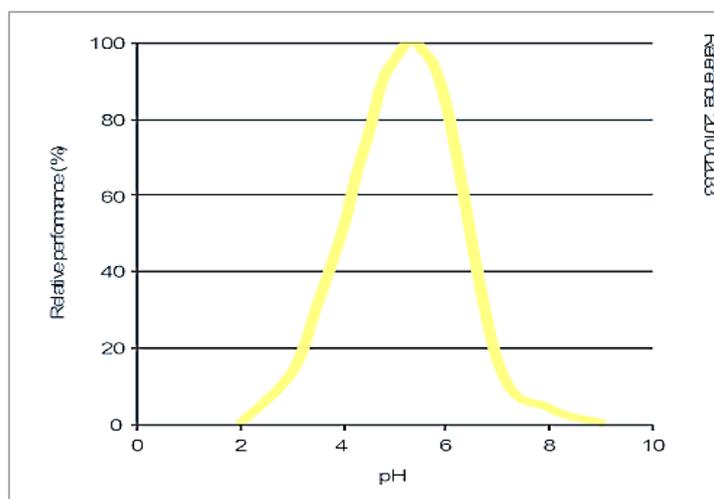


Figura 2-6: pH óptimo. Fuente: (Novozymes, s.f.).

## 2.3 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

### 2.3.1 Breve reseña histórica

En el año 1893, Wehmer observó por primera vez la producción de ácido cítrico junto con oxalato de calcio en cultivos de *Penicillium glaucum* fermentando azúcares, aquí es donde se observa el potencial económico del descubrimiento, pero no puede ser transferido a escala industrial por la larga duración del proceso y por la facilidad de contaminación de este cultivo.

En 1913, Zahorsky obtuvo la patente por la producción de ácido cítrico por *Aspergillus niger*. Sin embargo, fueron los trabajos de Currie de la secretaria de

Agricultura de los Estados Unidos en 1917 lo que establecieron los fundamentos para la producción industrial.

Finalmente, en 1919 comenzó a operar la primera planta industrial de producción de ácido cítrico en Bélgica (Soria, 1997).

### 2.3.2 Ácido cítrico

El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarbóxico que está presente en la mayoría de las frutas. Su fórmula química es  $C_6H_8O_7$  y su peso molecular es de 192,12 g/mol. Se trata de un sólido cristalino blanco, inodoro. Cristaliza a partir de soluciones acuosas concentradas calientes, en forma de grandes primas rómbicas con una molécula de agua, la cual pierde cuando se calienta a 100°C, fundiéndose al mismo tiempo. También, se caracteriza por su sabor ácido fuerte, esta acidez se debe a los tres grupos carboxilos -COOH que pueden perder un protón en las soluciones, produciendo un ion citrato, este puede unirse a numerosos iones metálicos y formar distintas sales, además, los citratos son buenos controladores de pH.

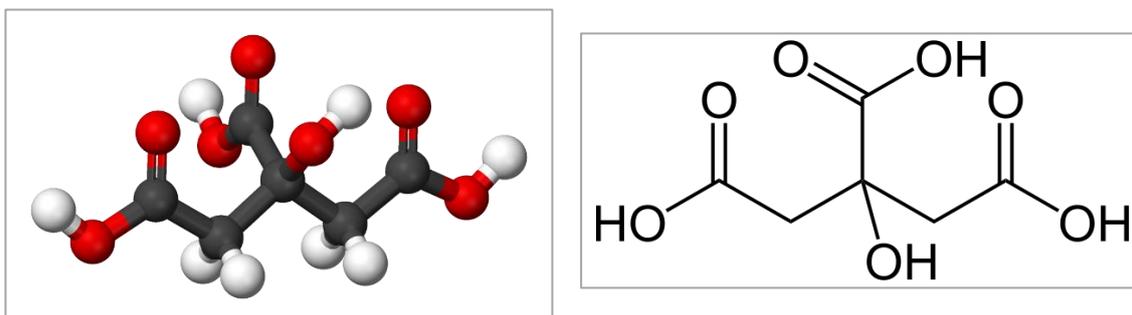


Figura 2-7: Molécula de ácido cítrico. Fuente: Google.

#### 2.3.2.1 Propiedades fisicoquímicas

Químicamente el ácido cítrico comparte las características de otros ácidos carboxílicos: son moléculas polares y, como los alcoholes, pueden formar enlaces puente de hidrógeno entre sí y con otros tipos de moléculas, comportándose en forma similar a estos en cuanto a solubilidades, los primeros son miscibles en agua (menos de 5 átomos de carbono), entre 5 y 7 átomos, son parcialmente solubles, y los superiores son insolubles. Con respecto a ello, la solubilidad del ácido cítrico puede considerarse media, ya que, el mismo posee 6 átomos de carbono en su estructura molecular, también es soluble en alcohol y en solventes no polares como el cloroformo (Belluccini & Fernández).

En la Tabla 2-8 se visualiza su solubilidad en agua para diferentes temperaturas.

Tabla 2-8: Solubilidad del ácido cítrico anhidro y monohidratado.

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Ácido cítrico anhidro (%p/p)</b>	<b>Ácido cítrico monohidratado (%p/p)</b>
10	54,0	59,1
20	59,2	54,7
30	64,3	70,3
36,6	67,3	73,6
40	68,6	75,0
50	70,9	77,5
60	73,5	80,4
70	76,2	83,3
80	78,8	86,2
90	81,4	89,0
100	84,8	98,8

Fuente: (Belluccini & Fernández)

A continuación, se describen las características del ácido cítrico anhidro.

Tabla 2-9: Propiedades físicas y químicas del ácido cítrico anhidro.

<b>Ácido Cítrico Anhidro</b>	
<b>Forma</b>	Cristales
<b>Color</b>	Incoloros
<b>Olor</b>	Inodoro
<b>Calor de neutralización (Exotérmico)</b>	265 cal o 1109 J/g (Hidróxido de sodio)
<b>Acidez</b>	Moderada a fuerte. Medida a 25°C pK <sub>1</sub> : 3,13 K <sub>1</sub> : 4,71x10 <sup>-4</sup> pK <sub>2</sub> : 4,76 K <sub>2</sub> : 1,74x10 <sup>-5</sup>

	pK <sub>3</sub> : 6,40 K <sub>3</sub> : 6,40x10 <sup>-7</sup>
<b>Peso Molecular</b>	192,12 g/mo
<b>Viscosidad dinámica</b>	6,5 cP a 25°C (solución 50%)
<b>Densidad</b>	1.665 g/cm <sup>3</sup>
<b>Solubilidad en agua (25°C)</b>	61,8% p/p
<b>Solubilidad etanol (25°C)</b>	38,3%p/p
<b>Punto de inflamación</b>	345°C
<b>Punto de Fusión</b>	153°C

Fuente: (Belluccini & Fernández)

Algunas de las características del ácido cítrico en soluciones y en forma anhidra se representan en la Tabla 2-10.

Tabla 2-10: Propiedades físicas del ácido cítrico en solución y de forma anhidra.

	<b>Solución Saturada</b>	<b>Anhidro</b>
<i>Cristaliza</i>	<36,6°C	>36,6°C
<i>Cristales</i>	Translúcidos e incoloros y pertenecen al sistema ortorrómbico	Translúcidos e incoloros, que pertenece a la clase holoédrica del sistema monoclinico
<i>Densidad relativa</i>	1,542	1,665
<i>Calor de combustión</i>	30°C de 1973 kJ/mol	30°C de 1990 kJ/mol
<i>Ablandamiento</i>	75°C	-
<i>Punto de fusión</i>	100°C	153°C
<i>Valor calorífico</i>	-	2,44 kcal o 10,2 kJ/g

Fuente: (Martínez López, 2017).

### 2.3.2.2 Clasificación del producto

Comercialmente, el ácido cítrico puede existir como:

- Ácido cítrico anhidro
- Ácido cítrico monohidratado (contiene una molécula de agua, por cada molécula de ácido cítrico).

- Ácido cítrico en solución acuosa al 50% p/p, la cual es menos frecuente de encontrar en el mercado.

La forma anhidra se obtiene por cristalización a partir de una solución acuosa caliente de ácido cítrico (temperatura mayor a 36,6 °C, la cual es la temperatura de cristalización según Tabla 2-10), mientras que, la forma monohidratada, se obtiene con el mismo procedimiento, pero con una temperatura menor a la mencionada, pero si ésta forma se calienta a 74°C, puede convertirse en anhidro (Belluccini & Fernández).



Figura 2-8: Ácido cítrico anhidro. Fuente: Flexicon.

### 2.3.2.3 Aplicaciones y usos del ácido cítrico

El ácido cítrico se utiliza ampliamente en la industria alimentaria y en menor medida en la producción de detergentes, en las industrias farmacéuticas, de cosméticos, química y de plásticos.

Su principal aplicación en la industria alimenticia es como acidulante y antioxidante debido al sabor ácido agradable que les importa a los alimentos, su alta solubilidad en agua y que está clasificado por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) Y OMS (Organización Mundial de la Salud) como ingrediente seguro en los alimentos. Otras aplicaciones del ácido cítrico y sus sales son como mezclas buffer, principalmente en la producción de cosméticos y productos farmacéuticos, también, su capacidad antioxidante ayuda a la conservación de vitaminas, efervescentes, conservantes de sangre, o en la forma de citrato de hierro como fuente de hierro para el cuerpo, además, por su propiedad quelante, se utiliza en la producción de detergentes biodegradables, en la industria del plástico se utilizan los ésteres derivados del ácido cítrico como precursores de

sustancias plastificantes (Soria, 1997). En la industria química, se utiliza como agente de formación de espuma para ablandamiento y el tratamiento de los textiles.

En estudios recientes se revela el uso potencial del ácido cítrico en biopolímeros, para la administración de fármacos, ingeniería de tejidos para el cultivo de una variedad de células y muchas otras aplicaciones biomédicas prometedoras, además, del uso ambientalmente sostenible de ácido cítrico para la eliminación eficiente de residuos de flujo post soldadura por los militares (Martínez López, 2017).

En la Tabla 2-11 se resumen los usos y aplicaciones del ácido cítrico.

*Tabla 2-11: Aplicaciones y usos del ácido cítrico.*

<b><i>Industria</i></b>	<b><i>Uso – Aplicación</i></b>
<i>Bebidas</i>	Proporciona acidez y complementa los sabores de frutas.  Aumenta la eficiencia de los conservantes antimicrobianos.  Se utiliza en el ajuste del pH.
<i>Dulces, conservas y caramelos</i>	Acidulante y regulador de pH para lograr óptima gelificación.
<i>Verduras procesadas</i>	En combinación con ácido ascórbico, previene la oxidación.
<i>Alimentos congelados</i>	Antioxidante e inhibidor del deterioro del sabor y el color.
<i>Frutas y hortalizas enlatadas</i>	Disminuye el pH, al actuar como quelante.  Previene la oxidación enzimática y la degradación de color.

	Resalta el color.
<i>Aceite y grasas</i>	Sinérgico para otros antioxidantes, como secuestrante.
<i>Carnes</i>	Auxiliar del procesado y modificador de textura.
<i>Productos lácteos</i>	Como emulsionante en helados y quesos procesados. Agente acidificante en muchos productos de queso. Utilizado como antioxidante.
<i>Productos farmacéuticos</i>	Como efervescente en polvo y tabletas en combinación con bicarbonatos. Proporciona rápida disolución de los ingredientes activos. Anticoagulante.
<i>Cosméticos y artículos de tocador</i>	Ajuste de pH. Antioxidante como un quelante de iones metálicos. Agente tampón.
<i>Limpieza de metales</i>	Elimina óxido metálico de la superficie de metales ferrosos y no ferrosos. Para la limpieza preoperacional y operativa de los óxidos de hierro y cobre.

<i>Pescado y productos de mar</i>	Regulador de pH en presencia de otros conservantes o antioxidantes.
<i>Otros</i>	En galvanoplastia, cobre, curtido de cuero, tintas de impresión, compuesto de lavado de botellas, cemento para pisos, textiles, reactivos fotográficos, hormigón, yeso, refractarios y moldes, adhesivos, papel, polímeros, tabaco, tratamiento de residuos, neutralizante y agente buffer.

*Fuente: Elaboración propia.*

# CAPÍTULO 3

---

*Estudio de mercado*

## 3 ESTUDIO DE MERCADO

---

### 3.1 ANÁLISIS DEL PRODUCTO

A partir de datos obtenidos de investigaciones del comercio de ácido cítrico, en los cuales se proporcionan datos estadísticos, incluido el tamaño del mercado global de la industria del ácido cítrico, tendencias y oportunidades donde se expone la información necesaria para contar con una perspectiva completa del escenario actual y futuro de la industria.

#### 3.1.1 Mercado mundial del Ácido Cítrico

Se prevé durante el período 2022-2032 que el mercado registre una tasa compuesta anual del 3% y que cierre con una valoración de USD 3.89 millones y se espera que la industria farmacéutica, de alimentos y bebidas sean las responsables del crecimiento de la demanda de este producto.

##### 3.1.1.1 Segmentación de la industria del Ácido Cítrico

El mercado del ácido cítrico está segmentado en:

- *Formas líquidas y anhidras.*
- *Por aplicación:* alimentos y bebidas, productos farmacéuticos, cuidado personal y otras aplicaciones. El segmento de alimentos y bebidas se subdivide aún más en panadería, confitería, bebidas lácteas y otros.
- *Por geografía,* el mercado estudiado está segmentado en América del Norte (Estados Unidos, Canadá, México), América del Sur (Brasil y Argentina), Europa (Alemania, Reino Unido, Francia, Rusia, España, Italia), Asia Pacífico (India, Japón, Corea del Sur, Australia)-, Medio Oriente y África (Sudáfrica, Emiratos Árabes Unidos).

El continente europeo es el que domina el mercado del ácido cítrico. Existe una gran demanda de ácido cítrico entre los fabricantes alemanes de alimentos y productos farmacéuticos debido a su baja toxicidad en comparación con otros acidulantes utilizados, principalmente en las industrias farmacéutica y alimentaria.

El número de cervecerías en países como Reino Unido se ha duplicado en los últimos años. Los cerveceros artesanales ocasionalmente usan adiciones de ácido cítrico para avanzar un poco de acidez al witbier de estilo belga. Además, se espera que aumente la demanda de ácido cítrico en la industria de alimentos y bebidas en el Reino Unido y Europa.

Empresas líderes:

- Jungbunzlauer Suisse AG
- Cofco Biochemical
- Archer Daniels Midland Company
- Cargill Incorporated
- Gadot Biochemical Industries Ltd.
- Yixing Biochemical Co. Ltd.
- Shandong Juxian Hongde Citric Acid Company Ltd
- Huangshi Xinghua Biochemical Co.Ltd

A continuación, se aprecia una imagen donde se refleja el mercado del ácido cítrico a nivel mundial:



Figura 3-1: Mercado del ácido cítrico a nivel mundial.

### **3.1.1.2 Agentes exportadores e importadores mundiales**

En los últimos años los principales exportadores fueron China, Austria, Bélgica, Canadá y Tailandia; dentro de los principales importadores se encuentran: Estado Unidos, Alemania, India, México y Italia.

### **3.1.2 Mercado Nacional**

#### **3.1.2.1 Exportación**

No se ha encontrado producción nacional de ácido cítrico, pero si, empresas que se encargan de la distribución y logística de productos químicas que adquieren del exterior, las mismas se encargan de distribuirlos a todo el territorio argentino.

Por lo que dentro del comercio nacional se puede reunir a los siguientes proveedores:

- LATINCORP: empresa líder en la comercialización internacional de materias primas alimenticias y especialidades químicas.
- DROQUIMAR SRL: distribución de productos químicos, fabricación de productos de limpieza.
- PROVISER SA: comercialización y distribución de productos elaborados para la industria.
- CENTAURA ALPHA SRL: Química industrial dedicada a la venta de productos químicos.

#### **3.1.2.2 Importación**

Según estudios realizados desde el año 2000 hasta la actualidad, Argentina se encuentra dentro de los diez países que mayor importan ácido cítrico a nivel mundial, junto con Uruguay, Tokelau, Esuatini, Israel, Pakistán, entre otros.

En el ranking sudamericano encabeza la lista de los diez países con mayor importación de este producto.

Cabe aclarar, que en el año 2020 hubo un declive generalizado en importaciones por la pandemia del COVID-19 y además en el último año se le sumo la guerra entre Ucrania – Rusia, que también tiene un impacto en el comercio mundial.

*Análisis de importaciones*

Tabla 3-1: Análisis de importaciones.

<i>Datos anuales</i>		
<i>Año</i>	<i>Peso Neto (t)</i>	<i>Monto CIF (USD)</i>
2023	6681	10639735
2022	31420	70060360
2021	31862	37462605
2020	29742	23717396
2019	28588	23445088
2018	32760	30644870
2017	31815	32979034
2016	33173	31186780
2015	32902	36533877
2014	33761	44585800
2013	33042	44888708
2012	34493	50648835

Fuente: INDEC-COMEX (actualización 16/03/2023).

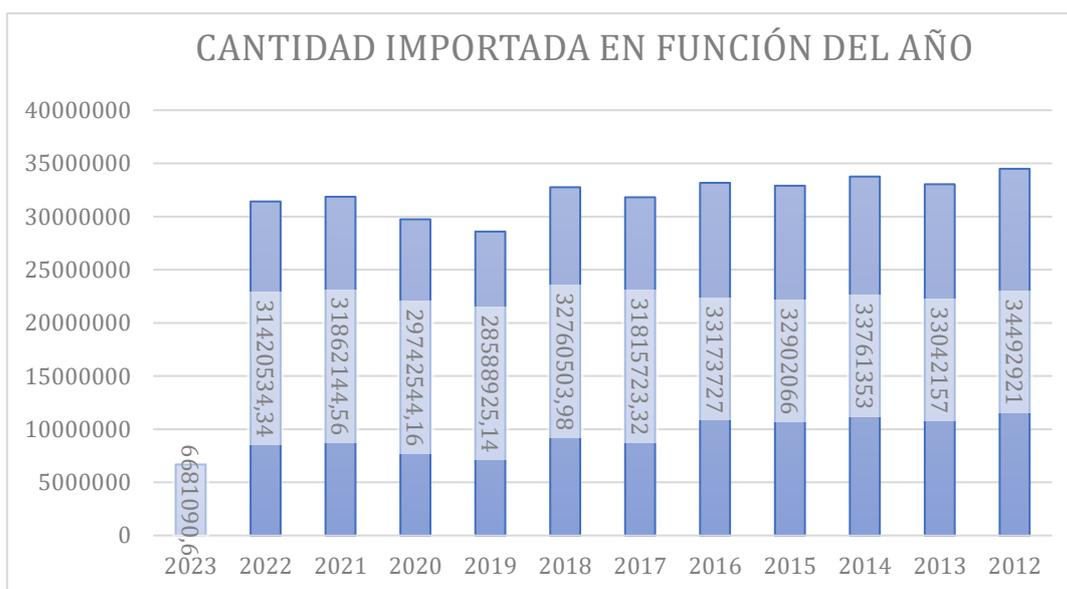


Figura 3-2: Nivel de importaciones. Fuente: INDEC - COMEX.

Como se aprecia en los datos recolectados, la cantidad importada con los años tiene sus variaciones, pero muy leves, por lo que se puede considerar que, excluyendo el último año (por el corto periodo analizado hasta el momento), el resto de los años se importaron cantidades significativas de ácido cítrico de manera casi constante.

## 3.2 ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA

### *Residuos lignocelulósicos*

En general estos residuos se clasifican en seis grupos principales:

- Residuos Agroindustriales
- Maderas duras
- Maderas blandas
- Residuos de celulosa
- Biomasa herbácea
- Residuos sólidos urbanos

La mayoría de los residuos agroindustriales, están compuestos de lignocelulosa que es un complejo polimérico de carbohidratos de celulosa, hemicelulosa y lignina. El porcentaje de composición de celulosa, hemicelulosa, lignina y otros (proteína y cenizas) en la lignocelulosa se encuentra 35-50%, 20-35%, 15-20% y 15-20% respectivamente.

Debido a la necesidad del presente trabajo, se enfoca la atención a estos residuos agroindustriales, de los cuales se pretende separar y tratar la celulosa presente en su composición.

### *Residuos Agroindustriales*

Los residuos agrícolas pueden ser quemados directamente para la producción de energía o ser sometidos a procesos térmicos o mecánicos para la obtención de biocombustibles sólidos, como carbón vegetal, briquetas o pellets. Cuando los residuos agrícolas son sometidos a procesos termo mecánicos aumenta la densidad energética de los mismos y los hacen más aptos para el consumo final de energía.

La cantidad de residuos que se queman en el campo, tienen impactos negativos en el suelo y emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera.

- Tipos de residuos Agrícolas junto con su correspondiente fuente:

Tabla 3-2: Tipos de residuos Agrícolas.

Fuente	Residuo
Cebada	paja
Yuca/Mandioca	vainas
Coco	tallo
Café	follaje, cáscara
Algodón	cáscara, tallo
Cacahuete/maní	cáscara
Maíz	mazorca, cascara, rastrojo
Mijo	paja
Avena	paja
Palma	racimos vacíos, follaje, cáscara
Arroz	paja, cáscara
Centeno	paja
Sorgo	paja, tallo
Semilla de soja	paja, vainas
Caña de azúcar	hojas, bagazo
Trigo	paja

- Composición química de diferentes residuos lignocelulósicos

Tabla 3-3: Componentes lignocelulósicos en diferentes residuos agroindustriales.

Fuente	Composición (% base seca)				
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Otros	Cenizas
Bagazo de caña	33-36	28-30	18-20	6	2-4,8
Follaje de arroz	32-37	19-24	13	5	18
Mazorca de maíz	34-36	16-24	15-19	6	4
Follaje de trigo	30-33	22-28	14-18	7	7
Follaje de sorgo	34-36	25-26	25-26	x	x
Maderas	50	20	15-20	hasta 10	hasta 5

Tabla 3-4: Composición química de residuos lignocelulósicos.

Material	Composición (% base seca)						
	C	H	N	S	O	Cenizas	HHV (GJ Mg-1)
Carbón Butiminoso	75,5	5	1,2	3,1	4,9	10,3	31,67
Carbón Sub-bituminoso	77,9	6	1,5	0,6	9,9	4,1	32,87
Carbón vegetal	80,3	3,1	0,2	0	11,3	3,4	31,02
Madera de Abeto	52,3	6,3	0,1	0	40,5	0,8	21
Madera de Eucalipto	48,3	5,9	0,15	0,01	45,13	0,4	19,35
Madera de Haya	51,6	6,3	0	0	41,5	0,6	20,3
Bagazo de Caña	44,8	5,4	0,4	0,01	39,6	9,8	17,33

Paja de Trigo	43,2	5	0,6	0,1	39,4	11,4	17,51
Cáscara de Arroz	39,2	5,1	0,6	0,1	35,8	19,2	15,8

### Residuos agroindustriales del Arroz

Con relación al cultivo de arroz, en nuestro país se producen aproximadamente 1.6 millones de toneladas anuales en la Región del Litoral, y el 20% (0.32 millones de toneladas) de ese peso son cáscaras que, en general, se queman y liberan gases de efecto invernadero (GEI). Además, las cenizas generadas pueden representar un problema ambiental si no se gestionan de forma adecuada.

El objetivo es aprovechar la cascará de arroz para la obtención de celulosa, que luego se convertirá en glucosa, la cual será utilizada para la producción de ácido cítrico.

### Cascara de Arroz

La cascarilla de arroz es la capa más externa del grano, que se separa de los mismos durante el proceso de molienda. La cascara contiene en su estructura alrededor de 35 a 40% de celulosa, 15 a 20% de hemicelulosa y 20 a 25% de lignina.

- Características fisicoquímicas de la cáscara de arroz

Tabla 3-5: Características fisicoquímicas de la cascara de Arroz.

Características fisicoquímicas	
Densidad	$1125 \frac{kg}{m^3}$
Poder calorífico (1kg)	3300 kcal
Humedad	6.62%
Área superficial	$272.50 \frac{m^2}{g}$

- Estructura de la cascara de arroz

Tabla 3-6: Análisis composicional de la cáscara de Arroz.

Análisis composicional	Porcentaje (%)	Promedio reportado (%)
Celulosa	60.12	41.20
Hemicelulosa	11.19	21.00

Lignina	6.66	22.40
Cenizas	15.90	17.40

- Composición química de la ceniza de la cáscara de Arroz

*Tabla 3-7: Composición química de la ceniza de la cáscara de Arroz.*

<i>Compuesto</i>	<i>Peso total (%)</i>
SiO <sub>2</sub>	98.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11
MnO	0.01
MgO	0.11
CaO	0.23
Na <sub>2</sub> O	0.10
K <sub>2</sub> O	0.38
TiO <sub>2</sub>	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08
Otros	0.42

### 3.2.1 Mercado mundial

La producción mundial de arroz alcanza alrededor de 750 millones de toneladas anuales, de las cuales 500 millones corresponden al arroz elaborado. El 90% de la producción y del consumo se concentra en el continente asiático.

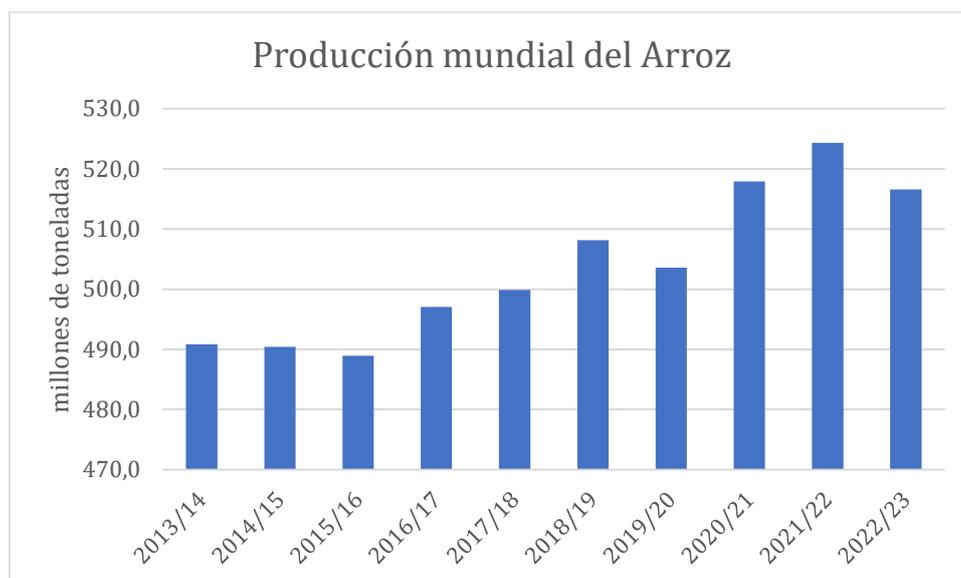


Figura 3-3: Producción mundial del Arroz. Fuente: FAO.

Los principales productores se hallan en el hemisferio norte y entre los consumidores se destacan los países asiáticos, seguidos por los países africanos.

China produce alrededor del 30% (206 millones de toneladas) del total mundial, India un 20% (153 millones de toneladas), Brasil es el principal productor de América del sur y aporta el 1.5% a la producción mundial de arroz.

En términos de comercio se ubica en cuarto lugar con un 7% del comercio mundial de granos, luego de la soja con un 31%, trigo con un 18% y maíz con un 12%, según datos de FAO.

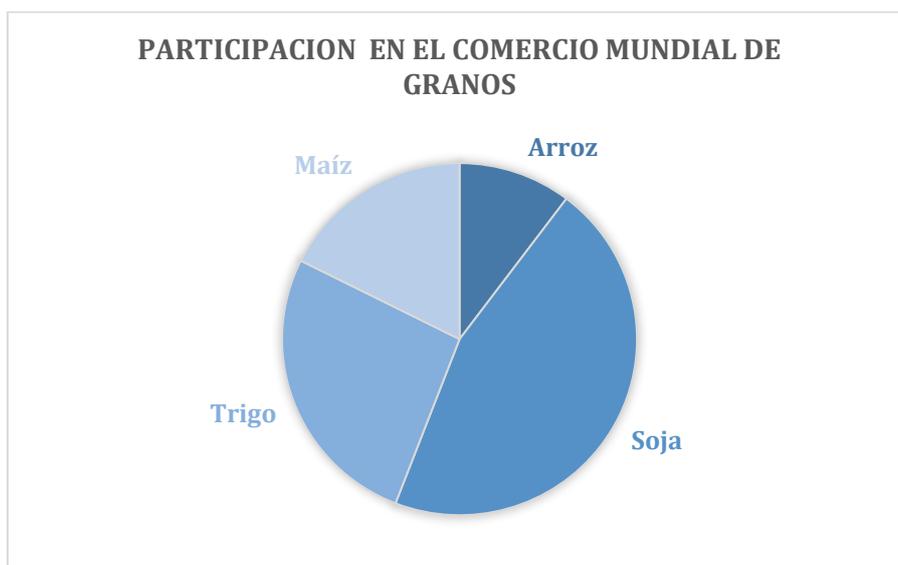


Figura 3-4: Participación en el comercio mundial de granos. Fuente: FAO.

### Ranking de los principales productores mundiales de arroz en 2021

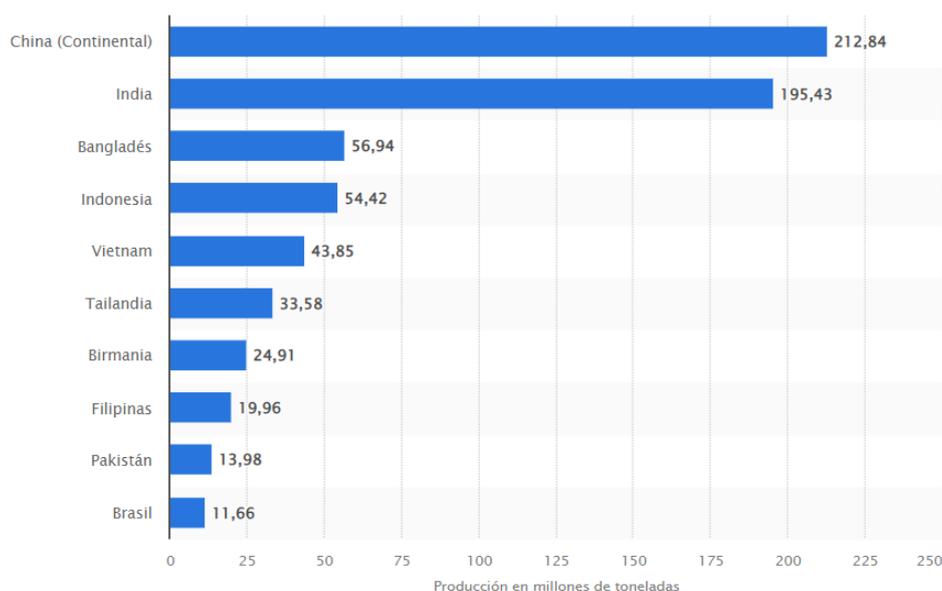


Figura 3-5: Principales productores de Arroz a nivel mundial.

Los cinco principales exportadores de arroz, Tailandia, Vietnam, India, Pakistán y los Estados Unidos, representan el 65,0% del comercio total de arroz.

China e India, no solo son los mayores productores del mundo de este grano, sino también sus principales consumidores. En concreto, entre los dos registraron una ingesta de cerca de 262,5 millones de toneladas durante la campaña 2022/2023. Por

lo que, el comercio exterior de este cereal lo protagonizan ambos Estados. Entre ellos, China es el país con mayor cantidad de arroz importado, mientras que la India lidera la exportación global.

### 3.2.1.1 Segmentación de la materia prima

#### Principales exportadores de arroz en el mundo



Figura 3-6: Exportadores Mundiales de Arroz. Fuente: Elaboración propia.

#### Principales Importadores de arroz en el mundo:

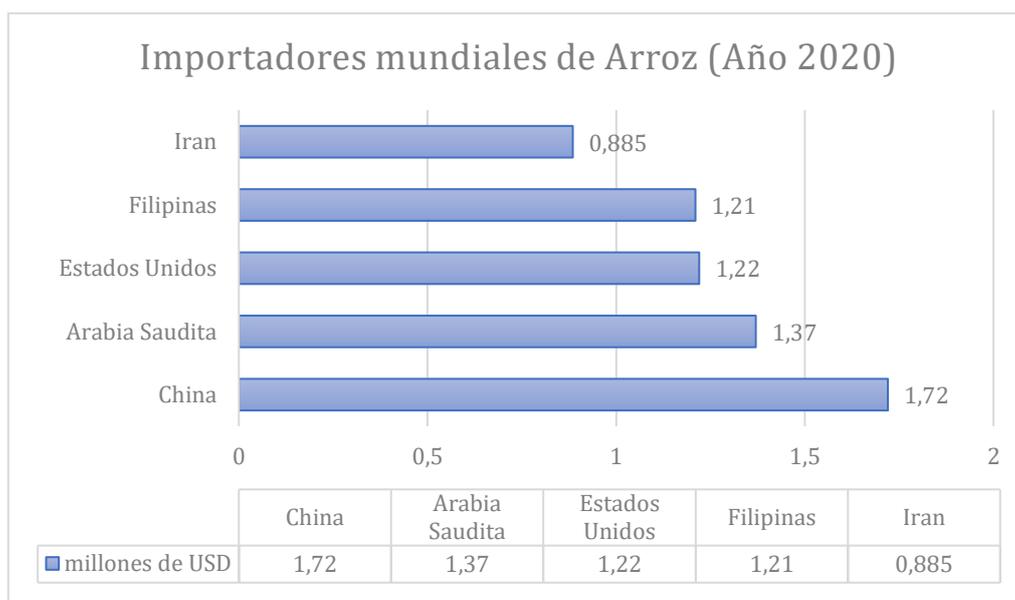


Figura 3-7: Importadores mundiales de Arroz. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Mercado Nacional

La producción local de arroz se localiza en el Litoral Argentino, concentrándose en las provincias de Entre Ríos, Corrientes, Santa Fe, Chaco, Formosa y Misiones.

En la campaña 2021/22 la producción de arroz en las diferentes provincias del litoral se distribuyó de la siguiente forma, el 40% de la producción fue generada por la provincia de Entre Ríos, el 39% por Corrientes, el 13% se obtuvo en Santa Fe, el 5% en Formosa y el resto en la provincia de Chaco.

El total de arroz producido por estas provincias en la campaña fue de 1.215.819 toneladas.

Entre Ríos industrializa el 60% del arroz cáscara, seguida por Corrientes que ha ido incrementando su participación en el total.

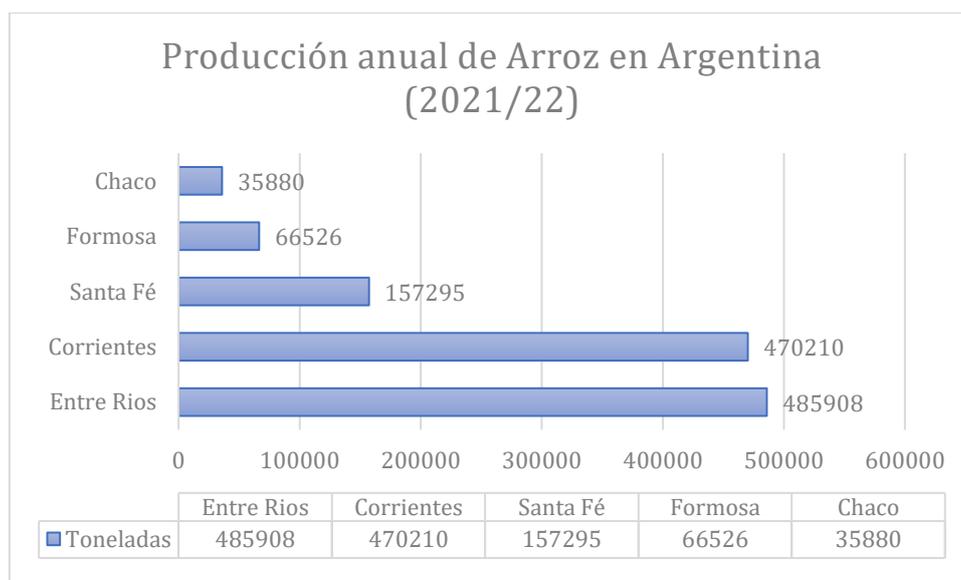


Figura 3-8: Producción anual de Arroz en Argentina. Fuente: Elaboración propia.

El consumo aparente de arroz en Argentina totaliza alrededor de 900 mil toneladas anuales, cifra insignificante si se la compara con los grandes consumidores a nivel mundial.

*Área de Arroz sembrada en la campaña 2021/22*

En esta campaña se alcanzó un total de área sembrada de 205.550 hectáreas, un 45% de la misma fue sembrada por Corrientes, un 31% por Entre Ríos, seguido de Santa Fe con un 15%, Formosa con un 6% y por último Chaco con un 3% del total.

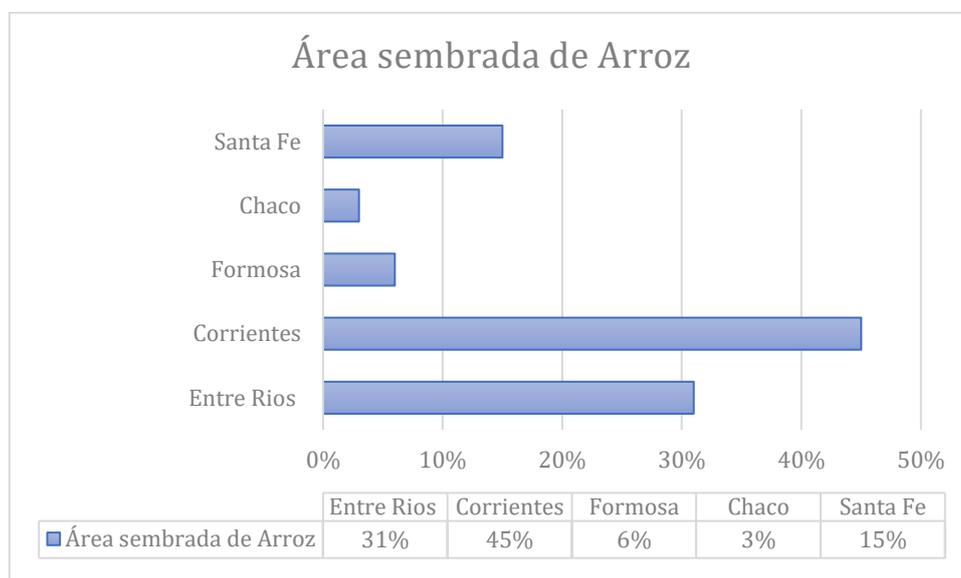


Figura 3-9: Área sembrada de Arroz. Fuente: MAGyP.

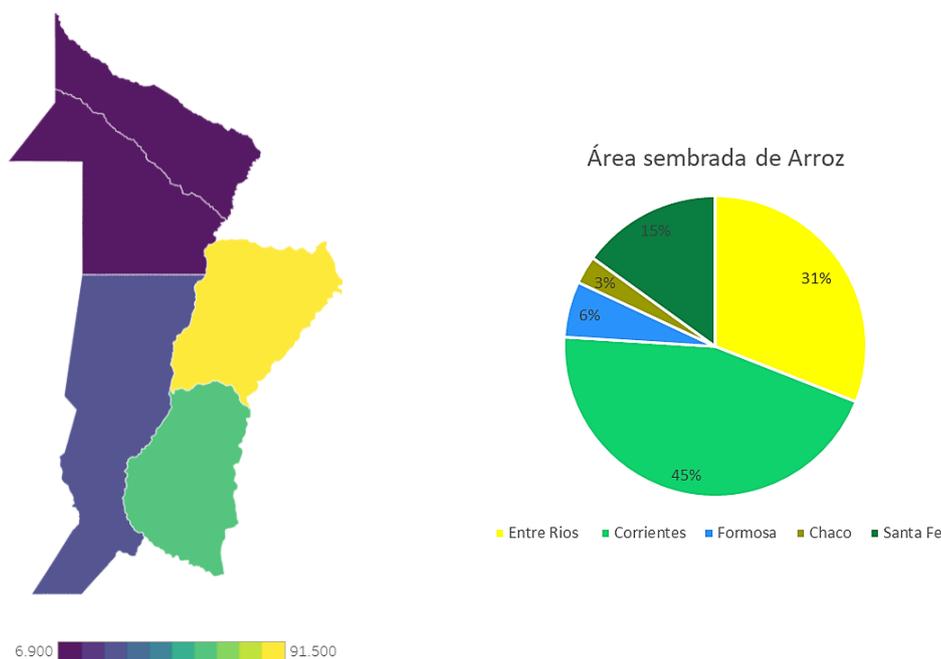


Figura 3-10: Porcentajes del área sembrada de Arroz en el Litoral. Fuente: MAGyP.

### Rendimiento por hectárea sembrada de Arroz en la campaña 2021/22

De acuerdo con la superficie de Arroz sembrada en la campaña, se observaron los siguientes rendimientos por hectárea, 7.533 kilogramos por hectárea en Entre Ríos, 6.459 kilogramos por hectárea en Santa Fe, 5.800 kilogramos por hectárea en Formosa, 5.200 kilogramos por hectárea en Chaco y finalmente 5.183 kilogramos por hectárea en la provincia de Corrientes.

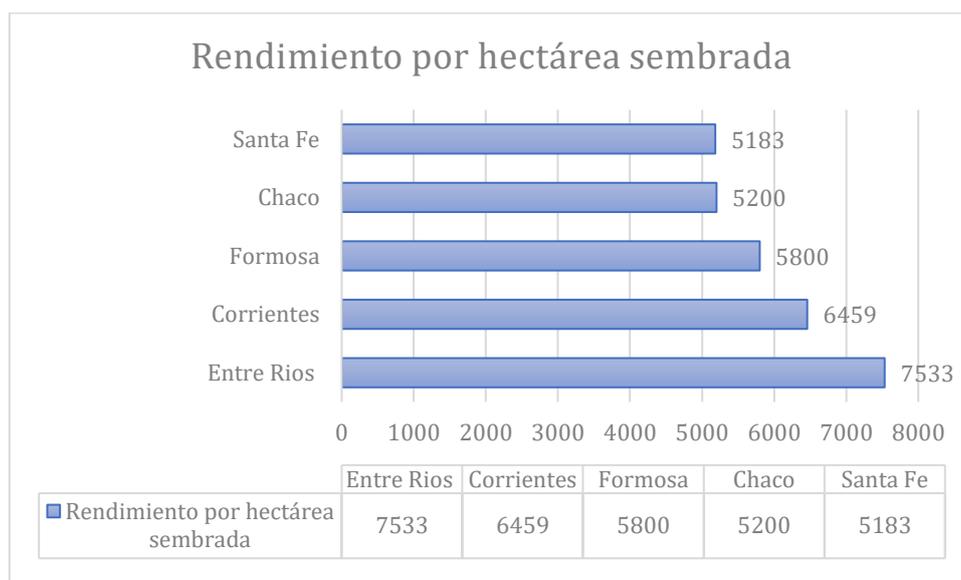


Figura 3-11: Rendimiento por hectárea sembrada de Arroz. Fuente: Elaboración propia.

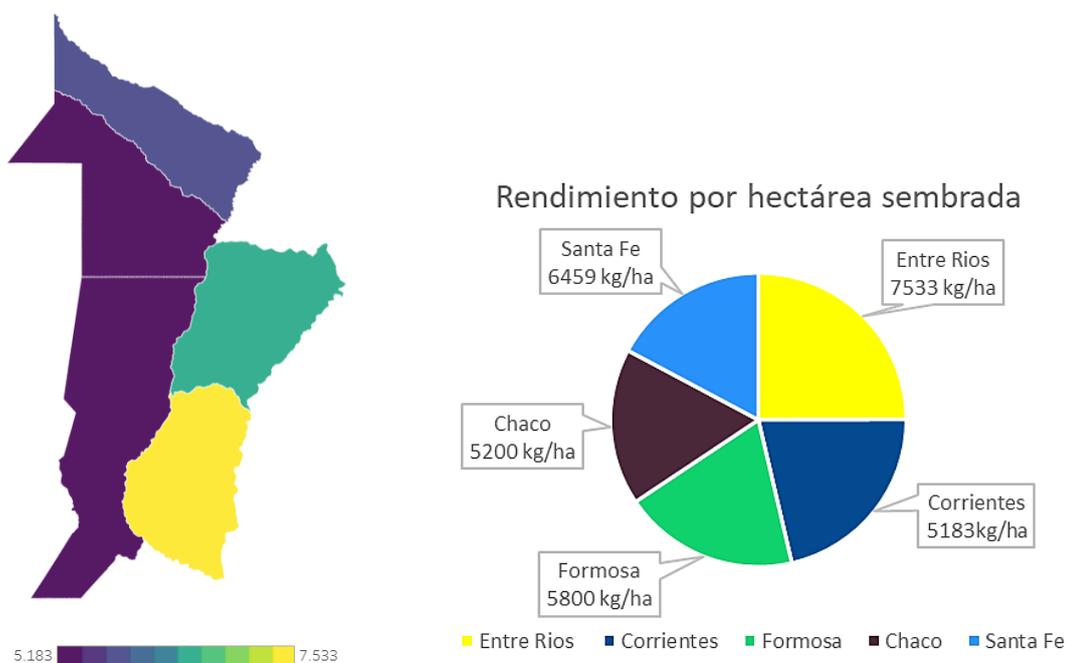


Figura 3-12: Kilogramos por hectárea sembrada en las diferentes provincias del Litoral. Fuente: MAGyP.

### 3.2.2.1 Exportación

Actualmente Argentina exporta alrededor de 640 mil toneladas de arroz, que representan ingresos por USD FOB 301 millones. El 55% de los envíos se concentra en el arroz semi blanqueado, cerca del 30% en arroz descascarillado, un 12% en arroz partido y el resto en arroz con cáscara y arroz para la siembra.

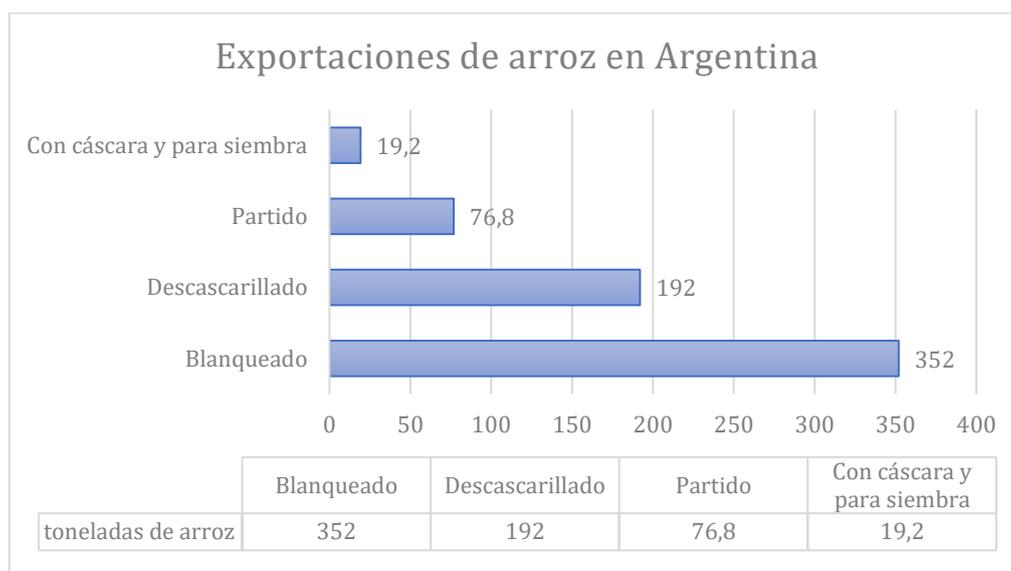


Figura 3-13: Principales tipos de Arroz exportados en Argentina. Fuente: MAGyP.

Las exportaciones arroceras muestran una dinámica sumamente positiva en el tiempo. Si bien se registran fluctuaciones, el sector ha ido evolucionando tanto en términos de volúmenes como en valor comercializado.

En lo atinente a los diferentes grados de procesamiento del arroz, Argentina participa con el 2% de las exportaciones mundiales de arroz con cáscara, del cual, el principal exportador es Estados Unidos (58% del total comercializado a nivel mundial), que figura dentro de los diez principales exportadores mundiales. Las ventas totales mundiales de arroz paddy alcanzan los USD 995 millones. Paralelamente Argentina participa con el 8% de las ventas mundiales de arroz descascarillado, que rondan los USD 930 millones, del cual, Tailandia lidera la lista de comercializadores, con un 20% del total vendido, escoltado por Estados Unidos y España con 16% y 10% respectivamente.

Las exportaciones argentinas de arroz semi blanqueado o blanqueado representan sólo el 1% de las ventas mundiales, mientras que el principal comercializador es la India, que participa con un 31%, seguida por Tailandia 22% y Vietnam 12%.

Por otro lado, la participación argentina en las ventas mundiales de arroz partido (1,5%), no resulta significativa. Países del sudeste asiático lideran la lista de comercializadores.

Brasil es el principal destino de las exportaciones argentinas de arroz, dado que absorbe el 46,7% del total de nuestras ventas externas. Este porcentaje se ha ido reduciendo en el tiempo, debido fundamentalmente a la diversificación de los destinos de exportación por parte del sector arrocero argentino, que ha ido incursionando en nuevos mercados a lo largo de los años.

Argentina exporta alrededor de 300 mil toneladas anuales de arroz con destino a Brasil, por un valor de USD FOB 141 millones. Se exporta arroz industrializado, fundamentalmente blanqueado o semi blanqueado (60% del total exportado con destino Brasil), y arroz descascarillado (35% del total). Las ventas de arroz partido son el 5% del total exportado con este destino.

### 3.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA INSATISFECHA

Teniéndose en cuenta que la cantidad total de ácido cítrico consumido en el país es netamente importada, se concluye que la misma corresponde a la demanda insatisfecha.

*Tabla 3-8: Demanda insatisfecha.*

Año	Demanda insatisfecha (t)
2012	34493
2013	33042
2014	33761
2015	32902
2016	33173
2017	31815
2018	32760
2019	28588
2020	29742
2021	31862

2022	31420
2023	6681

Fuente: INDEC-COMEX.

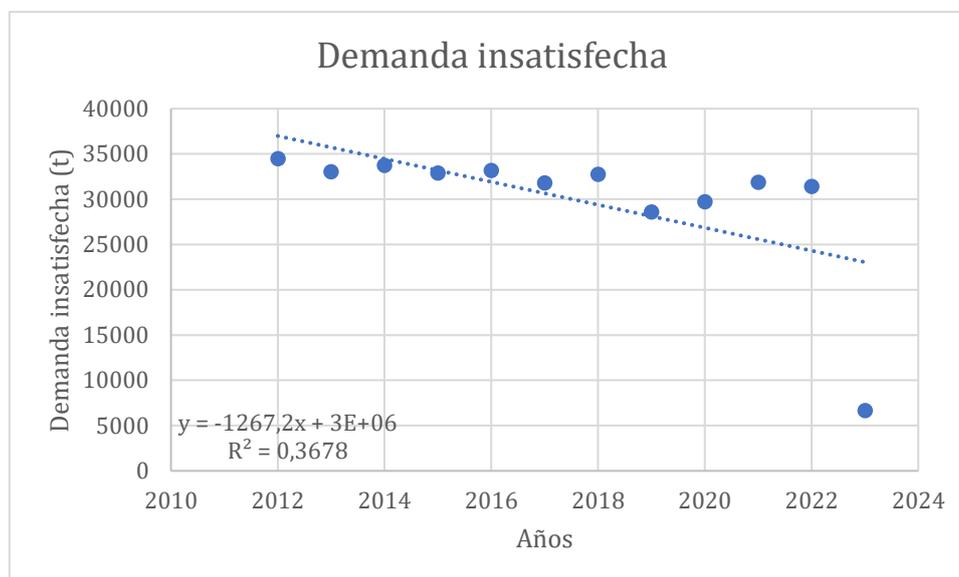


Figura 3-14: Demanda insatisfecha de Ácido Cítrico. Fuente: INDEC – COMEX.

En la Figura 3-14 se aprecia la tendencia de la demanda insatisfecha de Ácido Cítrico en el país, dado que el año 2023 aporta datos de importación del primer trimestre, se procede a excluir el mismo en el análisis. En la Tabla 3-8: Demanda insatisfecha se aprecia que en los años 2019 y 2020 la cantidad importada fue menor con respecto a los demás de años enumerados, por lo que se calculó la media entre los años 2018 y 2021 para la corrección de estos y lograr un mejor coeficiente de determinación o  $R^2$ .

Tabla 3-9: Corrección de la demanda insatisfecha.

Año	Demanda insatisfecha
2012	34493
2013	33042
2014	33761
2015	32902
2016	33174
2017	32967
2018	32760
2019	32311

2020	32311
2021	31862
2022	31421
2023	6681

Fuente: Elaboración propia.

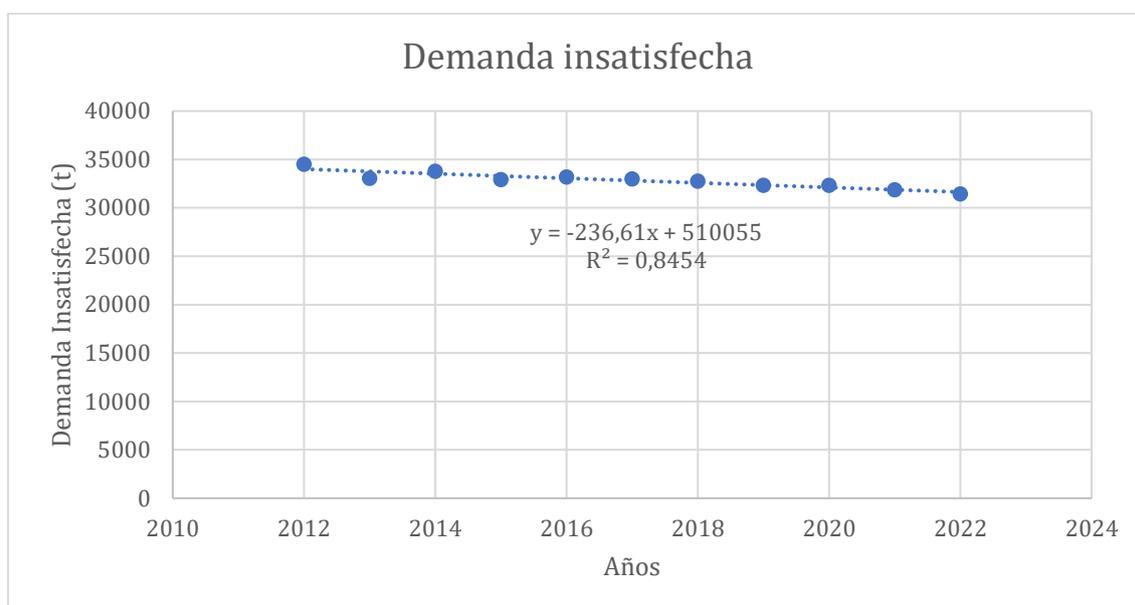


Figura 3-15: Corrección de demanda insatisfecha. Fuente: Elaboración propia.

Hecha la corrección de los años nombrados, en la Figura 3-15 se muestra que el coeficiente de determinación mejoró con respecto a la Figura 3-14, obteniéndose un modelo más fiable.

### 3.4 ANÁLISIS FODA

El análisis FODA es una técnica que se utiliza para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y las amenazas a fin de desarrollar un plan estratégico para el desarrollo del proyecto.

- **Debilidades:** se refiere a las iniciativas internas que no funcionan adecuadamente, la identificación de estas ofrece un punto de partida desde el cual mejorar el proyecto. Pueden hacerse diferentes preguntas para identificarlas.
  - ¿Qué iniciativas no funcionan y por qué?
  - ¿Qué se puede mejorar?

- ¿Qué recursos podrían favorecer el rendimiento?
- **Fortalezas:** se refiere a las iniciativas internas que funcionan correctamente, por lo tanto, se pueden aplicar estas fortalezas en otras áreas que pueden necesitar un refuerzo. Pueden hacerse las siguientes preguntas para identificarlas.
  - ¿Qué hace que la empresa sea especial?
  - ¿Qué es lo que se hace correctamente?
- **Oportunidades:** son los resultados de las fortalezas y debilidades junto con una iniciativa externa que coloca al proyecto en una posición competitiva más sólida. Es útil considerar las siguientes cuestiones.
  - ¿Qué recursos se pueden usar para mejorar las áreas débiles?
  - ¿Cuáles son las metas propuestas?
- **Amenazas:** se refiere a las áreas que tienen potencial de causar problemas, estas son externas y por lo general, están fuera de nuestro control. Pueden ser eventos como una pandemia o cambios en el panorama competitivo. Se pueden identificar a partir de las siguientes preguntas.
  - ¿Qué cambios en el sector son preocupantes?
  - ¿Qué nuevas tendencias de mercado se vislumbran?
  - ¿En qué área supera la competencia?

Tabla 3-10: Análisis FODA.

ANÁLISIS INTERNO	ANÁLISIS EXTERNO
<i>Debilidades</i>	<i>Amenazas</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos derivados del tratamiento requerido por la materia prima.</li> <li>• Obtención de la enzima y su respectivo costo.</li> <li>• Dependencia relacionada a los costos de los insumos y materias primas indispensables para la elaboración del producto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplio mercado en el primer mundo.</li> <li>• Inestabilidad de la situación económica financiera del país.</li> <li>• Presencia de diversas alternativas de uso de la materia prima.</li> </ul>
<i>Fortalezas</i>	<i>Oportunidades</i>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Aporte de valor agregado sobre un residuo agroindustrial generado en grandes cantidades.</li><li>• Aplicación del producto en gran cantidad de áreas (farmacéutica, bebida, alimenticia, entre otras).</li><li>• Rápido crecimiento en el mercado Nacional.</li><li>• Demanda potencial derivada de pymes.</li><li>• Recursos humanos capacitados.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inexistencia de producción a nivel Nacional.</li><li>• Demanda potencial de diferentes industrias en el país.</li><li>• Fácil inserción en el mercado.</li><li>• Mercado potencial en Sudamérica, principalmente países limítrofes.</li></ul>
--	---

*Fuente: Elaboración propia.*

# CAPÍTULO 4

---

*Localización*

## 4 LOCALIZACIÓN

---

La decisión acerca de la ubicación de la planta se rige no solo a criterios económicos, sino también a criterios estratégicos e institucionales, sin embargo, se busca determinar una localización que maximice la rentabilidad del proyecto.

Esto exige que su análisis se realice de manera integrada con las restantes variables del proyecto, como la demanda, transporte, competencia, entre otras, además de tener en cuenta si se trata de una ubicación definitiva o transitoria y optar por aquello que permita obtener el máximo rendimiento del proyecto.

Para tomar una acertada decisión se tienen en cuenta factores globales como:

- Medios y costos de transporte.
- Disponibilidad y costo de mano de obra.
- Cercanía de las fuentes de abastecimiento.
- Factores ambientales.
- Cercanía del mercado.
- Costo y disponibilidad de terrenos.
- Topografía de suelos.
- Estructura impositiva y legal.
- Disponibilidad de agua, energía y otros suministros.
- Comunicaciones.
- Posibilidad de desprenderse de desechos.
- Disponibilidad de energía.

### 4.1 MACRO LOCALIZACIÓN

La macro localización es un análisis preliminar que de forma general define una región o macrozona apropiada para la ubicación, esto permite reducir el número de soluciones posibles al descartar los sectores geográficos que no responden a las condiciones requeridas por el proyecto, facilitando la posterior selección de la micro localización definitiva

#### 4.1.1 Disponibilidad y proximidad de materia prima

La materia prima es el elemento principal para elaborar los productos que la empresa industrial ha de comercializar. Por tanto, encontrarse a una distancia suficientemente corta de la fuente de materia prima, va a generar una reducción significativa en los costos y tiempos del transporte de los materiales.

Los datos tenidos en cuenta para evaluar este factor de localización fueron extraídos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) en la campaña del año 2021 al año 2022. Los mismos se representan en la Tabla 4-1 y en la

Figura 4-1.

Tabla 4-1: Producción Arroz y cáscara por provincia.

Provincia	Porcentaje	Cantidad de Arroz (t)	Cáscara de Arroz (t)	Nivel de producción
Entre Ríos	40%	485.908	97181,6	Elevado
Corrientes	39%	470.210	94.042,0	Elevado
Santa Fe	13%	157.295	31.459,0	Moderado
Formosa	5%	66.526	13.305,2	Bajo
Chaco	3%	35.880	7.176,0	Bajo

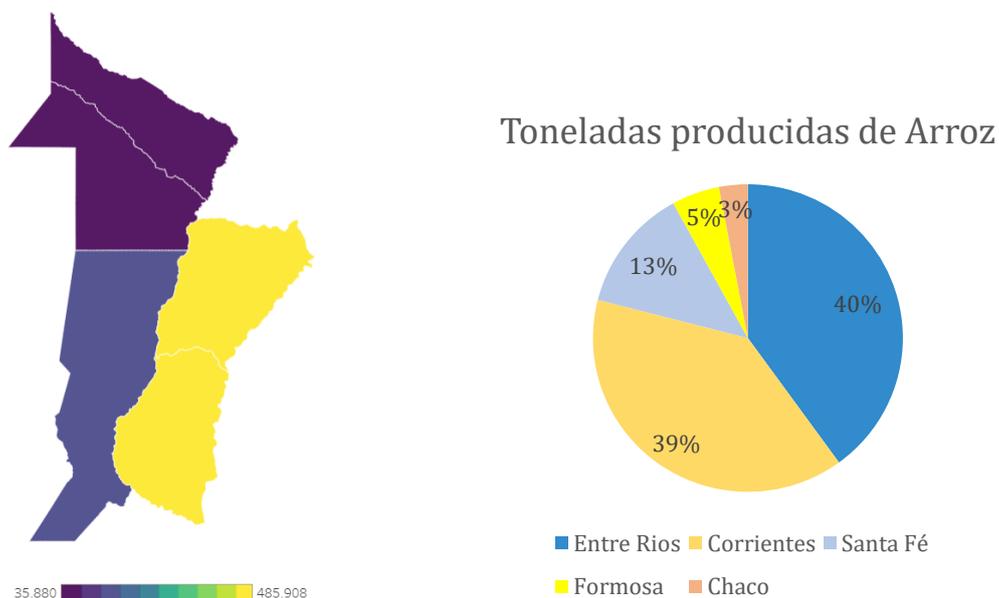


Figura 4-1: Nivel de producción de Arroz por provincia. Fuente: MAGyP.

#### 4.1.2 Disponibilidad del mercado o zona de consumo

Las industrias tienden a asentarse próximas a su mercado de consumo. Esto ayuda a minimizar los costos de transporte del producto elaborado hasta el mercado.

Teniendo en cuenta lo antes nombrado, se obtuvieron la cantidad de industrias, en este caso, aquellas que se dedican a la elaboración de productos alimenticios, a partir de datos proporcionados por el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social y el Ministerio de Economía Argentina. Estos datos se encuentran resumidos en la Tabla 4-2 y Figura 4-2.

Tabla 4-2: Nivel de industrialización por provincia.

Provincia	Establecimientos alimenticios	Porcentaje del total	Nivel de industrialización
Buenos Aires	5.659	32,64%	Elevado
Córdoba	2.181	12,58%	Elevado
CABA	2.036	11,74%	Elevado
Santa Fe	1.731	9,98%	Elevado
Mendoza	910	5,25%	Elevado
Entre Ríos	836	4,82%	Moderado
Misiones	493	2,84%	Moderado
Tucumán	453	2,61%	Moderado
Río Negro	401	2,31%	Moderado
Salta	308	1,78%	Moderado
San Juan	299	1,72%	Moderado
Chubut	250	1,44%	Moderado
Corrientes	222	1,28%	Moderado
Santiago Del Estero	211	1,22%	Moderado
Neuquén	191	1,10%	Bajo
Chaco	188	1,08%	Bajo
La Pampa	180	1,04%	Bajo
Jujuy	157	0,91%	Bajo
San Luis	151	0,87%	Bajo
Santa Cruz	145	0,84%	Bajo
Catamarca	107	0,62%	Bajo
La Rioja	93	0,54%	Bajo
Tierra Del Fuego	71	0,41%	Bajo
Formosa	66	0,38%	Bajo

Fuente: Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social.

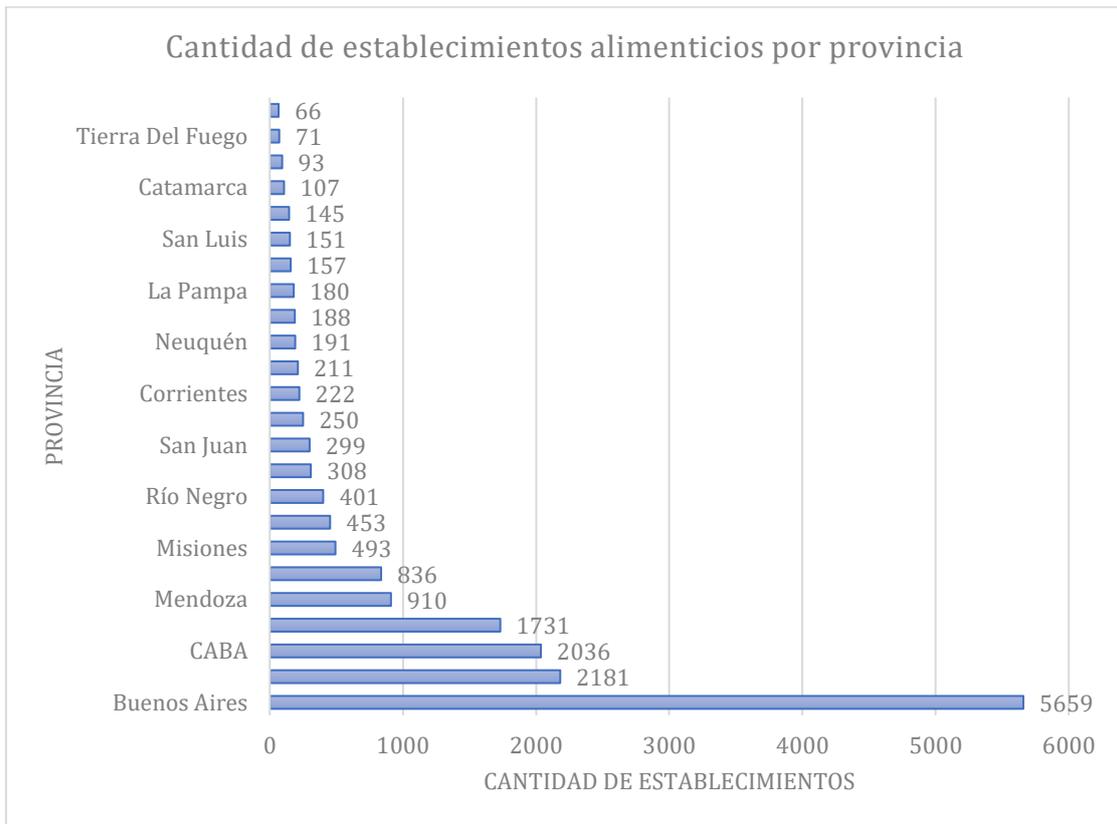


Figura 4-2: Nivel de industrialización por provincia. Fuente: Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social.

La cantidad de establecimientos identificados por región se muestran en la Figura 4-3. En ésta, se puede observar que los mayores niveles de industrialización se encuentran entre las provincias de Buenos Aires, Córdoba, CABA y Santa Fe.

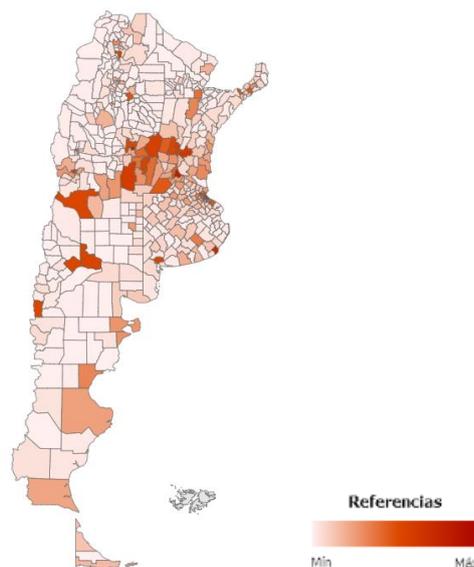


Figura 4-3: Nivel de industrialización por región.

### 4.1.3 Disponibilidad de transporte y comunicación

Las entidades industriales necesitan de una infraestructura de transporte sólida para llevar a cabo diversas actividades. Por lo que, es muy significativo que la zona contenga las vías de comunicación requeridas, como pueden ser carreteras, puertos, entre otros. Si existen redes de transporte bien estructuradas y rápidas se logrará una facilidad de acceso a las materias primas y a la distribución del producto elaborado.

En la Tabla 4-3 se muestra un análisis de las vías ferroviarias argentinas de carga, donde se detalla las toneladas anuales que transportan de acuerdo con lo que expone la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Se destaca que, las líneas Belgrano, San Martín y Urquiza suman 9.100 kilómetros operativos, donde se recorren 17 provincias, lo que corresponde a un 70% del país con un total de cinco pasos internacionales y cuentan con diferentes accesos a puertos.

Tabla 4-3: Líneas ferroviarias de carga.

<i>Ferrocarril</i>	<i>Recorrido principal por provincia</i>	<i>Carga máxima transportada (t)</i>	<i>Nivel de transporte</i>
Línea Belgrano	NOA	2.655.409	Moderado
Línea Urquiza	Entre Ríos Corrientes Misiones	476.841	Bajo
Línea San Martín	Buenos Aires CABA	5.207.830	Elevado
Ferro Sur Roca S. A	Buenos Aires La Pampa Río Negro Neuquén	4.328.044	Elevado
Ferro Expreso Pampeano S. A	Buenos Aires Santa Fe La Pampa	4.388.000	Elevado

Nuevo Central Argentino S. A	Buenos Aires Santa Fe Córdoba Santiago del Estero Tucumán	7.296.368	Elevado
------------------------------	---	-----------	---------

Fuente MAGyP.

En la Tabla 4-4 se muestra la longitud de infraestructura vial en kilómetros con respecto a cada provincia, según los datos aportados por la Dirección Nacional de Vialidad.

Tabla 4-4: Longitud de Red Vial.

Provincia	Longitud (km)	Capacidad vial
Buenos Aires	3.426,65	Elevado
Córdoba	2.714,64	Elevado
Tucumán	575,42	Bajo
Mendoza	2.196,54	Elevado
Salta	1.850,45	Moderado
Jujuy	1.188,04	Moderado
Santa Fe	2.591,66	Elevado
La Rioja	1.891,98	Moderado
San Juan	1.272,09	Moderado
Corrientes	1.753,85	Moderado
Catamarca	1.124,45	Moderado
Neuquén	1.428,52	Moderado
Chubut	2.165,04	Elevado
San Luis	960,19	Bajo
Misiones	821,75	Bajo
Santiago del Estero	1.480,76	Moderado
Entre Ríos	1.607,84	Moderado
Chaco	987,07	Bajo
Río Negro	2.370,17	Elevado
La Pampa	1.670,80	Moderado
Formosa	1.307,60	Moderado
Santa Cruz	2.903,54	Elevado
Tierra del Fuego	659,8	Bajo

Fuente: MAGyP.

#### 4.1.4 Dotación industrial e infraestructura

La empresa debe considerar el nivel industrial de la zona y si posee existencia de otras empresas auxiliares.

En el caso de plantas industriales, su instalación debe ser efectuada en zonas calificadas para uso industrial, como pueden ser, polígonos, parques industriales, parques empresariales o tecnológicos, los cuales están dotados de infraestructuras necesarias de servicios, es decir, dotados de agua, energía, saneamiento, eliminación de residuos, entre otros.

Argentina cuenta con 317 parques industriales de carácter público y privado según el Registro Nacional de Parques Industriales (RENPI). En este caso, se analizaron las provincias donde se encuentra la producción nacional de arroz, ya que, de esta cereal deriva la materia prima requerida, cáscara de arroz.

*Tabla 4-5: Disponibilidad de parques industriales.*

<i>Provincia</i>	<i>Cantidad de parques industriales</i>	<i>Nivel de industrialización</i>
Entre Ríos	29	Elevado
Corrientes	8	Moderado
Santa Fe	34	Elevado
Formosa	1	Bajo
Chaco	6	Bajo

*Fuente: RENPI.*

#### **4.1.4.1 Disponibilidad y costo del terreno**

La empresa debe analizar y comparar el coste de la tierra donde se instalará la producción. Este factor será determinante para las empresas que requieren grandes superficies disponibles.

Se analizaron los parques industriales de las provincias de Corrientes y Entre Ríos, ya que, como se muestra en la Tabla 4-1, éstas son las que generan la mayor producción de arroz.

*Tabla 4-6: Disponibilidad de parque industriales en Corrientes y Entre Ríos.*

<i>Provincia</i>	<i>Parque Industrial</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Disponibilidad de lotes</i>
Corrientes	Santa Rosa	79	Sí
Corrientes	Tecnológico Santa Catalina	53	Sí
Corrientes	Gobernador Virasoro	17	Sí
Corrientes	Zona de actividades económicas Goya	64	Sí
Corrientes	De la Cruz	79	No
Corrientes	Mercedes	54	Sí

Corrientes	Mocoretá	22	Sí
Corrientes	Pedro Dionisio Cabral	28	Sí
Entre Ríos	Área industrial Chajarí	60	Sí
Entre Ríos	San José	9	Sí
Entre Ríos	Concepción del Uruguay	83	Sí
Entre Ríos	Ciudad de Concordia	100	Sí
Entre Ríos	Valle María	44	Sí
Entre Ríos	Diamante	25	Sí
Entre Ríos	General Ramírez	31	Sí
Entre Ríos	Gualeguay	209	Sí
Entre Ríos	Gualeguaychú	211	Sí
Entre Ríos	De Industrias secas	23	Sí
Entre Ríos	Ciudad Santa Elena	42	Sí
Entre Ríos	La Paz	64	Sí
Entre Ríos	Larroque	46	Sí
Entre Ríos	Lucas González	19	Sí
Entre Ríos	Nogoyá	56	Sí
Entre Ríos	Crespo	55	No
Entre Ríos	Cerrito	14	Sí
Entre Ríos	General Belgrano	133	No
Entre Ríos	Villa Tabossi	10	Sí
Entre Ríos	Rosario del Tala	61	Sí
Entre Ríos	San José de Feliciano	28	Sí
Entre Ríos	Seguí	31	Sí
Entre Ríos	Ubajay	99	Sí
Entre Ríos	Urdinarrain	39	Sí
Entre Ríos	Pronunciamiento	38	Sí
Entre Ríos	Presidente Néstor Carlos Kirchner de Viale	16	No
Entre Ríos	Victoria	45	Sí
Entre Ríos	Villa del Rosario	10	Sí
Entre Ríos	Villaguay	35	No

Fuente: RENPI.

#### 4.1.5 Disponibilidad de mano de obra

Los trabajadores son una parte fundamental para el funcionamiento de la empresa, por ello, es un factor determinante a la hora de establecerla, evaluando la mano de obra existente en la zona seleccionada.

Para poder determinar si un lugar contiene la mano de obra necesaria, se consideran diferentes factores:

- Cantidad de mano de obra disponible.
- Calidad de la mano de obra.
- Experiencia de la mano de obra en el sector.
- Accesibilidad a la mano de obra.
- Costo de la mano de obra.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina (INDEC) y la Encuesta Permanente de Hogares (EPH), en el cuarto trimestre del año 2022, Argentina cuenta con una población de 46.2 millones de habitantes, con 31 aglomerados urbanos conformados por 29.3 millones de personas en total, de las cuales, un 52.4% (15.3 millones de personas) se encuentran inactivas, es decir, no tienen trabajo ni lo buscan activamente y un 47.6% se encuentran económicamente activas (PEA) (14 millones de personas).

La tasa de empleo (TE), que mide la proporción de personas ocupadas con relación a la población total, se ubicó en 44.6% (13.1 millones de personas); la tasa de desocupación (TD), personas desocupadas, disponibles para trabajar y que buscan empleo activamente, como proporción de la PEA, se ubicó en 6.3% (0.9 millones de personas).

La tasa de subocupación resultó del 10.9% de la PEA, mientras que los otros ocupados demandantes y los no demandantes disponibles alcanzaron, en conjunto, el 11% de la PEA. Consecuentemente, la presión sobre el mercado laboral, conformada por el universo de desocupados, subocupados, ocupados demandantes y ocupados no demandantes disponibles, alcanzó el 28.2% de la PEA.

Según el INDEC en el año 2022 se tuvieron los resultados de tasas de empleo y desocupación por región mostrados en la Tabla 4-7.

*Tabla 4-7: Principales indicadores por regiones del año 2022.*

<i>Región</i>	<i>Tasas generales (%)</i>	
	<i>Empleo</i>	<i>Desocupación</i>
Gran Buenos Aires	45.0	7.0
Cuyo	46.5	3.7

Noreste (NEA)	41.5	3.6
Noroeste (NOA)	43.1	5.5
Pampeana	44.9	6.5
Patagonia	43.0	4.5

Fuente: INDEC, EPH.

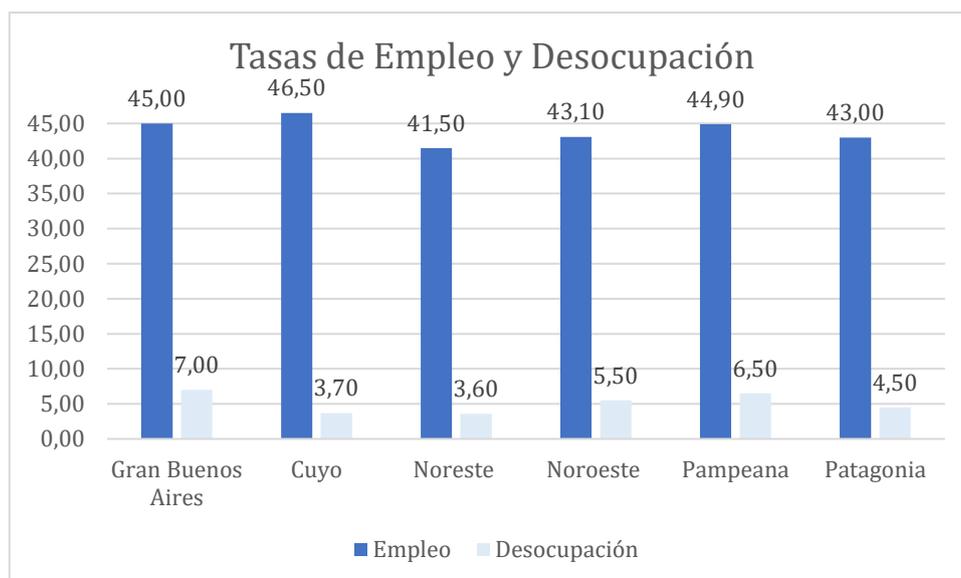


Figura 4-4: Principales indicadores por regiones del año 2022. Fuente: INDEC, EPH.

La cantidad de personas desocupadas de las diferentes regiones de interés, se representan en la Tabla 4-7: Principales indicadores por regiones del año 2022., observándose que el mayor número de población desocupada se encuentra en la región del Gran Buenos Aires y la región Pampeana, siendo ésta a su vez, la mano de obra disponible en esos sectores.

Tabla 4-8: Población desocupada en regiones de interés.

Región	Provincias	Población (en miles)		Nivel de desocupación
		Total	Desocupada	
Gran Buenos Aires	CABA	15.772	530	Elevado
	Buenos Aires			
Pampeana	Entre Ríos	6.321	198	Intermedio
	Córdoba			
	Santa Fe			
	La Pampa			
Noreste	Corrientes	1.449	70	Bajo
	Formosa			
	Chaco			
	Misiones			

Fuente: INDEC, EPH.

#### 4.1.6 Disponibilidad de calidad de vida

Las provincias con mayor oferta educativa son Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba. Este parámetro es importante de analizar ya que es una posibilidad de incorporar recursos humanos capacitados aumentando el prestigio de la planta procesadora ácido cítrico (Pairetti & Villalba, 2022).

Tabla 4-9: Nivel educativo.

Provincia	Entidad educativa pública	Entidad educativa privada	Total, de entidades educativas	Nivel educativo
Buenos Aires	61	67	128	Elevado
Sante Fe	6	12	18	Elevado
Córdoba	5	11	16	Elevado
Entre Ríos	4	2	6	Moderado
Corrientes	1	3	4	Bajo

#### 4.1.7 Disponibilidad de energía

Dependiendo del sector, la empresa puede requerir diferentes cantidades de energía. Si la empresa necesita una gran cantidad de energía para funcionar, necesitará ubicarse en una zona donde el costo de esta sea bajo.

Además, también se busca que en la localidad donde se sitúen, a energía sea estable, ya que, la mayoría de las empresas requieren un suministro sólido de energía para funcionar de forma correcta.

#### 4.1.8 Análisis ponderado

Un método útil para descartar localizaciones posibles es el método de “Factores ponderados”, el cual se basa en el relevamiento de diferentes factores críticos que influyen de forma significativa en la localización. Para esto se hace uso de la siguiente ecuación:

$$S_j = \sum_{i=1}^m W_i * F_{ij}$$

$S_j$ : Puntuación global alternativa  $j$ .

$W_i$ : Peso ponderado de cada factor  $i$ .

$F_{ij}$ : Puntuación alternativa  $j$  de cada factor  $i$ .

Para poder decidir la provincia óptima en donde ubicar la planta productiva, se realizó el análisis ponderado nombrado anteriormente. Para ello, fue necesario filtrar por nivel “elevado” a los datos de las tablas en los factores de localización analizados en la macrozona.

Se concluye que las provincias a considerar son Entre Ríos, Santa Fe y Buenos Aires.

El factor de Disponibilidad de transporte y comunicación se reemplazó por otro relacionado con la distancia en kilómetros desde la provincia que posee mayor producción de materia prima, hasta las provincias seleccionadas. Todas ellas tienen acceso a redes viales y ferrocarriles, lo que hace irrelevante su análisis para la localización.

Se tuvieron en cuenta los datos de la Tabla 4-10 para este factor de ponderación.

Tabla 4-10: Distancia entre provincias seleccionadas.

Distancia entre provincias	Distancia (km)
Entre Ríos-Santa Fe	221
Entre Ríos – Buenos Aires	322

Fuente: Google Maps.

Tabla 4-11: Análisis ponderado para la macro localización.

Factor	Ponderación	Entre Ríos		Santa Fe		Buenos Aires	
		%	Grado	%	Grado	%	Grado
Materia prima	0,45	100	45	25	11,25	10	4,5
Mercado de consumo	0,15	20	3	60	9	100	15
Parques industriales	0,15	50	7,5	70	10,5	100	15
Mano de obra	0,1	80	8	50	5	100	10
Entidades educativas	0,03	30	0,9	60	1,8	100	3
Distancia a planta	0,12	100	12	60	7,2	40	4,8
<i>Total</i>	<i>1</i>		<b>76,4</b>		<b>44,75</b>		<b>52,3</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.9 Conclusión

La razón por la cual estos factores de localización determinan la ubicación industrial, radica en los beneficios que aporta estar en un lugar ideal que favorece y potencia las actividades empresariales de la industria.

Las ventajas que ofrece establecerse en una zona idónea, en este caso, la provincia de Entre Ríos, con un puntaje ponderado total de 76.4, son: Reducir costos, contar con disponibilidad de recursos, como mano de obra, transporte, electricidad, entre otros.

#### 4.2 MICRO LOCALIZACIÓN

En la micro localización se selecciona el punto preciso, dentro de la macrozona, en donde se ubica definitivamente la industria. Conjuga los aspectos relativos a los asentamientos humanos, actividades productivas, selección y delimitación precisa de las áreas o sitio en el que se localiza y opera el proyecto.

El propósito es seleccionar la comunidad y el lugar exacto para instalar la planta industrial, siendo este el lugar que permite cumplir con los objetivos de lograr la rentabilidad más alta o el mínimo costo unitario producido.

Según la Secretaría de Comunicación del Gobierno de Entre Ríos, en el informe sobre Producción Nacional de Arroz en el ciclo 2021/2022, la principal área arrocería en la provincia se extiende a lo largo de la costa este, entre los ríos Uruguay y Gualaguay, desde el Norte del departamento de Gualaguaychú en el límite sur, hasta el distrito Moreira, al norte del departamento Concordia.

Los departamentos de mayor difusión arrocerera son: Concordia, Villaguay, Uruguay y Colón. El triángulo imaginario formado por las localidades de San Salvador, Colón y Villaguay representa el área de mayor difusión de superficie cultivada de este cereal.



Figura 4-5: Principal área arrocerera en Entre Ríos. Fuente: Elaboración propia.

Se analizaron los diferentes parques industriales ubicados dentro de los departamentos resaltados en la Figura 4-5: Principal área arrocerera en Entre Ríos, extraídos de la Tabla 4-6. Ellos fueron:

- Departamento de Concordia: Parque industrial Ciudad de Concordia.
- Departamento de Villaguay: Parque industrial Villaguay.
- Departamento de Uruguay: Parque industrial Concepción del Uruguay.

Según los datos de la Tabla 4-6, el Parque industrial Villaguay no presenta lotes disponibles, por lo que, expandimos el análisis a otro departamento limítrofe con el de Uruguay, siendo éste, el departamento de Gualeguaychú, considerando en esta elección la cercanía a provincias con mayor nivel de industrialización. Seleccionando finalmente los siguientes parques industriales:

- Parque industrial Ciudad de Concordia.
- Parque Industrial Gualeguaychú.

- Parque industrial Concepción del Uruguay.

Tabla 4-12: Análisis ponderado para la micro localización.

Factor	Ponderación	Concepción del Uruguay		Gualeguaychú		Concordia	
		%	Grado	%	Grado	%	Grado
Disponibilidad servicios	0,20	50	10	70	14	70	14
Beneficios tributarios	0,10	100	10	75	7,5	100	10
Disponibilidad materia prima	0,20	100	20	50	10	100	20
Costo flete materia prima	0,05	100	5	60	3	100	5
Capacidad disponible	0,20	100	20	60	12	30	6
Proximidad a zona de consumo	0,05	75	3,75	100	5	30	1,5
Valor del terreno (\$/m <sup>2</sup> )	0,20	75	15	75	15	100	20
<b>Total</b>	<b>1,00</b>		<b>83,75</b>		<b>66,5</b>		<b>76,5</b>

Fuente: Elaboración propia.

A partir de datos recolectados sobre los diferentes parques industriales, mediante el contacto con los mismos, se obtuvo el análisis ponderado que permitió seleccionar como ubicación definitiva al parque industrial Concepción del Uruguay.

#### 4.2.1 Parque industrial Concepción del Uruguay

##### 4.2.1.1 Ubicación geográfica

El Parque Industrial de la ciudad de Concepción del Uruguay, Entre Ríos, tiene un rol destacado en el cordón industrial de la costa del Río Uruguay. Su localización resulta estratégica respecto al eje del Mercosur, sobre la confluencia de la Ruta Nacional 14 (Autovía Mesopotámica) y la Ruta Prov. 39, que atraviesa transversalmente la Provincia de Entre Ríos, vía de comunicación con el Puente Rosario-Victoria.

Su posición es equidistante respecto a grandes centros de producción y consumo, como la ciudad de Buenos Aires y Conurbano bonaerense, el eje Paraná-Santa Fe y la ciudad de Rosario; y a nivel internacional con Montevideo y el Sur de Brasil.

El predio del Parque es lindero a la Zona Franca de Concepción del Uruguay, y se encuentra a 7 Km. del Puerto de Ultramar de Concepción del Uruguay, lo cual le otorga ventajas para el transporte multimodal de materias primas y productos industrializados, a nivel nacional e internacional.

Las distancias aproximadas a los centros de producción y consumo principales del Cono Sur son las siguientes:

- Buenos Aires: 300 Km
- Rosario: 276 Km
- Montevideo: 400 Km
- Córdoba: 640 Km

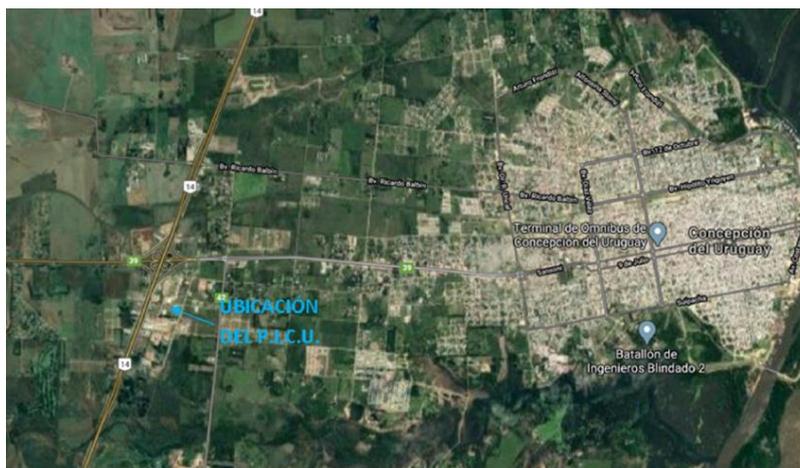


Figura 4-6: Mapa satelital del P.I.C.U. Fuente: Google Maps.

El P.I.C.U. (Parque Industrial Concepción del Uruguay) se encuentra en un entramado productivo y educativo local en el que se desarrollan diversas actividades, entre las que se destacan: Frigoríficos avícolas y vacunos; Agroindustria (procesamiento de arroz y cereales); Metalúrgica y metalmecánica; Medicamentos e insumos de uso veterinario; Complejos para nutrición animal; Tableros melánicos y tratamiento de madera; y Desarrollo de Software; y en el plano educativo se encuentran radicadas en la ciudad cuatro universidades, Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER), Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Universidad de Concepción del Uruguay (UCU), con actividad en formación de recursos humanos calificados y transferencia tecnológica. Estas actividades industriales son complementarias al perfil productivo primario de la región, consistente principalmente en cereales y oleaginosas, avicultura, ganado vacuno y porcino, y apicultura. El Parque Industrial de Concepción del Uruguay se encuentra inscripto en el Registro Nacional de Parques Industriales de la Nación (RENPI) desde el año 2015; actualmente en proceso de actualización.

#### **4.2.1.2 Infraestructura y servicios**

*Energía eléctrica:* Existen líneas de 132kV, 33kV y 13.2 kV. El suministro de energía es ilimitado y confiable ya que la línea de 132 kV esta alimentada de forma directa del anillo del Sistema Interconectado Argentino-uruguayo de 500 kV de origen en la Represa de Salto Grande. Se obtienen exenciones de impuestos municipales y provinciales en la facturación de energía. Es provisto por la empresa ENERSA.

*Gas natural:* Cuenta con una red de distribución de gas natural con acceso a la mayoría de los terrenos.

*Provisión de agua:* La provisión de agua apta para consumo se obtiene mediante perforaciones.

*Calles internas:* Primera etapa de asfaltado concluida sobre la calle principal de acceso se encuentra en obra la segunda etapa de asfaltado, que comprende el eje de mayor circulación del predio, siendo el resto de la traza vial de material de ñeta y badenes.

*Alumbrado público y limpieza:* Servicio de alumbrado público, quedando a cargo de Co.M.P.I.C.U. (Consortio Mixto Parque Industrial Concepción del Uruguay) el mantenimiento y limpieza de lotes vacíos y espacios comunes; y el servicio de recolección de residuos no industriales y patológicos a cargo de la Municipalidad.

*Comunicaciones:* Acceso a fibra óptica y servicios de Internet inalámbrica brindado por empresas locales.

*INTI:* En el parque se encuentra la sede del INTI Entre Ríos, brindando servicios analíticos, metrología y asistencia técnica a las empresas radicadas.

#### **4.2.1.3 Beneficios tributarios**

*Bonificaciones:* En el Convenio de Radicación se establece un mecanismo de bonificaciones en el valor del lote, en relación a los avances en la obra civil y puesta en marcha de la industria. Dicho esquema prevé una bonificación del 50% del valor del lote, si la empresa posee un avance en las obras de construcción del 80% en el término de 180 días desde la toma de posesión, pudiendo llegar al 75% en caso de que la empresa ponga en funcionamiento su proceso productivo en el término de 360 días.

#### **4.2.1.4 Valor del terreno**

*Costo de los lotes:* El costo de los lotes es el equivalente a 20.000 litros de nafta súper la Hectárea, dependiendo de la superficie requerida por el proyecto industrial. Deberá abonarse el 25% del valor del terreno a la firma del Convenio de Radicación, pudiendo bonificarse el saldo, en relación al cumplimiento de los requisitos establecidos en el Convenio.

*Expensas:* Las empresas radicadas abonan expensas mensuales equivalentes a 200 litros de nafta súper la hectárea o fracción, en los términos de la Ordenanza N.º 10656. Dichos ingresos son aplicados exclusivamente a tareas de mantenimiento y mejoras en el predio del Parque Industrial.

#### **4.2.1.5 Plano del parque industrial**



**PARQUE INDUSTRIAL  
DE CONCEPCIÓN DEL URUGUAY**

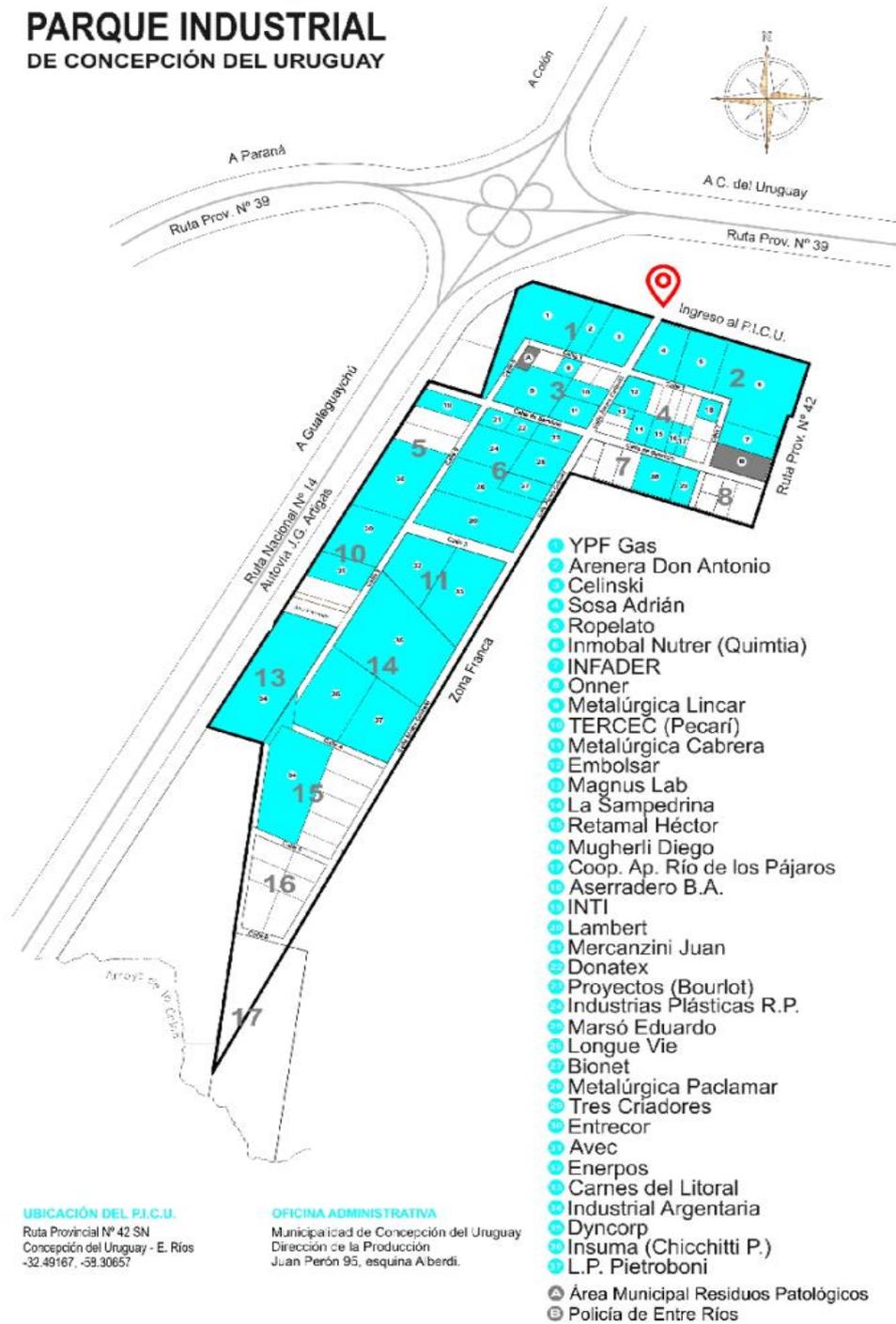


Figura 4-7: Plano Parque Industrial Concepción del Uruguay. Fuente: CoMPICU.

# CAPÍTULO 5

---

*Capacidad de producción*

## 5 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

---

### 5.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo, tiene como objetivo determinar la capacidad de la planta, uno de los puntos de mayor relevancia en el desarrollo del proyecto.

A partir del estudio de mercado y de la localización de la planta productora de ácido cítrico, se llega a la conclusión de que existe un mercado propicio y alta disponibilidad de materia prima, parámetros que constituyen base suficiente para establecer la capacidad de la planta.

Es de importancia calcular el tamaño óptimo del proyecto con el fin de saber la capacidad de producción que tendrá y así concluir en un análisis económico del mismo. El tamaño óptimo, es su capacidad instalada y se expresa en unidades de producción por año, considerándose tamaño óptimo, cuando se opera con los menores costos posibles o con la máxima rentabilidad económica. Adecuar la capacidad de la planta al comportamiento de la demanda, siendo este el factor condicionante más importante, exige prever la evolución de esta a corto y largo plazo. Por lo que, el tamaño debe ser tal que pueda satisfacer la demanda actual y futura, de otra manera, la organización perdería oportunidades de crecimiento y de adquirir beneficios.

### 5.2 FACTORES INFLUYENTES EN LA CAPACIDAD DE LA PLANTA

La determinación del tamaño de la planta responde a un análisis interrelacionado de una gran cantidad de variables de un proyecto: demanda, disponibilidad de insumos, tecnología disponible, localización y plan estratégico comercial de desarrollo futuro de la empresa que se crea con el proyecto, entre otras.

#### 5.2.1 Demanda

La cantidad de demanda proyectada a futuro es quizá el factor más condicionante e importante en el tamaño, aunque éste no necesariamente deberá definirse en función de un crecimiento esperado del mercado, ya que, el nivel óptimo de

operación no siempre será el que maximice las ventas. Aunque el tamaño puede ir adecuándose posteriormente a mayores requerimientos de operación para enfrentar un mercado creciente, es necesario que se evalúe esa opción contra la de definir un tamaño con una capacidad ociosa inicial que posibilite responder oportunamente a una demanda creciente en el tiempo. Existen tres situaciones básicas del tamaño que pueden identificarse respecto del mercado:

- Aquélla en la cual la cantidad demandada total sea claramente menor que la menor de las unidades productoras posibles de instalar;
- Aquélla en la cual la cantidad demandada sea igual a la capacidad mínima que se puede instalar, y;
- Aquélla en la cual la cantidad demandada sea superior a la mayor de las unidades productoras posibles de instalar.

Para determinar una de las tres situaciones, se define la función de demanda con la cual se enfrenta el proyecto en estudio y se analizan sus proyecciones futuras con el objetivo de que el tamaño no sólo responda a una situación coyuntural de corto plazo, sino que se optimice frente al dinamismo de la demanda.

### 5.2.2 Disponibilidad de insumos

La disponibilidad de insumos, tanto humanos como materiales y financieros, es otro factor que condiciona el tamaño del proyecto. Los insumos podrían no estar disponibles en la cantidad y calidad deseada, limitando la capacidad de uso del proyecto o aumentando los costos del abastecimiento, pudiendo incluso hacer recomendable el abandono de la idea que lo originó.

En este caso, es preciso analizar, además de los niveles de recursos existentes en el momento del estudio, aquellos que se esperan a futuro. Entre otros aspectos, será necesario analizar las reservas de recursos renovables y no renovables, la existencia de sustitutos e incluso la posibilidad de cambios en los precios reales de los insumos a futuro.

### 5.2.3 Localización

Cuanto más lejos esté de las fuentes de insumos, más alto será el costo de su abastecimiento, produciendo un impacto negativo en la economía de escala del

proyecto. En el caso contrario, la cercanía del establecimiento con respecto a los generadores de la materia prima y los consumidores del producto, permiten, minimizar los costos de transporte, favoreciendo las economías de escala, ya que, a mayor nivel de operación, menor costo unitario de los insumos. Esto refuerza la idea de una sola planta que abarque todo el tamaño.

#### **5.2.4 Tecnología disponible**

En ciertos casos, la tecnología seleccionada, logra una ampliación de la capacidad productiva, pero, en otras ocasiones, la tecnología impide el crecimiento paulatino de la capacidad, por lo que es recomendable que la capacidad inicial sea superior a la requerida en una primera etapa, si se prevé que en el futuro el comportamiento del mercado, disponibilidad de insumos u otra variable hará posible el uso de esa capacidad mayor.

### **5.3 SELECCIÓN DE LA CAPACIDAD**

La selección del tamaño de la planta se realiza en base a la proyección de la demanda insatisfecha y de su tasa estimada de crecimiento. El análisis de la demanda se realiza para la producción total de ácido cítrico.

### **5.4 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA**

En la Tabla 5-1 se muestra la corrección de demanda insatisfecha y en la Figura 5-1 se aprecia la tendencia y ecuación de ajuste para la demanda insatisfecha, con la información que estos brindan, se deducen los valores de esta, proyectados a diez años, tal como se realizó en la demanda insatisfecha.

Tabla 5-1: Corrección de la demanda insatisfecha.

Datos anuales	
Año	Demanda insatisfecha
2012	34492
2013	33042
2014	33761
2015	32902
2016	33173
2017	32967
2018	32760
2019	32311
2020	32311
2021	31862
2022	31420
2023	6681 (*)

(\*) Información Parcial.

Fuente: Elaboración propia.

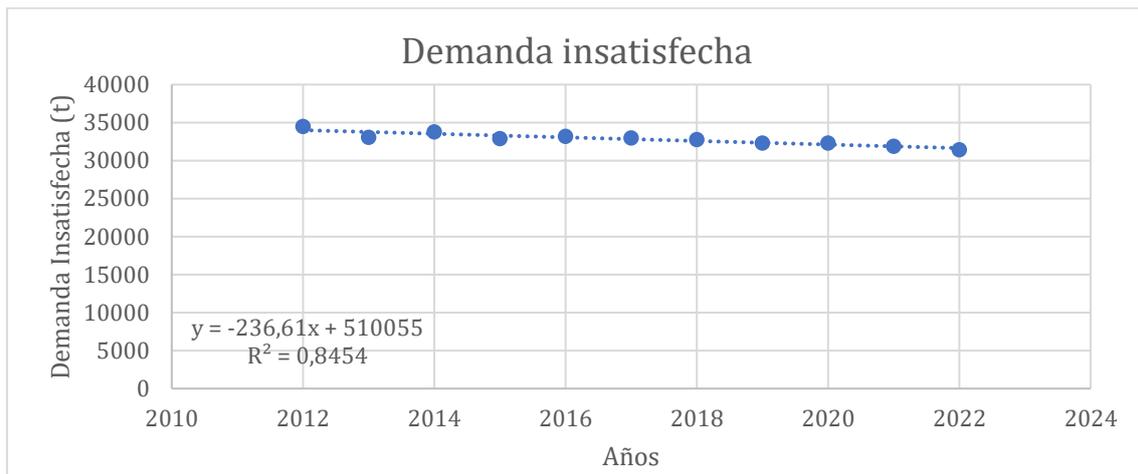


Figura 5-1: Corrección de demanda insatisfecha. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-2: Proyección de la demanda.

Año proyectado	Demanda insatisfecha (t)	Crecimiento (%)
2023	31392	100%
2024	31156	<-1%
2025	30919	<-1%
2026	30683	<-1%
2027	30446	<-1%
2028	30209	<-1%
2029	29973	<-1%
2030	29736	<-1%
2031	29500	<-1%
2032	29263	<-1%
2033	29026	<-1%
<b>Tasa de crecimiento esperada</b>		<b>&lt;-1%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 5.5 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD

El planteo de considerar el comportamiento futuro de la demanda como forma de optimización de decisión, no tanto en respuesta a una realidad coyuntural como a una situación dinámica en el tiempo.

El tamaño óptimo depende, entre otras cosas, de las economías de escala que estén presentes en un proyecto.

Para establecer la capacidad, se dispone de un método de aproximación, el cual examina diferentes factores que hacen variar el tamaño óptimo de la producción, como la demanda futura.

Al analizar las variables determinantes del tamaño del proyecto, se plantea la necesidad de considerar el comportamiento de la demanda futura como una forma de optimizar la decisión.

Si se estiman con cierta certeza la vida útil de los equipos por utilizar y el crecimiento de la demanda, el tamaño óptimo será aquel que permita mantener al mínimo los costos totales durante la vida útil estimada.

El desarrollo porcentual de la demanda ( $R$ ) es una función de la tasa de crecimiento estimada del mercado ( $r$ ), que se puede expresar de la siguiente forma:

$$R = (1 + r) \quad (5-1)$$

$R =$  Desarrollo porcentual de la demanda

La ecuación (5-2) se utiliza para determinar la capacidad óptima del proyecto, obteniéndose los datos representados en Tabla 5-3:

$$D_n = D_0 * (1 + r)^n \quad (5-2)$$

Donde:

$D_n =$  Capacidad óptima de proyección futura

$D_0 =$  Magnitud de la demanda actual

$n =$  Período óptimo

procedimiento considera solo la restricción del mercado, sin incorporar las demás limitaciones que imponen las otras variables limitantes, por lo que, en la decisión final deberán considerarse los demás factores.

Tabla 5-3: Comparación proyección de la demanda insatisfecha y capacidad óptima.

Año proyectado	Demanda insatisfecha (t)	$D_n(t)$
2022	31420	
2023	31393	30945
2024	31156	30710
2025	30920	30476
2026	30683	30245
2027	30447	30015
2028	30210	29787
2029	29973	29561
2030	29737	29337
2031	29500	29114
2032	29263	28893
2033	29027	28673

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-4: Variables para la ecuación (5-2).

<i>Variables</i>	
$D_0 (t)$	31420
$r$	-1%
$R$	0,99

Fuente: Elaboración propia

## 5.6 CONCLUSIÓN

En conclusión, en base a los datos proyectados obtenidos de la demanda insatisfecha, se determina que la capacidad para satisfacer un 100% de la demanda insatisfecha es de 32.000 toneladas. Pero, en caso se decide satisfacer un 20% aproximadamente de la demanda total, que constan en 7.000 toneladas de ácido cítrico por año. Si bien, se observa una tasa decreciente de la demanda, esta, se mantiene constante y se considera insignificante en comparación con la cantidad de demanda anual del ácido cítrico.

La información y ecuaciones utilizadas en el presente capítulo fueron extraídas de (Chain & Chain, 1991)

# CAPÍTULO 6

---

*Descripción y selección del  
proceso productivo*

## 6 DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

---

### 6.1 INTRODUCCIÓN

La producción de ácido cítrico de forma industrial se basa, en tres etapas productivas principales, que comprenden dentro de ellas múltiples etapas secundarias. Las tres etapas principales se pueden clasificar como:

- Tratamientos de la materia prima.
- Producción de ácido cítrico: Fermentación.
- Purificación del producto.

Finalmente, luego de estas etapas sucesivas, se obtiene ácido cítrico concentrado para su posterior comercialización.

### 6.2 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO

Las tecnologías involucradas en la elaboración de ácido cítrico han evolucionado desde hace más de 100 años, principalmente los procesos biotecnológicos, donde se utilizan microorganismos con la capacidad de sintetizar ácidos a partir de azúcares mediante su proceso metabólico.

Los métodos de obtención de este ácido se pueden agrupar en tres tipos de procesos según:

- *Procesos basados en la extracción a partir de frutas cítricas:* el ácido cítrico se encuentra como constituyente en las frutas (limón, naranja, uvas) y, es obtenido a partir de la operación conjunta de las siguientes etapas: acondicionamiento, extracción, fermentación, destilación y concentración.
- *Procesos basados en síntesis química:* estos procesos se subdividen en tres:
  - Partiendo de glicerol, con una posterior descomposición y conversión en ácido dicianoacético a partir de la di-cloroacetona por tratamiento con ácido cianhídrico y ácido hidroc্লórico, luego se somete a un tratamiento con cianuro de potasio y por hidrólisis se forma el ácido cítrico.
  - Partiendo de éster acetona di-carbónico, mediante la acción de los ácidos cianhídrico y clorhídrico.

- Por condensación del bromo-acetato de etilo con acetato oxalato dietílico en presencia de zinc o magnesio, el éster trietílico formado se saponifica para obtener el ácido cítrico libre.
- *Procesos basados en la fermentación:* el proceso utiliza la cepa del hongo *Aspergillus Niger* como microorganismo fermentador y como materia prima suelen usarse sustratos con alto contenido de azúcares. La preparación del ácido consiste, en términos generales, en una fermentación aeróbica del azúcar, seguido de un proceso de recuperación y purificación del producto.

Debido a las ventajas que ofrece el proceso basado en la fermentación, con respecto a los otros nombrados anteriormente, como: elevada disponibilidad y bajo costo de adquisición de la materia prima a utilizar, amplia utilización de este proceso a escala industrial por sus elevados rendimientos y la formación de subproductos o residuos no tóxicos que presentan valor agregado a la industria, se selecciona al mismo como el proceso productivo definitivo, posteriormente se describen y seleccionan las etapas correspondientes al tratamiento de la materia prima y aquellas etapas relacionadas con la producción y purificación del AC.

### 6.3 DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO

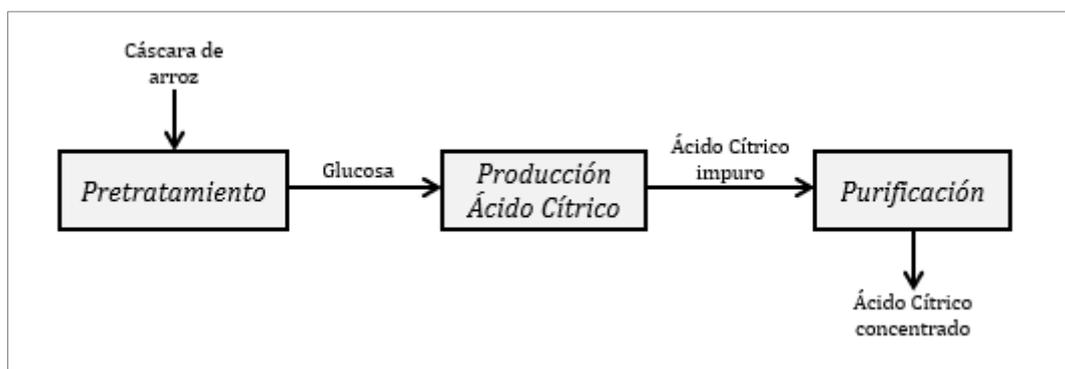


Figura 6-1: Diagrama de flujo simplificado. Fuente: Elaboración propia.

## 6.4 PRETRATAMIENTO DE LA CÁSCARA DE ARROZ

### 6.4.1 Justificación de selección de materia prima

Entre las diferentes opciones disponibles de residuos lignocelulósicos agrícolas, de los cuales se puede obtener la celulosa necesaria para el proceso productivo, se seleccionó la cascara de arroz, debido a la gran cantidad de producción de este cereal a nivel nacional y mundial, y la gran cantidad de residuos generados por el mismo, siendo la producción nacional en el año 2022 de 1.215.819 toneladas de arroz, del cual el 20% es cáscara, es decir 243.163,8 toneladas. Teniendo en cuenta que, en la composición de la cáscara de arroz, el 40% es celulosa, se tiene una cantidad anual de aproximadamente 97.265,52 toneladas de celulosa para el proceso de producción.

Una de las características de este residuo agrícola es que en su composición tiene un bajo porcentaje de lignina, en comparación con los demás, lo que genera que sea más factible su fermentación. Además, su poder calorífico es menor con respecto a otros residuos, convirtiéndose en una opción menos atractiva para la utilización en sistemas de cogeneración de energía y evitando la liberación de gases de efecto invernadero en la atmósfera disminuyendo el impacto ambiental.

#### 1.1.1. Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica

Muchos factores de la biomasa lignocelulósica como el contenido de lignina, la cristalinidad de la celulosa y el tamaño de las partículas, limitan la digestibilidad de la biomasa. Cada pretratamiento tiene sus propios efectos sobre la celulosa, hemicelulosa y lignina, los tres componentes principales de la biomasa lignocelulósica. Se concluye que el pretratamiento con vapor, el pretratamiento con cal, los pretratamientos con agua caliente líquida y los pretratamientos a base de amoníaco son de alto potencial. Los principales efectos son la disolución de la hemicelulosa y la alteración de la estructura de la lignina, proporcionando una mejor accesibilidad de la celulosa para las enzimas hidrolíticas.

El aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica para la generación de productos de valor agregado a partir de sus fracciones constituyentes, requieren en primera instancia la eliminación de las barreras que dificultan el acceso de catalizadores químicos o biológicos que contribuyen a su transformación, disminuyendo la

recalcitrante, con el fin de obtener una mayor velocidad de reacción y mejores rendimientos. Además, es deseable que los carbohidratos no se degraden o que se formen otros productos que puedan inhibir la acción de las enzimas o microorganismos fermentadores.

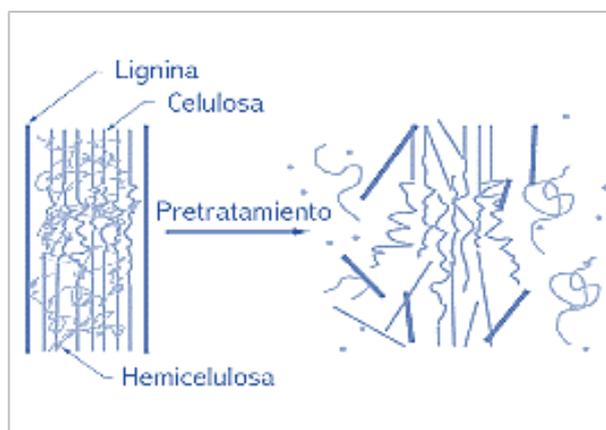


Figura 6-2: Efectos del pretratamiento del material lignocelulósico.

#### **1.1.1.1. Pretratamientos físicos**

El pretratamiento físico aumentará el área superficial y el tamaño de los poros, consecuentemente, disminuirá la cristalinidad y grados de polimerización de la celulosa. Este tipo de tratamientos es generalmente utilizado para degradar los residuos lignocelulósicos.

#### **Fragmentación mecánica o molienda**

Dentro de esta caracterización se encuentra la molienda de bolas en seco, en húmedo, como así también, la molienda por compresión.

El objetivo del pretratamiento mecánico es una reducción del tamaño de la partícula y de la cristalinidad, lo que conduce a un aumento de la superficie específica disponible y a una reducción del grado de polimerización. El aumento del área superficial, del grado de polimerización y el cizallamiento son factores que aumentan el rendimiento de hidrólisis entre un 5% y un 25%, además, reduce el tiempo de digestión entre un 23% y un 59%.

### Radiación de alta energía

Este tipo de irradiación rompe los enlaces  $\beta$ -glucosídicos y los enlaces entre la celulosa y la lignina. Sin embargo, este tipo de pretratamiento es de difícil aplicación debido a la baja densidad del material a tratar y las altas dosis requerida, que obligan al diseño de instalaciones muy complejas y de alto costo (Ferrero & Galli, 2013).

#### **1.1.1.2. Pretratamientos químicos**

En estos pretratamientos se altera la estructura de la biomasa con solventes que promueven la degradación de la celulosa, la hemicelulosa y la lignina.

### Ozonolisis

El proceso se genera con ozono y la reacción ocurre a temperatura y presión atmosféricas, se presenta la degradación principalmente de lignina. Esta técnica, se cree, no genera inhibidores. El inconveniente principal, es que se requiere gran cantidad de ozono, en consecuencia, es un proceso costoso.

### Pretratamiento ácido

Este pretratamiento con ácidos se realiza para mejorar la digestibilidad anaeróbica. El objetivo es solubilizar la hemicelulosa, y con ello, hacer que la celulosa sea más accesible.

Se puede realizar con ácidos diluidos o fuertes. La principal reacción que ocurre durante el mismo es la hidrólisis de la hemicelulosa, especialmente el xilano. Las hemicelulosas solubilizadas pueden someterse a reacciones hidrolíticas produciendo monómeros como el furfural, 5-hidroximetilfurfural (HMF) y otros productos volátiles en ambientes ácidos. Durante el tratamiento la lignina solubilizada se condensará y precipitará rápidamente en ambientes ácidos.

Los ácidos más utilizados son el ácido sulfúrico y el clorhídrico. Sin embargo, tiene muchas desventajas como la corrosión de equipos, la necesidad de recuperación o neutralización del ácido, lo cual puede lograrse con la adición de bases. Este procedimiento cuando el ácido es concentrado requiere bajas temperaturas, pero largos períodos de reacción; mientras que si el ácido está diluido se requieren mayores temperaturas y períodos de segundos a minutos, las altas temperaturas

conducen a la rápida degradación de azúcares que favorece la formación de compuestos inhibitorios.

#### Pretratamiento alcalino

Los pretratamientos alcalinos utilizan bajas presiones y temperaturas en comparación con otras tecnologías. Este pretratamiento se puede hacer a condiciones ambientales pero los tiempos de operación son del orden de horas o días en vez de segundos o minutos como los ácidos diluidos.

Los reactivos utilizados han sido, además de cal (hidróxido de calcio), hidróxido de sodio, potasio y amoníaco. A diferencia de los pretratamientos que son catalizados con ácidos, los compuestos alcalinos son utilizados como reactivos, los cuales son convertidos en sales o incorporados como sales en la biomasa.

Durante este pretratamiento, las primeras reacciones que tienen lugar son la solvatación y saponificación. Esto provoca un estado hinchado de la biomasa y la hace más accesible para enzimas y bacterias. A concentraciones de álcali fuertes puede tener lugar la disolución, el desprendimiento de los grupos terminales, la hidrólisis alcalina y la degradación y descomposición de los polisacáridos disueltos. Dentro de aspectos importantes de este tratamiento con álcali se encuentra que, la propia biomasa consume parte de este; la cal funciona notablemente mejor que el hidróxido de sodio; puede causarse la solubilización, redistribución y condensación de la lignina y modificaciones en el estado cristalino de la celulosa. Estos efectos pueden reducir o contrarrestar los efectos positivos de la remoción de lignina y el hinchamiento de la celulosa.

#### Proceso Organosolvente

Se utiliza una mezcla de solventes orgánicos como metanol, etanol, acetona, etilenglicol y trietilenglicol, entre otros, con un 1% (v/v) de ácido inorgánico (ácido sulfúrico o ácido clorhídrico) como catalizador, es usado para romper los enlaces internos de lignina y hemicelulosa, solubilizándolas casi totalmente.

#### **6.4.1.1 Pretratamientos físicos-químicos**

Se caracterizan por una combinación entre la acción hidrolítica de radicales ácidos con procesos de descompresión instantánea, que provocan la rotura de la estructura del material lignocelulósico.

##### Proceso de explosión a vapor o Steam Explosion (ES)

Durante el pretratamiento con vapor, la biomasa se expone a altas temperaturas y presión durante unos minutos. Después de un tiempo determinado se libera el vapor y la biomasa se enfría rápidamente. El objetivo de este tratamiento es solubilizar la hemicelulosa para hacer que la celulosa sea más fácilmente accesible para la hidrólisis enzimática posterior y evitar la formación de inhibidores.

Durante este pretratamiento, partes de la hemicelulosa se hidrolizan y forman ácidos, que podrían catalizar la hidrólisis adicional de la hemicelulosa. Este proceso, en el que los ácidos formados in situ catalizan el propio proceso, se denomina pretratamiento con vapor de “*auto escisión*”. Sin embargo, el papel de los ácidos probablemente no sea catalizar la solubilización de la hemicelulosa, sino catalizar la hidrólisis de los oligómeros de la hemicelulosa solubles.

##### Procesos AFEX (Ammonia Fiber Explosion)

El pretratamiento con amoníaco produce tasas de hidrólisis óptimas para los residuos lignocelulósicos pretratados; los residuos herbáceos y agrícolas son muy adecuados para este tipo de pretratamientos, sin embargo, este método funciona solo moderadamente bien en maderas duras y no es atractivo para maderas blandas.

Este método, reduce el contenido de lignina y elimina algo de hemicelulosa mientras des cristaliza la celulosa. El amoníaco líquido provoca el hinchamiento de la celulosa y un cambio de fase en la estructura cristalina de la celulosa, se cree que la amonólisis de los enlaces cruzados glucurónidos hace que el carbohidrato sea más accesible.

##### Explosión con Dióxido de Carbono

Es un tratamiento similar al de explosión de vapor y explosión de fibra de amoníaco. Se utiliza esta metodología con CO<sub>2</sub> supercrítico porque requiere de menor

temperatura y un gasto menor que con la explosión de amoníaco. Pero, esta temperatura más baja impide que se produzca la descomposición de monosacáridos.

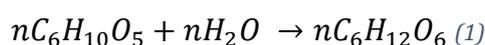
#### **6.4.1.2 Pretratamientos biológicos**

Este tratamiento se presenta por medio de hongos de la pudrición blanca y blanda que degradan celulosa y lignina y pudrición parda que degradan celulosa. Dichos hongos producen celulasas, hemicelulasas, enzimas que degradan la lignina (ligninasas, lignin-peroxidasas, polifenoloxidasas, lacasas) y enzimas reductoras de quinonas. Es así como este tipo de pretratamiento evita la formación parcial o total de compuestos tóxicos e inhibidores, de la misma manera se reducen significativamente los costos de operación, dado que se prescinde de maquinaria, altas temperaturas y compuestos químicos nocivos.

#### **6.4.2 Etapa de Hidrólisis**

La hidrólisis consiste en descomponer los carbohidratos complejos en azúcares simples que se utilizarán como sustratos para la fermentación posterior.

En la etapa de pretratamiento, se logra una mejor accesibilidad de la celulosa (polisacárido) y dado que esta no puede ser fermentada de manera directa, se convierte en glucosa (monosacárido), es decir, la celulosa se hidroliza en D- glucosa como se indica en la ecuación  $nC_6H_{10}O_5 + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6$  (1).



Esta reacción puede catalizarse con ácido diluido, ácido concentrado o enzimas (celulasa), a continuación, se detallarán los tipos de hidrólisis ácida y enzimática con ventajas y desventajas (Ferrero & Galli, 2013).

##### **6.4.2.1 Hidrolisis ácida**

La hidrólisis ácida de materiales vegetales comprende los procesos en los cuales se adiciona ácido al inicio del proceso (hidrólisis ácida) y los procesos con generación de ácido durante el mismo (hidrotérmicos o autohidrolíticos). Estos procedimientos presentan el mismo principio químico y se diferencian en parámetros de operación, como en temperatura y concentración. En esta oportunidad se hace énfasis en el primer caso.

La hidrólisis ácida, se diferencia en procesos con ácido concentrado y procesos con ácido diluidos. En la primera alternativa se destaca que opera con baja temperatura y se obtiene un alto rendimiento de azúcares, sin embargo, el consumo de ácido es elevado, lo equipos deben estar diseñados con material anticorrosivo y los tiempos de reacción son largos, puntos que impactan de manera negativa en el costo del proceso. En la segunda alternativa, se tiene un bajo consumo de ácido y un menor tiempo de residencia, pero, se opera con temperaturas elevadas, se tiene un bajo rendimiento, sigue siendo necesario el uso de equipamiento anticorrosivo y se le adiciona la formación de productos no deseados.

Se puede realizar utilizando diferentes tipos de ácidos como el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, entre otros. El ácido interrumpe el enlace hidrógeno entre las cadenas de celulosa, convirtiéndolo en un estado completamente amorfo, la celulosa sufre una descristalización y forma una gelatina homogénea con el ácido, en este punto, la celulosa se vuelve totalmente vulnerable a la hidrólisis. Por lo tanto, la dilución con agua a temperatura moderada proporciona una hidrólisis rápida y completa a glucosa.

En este tipo de proceso las variables más influyentes son:

- Temperatura: normalmente se emplea un intervalo entre 100°C y 70°C. Una mayor temperatura y tiempo favorece la solubilización de la hemicelulosa y celulosa y existe una degradación de sus azúcares constituyentes.
- Concentración y tipo de ácido: el más utilizado es el ácido sulfúrico con una concentración que va entre 0,05 y 20% p/p.
- Concentración de sólidos: se define mediante la relación líquido/sólido, que considera la cantidad de agua que se añade por unidad de masa de sólido y comúnmente se utiliza un valor de 10 gramos de agua por gramo de material sólido. Un valor elevado esta relación puede beneficiar la solubilización de polisacáridos, pero, puede llegar a ser muy costoso por los consumos energéticos, mientras que, valores bajos son más favorables económicamente, pero, pueden tener problemas de limitaciones difusionales y de transporte de los productos de reacción.

- Tiempo de reacción: Teniendo en cuenta otros parámetros como la temperatura y la concentración, el tiempo de reacción puede variar entre segundos a horas.

#### **6.4.2.2 Hidrólisis enzimática**

La hidrólisis enzimática es una de las estrategias para la producción de jarabes fermentables a partir de polisacáridos complejos como la celulosa y el almidón. Se lleva a cabo mediante enzimas celulasas que actúan de forma muy específica, los productos de la hidrólisis suelen ser azúcares reductores, incluida la glucosa.

De este tipo hidrólisis se espera:

- Digestibilidad de la celulosa cercana al 90% para un tiempo máximo de hidrólisis de 3 días.
- Baja concentración de enzima.
- Baja degradación de azúcares.
- Baja concentración de compuestos tóxicos, asociados a la degradación de la hemicelulosa y otros compuestos que están presentes en la biomasa.
- Concentración de azúcares elevada.
- Bajo consumo de calor y de potencia.
- Condiciones suaves de pH (4.8) y temperatura (45-50°C).
- Inexistentes problemas de corrosión.

Varios autores han presentado algunas teorías que explican la degradación de la celulosa, la cual involucra los tres componentes enzimáticos de la celulasa, el sinergismo entre estos donde las endoglucanasas atacan las regiones amorfas de las fibras de celulosa, creando así sitios para las exoglucanasas que se dirigirían hacia las regiones cristalinas de la fibra. Las  $\beta$ -glucosidasas ejecutarían el último paso de la hidrólisis e impedirían la acumulación de celobiosa, la que inhibiría a las exoglucanasas.

Otros autores sugieren la degradación de celulosa según los siguientes pasos:

- a) Adsorción y formación del complejo enzima sustrato,
- b) Formación del producto y,

- c) Desorción y re-adsorción de la enzima o movimiento de la enzima a lo largo de la molécula de celulosa.

Los retos por resolver en la hidrólisis enzimática de materiales lignocelulósicos son:

- Pérdida de la enzima debido a la desactivación mecánica, inhibición por producto y enlaces no productivos en sitios de la celulosa que no son activos.
- Cambio de la estructura de la celulosa e incremento de la cristalinidad y superficie expuesta que no es digerible por la enzima.
- Disminución de la accesibilidad de la enzima debido a los cambios estructurales de sustrato e incremento de la difusividad interna como consecuencia de la degradación de la celulosa superficial.

De los factores que afectan a la hidrólisis enzimática se destacan los siguientes:

- Reducción del desempeño de la enzima. Es reducida por la interacción con la lignina proporcionando una barrera a las enzimas para tener acceso al polisacárido.
- Generación de compuestos de degradación como consecuencia de sustancias utilizadas en los pretratamientos. Dependiendo de la concentración utilizada y las condiciones de este, las concentraciones de los compuestos de degradación pueden ser potencialmente inhibitorios.
- En el caso de reacciones heterogéneas, la adsorción de las enzimas sobre la superficie del material afecta directamente al rendimiento de la reacción y se necesita la adición de surfactantes que mejoren la condición.
- Modificación del pH y la temperatura. Un aumento en el nivel térmico se traduce en un aumento de la energía vibracional, que puede provocar la ruptura de los puentes hidrógeno y la destrucción de interacciones apolares. Modificaciones en la fuerza iónica de las enzimas puede provocar desestabilización de la estructura de la enzima.

#### 6.4.2.2.1 Rendimiento de la hidrólisis enzimática

Los rendimientos en esta hidrólisis dependen del pretratamiento utilizado con anterioridad. Los métodos alcalinos y ácidos presentan rendimientos inferiores al 85% luego de hidrolizar con enzimas, contrario a los pretratamientos donde

se usa únicamente agua en sus formas de explosión a vapor y agua líquida caliente, donde los rendimientos superan el 90%.

#### 6.4.2.2 Mecanismo de acción enzimática sobre la celulosa

Las celulasas son glicosil hidrolasas o glicohidrolasas producidas por hongos y bacterias y son responsables de la degradación de la celulosa. Estas enzimas hidrolizan los enlaces  $\beta$ -1,4 o uniones glicosídicas entre dos o más carbohidratos o entre un carbohidrato y un resto no carbohidrato. De las 125 familias de glicosil hidrolasas, 15 corresponden a celulasas. El mecanismo generalmente aceptado para la hidrolisis enzimática de la celulosa implica la acción sinérgica de tres tipos de enzimas principales: endoglucanasas, celobiohidrolasas y  $\beta$ -glucosidasas.

En primer lugar las endoglucanasas hidrolizan las uniones internas en posiciones aleatorias de las regiones menos ordenadas o amorfas de la celulosa, generando extremos en las cadenas de los polímeros que permiten la acción progresiva de las celobiohidrolasas. Estas liberan principalmente dímeros de glucosa (celobiosa) desde ambos extremos de las cadenas de celulosa, y finalmente, las  $\beta$ -glucosidasas se encargan de hidrolizar esta celobiosa hasta monómeros de glucosa.

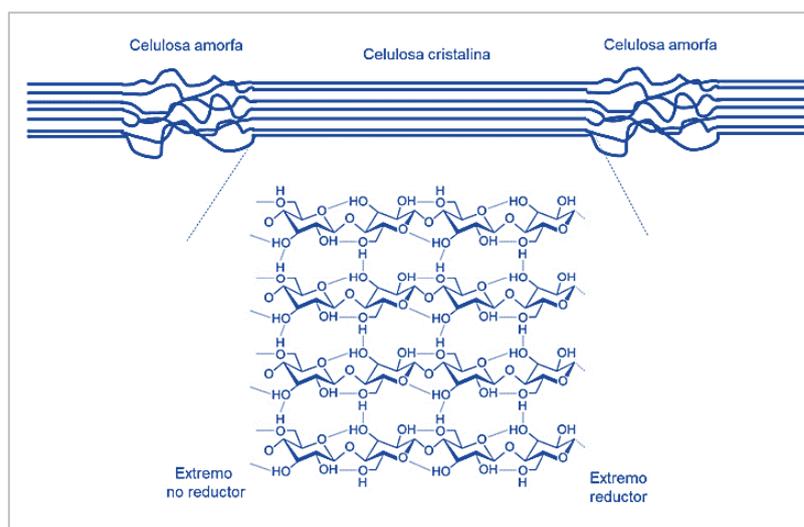


Figura 6-3: Estructura de la celulosa cristalina y amorfa.

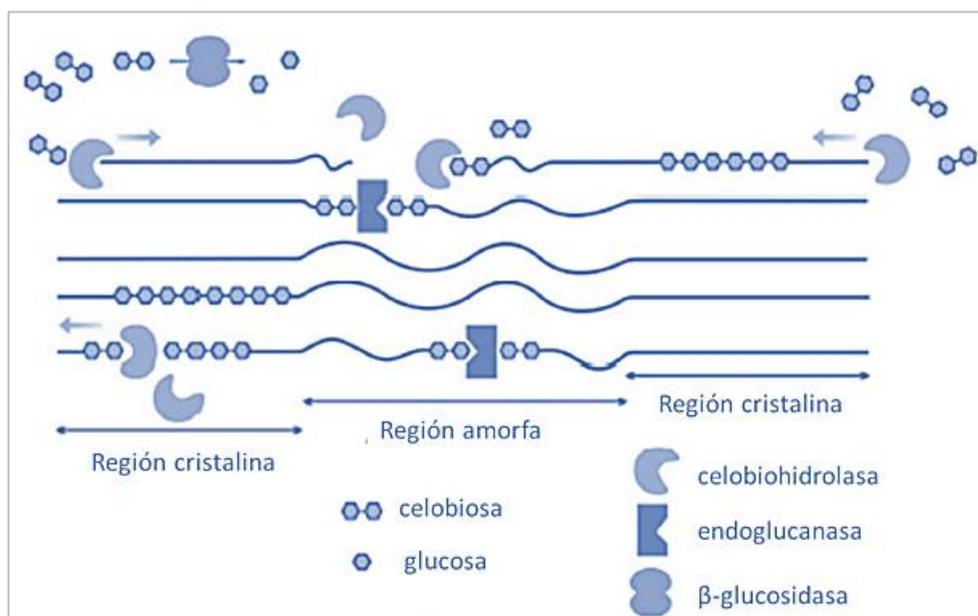


Figura 6-4: Representación esquemática de la acción enzimática de las celulasas sobre la celulosa.

#### 6.4.2.2.3 Endoglucanasas

Las endoglucanasas (EG) son las primeras celulasas en actuar en la descomposición de la celulosa. Para ello hidrolizan los enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4 de manera aleatoria en posiciones internas de regiones con baja cristalinidad (regiones amorfas) de las fibras de celulosa Figura 6. La acción de estas enzimas genera oligosacáridos de diferentes longitudes por inserción de una molécula de agua en las uniones  $\beta$ -1,4, generando extremos reductores y no reductores en las cadenas de polímeros que son susceptibles a la posterior acción de las celobiohidrolasas.

Las endoglucanasas son enzimas monoméricas con un peso molecular que oscila entre 22 y 45 kDa. Se ha demostrado que muchos de los hongos productores de celulasas tienen múltiples endoglucanasas en su complejo enzimático.

#### 6.4.2.2.4 Celobiohidrolasas

Las celobiohidrolasas (CBH) o exoglucanasas, catalizan la sucesiva hidrólisis de residuos cortando de forma progresiva los enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4 desde el extremo reductor o no reductor de la celulosa. Se ha demostrado que las CBH crean un túnel de unión a sustrato que rodea la celulosa. Como principal producto

se liberan moléculas de celobiosa (dímeros de glucosa), aunque también se liberan oligómeros mayores. Representan del 40% al 70% del componente total del sistema celulasa, y son capaces de hidrolizar la celulosa cristalina. Tanto las endoglucanasas como las celobiohidrolasas pueden ser inhibidas por el producto celobiosa y otros oligómeros superiores.

#### 6.4.2.2.5 $\beta$ -glucosidasas

Las  $\beta$ -glucosidasas (BGL) son el tercer componente principal de los sistemas de celulasas siendo las últimas participantes en la degradación de celulosa. Su función es doble: hidrolizan enlaces  $\beta$ -1,4-glucosídicos de celodextrinas solubles (celobiosa) hasta monosacáridos fermentables, como glucosa, mientras que al mismo tiempo eliminan los productos intermedios que actúan como inhibidores para EG y CBH. Estas enzimas pueden ser inhibidas competitivamente por su producto final, la glucosa.

Además de la sensibilidad a glucosa, a menudo se observa la inhibición de la actividad hidrolasa a ciertas concentraciones de celobiosa. La inhibición de la actividad hidrolítica de BGL por producto y sustrato limita la eficiencia del proceso de bioconversión debido a que la sacarificación de la biomasa por las enzimas EG y CBH es dependiente de la hidrólisis de celodextrinas solubles a glucosa.

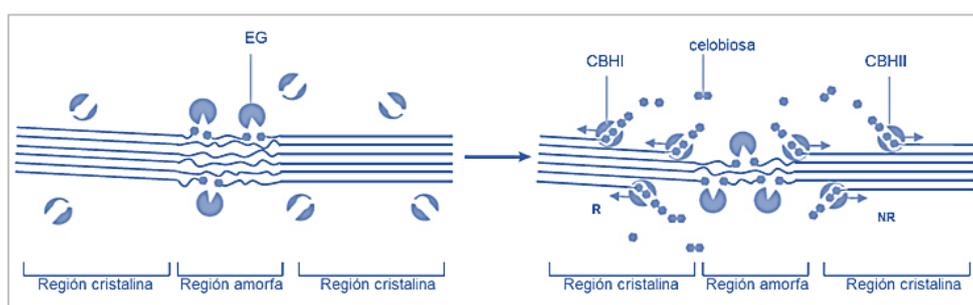


Figura 6-5: Representación esquemática de la degradación de celulosa cristalina por el sistema de celulasas. Celobiohidrolasas I (CBHI), Celobiohidrolasas II (CBHII), endoglucanasas (EG). Extremo reductor (R), extremo no reductor (NR).

#### 6.4.2.2.6 Organismos degradadores de celulosa

El material celulósico es particularmente atractivo como fuente de carbono y energía debido a su gran abundancia y bajo coste. Sin embargo, debido a su carácter

recalcitrante sólo ciertos organismos especializados en la degradación de las paredes celulares de plantas pueden hidrolizar la celulosa. Entre ellos, se incluyen bacterias, levaduras y hongos. Estos microorganismos que degradan celulosa son conocidos como microorganismos celulolíticos y pueden ser aerobios o anaerobios, así como mesófilos o termófilos. Se ha descrito que los microorganismos termófilos son de particular interés debido a su facilidad para producir celulasas termoestables a pH muy ácido o alcalino, por tanto, tienen capacidades hidrolíticas más adaptables.

En la industria, muchas de las enzimas industriales que se utilizan son enzimas fúngicas. En su hábitat natural, los hongos filamentosos secretan enzimas como celulasas, hemicelulasas, amilasas, quitinasas, proteasas, estererasas y lipasas para la degradación extracelular de grandes biopolímeros en oligómeros y monómeros que tomarán como nutrientes.

Dentro de los hongos estudiados por su habilidad de secretar complejos de celulasas extracelulares se encuentran los de la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Lista de hongos productores de celulasas.

<i>Género</i>	<i>Especie</i>
Aspergillus	- A. Niger - A. fumigatus - A. terreus - A. nidulans - A. oryzae
Fusarium	- F. oxysporum - F. solani
Humicola	- H. griesa - H. insolens
Thermoascus	- T. aurantiacus
Chaetomium	- C. thermophilum
Melanocarpus	- M. albomyces
Paecilomyces	- P. fuisporus
Pahanerochaete	- P. chrysosporium
Penicillium	- P. brasilianum - P. occitanis - P. decumbens - P. janthinellum - P. funiculosum

	- <i>P. pinophilum</i>
Trichoderma	- <i>T. reesei</i> - <i>T. longibrachiatum</i> - <i>T. harzianum</i> - <i>T. viride</i>

## 6.5 PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO

El ácido cítrico (AC) es obtenido de diferentes formas, por vía sintética o por fermentación. La vía fermentativa, se realiza a partir de la degradación de diversas materias primas por la acción de microorganismos. Se utiliza ampliamente de forma industrial gracias a sus rendimientos altos a grandes escalas.

El *Aspergillus niger* es el microorganismo que más se utiliza para esta producción, debido a la facilidad con la que se maneja y su habilidad para fermentar diversas materias primas económicas con rendimientos elevados, sin generar cambios en el medio, como alteración de la viscosidad, favoreciéndose así, la aireación y agitación.

Dentro de los principales sustratos utilizados se encuentran el almidón y la sacarosa. Aunque, en la actualidad se utilizan también otro tipo de sustratos como residuos agroindustriales. Para los residuos que se encuentran sólidos, la fermentación en estas condiciones no genera resultados económicos positivos a gran escala, por lo que la tecnología más utilizada es la fermentación sumergida, ya que, el contacto entre el gas y el microorganismo disueltos en solución acuosa de sustrato se ve realmente favorecida.

### 6.5.1 Quimismo de la fermentación cítrica

La fermentación es un proceso que llevan a cabo ciertos organismos unicelulares como parte de su metabolismo, suele ocurrir a partir de glúcidos o hidratos de carbono que puede presentarse en forma de glucosa, sacarosa, maltosa y fructuosa, entre otros. Este proceso cuenta con rutas bioquímicas de degradación de los componentes y es de gran importancia conocer sobre estas, no solo para determinar cuáles pueden ser los productos que se obtendrán en la fermentación, sino por la posibilidad de manipular el proceso para producir otro tipo de sustancias, de hecho, existen varias vías o secuencias bioquímicas de utilización y conversión de azúcares, sin embargo, la Glucólisis o vía Embden Meyerhof Parnas y el ciclo de Ácido

Tricarboxílico o Ciclo de Krebs son las de mayor relevancias desde el punto de vista industrial.

### 6.5.2 Glicólisis: la ruta de Embden-Meyerhof

La glucólisis representa la ruta principal del metabolismo de la molécula de glucosa. Es un proceso anaeróbico y se divide en dos etapas:

En la etapa uno, la glucosa se fosforila, es decir, incorpora el fósforo a expensas de una molécula de trifosfato de adenosina (ATP); luego se rompe la forma gliceraldehido 3-fosfato. Durante la segunda etapa, el gliceraldehido 3-fosfato es convertido en piruvato por oxidación, siendo el agente oxidante el dinucleótido de nicotinamida y adenina (NAD).

El piruvato es el compuesto final de esta ruta, se puede decir que, por cada molécula de glucosa se forman dos moléculas de piruvato y se consideran como las moléculas clave para muchos tipos de fermentación, a partir de esta se forma gran cantidad de compuestos de acuerdo con el microorganismo que se utilice y de las condiciones ambientales en las que se lleve a cabo el proceso.

Luego de la obtención del piruvato, si las condiciones posteriores son aeróbicas, la ruta bioquímica se desvía hacia el ciclo de Krebs.

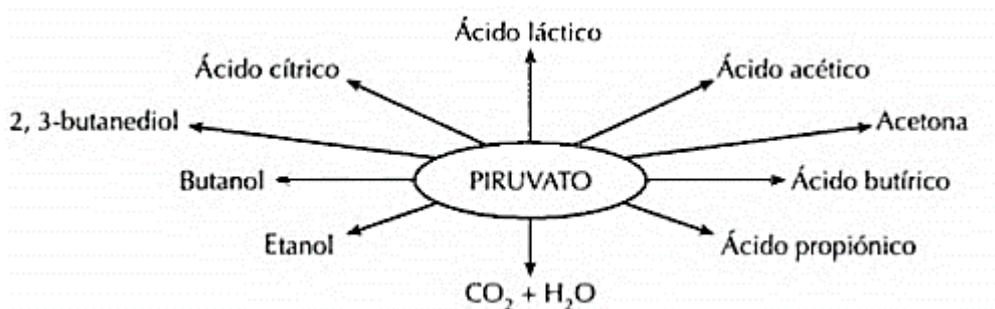


Figura 6-5: Algunos productos que se pueden formar a partir del piruvato

### 6.5.3 Aspergillus Níger

El *Aspergillus niger* es un hongo filamentoso, el nombre que adopta hace referencia al color que tienen sus esporas, negro. Este hongo se clasifica dentro de la familia *Trichocomaceae*, orden *Eurotiales*, clase *Eurotiomycetes*, filum *Ascomycota*.

Es miembro del género *Aspergillus*, como se muestra en la Tabla 6-1, que incluye un conjunto de hongos que suelen ser considerados asexuales, aunque se han encontrado algunos que se reproducen de forma sexual. Este género involucra a una gran cantidad de especies de la naturaleza. Se distribuyen de forma amplia y se observaron una gran gama de hábitats. Comúnmente, *A. niger* se encuentra en forma de saprófito que crece en las hojas muertas, granos almacenados, pilas de composta y vegetación en estado de descomposición.

<i>Taxonomía</i>	
Dominio	Eukaryota
Reino	Fungi
División	Ascomycota
Clase	Eurotiomycetes
Orden	Eurotiales
Familia	Trichocomaceae
Género	<i>Aspergillus</i>
Especie	<i>Aspergillus niger</i>

Figura 6-6: *Taxonomía de Aspergillus niger*

### 6.5.3.1 *Características generales*

*Aspergillus niger* presenta ventajas sobre otros microorganismos por su facilidad de manejo y de siempre, su capacidad para fermentar una gran variedad de materias primas, preferiblemente residuos agrícolas, y altos rendimientos del producto, siendo esta, una cepa económicamente eficiente.

Son microorganismos adecuados para crecer en diversos sustratos. La regulación de diferentes enzimas metabólicas, junto con el efecto de varios factores positivos sobre el flujo glucolítico, favorece una alta formación de ácido cítrico y una degradación baja a través del ciclo (Martínez López, 2017).

### 6.5.3.2 *Morfología*

Es un hongo ubicuo que se desarrolla muy rápida. Las cepas se pueden aislar de diferentes hábitats, como el suelo, vegetales, frutas podridas, incluso en interiores.

Macroscópicamente, el hongo forma colonias de fieltro de color amarillo e hifas blancas, tornándose negro con la formación de conidios.

Microscópicamente, por sus hifas hialinas septadas y conidióforos asexuales son identificados por ser largos, lisos, incoloros o de color café, con fiálides biseriadas y conidios redondos en la punta. La cabeza conidial, su color, forma, tamaño y organización de las partes son característicos de cada especie. La pigmentación, es una característica inherente de cada especie y puede reflejar la capacidad de absorción de algún pigmento de una fuente externa (Martínez López, 2017).

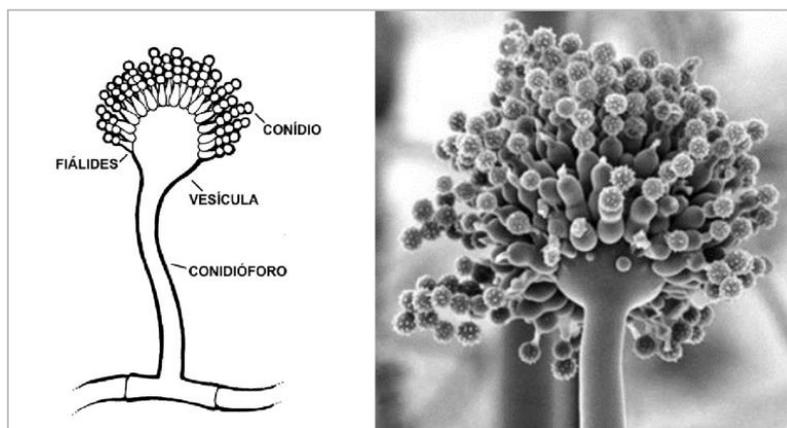


Figura 6-7: Morfología de *Aspergillus niger*.

### 6.5.3.3 Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales influyen en los procesos biológicos potenciando o controlando las actividades microbianas. La temperatura y el pH son los principales factores ambientales que intervienen en el crecimiento celular.

#### 6.5.3.3.1 Temperatura

Los microorganismos (mo) pueden crecer en un rango de temperaturas específico como se puede apreciar en la Tabla 6-2, en general, aquellos dedicados a degradar sustancias orgánicas son del tipo mesófilo, los cuales tienen una temperatura óptima de 30°C, dado que a mayores calores la estabilidad de las enzimas se ve afectada por su desnaturalización y la integridad de su membrana plasmática pierde funcionalidad y estabilidad. A menores temperaturas las enzimas pierden flexibilidad y la membrana plasmática reduce su capacidad de transporte activo.

El efecto de la temperatura es de vital importancia porque debe tomarse en cuenta que la temperatura óptima de crecimiento para la cepa, en este caso de *A. niger*, el cual maneja un rango de temperaturas que va desde los 20°C a los 35°C, considerado dentro de los mesófilos (Martínez López, 2017).

Tabla 6-2: Temperatura óptima de crecimiento de las cepas.

<i>Clasificación</i>	<i>Rango de temperatura (°C)</i>	<i>Temperatura óptima(°C)</i>
Hipertermófilos	<70	-
Termófilos	28-80	50-60
Mesófilos	10-45	20-40
Psicrófilos	(-5) - (-30)	10-20

Fuente: Martínez López, 2017.

### 6.5.3.3.2 pH

Los hongos prefieren ambientes ácidos, que van de 1,0 a 3,0 unidades de pH, comportándose como acidófilos. El nivel de pH puede afectar actividades celulares tales como, el transporte activo de la membrana plasmática y el equilibrio de las reacciones catalizadas por enzimas.

El efecto del pH es de suma importancia al llevarse a cabo un proceso fermentativo, debido a que, la mayoría de los mo crecen en pH cercanos a la neutralidad, aunque algunos son capaces de crecer en medios ácidos. Dependiendo del rango de pH del medio en donde se desarrollen los mo, se clasifican de acuerdo con la Tabla 6-3.

Tabla 6-3: Clasificación de los microorganismos según su pH.

<i>Clasificación</i>	<i>pH externo</i>	<i>pH interno</i>
Acidófilos	1,0-5,0	6,5
Neutrófilos	5,5-8,5	7,5
Alcalófilos	9,0-10	9,5

Fuente: Martínez López, 2017.

El pH es importante primero, porque las esporas requieren un pH relativamente alto para germinar (3,0-5,0), y segundo, porque mantener un pH bajo favorece el proceso de la fermentación. El pH óptimo para la misma se encuentra entre (1,7-2,0), valor que favorece la producción de AC y que permite controlar las poblaciones contaminantes y la producción de otros metabolitos como el ácido oxálico y glucónico que tienden a acumularse a pH superiores (Martínez López, 2017).

#### 6.5.4 Ciclo de Krebs o del ácido cítrico

Como se vio anteriormente, en la glucólisis, la glucosa se transforma en dos moléculas de piruvato.

El piruvato está formado por tres átomos de carbono y es descarboxilado en primer lugar, produciendo una molécula de nicotinamida adenina dinucleótida (NADH) y una de acetil-coenzima A (Acetil-Coa). El grupo acetilo de acetil-Coa se combina con el compuesto intermedio de cuatro carbonos, el oxalacetato, para formar citrato y comenzar la etapa de seis carbonos. A continuación, ocurren reacciones de deshidratación, descarboxilación y oxidación, obteniendo dos moléculas de CO<sub>2</sub>. El ciclo, entra en este momento en la etapa de cuatro carbonos, donde ocurre una oxidación que produce un flavín adenín dinucleótido (FADH<sub>2</sub>) y un NADH por cada molécula de acetil-Coa. Por último, se vuelve a formar oxalacetato que queda listo para unirse a otra molécula de acetil-Coa.

El ciclo de Krebs presenta variantes y una de ellas es ofrecida por las cepas de *Aspergillus*, buenas productoras de AC. De hecho, en condiciones de laboratorio se ha logrado obtener rendimientos superiores al 90% de azúcar consumida, pero, esto no es posible, ya que, cada mol de ácido cítrico se forma por la condensación de los ácidos acético y oxalacético, y este último proviene de la oxidación de ácido cítrico, es decir que, por cada mol de AC producido, implica la destrucción de otro mol del mismo ácido.

Los altos rendimientos se explicaron cuando se demostró que las células de *Aspergillus niger* pueden fijar el dióxido de carbono al ácido pirúvico, formando ácido oxalacético según el siguiente esquema: la glucosa es transformada en dos moles de ácido pirúvico por glucólisis, uno de ellos es oxidado a ácido acético y a dióxido de carbono. Este se fija a la otra molécula de ácido pirúvico, formando ácido oxalacético.

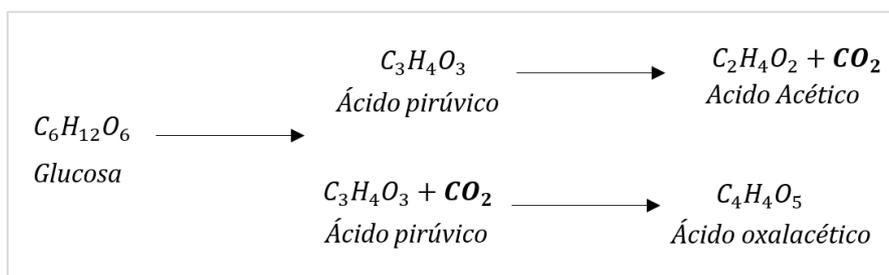


Figura 6-8: Reacciones de formación de ácido acético y oxalacético.

Luego, en el ciclo de Krebs, los ácidos acético y oxalacético se condensan, de acuerdo con este quimismo, el posible un rendimiento del 106,6%. Sin embargo, aún las mejores cepas para la producción de AC atacan a este, de modo tal que la cantidad presente en determinado momento es la resultante de dos procesos contrarios: uno de síntesis y otro de demolición. Naturalmente, la importancia del segundo proceso en las buenas cepas productoras de AC, cultivadas en condiciones adecuadas, es muy inferior al primero.

Se ha demostrado que ciertas cepas acidógenas desarrolladas en medios químicamente definidos, tienen poca aconitasa, la enzima que transforma el ácido cítrico en cis - aconítico, por eso el AC puede acumularse. La inhibición de tal enzima se logra eliminando el hierro, que es un activador de esta. Por otro lado, si se logra un bajo nivel de manganeso, se inhibe no solamente la aconitasa, sino también el isocitrato deshidrogenasa, lo que suministra otro refuerzo adicional a la acumulación de nuestra sustancia.

Generalmente se admite que una fracción del AC producido es deshidratado y oxidado de acuerdo con el ciclo de Krebs. El ácido oxalacético resultante, o sus productos de demolición (pirúvico, acético o dióxido de carbono), pueden ser utilizados en la síntesis de nuevo ácido cítrico.

En lo que se refiere al ácido oxálico, se ha demostrado que no se forma por oxidación del grupo metílico del ácido acético, sino que se origina de los compuestos del ciclo de Krebs, por escisión de los ácidos isocítrico y málico con formación intermedia de ácido glioxálico.

Por medio de mejora genética clásica y de ingeniería genética se pueden modificar ciertos elementos del metabolismo primario de *A. niger* con objeto de aumentar el flujo metabólico hacia la producción de AC, disminuyendo el flujo de ramas laterales que general otros productos, como oxálico y glucónico.

Por ejemplo, los mutantes en la glucosa oxidasa son incapaces de producir glucónico, lo que aumenta el flujo hacia la producción de AC. Otro enfoque, es lograr un aumento de la expresión de las enzimas que llevan a las síntesis de cítrico (Belluccini & Fernández).

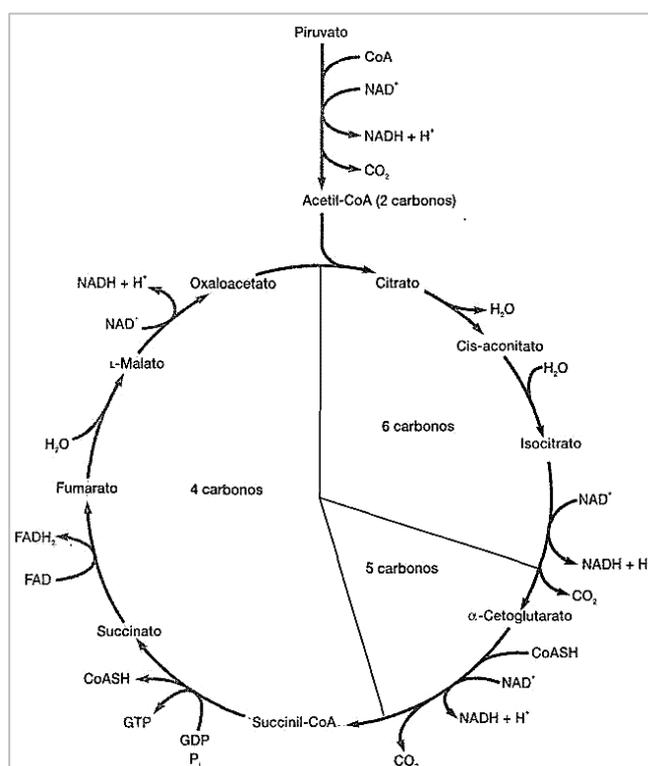


Figura 6-9: Ciclo de Krebs o Ciclo de los ácidos tricarboxílicos.

## 6.5.5 Tratamientos previos a la fermentación

### 6.5.5.1 Preparación y esterilización del sustrato

La producción a nivel industrial implica la fermentación sumergida, usando *A. niger* cultivado en medios que tienen contenido de glucosa o sacarosa, además de esto, se pueden emplear otras fuentes de materias primas como, por ejemplo, fuentes de carbono, como residuos agroindustriales, hidrocarburos y otros materiales amiláceos como son el arroz, el maíz y granos de cereales, la paja de trigo y arroz, la pulpa de manzana, residuos de frutas, granos de destilería, entre otros.

La concentración de este nutriente es crítica para la producción del ácido, una concentración elevada incrementa la actividad de enzimas glucolíticas y de la enzima piruvato carboxilasa que promueve la síntesis de oxalacetato necesario para el ciclo de Krebs.

Además del carbono, hidrógeno y oxígeno aportados por los hidratos de carbono presentes en la glucosa, se necesitan en el medio otros componentes como potasio, fósforo, nitrógeno, azufre y magnesio.

#### 6.5.5.1.1 Fuente de nitrógeno

Una elevada concentración del nitrógeno aumenta la formación de biomasa, controla el pH y el consumo de azúcares, pero la cantidad de AC producida es menor. Por lo tanto, esta concentración requerida depende del sustrato empleado como fuente de carbono y del volumen del medio.

Fisiológicamente los compuestos de amonio son los preferidos debido a que, durante su consumo, el pH del medio baja, requisito para la producción de AC. Principalmente, se utiliza sulfato de amonio o nitrato de amonio, ya que el hongo usa el catión  $\text{NH}_4^+$  y libera el  $\text{SO}_4^-$ , disminuyendo el pH por debajo de 2. La concentración inicial de sulfato de amonio óptima se encuentra entre 2,5 y 3,0  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Es importante controlar la cantidad de nitrógeno presente, ya que, si esta es muy abundante, se formará mucho micelio y muy poca cantidad de AC, debido a que todo el azúcar se utiliza para el desarrollo, respiración y producción de biomasa.

#### 6.5.5.1.2 Fuente de fósforo

El hongo requiere fósforo en una concentración de 0,5 a 5,0  $\text{g}/\text{l}$  en un medio químicamente definido para la producción máxima de AC. Los niveles de fosfato bajos favorecen la producción, sin embargo, un exceso de este conduce a la formación de ácidos azucarados, disminución de la fijación de  $\text{CO}_2$ , y a la estimulación del crecimiento del microorganismo.

Los fosfatos son limitantes para la producción de AC. Sin embargo, si los metales trazas no son limitantes, incrementar la concentración de fosfatos puede generar

reacciones colaterales e incremento de la biomasa, decreciendo la producción de ácido cítrico (Martínez López, 2017).

Se aconseja un requerimiento de fosfato del 1%(p/v) para el crecimiento limitado de *A. niger*.

#### 6.5.5.1.3 Iones metálicos

El organismo requiere ciertos metales traza para su crecimiento, los metales que deben ser limitantes incluyen al Zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y cobre (Cu), metales pesados y metales alcalinos. Algunos iones metálicos inhiben la producción de AC en fermentación sumergida incluso a una concentración muy baja. Por ende, la concentración de estos metales debe disminuir por debajo de la concentración requerida para el crecimiento óptimo como la máxima producción de AC.

##### 6.5.5.1.3.1 Manganeso

El anabolismo del hongo se ve afectado por la deficiencia total de Mn y/o la limitación de nitrógeno y fosfato. El manganeso es importante en funciones celulares, como la síntesis de la pared celular, la esporulación y la producción de metabolito secundarios.

La deficiencia de Mn ocasiona reducción de la actividad de algunas enzimas de la vía anabólica de las pentosas fosfato y concentra la actividad en el ciclo de ácidos tricarbónicos, lo que es favorable para el proceso. Adicionalmente resulta en daños en el anabolismo, entre los que se destacan la generación de un consorcio de iones amonio como resultado de la degradación proteica, esta alta concentración de amonio intracelular es un potente regulador de la fosfofructokinasa, ya que se libera de la inhibición por citrato.

Si la concentración se mantiene por debajo de los 2 ppb, no afecta al crecimiento del hongo y disminuye la actividad de la ruta de las pentosas fosfato, así los azúcares son usados por la ruta glucolítica y deriva a la síntesis del cítrico. Si la concentración de Mn supera los 100 ppb se puede reducir el rendimiento final de AC hasta en un 25% aproximadamente.

#### 6.5.5.1.3.2 *Cobre*

El cobre se utiliza para controlar la morfología. Si se usa en exceso, inhibe completamente el crecimiento y la producción de AC, por inhibición de enzimas como la aconitasa e isocitrato deshidrogenasa. El contenido de ADN y proteínas decrece mientras que los lípidos y polisacáridos aumentan por efecto de este elemento. Altos niveles de cobre también inhiben el transporte de citrato (Martínez López, 2017).

El cobre también reduce el efecto venenoso del hierro y su concentración óptima es de 40 ppm.

#### 6.5.5.1.3.3 *Hierro*

Si se encuentra el hierro en exceso interfiere en la acumulación de ácido cítrico, ya que favorece la elaboración de ácido oxálico. Las concentraciones aceptables son entre 1 y 2 ppm de hierro por litro de medio (Belluccini & Fernández).

El hierro en exceso también actúa como activador del crecimiento, ocasionando elongación de hifas y finalmente un caldo espeso donde la transferencia de oxígeno es ineficiente y ocasiona la baja acumulación de AC.

#### 6.5.5.1.3.4 *Zinc*

En concentraciones bajas y controladas es esencial para la óptima acumulación de AC, siendo recomendables concentraciones inferiores a 1ppm.

#### 6.5.5.1.3.5 *Magnesio*

La concentración de magnesio limita el crecimiento del hongo para acumular de forma correcta el AC. Se utiliza generalmente sulfato de magnesio heptahidratado al 0.02%(p/v).

#### 6.5.5.1.3.6 *Glucosa*

Las concentraciones de glucosa deben ser al menos de 150 g/l para así promover la actividad de la glucólisis y de piruvato a carboxilasa.

Para evaluar la concentración de azúcar se utilizaron diferentes concentraciones, según la Figura 6-10, con el fin de evaluar la influencia de este factor sobre la producción de ácido cítrico y el crecimiento de *Aspergillus niger*.

Se evidencia que la concentración de 150 g/l, muestra la mayor producción de AC y que la concentración de ácido aumenta conforme aumentan la concentración de azúcares reductores (Velásquez & otros, 2010).

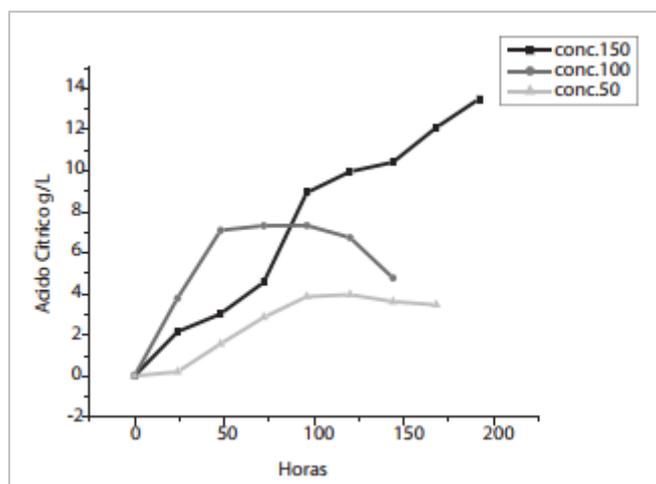


Figura 6-10: Concentración de AC, con diferentes concentraciones de azúcares reductores. Fuente: (Velásquez & otros, 2010)

Dicho comportamiento está relacionado con la producción de biomasa, que aparece relacionada directamente proporcional con la mayor concentración de azúcares reductores en el medio, lo cual se observa en la Figura 6-11. Además, se muestra que en todas las concentraciones evaluadas se presentan tres de las cuatro fases de crecimiento, sin que se haga evidente la fase de latencia, lo que confirma que se presenta antes de 24 horas. También, se aprecia que a medida que aumenta la concentración se prolonga la aparición de las diferentes fases (Velásquez & otros, 2010).

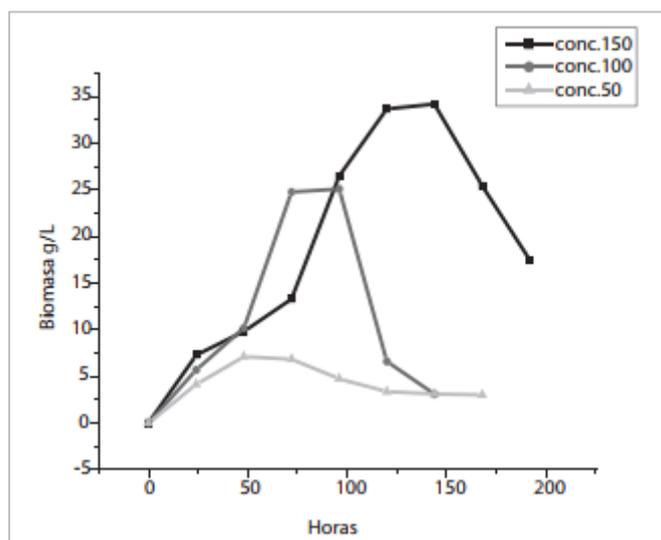


Figura 6-11: Producción de biomasa según la concentración de azúcares. Fuente: (Velásquez & otros, 2010).

Tabla 6-4: Composición del medio.

Composición del medio	Concentración (g/l)
Glucosa (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	150
Sulfato de magnesio heptahidratado (MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	0.23
Fosfato dipotásico (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	1
Sulfato de amonio (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.5
Presencia de iones metálicos	Concentración (ppm)
Manganeso (Mn)	<2
Zinc (Zn)	<1
Hierro (Fe)	1-2
Cobre (Cu)	<60

Fuente: Elaboración propia.

El pH forma parte del grupo de parámetros importantes en la fermentación para obtener la mayor producción de ácido cítrico.

Por lo que se evaluó la fermentación con un pH inicial de 5,0 y concentración inicial la detallada anteriormente, de hecho, éstas condiciones son donde se evidenció mayor producción de AC.

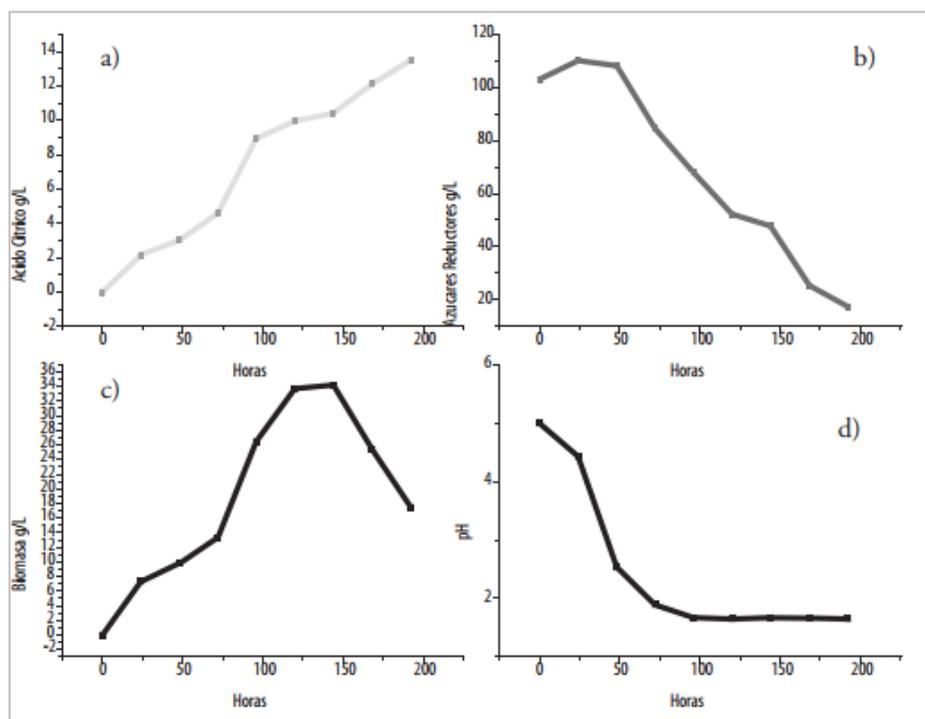


Figura 6-12: Con pH inicial 5,0 y concentración de glucosa 150g/l. a) Producción de ácido cítrico. b) Consumo de azúcares reductores. c) Producción de biomasa. d) Variación de pH. Fuente: (Velásquez & otros, 2010)

El crecimiento del hongo muestra que la fase exponencial se prolonga debido a la alta disponibilidad de alimento, con lo que la fase estacionaria inicial a las 120 horas y llega hasta las 144 horas, momento a partir del cual se produce la fase de muerte.

La concentración de azúcares tiene un ligero incremento al inicio de la fermentación debido a la hidrólisis de polisacáridos que realiza el *Aspergillus niger*, obteniéndose fructuosa y glucosa que son fuente de carbono consumidos por el hongo.

El pH del medio se estabiliza por debajo de 2,0 a partir de las 96 horas hasta el final del proceso de fermentación, y está relacionado con la concentración de azúcares reductores, evidenciando que, a mayor concentración de éstos, mayor producción de ácido cítrico y por ende más ácido en el medio al final del proceso (Velásquez & otros, 2010).

### 6.5.6 Esterilización

La esterilización de un medio o ambiente es una operación destinada a eliminar todas las formas vivas, ya sea destruyéndolas o removiéndolas. El objetivo es evitar efectos adversos de la presencia de organismos extraños al proceso biotecnológico, los que podrían:

- a) Consumir nutrientes, rebajando el rendimiento.
- b) Producir sustancias inhibitorias al proceso o perjudiciales a la separación del producto.
- c) Formar compuestos que descomponen el producto.

La operación de un proceso biotecnológico con un cultivo puro implica que, además de asegurar la total ausencia de microorganismos contaminantes al inicio del proceso, se evite la entrada de estos durante todo su transcurso. Ello implica, la esterilización del equipo, del medio de cultivo, del aire del proceso y de los demás insumos del biorreactor, además de la mantención de las condiciones de asepsia durante todo el tiempo de operación.

#### **6.5.6.1 Esterilización del medio**

Para la esterilización de los medios se usa casi universalmente el vapor. Antes de discutir las técnicas para esterilizar los medios se debe analizar la cinética de la esterilización. La destrucción de los microorganismos por el calor húmedo puede ser descripta como una reacción química de primer orden, y ser representada por la siguiente ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = -kN$$

Donde:

- N es el número de microorganismos.
- t es el tiempo de tratamiento de esterilización.
- k es la constante de velocidad de la reacción o el tiempo específico de muerte.

Integrando la ecuación anterior se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{N_t}{N_o} = e^{-kt}$$

$$\ln \frac{N_t}{N_o} = -kt$$

Donde:

- $N_0$  es el número de organismos viables presentes al inicio de la esterilización.
- $N_t$  es el número de organismos viables presentes al finalizar el período  $t$  de esterilización.

En el análisis de la ecuación anterior se puede observar que se trata de una disminución exponencial del número de microorganismos a lo largo del tratamiento. Esta descripción cinética establece que es necesario un período de tiempo infinito para reducir la población de organismos viables a cero, lo que implica que la esterilización total jamás puede ser lograda. La teoría también predice que luego de un cierto intervalo de tiempo habrá menos de un organismo vivo presente, lo que es falso, ya que una fracción de célula no puede ser viable.

Entonces, teniendo un valor menor a la unidad al final del intervalo de tiempo  $t$ , debe considerarse la posibilidad de que haya un organismo sobreviviente al tratamiento.

Como con cualquier reacción de primer orden, la velocidad de reacción aumenta con el incremento de la temperatura, debido a un incremento en la constante de velocidad de reacción, la cual, en el caso de destrucción de microorganismos, es la velocidad específica de muerte. La relación entre la temperatura y la constante de velocidad de reacción ha sido demostrada por Arrhenius, la cual, permite el cálculo de energía de activación y predicción de velocidad específica de muerte a cualquier temperatura.

Seleccionando un valor de  $N_t$  pueden diseñarse procedimientos que den una buena probabilidad de alcanzar la esterilización, basada en qué riesgo es considerado aceptable. De acuerdo con la bibliografía, se considera un factor de riesgo que un batch resulte contaminado por cada mil procesados, es decir, que la cuenta final de células viables en el medio debe ser de  $10^{-3}$ . Sin embargo, para la aplicación de esta cinética, es necesario conocer las características de muerte térmica de todos los contaminantes del medio sin esterilizar, como esto es imposible, se asume que los únicos contaminantes presentes son esporas de *Bacillus stearothermophilus* que es uno de los tipos de microorganismos conocidos de mayor resistencia térmica.

Las características de resistencia térmica del *B. stearothermophilus* son:

- Energía de activación: 67,7 kcal/mol
- Constante de Arrhenius:  $1 \times 10^{36,2}$  1/s

De esta manera, adoptando el *B. stearothermophilus* como organismo de diseño, se introduce un considerable factor de seguridad en los cálculos.

Es necesario aclarar que un medio de cultivo no es una mezcla inerte de componentes y, durante la esterilización pueden ocurrir reacciones que deterioren el medio dando como resultado una pérdida de la calidad nutritiva del mismo.

#### *Pérdida de calidad de nutrientes*

Existen dos tipos básicos de reacción que contribuyen a la pérdida de calidad de nutriente durante la esterilización:

1. Interacción entre los componentes nutrientes del medio: ocurre cuando se aprecia un pardeamiento típico de las reacciones de Maillard, estas no solo producen cambio en el color, sino también en la calidad nutricional del medio. Generalmente, son reacciones que se producen entre los grupos carbonilo de los azúcares reductores y los grupos amino de los aminoácidos o proteínas, en caso de que este fenómeno cobre importancia, se recomienda una esterilización de los carbohidratos por separado de los demás componentes.
2. Degradación de los componentes lábiles al calor, tales como aminoácidos y vitaminas: las reacciones de este tipo pueden ser minimizadas usando una relación adecuada tiempo-temperatura.

En consecuencia, la técnica ideal de esterilización podría ser calentar el medio de fermentación a una elevada temperatura, a la cual será mantenido por un período corto de tiempo y luego se enfría rápidamente hasta la temperatura de fermentación, pero, se hace imposible realizar este procedimiento en un batch a nivel industrial donde se trabaja con grandes volúmenes, ya que, los períodos de calentamiento y enfriamiento impactaran de manera considerable en el tiempo de esterilización (Reynoso, 2022).

Es de destacar que, cuando se esteriliza el medio con vapor, es posible diferenciar dos formas de trabajo para lograr el objetivo.

#### 6.5.6.1.1 Esterilización continua

El sistema continuo incluye un período de tiempo durante el cual el medio es calentado hasta la temperatura de esterilización, un tiempo de mantenimiento a la temperatura deseada y un período de enfriamiento para restablecer al medio la temperatura de fermentación.

La mayor ventaja de los procesos continuos es que la temperatura puede ser usada como una variable del proceso, reduciendo el tiempo de mantenimiento y reduciendo el grado de degradación de los nutrientes. Además, incluye una mejora en la economía del vapor, solicitando una cantidad de 20-25% inferior con respecto al sistema de esterilización discontinuo y un cambio de escala más fiable. También, es de destacar que los procesos de calentamiento y enfriamiento son virtualmente instantáneos, lo que reduce de manera significativa el tiempo total necesario.

El rendimiento de los esterilizadores continuos se ve afectado por la naturaleza del flujo existente en el sistema, ya que idealmente, todo el fluido que entra al equipo en un determinado instante debería pasar al mismo tiempo en el esterilizador y salir del sistema, a menos que esta idealidad ocurra, no puede tener un perfecto control sobre el tiempo de permanencia en el esterilizador todos los elementos del fluido (Reynoso, 2022).

Se encuentran dos tipos principales de esterilizadores continuos de medios de cultivo:

1. *Inyección continua de vapor, combinado con enfriamiento flash* (Figura 6-13)

Consiste en un inyector, una sección de mantenimiento y un enfriador flash. La misión del inyector es suministrar vapor directamente a la corriente del medio no estéril, en la sección de mantenimiento, el medio se mantiene a la temperatura requerida y en el enfriador flash, el medio caliente pasa por una válvula de expansión a una cámara de vacío, dando como resultado un enfriamiento

instantáneo. Un requisito importante, es tener vapor puro libre de aditivos químicos.

Como ventajas de este sistema se enumeran las siguientes: puede ser usado para medios con sólidos en suspensión, bajo costo de inversión de capital, fácil limpieza y mantenimiento, periodos de enfriamiento y calentamiento muy cortos, alta eficiencia en la utilización del vapor. No obstante, puede ocurrir la formación de espuma durante las etapas de calentamiento y enfriamiento, el contacto directo con el vapor diluye el medio y esto se debe tener en cuenta en su formulación inicial (Reynoso, 2022).

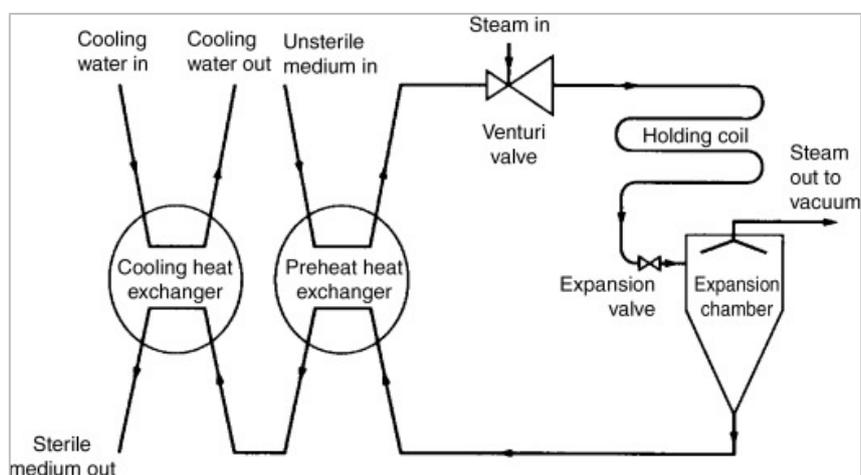


Figura 6-13: Sistema de esterilización continuo por Inyección de vapor, cambiando con enfriamiento flash.

## 2. Intercambiador de calor continuo a placas

Consiste en una serie de placas calentadas con vapor, por donde circula el medio hasta alcanzar el nivel deseado de temperatura, a esta temperatura, el medio se mantiene durante el tiempo calculado y posteriormente, se enfría hasta la temperatura de fermentación en otra parte del equipo (Reynoso, 2022). En este sistema, los tiempos son más prolongados para lograr el objetivo, además, el costo de capital es más elevado, motivo por el cual son menos empleados.

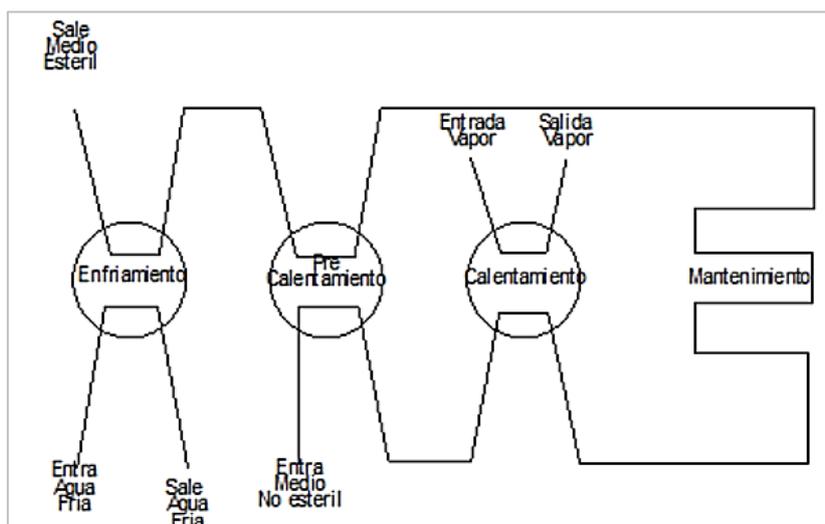


Figura 6-14: Sistema de esterilización continua por Intercambiadores de placas.

#### 6.5.6.1.2 Esterilización discontinua

Los procesos de esterilización discontinuos degradan más los medios que los procesos continuos, el objetivo que se debe alcanzar es mantener una alta probabilidad de esterilidad con un mínimo de pérdida de calidad nutricional. La temperatura que parece ser factible para la esterilización batch es de 121°C de modo que, el diseño del proceso se hace de tal manera que la exposición del medio a esa temperatura sea mínima.

La esterilización discontinua se puede llevar a cabo en un fermentador o en un recipiente aparte denominado cocedor (Belluccini & Fernández).

El realizar el tratamiento en un cocedor presenta ventajas como poder ser utilizado para servir varios fermentadores, además, es posible efectuar la limpieza y acondicionamiento del fermentador mientras el medio está siendo esterilizado, lo que permite un ahorro de tiempo entre fermentaciones. Pero también, la construcción de un cocedor tiene un costo adicional, además, si éste se utiliza para un importante número de fermentadores, será necesario un complejo sistema de cañerías, lo que conlleva a un aumento en la probabilidad de contaminación del medio (Reynoso, 2022).

### **6.5.6.2 Esterilización del aire por filtración**

Las fermentaciones aeróbicas requieren la continua adición de considerables cantidades de aire, este proviene del exterior por lo que es necesario su esterilización.

El número de partículas y microorganismos en el aire varía en gran medida dependiendo de la localización de la planta, el movimiento del aire y el tratamiento previo del mismo. El número de microbios en el aire es del orden de  $10^3 - 10^4$  partículas por metro cúbico y sabiendo que una fermentación se produce por el cultivo de un organismo u organismos en un medio con nutrientes, si la fermentación es invadida por microorganismos extraños, pueden ocurrir consecuencias como, una pérdida de productividad, debido a que el medio sustentaría el crecimiento de los microorganismos productores y contaminantes, contaminación del producto final, el contaminante puede producir compuestos que dificulten la extracción del producto, entre otras consecuencias (Reynoso, 2022). Los fermentadores funcionan generalmente con velocidades de aireación de 0,5 – 1,0 vvm (volumen de aire/volumen de líquido por minuto). Aunque es posible esterilizar el aire por tratamiento térmico, el proceso comúnmente utilizado es la filtración. Los sólidos suspendidos pueden ser separados de un fluido durante la filtración por los siguientes mecanismos: impacto inercial, difusión, atracción electrostática, intercepción (Belluccini & Fernández).

Debido a su bajo costo y fácil mantención se emplearán los filtros de poros no fijos contruidos de fibra de vidrio, estos realizan la separación de partículas a través de impacto inercial, intercepción y difusión y, la predominación de cada uno de ellos depende de la velocidad superficial lineal del aire a través del filtro. El material empaquetado contiene numerosas y tortuosas rutas a través del filtro y la remoción es un fenómeno estadístico, de esta manera, la esterilización del producto es predicha en términos de probabilidad de falla. Es importante destacar que los filtros deben ser esterilizados por calor, antes y después de cada operación. Por ello, los materiales de construcción deberán ser estables a altas temperaturas y al vapor que se utiliza para tal fin (Reynoso, 2022).

### 6.5.7 Fermentación

La fermentación es un proceso biotecnológico aplicado desde la antigüedad, para la transformación de materias primas con el fin de elaborar y conservar alimentos. Cuando se habla de fermentación, se debe entender como la acción de microorganismos (bacterias, hongos o levaduras) sobre diversos sustratos biológicos, es decir, se aprovecha la actividad metabólica de aquellos, a fin de obtener una transformación favorable de las materias primas para la obtención de productos determinados.

#### *Concepto bioquímico de fermentación*

Se define como un proceso mediante el cual las sustancias orgánicas (sustrato) sufren una serie de cambios químicos (reducciones u oxidaciones) que producen energía, al finalizar la fermentación, se presenta una acumulación de varios productos, unos más oxidados y otros más reducidos que el sustrato, con un balance total de energía positivo. Esta energía es utilizada en el metabolismo de los microorganismos.

#### *Concepto microbiológico de fermentación*

Se entiende por fermentación al proceso en el que los microorganismos producen metabolitos o biomasa, a partir de la utilización de sustancias orgánicas, en ausencia o presencia de oxígeno. La descomposición de los sustratos es llevada a cabo por enzimas producidas por los microorganismos para tal finalidad. Se debe observar que el concepto llega a excluir a los microorganismos del proceso, siempre y cuando estén presentes sus enzimas; sin embargo, en estos casos, la velocidad de obtención y los rendimientos del producto son menores.

Existen cinco grupos de fermentaciones comercialmente importantes:

- I. Aquellas cuyo producto son células microbianas o biomasa.
- II. Aquellas que producen enzimas microbianas.
- III. Aquellas que producen metabolitos.
- IV. Aquellas en las que se obtienen productos recombinantes.
- V. Aquellas que modifican en un compuesto, que, a su vez, se añaden a la fermentación.

Durante un proceso industrial, es importante que el microorganismo participante se desarrolle de tal forma que se maximice la producción del compuesto de interés, pudiendo ser: los mismos microorganismos (biomasa) o los metabolitos (primarios y secundarios).

En la actualidad existen tres tipos distintos de fermentación utilizados: fermentación con micelio sumergido, fermentación con micelio en superficie y fermentación en estado sólido.

Las fermentaciones con micelio sumergido y con micelio en superficie comprenden las mismas etapas desde el comienzo, estas son: mantenimiento de la cepa, producción de conidios e inóculo del medio; luego de la obtención del producto, siguen las etapas de separación y concentración del ácido cítrico, que también son las mismas en ambas fermentaciones, por lo que, estos procesos solo varían en la forma en que es realizada la fermentación.

El inicio de cualquier tipo de fermentación se realiza con un recipiente esterilizado y relleno con el medio de cultivo estéril, posteriormente, este es inoculado con el microorganismo en cuestión. El inóculo suele tener un tamaño del orden 1-10% del volumen total del medio, si es menor, puede existir un período de latencia altamente prolongado, alargando el tiempo de fermentación (Belluccini & Fernández).

#### **6.5.7.1 Fermentación con micelio sumergido (SmF)**

Es la técnica normalmente empleada para la producción de ácido cítrico. Varias son las ventajas de esta técnica, por ejemplo, los altos rendimientos de aproximadamente un 70-90% con respecto a la glucosa convertida en AC (68kg AC/m<sup>3</sup>), la elevada productividad y el bajo costo de mano de obra. Existen dos tipos de fermentadores empleados: el fermentador convencional con agitación y el fermentador de columna de aire, aunque el último es el más usado debido a las ventajas que ofrece en el precio, tamaño y funcionamiento. Puede llevarse a cabo en sistemas de operación batch o en sistemas de feed Batch.

Se han utilizado varios diseños de reactores, particularmente a escala piloto; el reactor de tanque agitado es el diseño más común, aunque también se utilizan reactores de elevación por aire, con una relación de aspecto más alta que el reactor

de tanque agitado. Los reactores están contruidos de acero inoxidable de alta calidad, un requisito importante en vista de los bajos niveles de pH desarrollados, la capacidad del AC para solubilizar iones metálicos y la presencia de manganeso en los aceros inoxidables. Los grados inferiores de acero han causado problemas en el pasado, tanto de lixiviación como de picaduras o corrosión general.

Otro requisito general para los reactores para la producción de AC es la provisión de sistemas de aireación que puedan mantener un alto nivel de oxígeno disuelto. Tanto en los reactores de tanque como en los de torre, el aire estéril se rocía desde la base, aunque a menudo se usan entradas adicionales con los reactores de torre. El reactor puede mantenerse por encima de la presión atmosférica para aumentar la tasa de transferencia de oxígeno al caldo de fermentación. Se ha examinado la influencia del oxígeno disuelto en la formación de AC y los niveles de oxígeno disuelto se controlan de forma rutinaria.

Una planta típica constará de cuatro áreas: preparación del medio, sección del reactor, separación del caldo y recuperación del producto. La preparación del medio implicará la dilución de la glucosa u otra materia prima, la adición de nutrientes y otros tratamientos previos como la esterilización, ya sea en línea o en el reactor. Cuando se utiliza la esterilización en línea, los reactores se esterilizan con vapor por separado. Es habitual preparar un inóculo para el reactor de producción en un reactor más pequeño (prefermentador), en el que las condiciones pueden modificarse para dar un crecimiento rápido en lugar de la formación de productos. La inoculación primaria es por esporas y la fase inicial del crecimiento es crítica.

Cuando se usa una etapa de inóculo separada, la etapa correcta para la transferencia, con una duración de entre 18 y 36 horas, se juzga por el nivel de pH. La temperatura de producción, al igual que la temperatura del inóculo, es de unos 30°C, por lo que, el reactor debe contar con una camisa por donde circule agua de enfriamiento, removiendo el calor producido por la reacción exotérmica que está sucediendo (2.990 kcal/kg de AC formado). Se permite que el proceso continúe hasta que la tasa de producción de AC cae por debajo de un valor predeterminado, que se alcanza muchas horas antes de que la producción cese por completo. Una vez pasado el

tiempo en el prefermentador, las esporas son enviadas hacia el fermentador, esterilizado con anticipación, al igual que el medio que contiene, y se prosigue con el desarrollo del micelio hasta completar seis días en total. Generalmente se emplean de seis a nueve días, dependiendo de la cepa a emplear y el sustrato utilizado. Ambos equipos prefermentador y fermentador, son llenados hasta 2/3 partes de su volumen total.

Al inicio el pH es de 5,0-7,0 para la germinación, pero una vez que se inicia la producción de AC se mantiene por debajo de 2,0, para evitar la acumulación de oxálico y glucónico a expensas del AC, éste fenómeno se evidencia en la Figura 6-12.

El micelio debe formar gránulos pequeños (menores de 0.5mm) con una superficie lisa y dura, dichos gránulos se producen cuando se controlan una serie de factores, como los niveles de ferrocianuro, los niveles de manganeso, el hierro es bajo (menor a 1 ppm), el pH es bajo, el control de la aireación y la agitación o la cantidad de inóculo de esporas.

La aireación es un factor importante en el costo del proceso, y aunque se usa una tasa de aireación constante en muchos estudios a escala de laboratorio, en la práctica industrial es usar tasas de aireación relativamente bajas inicialmente (0,1 vvm) que aumentan a 0,5-1,0 vvm a medida que avanza el crecimiento. Tales velocidades de aireación darán lugar a la formación de espuma y hay varios dispositivos y agentes disponibles para minimizar el problema. Aunque son posibles rendimientos muy altos, la productividad es la consideración más importante a nivel industrial, y es raro que se permita que el proceso continúe hasta el rendimiento máximo.

Los fermentadores deben contar con los siguientes sistemas:

- **Sistema de agitación:** el objetivo es crear condiciones ambientales óptimas para la fermentación, proporcionando a las células el acceso a todos los sustratos, incluyendo el oxígeno. El mezclado logra uniformidad del fluido, eliminando gradientes de concentración, temperatura y otras propiedades. Por lo general se utilizan discos de 6 palas planas.

- **Sistema de aireación:** al tratarse de un sistema aerobio, es necesario el aporte constante de oxígeno en el medio. Este será previamente filtrado e introducido a través de diferentes entradas de aire. Además, se deben tener en cuenta las condiciones de temperatura y humedad a la que ingresa el aire al reactor, lo cual será en función de las condiciones climáticas externas.
- **Sistema de enfriamiento y control de temperatura:** en la fermentación cítrica la temperatura debe permanecer prácticamente constante, siendo el valor óptimo una temperatura de 30°C. Como se trata de una reacción exotérmica, la temperatura en el interior del reactor es regulada por la circulación de aire en un serpentín interno del mismo.
- **Sistema de eliminación de espuma:** los medios de cultivo suelen generar espuma, porque son ricos en materia orgánica. La espuma es un problema por considerar ya que, interfiere en la medida de los sensores. Para controlarla se pueden emplear antiespumantes, como alcoholes y aceites, o utilizando un rompe espuma, que es similar a un agitador. Por lo general se prefieren estos últimos, debido a que la adición de los antiespumantes puede interferir con el proceso que tiene lugar en el reactor.
- **Sistemas de control:** se necesitan para conocer las condiciones en las que se encuentra el cultivo y el medio en el proceso de fermentación. Todos los sensores deben ser esterilizables y estar conectados a un sistema adecuado.

#### 6.5.7.2 Fermentación con micelio en superficie (SF)

El micelio fúngico se cultiva como una estera superficial en un medio líquido en un gran número de bandejas poco profundas, con una capacidad de 50 a 100 litros. Cada bandeja tiene una superficie de unos 5 m<sup>2</sup> y una profundidad de entre 5 y 20 cm. *A. niger* crece como una espesa capa de micelio flotante sobre la superficie del medio utilizado.

Las bandejas están fabricadas con aluminio de alta pureza o acero inoxidable y, por lo general, pueden ser levantadas por solo dos hombres. Las bandejas se apilan en bastidores en una cámara para permitir el funcionamiento en condiciones asépticas.

Después de la esterilización, el medio se bombea a las bandejas y la inoculación se lleva a cabo directamente a partir de las esporas, ya sea agregando una suspensión líquida o soplando las esporas con la corriente de aire.

La aireación de las cámaras es importante por dos motivos, la oxigenación y la eliminación de calor. El requerimiento de aire depende de la etapa de crecimiento, inicialmente, se utiliza aire estéril, filtrado mediante filtros bacteriológicos, a bajas tasas para evitar la contaminación durante la etapa de germinación, que dura aproximadamente 12 horas, las contaminaciones más frecuentes son causadas principalmente por *Penicillium*, otros *Aspergillus*, levaduras y bacterias del ácido láctico. Posteriormente, cuando el crecimiento es máximo, se necesitan tasas de hasta 10 vvm para asegurar la dispersión de calor.

La generación de calor es considerable, alrededor de 1 kJ/hr.m<sup>3</sup> de medio y las temperaturas superficiales y medias son alrededor de 28 y 30°C. Este alto volumen de aire no es necesariamente estéril, ya que la contaminación normalmente no es un problema una vez que el pH ha caído, después de unas 24 horas de crecimiento. El pH cae alrededor de 2,0, o ligeramente más bajo, y permanece en ese nivel hasta el final del proceso, de ahí la necesidad de materiales de alta calidad para la construcción de las bandejas.

El aire entrante se humidifica al 40-60% para evitar la pérdida de humedad de la gran superficie del medio. El cultivo continúa durante 8 a 15 días, con el objetivo de minimizar el tiempo de residencia para maximizar la productividad de la planta. Se puede obtener una productividad del orden de (1kg/m<sup>2</sup> por día) y el rendimiento es de hasta el 75% del nivel inicial de azúcar.

Al final del proceso, que puede controlarse por la producción de AC, la capa de micelio se elimina por filtración y se lava, ya que, contiene hasta un 15% del AC total. Los lavados y el medio gastado se tratan con cal (hidróxido de calcio) a aproximadamente 90°C para precipitar el citrato de calcio insoluble.

El precipitado de citrato de calcio se lava y se suspende en suficiente ácido sulfúrico para precipitar el calcio como sulfato de calcio, esto libera el AC en la solución desde donde se puede tratar más, según sea necesario.

La fermentación superficial se utiliza en muchas industrias de pequeña y mediana escala, ya que, este método requiere menos esfuerzo en el funcionamiento e instalación y los costos de energía son inferiores. A pesar de los altos rendimientos, el proceso no es muy popular a gran escala industrial debido a algunas desventajas, como, se necesita mucha mano de obra, es ineficiente en el uso del espacio, requiere mucho tiempo, tiene riesgo de contaminación, tiene grandes costos de producción, se generan grandes cantidades de calor y desperdicio de líquidos durante el proceso.

### **6.5.7.3 Fermentación con sustrato sólido (FSS)**

La característica principal de este tipo de cultivo es justamente la restricción del agua disponible, dado que esta constituye un recurso fundamental para la actividad de cualquier organismo vivo, todos aquellos microorganismos que logran crecer y desarrollarse en esas condiciones exponen ciertas cualidades únicas, que no se presentan cuando son cultivados con alta disponibilidad de agua. Por esto último, la FSS se presenta como un proceso biotecnológico interesante, alternativo al empleo del cultivo en sustrato sumergido tradicional, y con una amplia perspectiva para la obtención de diversos metabolitos de importancia en la industria alimentaria actual y futura, como son enzimas, flavours, ácidos orgánicos, goma xántica u otros polisacáridos de origen microbiano, entre otros.

En toda FSS los microorganismos crecen en contacto con tres fases:

- *Fase sólida:* compuesta por la matriz sólida, ya sea natural o sintética, es la principal y actúa como soporte físico para los microorganismos.
- *Fase gaseosa:* compuesta por el aire que se dispone entre las partículas que componen la fase sólida (fase sólida interarticular) y también por el aire que está por encima y, dependiendo del tipo de biorreactor, por debajo de la fase sólida. La fase gaseosa permite aportar el oxígeno necesario para el crecimiento de los microorganismos.
- *Fase líquida:* está extendida en una capa muy fina en contacto con la interfase aérea, se trata de una fase discontinua formada por una película líquida que está atrapada en la matriz sólida, es la de menor preponderancia y aporta el agua mínima necesaria para el metabolismo celular.

Específicamente, la FSS involucra el cultivo de hongos filamentosos porque estos presentan ciertas características que los hacen más adecuados para el desarrollo en un medio que carece de agua libre: el crecimiento en forma de micelio y la tolerancia a bajas actividades de agua y condiciones de alta tensión osmótica hacen que los hongos sean la microflora natural más adecuada para la FSS. Particularmente, determinadas especies del género *Aspergillus* son las más extensamente usadas en este tipo de procesos. Esa elección se debe a que tienen la capacidad de crecer rápidamente y excretar una gran cantidad de enzimas, además dado que crecen en forma de micelios o filamentos, esto facilita la separación y extracción del producto.

La extracción de calor metabólico puede convertirse en un problema serio cuando se trabaja a gran escala de producción, la velocidad de crecimiento de los microorganismos es menor que en la fermentación sumergida y su aplicación se encuentra limitada a microorganismos (fundamentalmente hongos) que pueden desarrollarse en ambientes de baja humedad.

Los procesos en estado sólido requieren menos energía y producen menos aguas residuales y, por lo tanto, menos preocupaciones ambientales, por esto mismo ha sido un tema de gran interés en los últimos años para la producción de AC.

Actualmente, entre los sustratos más utilizados en procesos de FSS se encuentran: bagazos de caña de azúcar, yuca, naranja, manzana, uva, tomate; cascarilla y pulpa de café; salvado y paja de trigo; paja de arroz; escobajo de uva; harina de trigo y maíz; torta del prensado en la producción de aceite de diversas semillas o frutos; entre otros.

Fundamentalmente existen cuatro grandes tipos de reactores para la FSS, cada uno de ellos se distingue por el sistema de aireación y agitación. A continuación, se describen de forma breve cada uno de ellos:

- **Grupo I: Biorreactor de cama estática y aireación periférica:** carece de sistema de agitación, es decir no hay mezclado durante el proceso o solo se aplica un mezclado infrecuente. El sistema de aireación consiste en una aireación forzada periférica, es decir el aire solo está en contacto con el sustrato sobre los límites externos.

- **Grupo II: Biorreactor de cama estática y aireación interna:** al igual que grupo I, estos reactores no emplean sistemas de mezclado continuo, pero lo que es diferente en este grupo es que, si se usan sistemas de aireación a través de la cama, es decir el aire alcanza de forma externa e interna el sustrato, favoreciendo la transferencia e intercambio gaseoso.
- **Grupo III: Biorreactor de cama con mezclado continuo y aireación periférica:** emplean sistemas de agitación permanente o con una frecuencia de minutos a horas. El sistema de aireación es similar al empleado en el grupo I, es decir, solo se usa una aireación forzada periférica.
- **Grupo IV: Biorreactor de cama con mezclado continuo y aireación interna:** estos reactores combinan el sistema de agitación del grupo III, agitación frecuente o continua, con el sistema de aireación del grupo II, esto es aireación interna a través del lecho. Es decir, complementan sistemas de agitación con sistemas de aireación, son los más sofisticados y que requieren mayor control.

La producción de ácido cítrico se realiza por vía de síntesis química y también por biosíntesis por fermentación en sustrato sumergido de cultivos de *Aspergillus niger*. Igualmente, existen desarrollos a escala laboratorio de procesos de FSS para la obtención de este ácido, principalmente con el objetivo de obtener mejores rendimientos y disminuir los costos respecto al cultivo sumergido.

Diversos estudios demuestran que la producción de ácido cítrico por biosíntesis depende en gran medida de la elección adecuada de la cepa de microorganismo, así como del ajuste de las condiciones de operación. Al respecto se ha observado que el nivel de oxígeno en el fermentador es un parámetro clave en la producción de ácido cítrico por FSS. Varios investigadores han estudiado la influencia de la aireación forzada en ese proceso, y se ha concluido que la producción de ácido cítrico por FSS con *A. niger* se ve favorecida por una limitada producción de biomasa, lo que ocurre cuando se aplican bajas velocidades de aireación (menor disponibilidad de oxígeno).

La producción de ácido cítrico por medio de FSS con el aprovechamiento de subproductos de la agroindustria se manifiesta como una alternativa viable a la producción por fermentación tradicional en cultivo sumergido y la síntesis química.

#### *Modo de operación*

Se procede a describir brevemente los modos de operación para una posterior selección de este. Considerando la cinética de entrada del medio, se puede clasificar en tres tipos de cultivo:

- **Cultivo continuo:** la solución de nutrientes se añade continuamente al reactor a la vez que se extrae una cantidad equivalente de medio usado con organismos, una vez alcanzado el equilibrio. Es de difícil aplicación, una vez puesto en marcha no se pueden alterar los parámetros, porque se modificaría el equilibrio. La tecnología por emplear en este tipo de cultivo es altamente costosa.
- **Cultivo feed-batch:** los nutrientes críticos se añaden en baja proporción al principio de la fermentación, pero continúan añadiéndose en dosis pequeñas a lo largo de todo el crecimiento, de manera escalonada. Este sistema se usa a menudo para la síntesis de metabolitos secundarios, la síntesis de los cuales está sometida a represión por el catabólico, o bien cuando el inóculo es problemático.
- **Cultivo discontinuo o Batch:** es el tipo de cultivo más habitual. En el inicio, el medio estéril se inocula con un volumen adecuado de microorganismos y se permite que se lleve a cabo la fermentación en condiciones óptimas. A lo largo del proceso no se añade ningún nutriente, excepto oxígeno. Llegado un momento, los nutrientes son limitantes para el crecimiento, por lo que se dan las fases típicas de un cultivo bacteriano. Este tipo de cultivo es normalmente empleado para la producción de metabolitos primarios.

## 6.6 PURIFICACIÓN DEL PRODUCTO

### 6.6.1.1 Separación del producto de fermentación

Una vez que finaliza la fermentación, se realiza la separación del producto obtenido en la misma. El AC se debe separar del micelio, de los microorganismos muertos, del

azúcar residual, de las proteínas generadas en la fermentación y otras impurezas solubles. Para ello, se realiza un conjunto de etapas sucesivas.

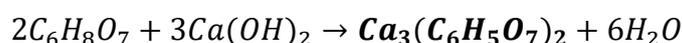
Se comienza por la corriente saliente del fermentador, que se envía a una etapa de filtración, para separar el micelio del medio, obteniéndose líquido clarificado.

Luego la torta separada, que contiene microorganismos y células muertas, será desechada, siendo esta un efluente del proceso productivo (Belluccini & Fernández).

#### **6.6.1.2 Formación y descomposición del citrato de calcio**

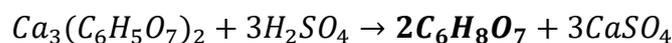
Para lograr la precipitación de citrato de calcio, se añade hidróxido de calcio, también llamado cal apagada o hidratada, hasta lograr la neutralización, que provocará la formación de partículas insolubles, debido a la reacción del ácido cítrico que se encuentra en el licor filtrado, con los iones metálicos de la cal a una temperatura de aproximadamente 90°C.

Cuando se añade el hidróxido de calcio, varía el pH llegando a un valor de 5,8 produciéndose la precipitación del citrato de calcio, según la ecuación que se muestra a continuación:



Posteriormente la solución se deja decantar, precipitando rápidamente el citrato. El sobrenadante que queda es separado, conteniendo agua y glucosa en solución. El citrato formado se hidrata con el agua que se forma en la reacción.

Al barro de citrato formado se le agrega ácido sulfúrico al 98% para descomponerlo en ácido cítrico y sulfato de calcio, siguiendo la ecuación:



De esta forma, el AC queda libre y separado del sulfato de calcio insoluble.

Previamente al agregado del ácido sulfúrico, la solución se diluye al 20% con cantidad de agua necesaria, para evitar que el sulfúrico dañe al citrato. La temperatura requerida para esta etapa es de 60°C.

En las etapas sucesivas, de purificación, el barro formado de sulfato de calcio se separa del licor madre que contiene AC por medio de filtración.

En el campo odontológicos, investigadores concluyeron que el sulfato de calcio constituía un material favorable para el tratamiento de defectos óseos, además, una de sus principales propiedades es la biocompatibilidad, lo que lo convierte en un compuesto con múltiples aplicaciones clínicas.

Luego de exhaustivas investigaciones sobre dicho material se concluye que:

- Es biocompatible, biodegradable y osteoconductor.
- No tóxico, angiogénico, hemostático y tiene propiedades de barrera o membrana.
- Se puede combinar con autoinjertos, aloinjertos, fosfatos de calcio, y vidrios bioactivos.
- Actualmente se utiliza como material de relleno y de barrera para la preservación de reborde alveolar para la colocación de implantes y en defectos óseos.

De acuerdo con lo puntos desarrollados, el sulfato de calcio es un potencial subproducto del presente proyecto.

#### **6.6.1.3 Eliminación de impurezas, intercambio iónico**

Debido a que, durante el proceso productivo se agregaron diferentes sustancias que provocan un aumento en los iones en la solución de AC, antes de proceder a las etapas de concentración, es necesario eliminar estos iones, principalmente  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{SO}_4^-$ .

Para eliminar los iones se utilizan resinas catiónicas-aniónicas de intercambio iónico, éste, puede ser definido como, un intercambio reversible de iones entre una fase líquida y otra sólida. Las resinas catiónicas contienen grupos activos carboxílicos, fosfóricos o sulfúricos. Un catión comúnmente utilizado en resinas de intercambio es carboximetil celulosa (CMC), mientras que, para resinas aniónicas se utiliza dietilaminoetil celulosa (DEAE) (Belluccini & Fernández).

#### **6.6.1.4 Concentración del producto**

El objetivo es eliminar la cantidad de agua necesaria, para obtener un producto con un porcentaje final de humedad menor al 0,5%. Para tal fin, se llevan a cabo las operaciones desarrolladas en los puntos posteriores (Belluccini & Fernández).

#### 6.6.1.4.1 Evaporación

En este proceso la disolución de ácido cítrico perderá agua mediante un proceso térmico. La corriente que ingresa a esta etapa tiene una concentración entre 20-25%, en AC, y una temperatura comprendida entre 20-28°C, a la salida, la corriente tiene una concentración de 55 a 65%. La temperatura de trabajo en la cámara de evaporación varía entre 50 y 60°C. La solución resultante queda lo suficientemente concertada para pasar a la siguiente operación (Belluccini & Fernández).

#### 6.6.1.4.2 Cristalización

La corriente que sale del evaporador se introduce en un equipo de cristalización. En el interior del aparato se separan los cristales formados del líquido sobresaturado que se denomina licor madre, el licor se recircula a la etapa de intercambio iónico o al tanque de tratamiento por cal. La concentración de ácido cítrico a la salida del cristalizador varía entre 65-95% (Belluccini & Fernández).

La sobresaturación por vacío que ocurre en el equipo provocará la nucleación y la formación de cristales sólidos de ácido cítrico (Lugo & Amaíz, 2017).

#### 6.6.1.4.3 Centrifugación

El magma procedente del aparato de cristalización será conducido a una centrífuga en donde es eliminado el licor restante de los cristales formados (Belluccini & Fernández).

#### 6.6.1.4.4 Secado

La corriente cristalina es conducida a un secador, donde los cristales de ácido cítrico pierden el agua restante, quedando casi en su totalidad secos. En esta etapa se le darán las características finales al producto (Lugo & Amaíz, 2017). La temperatura de trabajo debe ser mayor a los 36,6°C, ya que, de lo contrario, se obtendrá como producto final ácido cítrico monohidratado, en lugar de anhidro. El valor admisible de humedad a la salida del secador debe ser menor al 0,5% (Belluccini & Fernández).

### 6.6.2 Envasado

La corriente de producto llegará a una maquina pesadora ensacadora donde el ácido cítrico anhidro será introducido en sacos, sellados herméticamente. Los sacos serán

transportados hacia la zona de almacenaje donde esperarán su transporte para su posterior venta (Lugo & Amaíz, 2017).

## 6.7 ADOPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

### 6.7.1 Selección de pretratamiento

Cada uno de los pretratamientos disponibles para tratar la biomasa lignocelulósica, presenta sus ventajas y desventajas, a través de las cuales se realiza una comparación y se procede a seleccionar la adecuada para el pretratamiento de la cáscara o cascarilla de arroz.

Tabla 6-5: Ventajas y desventajas de los pretratamientos.

<i>Pretratamiento</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<b><i>Pretratamiento ácido concentrado</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja temperatura de operación.</li> <li>- Alto rendimiento de azúcares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto consumo de ácido.</li> <li>- Corrosión de equipos.</li> <li>- Alto costo energético.</li> <li>- Tiempos de reacción largos.</li> </ul>
<b><i>Pretratamiento ácido diluido</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo consumo de ácido.</li> <li>- Tiempo de residencia bajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altas temperaturas.</li> <li>- Bajo rendimiento de azúcares.</li> <li>- Corrosión de equipos.</li> <li>- Formación de productos no deseados.</li> </ul>
<b><i>Ozonólisis</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce el contenido de lignina.</li> <li>- No produce residuos tóxicos.</li> <li>- No origina inhibidores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere grandes cantidades de ozono.</li> <li>- Alto costo.</li> <li>- No ha sido probado en cascarilla de arroz.</li> </ul>
<b><i>Organosolvente</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidrólisis de la lignina y la hemicelulosa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los disolventes necesitan ser drenados del reactor, evaporados, condensados y reciclados.</li> <li>- Alto costo.</li> </ul>
<b><i>Biológico</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degrada la lignina y la hemicelulosa.</li> <li>- Requiere poca energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidrólisis lenta.</li> </ul>
<b><i>Pretratamiento alcalino</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elimina la hemicelulosa y la lignina.</li> <li>- Aumenta la superficie de acceso.</li> <li>- Aumento del área superficial externa.</li> <li>- Descenso del nivel de cristalización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere largos tiempo de residencia.</li> <li>- Formación de sales irre recuperables y que se incorporan a la biomasa.</li> <li>- Pérdida de productos en la degradación de hemicelulosa y la solubilización de la lignina, con efecto inhibitor.</li> </ul>

<b><i>Fragmentación mecánica</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce la cristalinidad de la celulosa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor consumo de energía de la que se puede obtener de la biomasa.</li> </ul>
<b><i>Explosión de vapor</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degradación de la hemicelulosa y transformación de la lignina.</li> <li>- Costo efectivo.</li> <li>- Alta concentración de sólidos</li> <li>- No requiere pequeños tamaños de partículas.</li> <li>- La lignina inalterada se puede extraer.</li> <li>- Viable a escala comercial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Destrucción de una porción de fracción de xilano.</li> <li>- Ruptura incompleta de la lignina.</li> <li>- Generación de compuestos inhibidores de microorganismos.</li> </ul>
<b><i>AFEX</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumenta la superficie de acceso.</li> <li>- Costo efectivo.</li> <li>- No forma compuesto inhibidores para las etapas siguientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No es eficiente para la biomasa de alto contenido de lignina.</li> </ul>
<b><i>Explosión con CO<sub>2</sub></i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce el contenido de lignina.</li> <li>- No produce residuos tóxicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No es eficiente para biomasa con alto contenido en lignina.</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia.

En función de las ventajas que se presentan en la Tabla 6-5, **la explosión de vapor** es el método seleccionado para el pretratamiento de la cáscara o cascarilla de arroz. Son de destacar, la posibilidad de emplear tamaños relativamente grandes de partículas, evitar la adición de catalizadores ácidos, alta recuperación de azúcares y, además, la posibilidad de extraer la lignina sin que esta sufra alteraciones. También, se logran buenos rendimientos en la etapa de hidrólisis enzimática posterior. La viabilidad de ser aplicado a escala comercial con costes óptimos lo hace un método propicio para el caso en estudio (Ferrero & Galli, 2013).

### 6.7.2 Selección del tipo de hidrólisis

Se selecciona la **hidrólisis enzimática**, dado que esta presenta mayores ventajas en cuanto a los parámetros de procesos operando en condiciones suaves, siendo estos más fáciles de lograr y controlar, obteniéndose mayores rendimientos. Además, el costo del proceso se ve favorecido, ya que, no se necesita un equipamiento anticorrosivo, ni grandes requerimientos energéticos. Otro factor favorable, es la baja concentración de compuestos tóxicos generados.

También, se tiene en cuenta que este método utiliza enzimas comerciales de fácil adquisición y alta especificidad, si bien el costo de estas es considerable, no se torna relevante en comparación con la inversión en cuanto a equipos que requiere la hidrólisis ácida.

### 6.7.3 Selección del método de esterilización

Uno de los objetivos principales de todo proceso de fermentación, es lograr minimizar los riesgos de contaminación, manteniendo condiciones de asepsia, para lograr un alto rendimiento, por ello, se realizó la Tabla 6-6 donde se plasma de manera sintetizada las ventajas y desventajas de los sistemas de esterilización.

Tabla 6-6: Comparación de sistemas de esterilización.

	<i>Sistema continuo</i>	<i>Sistema discontinuo</i>
<i>Ventajas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejor mantenimiento de la calidad del medio.</li> <li>- Fácil cambio de escala.</li> <li>- Fácil control automático.</li> <li>- Mejor aprovechamiento del vapor.</li> <li>- Menor tiempo de ciclo de esterilización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menores riesgos de contaminación.</li> <li>- Fácil control manual.</li> <li>- Fácil de usar con medios que contienen proporciones elevadas de sólidos.</li> <li>- Menor costo.</li> </ul>
<i>Desventajas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere transferencia aséptica de los caldos estériles a recipientes estériles, consecuente aumento de números críticos a controlar.</li> <li>- Requiere mayor mantenimiento de equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempos de ciclo de esterilización prolongados, lo que provoca la degradación de nutrientes termosensibles o reacciones indeseables disminuyendo su concentración y en consecuencia el rendimiento.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los puntos importantes detallados en la Tabla 6-6, se ha decidido adoptar un sistema de **esterilización continua**, esterilizando el medio fuera del fermentador empleando intercambiadores de placa. A pesar de las desventajas enumeradas, el tiempo del ciclo de esterilización es reducido, lo que evita la degradación de algunos nutrientes del medio y no se ve afectado el nivel de producción.

#### *Esterilización de equipos de fermentación y prefermentación*

Al decidirse esterilizar el medio por separado, el fermentador y prefermentador deberán ser esterilizados antes de incorporar el medio, esto se logra calentando el serpentín con vapor e introduciendo vapor en el interior del fermentador, a través de todas las entradas, mientras se le permite una salida lenta. La presión de vapor se mantiene a 1 atm por 20 minutos aproximadamente. Es esencial que se introduzca aire estéril a ambos recipientes después que el ciclo se ha completado,

manteniendo luego una presión positiva, de otra manera, al enfriarse se provocará vacío e ingresará aire no estéril (Reynoso, 2022).

#### 6.7.4 Selección y comparación de los diferentes tipos de fermentación

Tabla 6-7: Comparación entre los diferentes tipos de fermentación para AC.

<i>Tipo de fermentación</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Con micelio en superficie</i> (SF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tasa de producción elevada.</li> <li>- Equipos simples.</li> <li>- Bajo costo energético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran necesidad de espacio.</li> <li>- Altos costos de producción.</li> <li>- Desperdicio de líquidos.</li> <li>- Riesgos de contaminación.</li> <li>- Requiere tiempo prolongado.</li> <li>- Generación de grandes cantidades de calor.</li> <li>- Complicada posibilidad de automatización.</li> <li>- Escasa utilización a escala industrial.</li> <li>- Elevada cantidad de mano de obra.</li> </ul>
<i>Con micelio sumergido</i> (SmF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor productividad y rendimiento que la SF.</li> <li>- Menores costos de mano de obra.</li> <li>- Menores riesgos de contaminación.</li> <li>- Automatización simple.</li> <li>- Gran utilización a escala industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor requerimiento energético.</li> </ul>
<i>Con sustrato sólido</i> (SSF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajos costos de inversión y operación.</li> <li>- La tecnología es simple y requiere menor energía.</li> <li>- Rendimientos de producción altos.</li> <li>- Cámaras de concentraciones menores por el uso de sustrato concentrado.</li> <li>- No se requieren tanques de alimentación.</li> <li>- Disminuye la contaminación del</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo es aplicable a ciertos microorganismos debido a las condiciones de operación.</li> <li>- El escalado del proceso de laboratorio a escala industrial es difícil.</li> <li>- El control del proceso y la optimización de las condiciones a escala industrial deben continuar siendo investigadas, ya que muchos aspectos de la ingeniería del proceso aún son desconocidos.</li> </ul>

	<p>cultivo por los bajos niveles de humedad.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La aireación forzada es más sencilla que para SmF.</li> <li>- Las operaciones de extracción y purificación son más simples.</li> </ul>	
--	--	--

*Fuente: Elaboración propia.*

En base a las ventajas y desventajas analizadas en los diferentes tipos de fermentación posible, se selecciona entre ellas, a la **fermentación en micelio sumergido**, teniendo en cuenta principalmente los elevados rendimientos de esta técnica, la facilidad de su automatización y control, las menores probabilidades de contaminación y el poco requerimiento de espacio y mano de obra.

#### **6.7.5 Selección del modo de operación**

En el caso del proceso de fermentación cítrica, el AC es un metabolito primario, y la inoculación realizada es simple, por lo que, el sistema de cultivo adoptado para este proceso será **Batch o discontinuo**, es decir, a lo largo del proceso no se añadirá ningún nutriente, excepto el oxígeno necesario para la aireación (Belluccini & Fernández).

### 6.8 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL

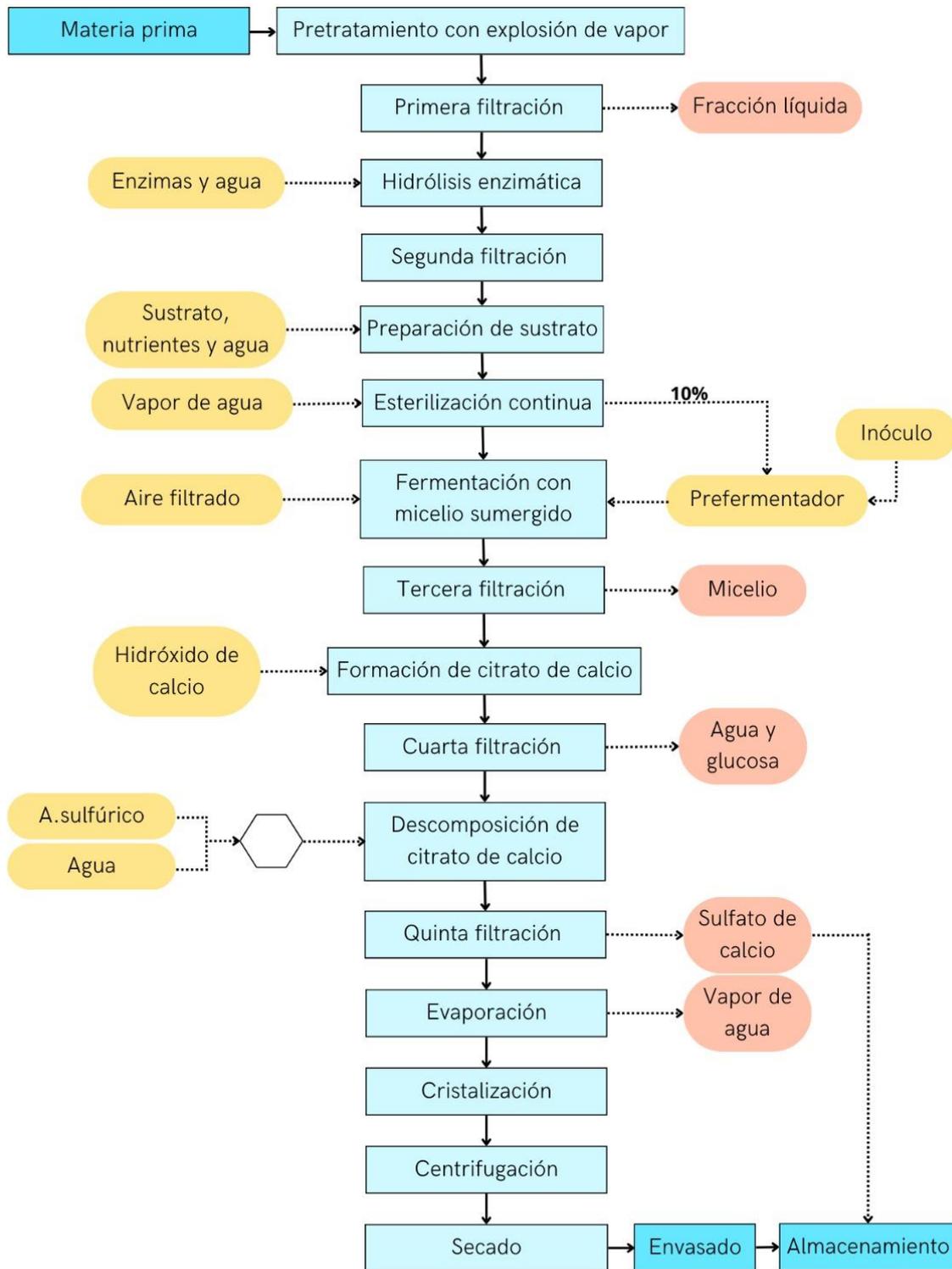


Figura 6-15: Diagrama de flujo general. Fuente: Elaboración propia.

## 6.9 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO GENERAL EN FUNCIÓN DE LAS OPERACIONES SELECCIONADAS

### 6.9.1 Almacenamiento

La materia prima utilizada no requiere de almacenamiento especial, se debe mantener en lugares secos, siendo la cáscara de arroz almacenada en silos tolva, el tamaño de estos se determina de acuerdo con las necesidades de producción.

### 6.9.2 Pretratamiento con explosión de vapor

En esta etapa, la materia prima se somete a elevadas temperaturas, entre 190 y 230°C mediante la inyección directa de vapor saturado con un intervalo de tiempo entre 1 y 10 minutos. Luego del tiempo de pretratamiento, se somete el material a una despresurización rápida originándose un producto fibroso.

Para evaluar el pretratamiento deben tenerse en cuenta una serie de factores como la recuperación de celulosa en el residuo sólido insoluble, el rendimiento de hidrólisis enzimática del mismo y la recuperación de azúcares hemicelulósicos en la fracción líquida, conformada principalmente por xilosa. Si se aumentan la temperatura y tiempo de residencia del pretratamiento, aumenta la solubilización de las hemicelulosas permitiendo que la celulosa esté más accesible al ataque enzimático. Sin embargo, si las condiciones son demasiado severas se produce una degradación de los azúcares hemicelulósicos solubilizados en la fracción líquida e incluso la degradación de la celulosa, originándose una serie de productos tóxicos que afectarán las sucesivas etapas de hidrólisis enzimática y fermentación.

Por lo tanto, a la hora de seleccionar las condiciones del pretratamiento se debe alcanzar un equilibrio entre las condiciones que favorecen la accesibilidad de la celulosa sin degradar la celulosa ni originar productos tóxicos.

*Tabla 6-8: Variables operativas para la etapa de pretratamiento.*

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Temperatura (°C)	220
Tiempo (min)	2,5
Tamaño partícula (mm)	≈ 10

*Fuente: Elaboración propia.*

### 6.9.3 Primera filtración: Separación residuos

Mediante la operación de filtrado al vacío, utilizando un filtro rotario continuo, el producto fibroso se separa en residuo sólido insoluble enriquecido en celulosa y lignina, y una fracción líquida de donde se recuperan azúcares hemicelulósicos solubilizados en el pretratamiento, como también otros productos de degradación.

Tabla 6-9: Concentración de las corrientes obtenidas en la primera filtración. Fuente: Elaboración Propia.

<i>Residuo sólido insoluble</i>	
<i>Parámetro (%p/p)</i>	<i>Valor</i>
Celulosa	95,7
Hemicelulosa: Xilano	2,0
Lignina	1,2
Cenizas	1,04
<i>Fracción líquida</i>	
Celulosa	2,0
Hemicelulosa	45,5
Lignina	28,0
Cenizas	6,5
Otros	18

Fuente: Elaboración Propia.

### 6.9.4 Hidrólisis enzimática

A continuación, se detallan las condiciones operativas para la hidrólisis enzimática, la transformación que se da en esta etapa, fue explicada anteriormente en el presente capítulo, en el título Hidrólisis enzimática.

Tabla 6-10: Variables operativas para la etapa de hidrólisis.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Temperatura (°C)	45 - 50
pH	4,8 - 5,5
Rendimiento (%)	90
Tiempo (h)	72
Velocidad agitación (rpm)	150

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.5 Preparación de sustrato

Etapa necesaria para llevar adelante la fermentación, véase el desarrollo de los componentes necesarios del medio de cultivo en la Tabla 6-4: Composición del medio.

### 6.9.6 Esterilización continua de equipos y del medio

En la siguiente tabla se especifican los parámetros necesarios para llevar a cabo la esterilización del fermentador y prefermentador.

Tabla 6-11: Variables operativas para la etapa de esterilización de fermentador y prefermentador.

Parámetro	Valor
Tiempo (min)	20
Presión (atm)	1

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los parámetros establecidos para la esterilización del medio, se encuentran los siguientes:

Tabla 6-12: Variables operativas para la etapa de esterilización del medio.

Parámetro	Valor
Tiempo (min)	1
Presión (atm)	2
Densidad del medio (kg/m <sup>3</sup> )	1531
Viscosidad del medio (cP)	25

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.7 Fermentación con micelio sumergido

Los detalles de la fermentación seleccionada están en el título: Fermentación con micelio sumergido (SmF) del presente capítulo.

Tabla 6-13: Variables operativas para la etapa de fermentación.

Parámetro	Valor
Equipo	Tanque agitado
Temperatura (°C)	30
Tiempo (horas)	Crecimiento: 12
	Producción AC: 144
pH	Crecimiento: 5,0
	Producción AC: 2,0

Aireación (vvm)	0,5 - 1,0
Rendimiento (%)	85

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.8 Segunda filtración: Separación del producto

El objetivo de esta etapa es separar el producto de fermentación de los desechos. Es decir, se separa el ácido cítrico del micelio, el azúcar residual, proteínas y otras impurezas solubles.

Tabla 6-14: Variables operativas para la etapa de primera filtración.

Parámetro	Valor
Equipo	Filtro prensa
Humedad de la torta (%)	25

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.9 Formación de citrato de calcio: Neutralización.

Lo que ocurre en esta operación, es una reacción de neutralización entre la solución de ácido cítrico con hidróxido de calcio, donde se produce la precipitación de citrato de calcio.

Tabla 6-15: Variables operativas para la etapa de formación de citrato de calcio.

Parámetro	Valor
Temperatura (°C)	90
pH	5,8

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.10 Tercera filtración: Separación del citrato de calcio

Se separa el sobrenadante que contiene agua y glucosa en solución, utilizándose un filtro prensa.

### 6.9.11 Descomposición de citrato de calcio

En un tanque desdoblador con el agregado de ácido sulfúrico que reacciona con el "barro" de citrato de calcio, se logra que el AC quede libre en solución, formándose sulfato de calcio soluble.

Tabla 6-16: Variables operativas para la etapa de descomposición de citrato de calcio.

Parámetro	Valor
Temperatura (°C)	60

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.12 Cuarta filtración: Separación de sulfato de calcio

Véase desarrollo en Formación y descomposición del citrato de calcio.

Tabla 6-17: Variables operativas para la etapa de tercera filtración.

Parámetro	Valor
Equipo	Filtro prensa
Humedad de la torta (%)	5

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.13 Intercambio iónico

El objetivo por cumplir en esta etapa es la eliminación de iones (ion manganeso, zinc, hierro) perjudiciales para el desarrollo de la fermentación.

Tabla 6-18: Variables operativas para la etapa de intercambio iónico.

Iones (ppm)	Concentración máxima
Manganeso	0,002
Zinc	0,1
Hierro	5

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.14 Evaporación

Se concentra la solución de AC desde un 20% p/p hasta un 60% p/p.

Tabla 6-19: Variables operativas para la etapa de evaporación.

Parámetro	Valor
Temperatura del aire (°C)	100
Concentración AC (% p/p)	60

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.15 Cristalización

La solución de AC obtenida de la evaporación se continúa concentrando hasta un 80% p/p.

Tabla 6-20: Variables operativas para la etapa de cristalización.

Parámetro	Valor
Temp. enfriamiento(°C)	18
Concentración (% p/p)	80

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.16 Centrifugación

Se concentra la corriente cristalizada desde un 80 a 95%p/p.

Tabla 6-21: Variables operativas para la etapa de centrifugación.

Parámetro	Valor
Concentración (% p/p)	95%

Fuente: Elaboración propia.

### 6.9.17 Secado

En esta etapa se busca reducir el porcentaje de humedad hasta el porcentaje establecido en la tabla que se encuentra a continuación.

Tabla 6-22: Variables operativas para la etapa de secado.

Parámetro	Valor
Humedad final (%)	0,5
Temperatura del aire(°C)	93

Fuente: Elaboración propia.

# CAPÍTULO 7

---

## *Balance de masa y energía*

*Para acceder a la información de este capítulo ponerse en contacto con:*

[agusaylensj@gmail.com](mailto:agusaylensj@gmail.com)

[ro98ambro@gmail.com](mailto:ro98ambro@gmail.com)

## 7 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

---

### 7.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizan los cálculos del balance de masa y energía del proceso de producción, para establecer las bases necesarias para el diseño y la adopción de equipos. Para llevar adelante este objetivo, se analizan las corrientes másicas de entrada y salida de cada etapa del proceso, la composición y temperaturas de estas.

Para calcular estas corrientes y características, se toma como base el porcentaje de la demanda insatisfecha que se desea satisfacer, que es el 20% de la misma, representando 7.000 toneladas anuales. Considerando un ciclo productivo de 350 días por año, en el que se realizan 3 turnos diarios para cumplir las 24 horas. Los días restantes se aglutinan en una única parada de planta para realizar tareas de mantenimiento.

Dado que el proceso de fermentación dura aproximadamente 7 días, y que se trabaja seis fermentadores, con un tiempo de Batch de 147.33 horas, se realizan 57 Batch anuales teóricos, para tener en cuenta las pérdidas en el inicio y parada de la planta, considerando un tiempo de ciclo de 24.5 horas. Además, se considera entre un 1% a 5% de pérdidas globales en el proceso productivo, relacionado principalmente a las etapas de concentración y purificación del producto.

# CAPÍTULO 8

---

## *Diseño y adopción de equipos*

*Para acceder a la información de este capítulo ponerse en contacto con:*

[agusaylensj@gmail.com](mailto:agusaylensj@gmail.com)

[ro98ambro@gmail.com](mailto:ro98ambro@gmail.com)

## 8 DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

### 8.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se puede observar el desarrollo de cálculos matemáticos necesarios para el diseño y la adopción de equipos utilizados en el proceso de producción de ácido cítrico.

Los datos obtenidos en el Capítulo 7 “Balance de masa y energía” se utilizaron como base de cálculo para el dimensionamiento y diseño en cuestión. Además, se consultaron otras fuentes como ChemCAD, catálogo de proveedores y bibliografía correspondiente.

En la Tabla 8-1 se observa los equipos presentes en el proceso productivo, en la misma se aclara si su construcción fue a partir de diseño o adoptado por catálogo.

También, se encuentra la denominación de cada equipo, cabe aclarar que la numeración comienza en la unidad (SA-1; T-1; T-2)

Tabla 8-1: Denominación de equipos diseñados y/o adoptados.

<b>Denominación</b>	<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Etapas</b>	<b>Adopción/Diseño</b>
SA	Silo de almacenamiento	2	Almacenamiento de cáscara de arroz	Dimensionamiento y adopción
TVAC	Tolva	2	Ácido cítrico (PF)	Dimensionamiento y adopción
TVSC	Tolva	2	Sulfato de calcio	Dimensionamiento y adopción
TH	Tanque de almacenamiento	2	Almacenamiento de Ca (OH) <sub>2</sub>	Dimensionamiento y adopción
TAS	Tanque de almacenamiento	3	Almacenamiento de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Dimensionamiento y adopción
TVC	Tolva almacenamiento	6	Explosión de vapor	Dimensionamiento y adopción
TG	Tanque almacenamiento	6	Hidrólisis enzimática	Dimensionamiento y adopción

TM	Tanque almacenamiento micelio	1	Fermentación	Dimensionamiento y adopción
TAPF	Tanque de almacenamiento Producto de fermentación	1	Fermentación (AC)	Dimensionamiento y adopción
RE	Reactor explosión de vapor	2	Explosión de vapor	Diseño
TE	Tanque de expansión	1	Explosión de vapor	Diseño
FR	Filtro rotatorio al vacío	2	Posterior a la explosión de vapor.	Dimensionamiento y adopción
			Posterior al hidrolizado	
R	Reactor de hidrólisis	3	Hidrólisis	Diseño
	Reactor neutralizador		Formación de citrato de calcio	
	Reactor desdoblador		Descomposición del citrato de calcio	
PF	Prefermentador	2	Propagación del cultivo	Diseño
CP	Compresor	1	Fermentación	Dimensionamiento y adopción
BR	Fermentador	6	Fermentación	Diseño
FP	Filtro prensa	3	Separación del micelio	Dimensionamiento y adopción
			Separación citrato de calcio	
			Separación sulfato de calcio	
TAG	Tanque almacenamiento	1	Proveniente del reactor neutralizador	Dimensionamiento y adopción

	solución de glucosa			
EV	Evaporador Doble efecto	1	Purificación	Diseño
C	Cristalizador	1	Purificación	Diseño
TP	Tanque pulmón	2	Previo etapa purificación	Diseño
			Previa etapa de secado	
CT	Centrífuga	1	Purificación	Dimensionamiento y adopción
S	Secador	2	Sulfato de calcio	Dimensionamiento y adopción
			Ácido cítrico	
DAS	Tanque de dilución de ácido sulfúrico	1	Descomposición de citrato de calcio	Diseño
TCP	Tanque almacenamiento citrato de calcio	1	Reactor de neutralización	Dimensionamiento y adopción
TS	Tanque preparación de sustrato	1	Preparación de sustrato	Diseño
IP	Intercambiador de placas	3	Esterilización del medio	Diseño
EN	Envasadora	1	Producto final	Dimensionamiento y adopción

Fuente: Elaboración propia.

<sup>2</sup> Valor supuesto 10cm más grande que el diámetro interior del tanque.

<sup>3</sup> Tabla 5.2, página 120 de Sales.

<sup>4</sup> Tabla 5.2, página 120 de sales.

<sup>5</sup> Valor supuesto: 5cm más grande que el diámetro interior del tanque de expansión.

<sup>6</sup> Tabla 5.2 - página 120 Sales.

<sup>7</sup> Tabla 5.2 - página 120 Sales.

<sup>8</sup>  $K_s=0,9$  por la conductividad térmica del agua. El valor de la conductividad del agua se extrae de la tabla 4, página 906, Kern 1999.

<sup>9</sup> Teniendo en cuenta la tabla 12 de la página 950 del Kern (1999).

# CAPÍTULO 9

---

*Servicios auxiliares*

## 9 SERVICIOS AUXILIARES

---

### 9.1 INTRODUCCIÓN

Los servicios auxiliares desempeñan un papel esencial en las industrias, en la planta de producción de ácido cítrico se detallan las características y consumo de los servicios auxiliares utilizados en diferentes etapas productivas, y ellos incluyen:

- Agua de pozo.
- Agua de enfriamiento.
- Vapor de agua.
- Aire comprimido.

Estos servicios no solo son necesarios para mantener las operaciones de forma óptima y continua en el proceso, sino que también tienen un impacto significativo en la eficiencia, la seguridad y la calidad de los procesos industriales. En este capítulo, se desarrollará en profundidad la importancia de los servicios auxiliares y su gestión efectiva en el proceso productivo.

### 9.2 SERVICIOS DE AGUA

La obtención de agua en el Parque Industrial Concepción del Uruguay (PICU) se realiza mediante la perforación de pozos subterráneos, utilizando equipos de bombeo y un sistema de distribución interno. Como resultado, en el parque existe una infraestructura de suministro de agua potable disponible. Este servicio se utiliza para abastecer de agua a diversos sectores de la planta, incluyendo no solo las áreas de producción, sino también los espacios destinados a oficinas, laboratorio, baños, vestidores y el comedor. Además, se ha implementado una estación de bombeo propia para respaldar los procesos y para reponer los circuitos cerrados cuando sea necesario.

#### 9.2.1 Requerimiento de agua de enfriamiento

En el proceso productivo es necesaria la utilización de agua como medio de enfriamiento en diferentes equipos, esta agua de enfriamiento será recuperada y

enfriada en las torres de enfriamiento, las cuales se dimensionan y adoptan en base a la cantidad de agua necesaria en el proceso.

En la Tabla 9-1 se detallan las cantidades de agua requeridas en cada equipo de proceso y la cantidad total.

*Tabla 9-1: Requerimiento de agua de enfriamiento de los equipos de proceso.*

<b>Requerimiento de agua de enfriamiento</b>		
<i>Identificación</i>	<i>Equipo</i>	<i>Volumen requerido</i>
IT-3	Intercambiador de calor	581,24 m <sup>3</sup>
PF	Prefermentador	3,35 m <sup>3</sup>
BR	Fermentador	6.669,50 m <sup>3</sup>
<b>Total</b>		<b>7.254,08 m<sup>3</sup></b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Las torres de enfriamiento consumen entre el 1% y 3% del flujo de agua circulante en el sistema de enfriamiento como agua de reposición, significando que, en el sistema de enfriamiento por cada 100 litros de agua circulante, se requiere de 1 a 3 litros de agua de reposición. Por este motivo, se considera una cantidad de agua de reposición de 72,54 m<sup>3</sup>.

### **9.2.1.1 Adopción de torres de enfriamiento**

De acuerdo con el caudal de agua de enfriamiento requerido se adoptan 6 torres de enfriamiento de circuito abierto, tipo modulares, aptas para montaje sobre pileta de hormigón armado, provistas por SINAX, las características de estas se detallan a continuación.

Tabla 9-2: Características de torres de enfriamiento adoptadas.

<b>Características generales de las torres de enfriamiento</b>			
Serie	EWK MODUPOL		
Material de construcción	100% Poliéster reforzado de fibra de vidrio (PRFV)		
Tiraje	A tiro inducido y flujo a contracorrientes		
Accionamiento	De conjunto motor ventilador con reductor de velocidad.		
Separadores de gotas	Original de Enxio disponibles en PVC o Polipropileno, unidos por electrosoldado, diseño especial tipo "Z" que impide el arrastre de agua al exterior de la torre, por la acción del ventilador.		
Tornillería de sujeción	Acero inoxidable calidad AISI 304		
Capacidad hidráulica	Desde 120 a 1350 m <sup>3</sup> /h por torre		
Modelo	EMKM 4500		
Capacidad máxima (m <sup>3</sup> /h)	1.350		
Dimensiones (mm)	Largo: 6.930	Ancho: 6.930	Altura: 3.675
Potencia ventilador (HP)	60		
Peso (kg)	Vacío: 7.800	Servicio: 11.000	

Fuente: <https://www.sinax.com.ar/>.

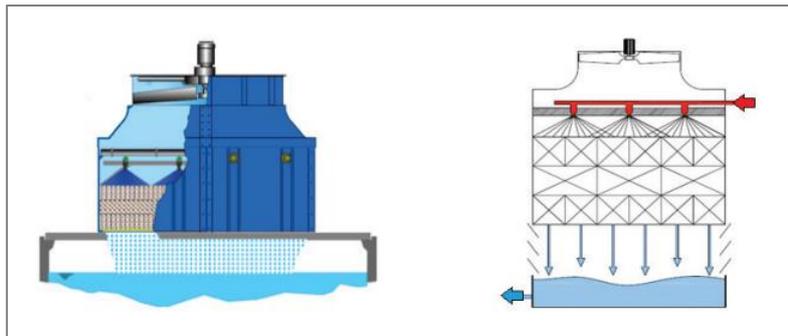


Figura 9-1: Esquema de funcionamiento de torres de enfriamiento. Fuente: <https://www.sinax.com.ar/>.



Figura 9-2: Torres de enfriamiento adoptadas. Fuente: <https://www.sinax.com.ar/>.

### 9.2.1.2 Diagrama de abastecimiento de agua de enfriamiento

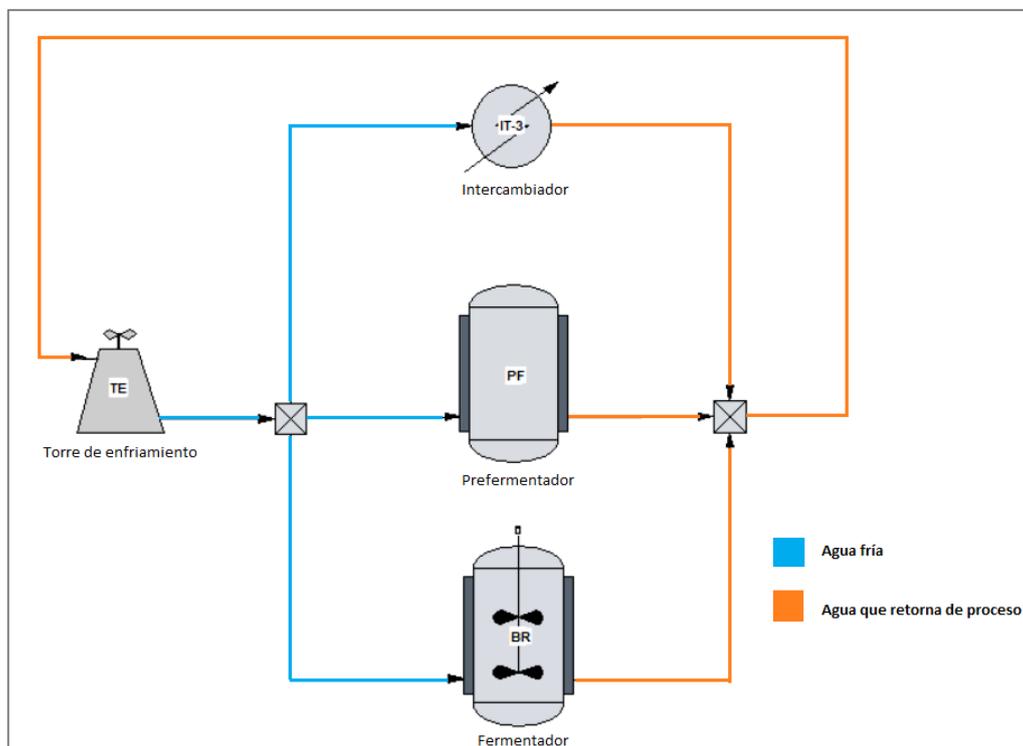


Figura 9-3: Diagrama de abastecimiento de agua de enfriamiento. Fuente: Elaboración propia.

## 9.2.2 Tratamiento del agua

En el proceso de producción, es esencial utilizar agua purificada para llevar a cabo la fermentación. Este tipo de agua también es necesario para generar vapor en la caldera, llevar a cabo la limpieza CIP y para tareas de enfriamiento. La razón detrás de esta necesidad es evitar la acumulación de incrustaciones en los equipos.

Para satisfacer esta demanda, la planta de procesos cuenta con una zona dedicada a la purificación del agua, asegurando que cumpla con los requisitos necesarios para el proceso. La purificación del agua se logra mediante una columna de intercambio iónico y otra de carbón activado. La primera se encarga de eliminar las sales inorgánicas, mientras que la segunda se encarga de los componentes orgánicos. A continuación, describiremos brevemente estas operaciones.

La desionización del agua implica la eliminación de sustancias disueltas cargadas eléctricamente, conocidas como iones. Esto se logra utilizando resinas de intercambio iónico que absorben estos iones, haciéndola adecuada como materia prima para diversos procesos industriales y farmacéuticos. Las sustancias no

cargadas eléctricamente, como los compuestos orgánicos, no se ven afectadas por este proceso.

Las resinas de intercambio iónico pueden ser de dos tipos: catiónicas, que reemplazan los cationes disueltos, o aniónicas, que reemplazan los aniones disueltos. Para eliminar todos los iones del agua, a menudo se utilizan resinas de ambos tipos en serie o en un lecho mixto. Estas resinas son materiales sintéticos diseñados específicamente para el tratamiento de aguas industriales.

A diferencia de la des ionización, el tratamiento del agua con carbón activado es un proceso de adsorción que implica la captación de sustancias solubles en la superficie del carbón activado. En este contexto, se utilizan dos formas principales de carbón activado: granular y en polvo. El carbón activado granular se utiliza para eliminar elementos traza, especialmente compuestos orgánicos, que pueden afectar el sabor, color u olor del agua. Por otro lado, el carbón activado en polvo se emplea en procesos biológicos cuando el agua contiene sustancias orgánicas tóxicas.

Para llevar a cabo estas operaciones de purificación de agua, se ha contratado a la empresa Química EG S.R.L., líder en el tratamiento y purificación de agua en el país. Esta empresa se encargará de todas las etapas, desde la ingeniería y fabricación hasta el montaje, la puesta en marcha, la asistencia técnica, la operación y el mantenimiento.

### **9.2.3 Sistema de limpieza CIP**

#### **9.2.3.1 Definición de sistema de limpieza CIP (Cleaning in Place).**

La limpieza in situ (CIP) es un método de limpieza realizado automáticamente, aplicado para eliminar residuos de elementos de equipos de planta y circuitos de tuberías sin desmontar ni abrir el equipo. Este sistema está diseñado para proporcionar una limpieza rápida, productiva, consistente y reproducible de alta calidad para todas las superficies de contacto con el producto a un nivel predeterminado de limpieza, funciona mediante la circulación de soluciones químicas (detergentes y desinfectantes) y el enjuague de agua a través de tanques y tuberías de la planta de procesamiento que permanece ensamblada con su configuración de producción, y mediante chorro o pulverización de las superficies

de contacto con el producto en condiciones de mayor turbulencia y velocidad de flujo.

### 9.2.3.2 Principales ventajas y desventajas de la limpieza CIP

En la Tabla 9-3 y Tabla 9-4 se detallan las respectivas ventajas y desventajas que presenta el sistema de limpieza CIP.

Tabla 9-3: Ventajas de la limpieza CIP.

<b>Ventajas</b>	<b>Desarrollo</b>
Adecuado para limpiar una amplia selección de equipos de proceso	Limpieza de tanques, tuberías, bombas, válvulas, intercambiadores de calor, máquinas centrífugas y homogeneizadores, entre otros.
Mínimo esfuerzo manual	Las operaciones manuales pueden reducirse o eliminarse por completo dependiendo del grado de automatización.
Fácil automatización	Limpieza consistente y reproducible de alta calidad con menos contaminación cruzada entre lotes de productos y menos productos fuera de especificación porque cada programa de limpieza es el mismo que el anterior.
Mejora en la higiene	En un proceso CIP de sistema cerrado sin contacto humano, se pueden usar temperaturas más altas y detergentes más fuertes para la circulación, y se puede aplicar muchas veces más líquido de limpieza por unidad de tiempo y por unidad de área en condiciones de mayor turbulencia y velocidad de flujo. El fluido se puede distribuir de manera más uniforme, o se puede aplicar más solución a áreas muy sucias, mientras que las áreas menos sucias se pueden tratar de manera menos agresiva. Debido a que la integridad física del equipo de proceso se mantiene durante la CIP, la recontaminación es menos probable. El resultado general es menos rechazos de productos.
Trazabilidad de las operaciones de limpieza	Los sistemas CIP automatizados pueden registrar todas las secuencias de limpieza y parámetros clave (tiempo, temperatura, productos químicos y acción física), proporcionando monitoreo de validación, documentación y trazabilidad.
Reducción del tiempo de inactividad de la planta	Los tanques y las tuberías se pueden limpiar tan pronto como estén vacíos, y a la inversa se pueden volver a llenar inmediatamente después de la limpieza. No hay que dedicar tiempo al desmontaje y remontaje de equipos de proceso. CIP permite una limpieza más rápida que la limpieza manual.
Reducción del desgaste y los daños por desmontaje	La elevada frecuencia de desmontaje y reensamblaje de los componentes del equipo de proceso que es típica de las operaciones de limpieza manual puede causar daños irreversibles a sus superficies mecanizadas. Como este no es el caso con CIP, se observan menores costos de mantenimiento y reparación.
Menor impacto ambiental	Debido a la recuperación parcial o total de las soluciones de limpieza y las aguas de enjuague, se pueden lograr ahorros significativos en agua, detergente y consumo de energía. La

	cantidad de efluente y la carga de contaminación serán mucho menores.
Ahorro considerable en costos	Ahorro en agua, detergentes, desinfectantes, energía, tratamiento de efluentes, mano de obra, reelaboración de productos fuera de especificación.
Mayor seguridad para el operador	CIP reduce la exposición del personal operativo a atmósferas peligrosas y condiciones de limpieza como altas temperaturas y agentes de limpieza y desinfectantes agresivos. También se elimina el uso de escaleras o soportes temporales para la entrada peligrosa de embarcaciones y el riesgo de caídas en superficies internas resbaladizas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9-4: Desventajas del sistema de limpieza CIP.

<b>Desventajas</b>	<b>Desarrollo</b>
Alto costo de capital	Los costos de inversión para implementar CIP en una nueva instalación o modernizar una planta existente son considerablemente altos, especialmente porque la mayoría de los sistemas CIP están diseñados a medida. La complejidad del hardware y el software para controlar y monitorear el proceso CIP aumenta aún más el gasto de capital. Pero el retorno de la inversión suele ser inferior a un año, debido a los menores costos de mano de obra, materias primas y energía.
Menos adecuado para eliminar suelos pesados insolubles	El CIP carece de eficacia en la eliminación de suciedad pesada en la industria cárnica y avícola. En estas áreas, la aplicación de CIP se limita a cámaras de descongelación al vacío, líneas de bombeo y circulación de salmuera, silos de premezcla / lote y sistemas de procesamiento de grasa comestibles y no comestibles.
Los equipos de proceso deben estar diseñados higiénicamente	Tanto para el procesamiento higiénico como para un CIP adecuado, las líneas de proceso y los equipos deben diseñarse higiénicamente al principio de su diseño. Un sistema CIP eficiente por sí solo no es suficiente.
Inflexibilidad	Los sistemas CIP estacionarios solo permiten la limpieza de equipos de proceso adyacentes a un costo operativo reducido. Las unidades CIP móviles permiten una mayor flexibilidad, ya que pueden cubrir equipos de proceso en un área más grande.
Mayor mantenimiento	Los equipos más sofisticados requieren más mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

### 9.2.3.3 Factores clave para un eficaz proceso de limpieza CIP

Para limpiar todo el equipo de proceso y el sistema de tuberías en un mínimo de tiempo, un sistema CIP tiene como objetivo combinar los beneficios de la alta temperatura de la solución (energía térmica) y la actividad química de los productos químicos detergentes (energía química) con la acción mecánica causada por el flujo turbulento y el impacto de los aerosoles / chorros de solución de limpieza en las

superficies del equipo (energía mecánica). Pero para tener éxito, otros factores son igualmente importantes, como la calidad del agua para preparar las soluciones de limpieza (bajos recuentos de microorganismos en mal estado, baja dureza del agua), el contacto íntimo entre la solución de limpieza y el suelo (toda la superficie a limpiar debe estar cubierta), el programa CIP aplicado, el diseño higiénico del equipo de proceso a limpiar, y la calidad del trabajo del personal de limpieza.

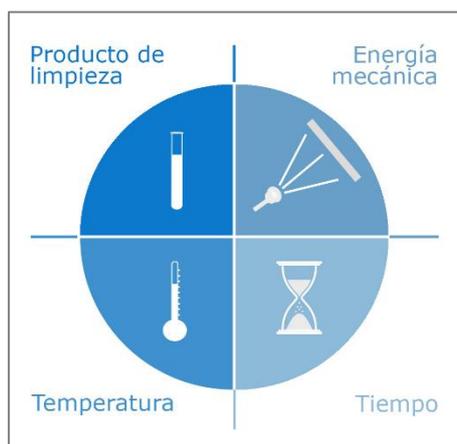


Figura 9-4: Factores claves del sistema de limpieza CIP.

#### 9.2.3.4 Productos químicos de limpieza

Se puede considerar que un proceso de limpieza consta de tres pasos principales:

1. Desplazamiento del suelo orgánico y / o inorgánico del sustrato del equipo por reacciones químicas y procesos físicos;
2. Dispersión del suelo en el medio de limpieza y
3. Prevención de la redeposición del suelo en el sustrato.

El primer paso exige un agente de limpieza con un excelente poder humectante para reducir la tensión superficial del medio de limpieza y ayudar a que el líquido de limpieza penetre en el suelo y los poros superficiales. La solubilización del suelo puede aumentarse porque los detergentes pueden dispersarse y secuestrar respectivamente el suelo orgánico e inorgánico. El segundo paso requiere productos químicos detergentes con un excelente poder de suspensión y emulsión para suspender los suelos insolubles y mantener los aceites y grasas dispersos dentro de la solución de limpieza. Para evitar finalmente la redeposición del suelo, las

propiedades de dispersión y secuestro involucradas en el primer y segundo paso se abordan nuevamente.

Debido a que no existe una formulación de detergente universal que tenga la capacidad de eliminar todo tipo de suciedad y que pueda limpiar todo tipo de equipos de proceso, se debe seleccionar un detergente que brinde los mejores resultados de limpieza para un equipo de proceso específico. La selección de un agente de limpieza adecuado es una tarea exigente, ya que un detergente preferido debe cumplir varios criterios:

- Eficaz contra una amplia gama de suelos;
- Excelentes propiedades humectantes, emulgación de grasas y secuestro;
- Potencial para suspender el suelo y mantenerlo disperso dentro de la solución de limpieza;
- Proporcionar una limpieza óptima a baja concentración;
- Permitir una mezcla rápida y completa con agua (solubilidad rápida y completa en agua);
- Poseer una excelente tolerancia al agua dura;
- Baja espuma para permitir un enjuague rápido y completo;
- Permitir un enjuague rápido y libre (sin residuos de detergente);
- Grado alimenticio (no tóxico, libre de perfumes y colorantes, etc.);
- Compatible con todos los materiales de construcción, no corrosivo;
- Sin efectos nocivos en las superficies del equipo;
- Respetuoso con el medio ambiente (por ejemplo, biodegradable);
- Preferentemente autorizado por reglamentos;
- Bajo costo

En función del resultado de limpieza requerido, que varía de físicamente limpio sobre químicamente limpio a microbiológicamente limpio, una amplia selección de formulaciones de detergentes de múltiples componentes está disponible en el mercado. Son del tipo alcalino, neutro o ácido.

### 9.2.3.5 *Secuencia de limpieza CIP*

La función de la unidad de limpieza CIP es, por lo tanto, la de preparar automáticamente las soluciones de limpieza en la concentración y temperatura adecuadas, y programar los distintos ciclos para la limpieza de todos los elementos de la planta, controlando temperatura, caudal y/o presión. (“Sistema Limpieza CIP - VSIP.INFO”) Los pasos por seguir para efectuar la limpieza son los siguientes:

1. Aclarado inicial con agua recuperada
2. Fase alcalina
3. Aclarado intermedio
4. Fase ácida
5. Aclarado final

Debido las características del proceso, y que en los equipos la suciedad está compuesta principalmente por restos de medio de cultivo y biomasa residual. Bastará con utilizar una solución álcali para realizar la limpieza. Se utiliza NaOH, que presenta alta eficacia y bajo costo, a una concentración del 1,5 % a 70 °C (Guilbert, 1994). Tanto el aclarado inicial como el final se llevan a cabo a temperatura ambiente.

Para la limpieza de los tanques y reactores se instalan en su interior boquillas de chorro lleno TankJet® 65 (Figura 9-5) las cuales giran en múltiples ejes para proporcionar una cobertura completa de 360° de todo el tanque cada 45 revoluciones. Para los prefermentadores y fermentadores se adoptan boquillas TankJet®27500 (Figura 9-6), ideales para utilizar en la industria alimentaria.



Figura 9-5: Boquilla de limpieza TankJet®65.

Tabla 9-5: Características de boquillas de limpieza TankJet®65.

<b>Características de boquillas TankJet®65</b>	
Proveedor	Spraying Systems Co. Sucursal Argentina.
Función	Limpieza
Fluido	Líquido
Chorro	Chorro lleno
Material	Acero inoxidable
Aplicaciones	Industria alimentaria, química.
Ángulo de chorro	360°
Rango de caudal (l/min)	114 - 568
Rango de presión (bar)	3,4 - 10,3
Rango de temperatura del medio (°C)	121 - 260
Diámetro máximo del tanque (m)	12,2
Cantidad	11

Fuente: <https://www.spray.com/es-ar/productos/limpieza-de-tanques/tankjet-65-y-65ht>



Figura 9-6: Boquilla de limpieza TankJet®27500.

Tabla 9-6: Características de boquillas de limpieza TankJet®27500.

<b>Características de boquillas TankJet®27500</b>	
Proveedor	Spraying Systems Co. Sucursal Argentina.
Función	Limpieza
Fluido	Líquido
Chorro	Chorro lleno
Material	PTFE, fluoropolímero, resina
Aplicaciones	Industria alimentaria, química.
Ángulo de chorro	360° - 180° - 270°
Rango de caudal (l/min)	475 - 1.480
Rango de presión (bar)	0,7 - 3,4
Rango de temperatura del medio (°C)	0 - 93
Diámetro máximo del tanque (m)	7,6
Cantidad	9

Fuente: <https://www.spray.com/es-ar/productos/limpieza-de-tanques/tankjet-65-y-65ht>

El programa de lavado elegido para los prefermentadores y fermentadores se ajusta al tiempo disponible para la limpieza. Debido a que se debe realizar también la esterilización in situ. Del tiempo destinado a la limpieza se utiliza 1 hora para el desarrollo de la limpieza CIP, quedando tiempo suficiente para la esterilización de los equipos.

Teniendo en cuenta los caudales y presiones a la salida de las boquillas utilizadas en los equipos, en la se detalla el programa de lavado CIP parra las etapas de prefermentación y fermentación.

Tabla 9-7: Programa de lavado CIP para prefermentadores y fermentadores.

<b>Programa de lavado CIP</b>							
<i>Prefermentadores</i>							
<i>Etapas</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (l)</i>					
		PF-1			PF-2		
Aclarado inicial (con agua de recuperación del lavado anterior)	15	1.000			500		
Fase alcalina (Hidróxido de sodio 1,5%)	30	1.400			800		
Aclarado final (agua limpia)	15	1.000			500		
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>3.400</b>			<b>1.800</b>		
<i>Fermentadores</i>							
<i>Etapas</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (l)</i>					
		BR-1	BR-2	BR-3	BR-4	BR-5	BR-6
Aclarado inicial (con agua de recuperación del lavado anterior)	15	1.000	800	700	600	500	400
Fase alcalina (Hidróxido de sodio 1,5%)	30	1.400	900	800	700	600	500
Aclarado final (agua limpia)	15	1.000	800	700	600	500	400
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>3.400</b>	<b>2.500</b>	<b>2.100</b>	<b>1.900</b>	<b>1.600</b>	<b>1.300</b>

Fuente: Elaboración propia.

La presión de salida de las boquillas debe ser de 1,5 bar. El volumen total de agua a utilizar diariamente para la limpieza de los prefermentadores y fermentadores es de 18000 l aproximadamente, de los cuales 4.500 l se retornan al tanque para ser utilizados nuevamente en el ciclo de lavado posterior y 13.500 l deben reponerse diariamente.

En cuanto al programa de lavado de los demás equipos se detalla en la Tabla 9-8.

Tabla 9-8: Programa de limpieza CIP para otros equipos.

<b>Programa de lavado CIP para otros equipos</b>						
Equipo	Aclarado inicial		Fase alcalina		Aclarado final	
	Tiempo(min)	V (l)	Tiempo(min)	V (l)	Tiempo(min)	V (l)
RE-1	5	300	10	400	5	300
RE-2	5	300	10	400	5	300
TE	3	200	6	250	3	200
TM	1	100	2	150	1	100
TAPF	1	100	2	150	1	100
R-1	5	300	10	400	5	300
R-2	5	300	10	400	5	300
R-3	5	300	10	400	5	300
TAG	1	100	2	150	1	100
TP	5	300	10	400	5	300
TS	5	300	10	400	5	300
IP-1	2	150	4	150	2	150
IP-2	2	150	4	150	2	150
IP-3	2	150	4	150	2	150
<b>Total</b>		<b>3.050</b>		<b>3.950</b>		<b>3.050</b>

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de agua necesaria para la limpieza CIP de todos los demás equipos es de 10.050 l aproximadamente, de los cuales se deben reponer 4.020 l.

En total considerando todos los equipos de proceso nombrados anteriormente, la cantidad de agua de reposición para tener en cuenta es de 18.525 l.

## 9.2.4 Requerimiento de agua de proceso

Tabla 9-9: Requerimiento de agua de proceso.

<b>Requerimiento de agua de proceso</b>		
Identificación	Equipo	Volumen requerido
R-1	Reactor de hidrolisis	262,36 m <sup>3</sup>
DAS	Tanque dilución de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	81,99 m <sup>3</sup>
<b>Total</b>		<b>344,35 m<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia.

### 9.2.4.1 Tanque de almacenamiento de agua de proceso

Para dimensionar el tanque de almacenamiento de agua de proceso se tiene en cuenta que éste tenga una capacidad necesaria para abastecer el agua que requiere cada ciclo del proceso. Considerando los valores requeridos de agua establecidos en el balance de masa, el tanque debe almacenar 440,31 m<sup>3</sup> por ciclo. Considerando

que el agua utilizada en las torres de enfriamiento, caldera y para limpieza CIP sólo corresponde la de reposición, dado que se trabaja en circuito cerrado.

Para determinar la capacidad del tanque de almacenamiento se considera un 10% de sobredimensionamiento como factor de seguridad, teniendo entonces un volumen total de  $484,34 \text{ m}^3$ .

Se adopta un tanque vertical de almacenamiento de agua de  $500 \text{ m}^3$ , modelo TVA-500 de la empresa EURO TANK WORKS, construido de acero inoxidable, el espesor de la pared es de 5 mm, con un diámetro de 8.45 m y una altura de 9,25m.



Figura 9-7: Tanque de almacenamiento de agua. Fuente: <https://tanque-silo.es/>.

### 9.2.4.2 Diagrama de abastecimiento de agua de proceso

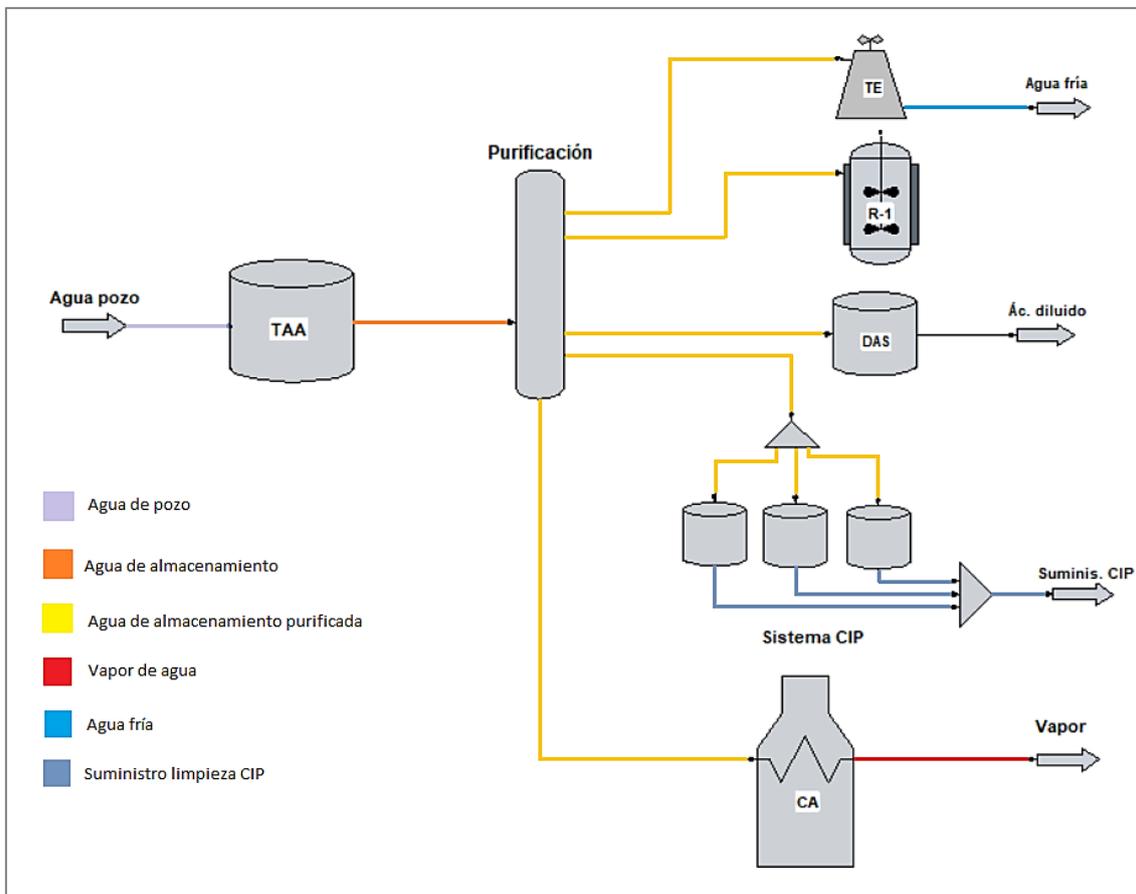


Figura 9-8: Diagrama de abastecimiento de agua de proceso. Fuente: Elaboración propia.

### 9.2.5 Requerimiento de agua para usos generales

Se requerirá servicio de agua corriente para los usos generales como administración, baños, laboratorio, comedor, entre otros. Esta agua será almacenada en un tanque de almacenamiento particular, estimando un consumo de agua de aproximadamente 25 m<sup>3</sup> por día, el cual es determinado en función de la cantidad de empleados.

#### 9.2.5.1 Tanque de almacenamiento para agua de usos generales

El tanque adoptado para almacenar el agua de usos generales será un tanque vertical con una capacidad de 26 m<sup>3</sup>, con 2,95 m de diámetro y 4,4 m de altura; fabricado en polietileno virgen con protección U.V. y provisto con una tapa de inspección de 45.5 cm de diámetro. Con certificación ASSAL.



Figura 9-9: Tanque de almacenamiento de agua de usos generales. Fuente: <https://duraplas-argentina.com/producto/tanque-vertical-de-26000lts#>.

### 9.3 VAPOR DE AGUA

Se trata de uno de los servicios claves en la planta procesadora de ácido cítrico, ya que este se va a participar en la etapa de explosión de vapor (pretratamiento de la materia prima), luego, en la esterilización del medio de fermentación y en la etapa de evaporación (purificación del producto final).

Las características del vapor a utilizar, va a depender de la etapa de proceso donde se esté utilizando. Pero, la temperatura máxima que se va a necesitar es de 220°C, por lo que el calor de vaporización es de 519,87 kcal/kg.

De acuerdo con los datos del balance de energía, se estima que la masa de vapor total que se consume es de 194tn.

Se estima un 10% de pérdida de agua, la cual debe extraerse de pozo, tratar y reponer a la caldera, esta pérdida es igual a 19,4tn respecto del vapor utilizado.

#### 9.3.1 Adopción de caldera

Se adopta una caldera humo tubular de tres pasos efectivos de gases, fondo húmedo, elevados coeficientes de transmisión de calor y alto rendimiento térmico. La circulación se inicia desde el quemador, siendo el horno el primer paso efectivos de gases, al llegar al final de este se direcciona por el primer haz de tubos, siendo este el segundo paso efectivo de gases, estos se direccionan hacia adelante y chocan con

la puerta delantera de la caldera, dirigiéndose por el segundo haz de tubos o tercer paso efectivo de gases hasta salir evacuados por la chimenea a la atmósfera. (“Calderas - CALDERAS ARGENTINAS”)

- La accesibilidad a los tubos facilita el mantenimiento y abarata costos.
- La sección exterior de la cámara de transferencia es enfriada con agua y está equipada con una puerta de acceso, aislada por un compuesto altamente resistente.
- Baja pérdida calorífica por radiación, gracias al aislamiento de buen espesor y alta densidad, así como al aislamiento de la puerta delantera y de la puerta trasera.

Es un tipo de caldera conveniente para uso industrial.

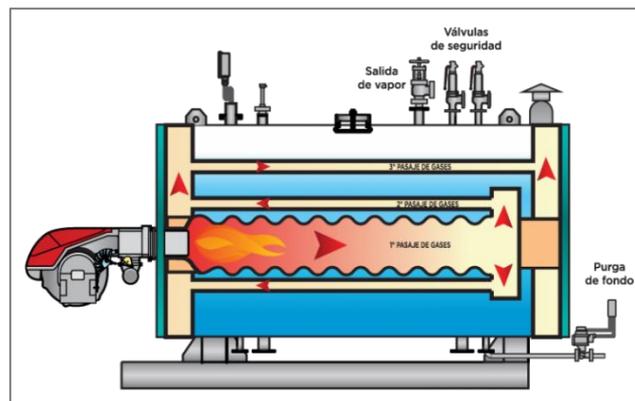


Figura 9-10: Ilustración e identificación de parte de la caldera humo tubular.

En la Tabla 9-10 se detallan las características de la caldera adoptada y en la Figura 9-11 se aprecia el modelo.



Figura 9-11: Caldera y tablero.

Tabla 9-10: Especificaciones de la caldera.

<b>Datos de caldera</b>	
Fabricante	Markowicz
Modelo	LNR125
Tipo	Humo tubular de 3 pasos con circulación forzada de gases
Construcción	Acero
Combustible	Gas natural, Gas envasado, Gas oíl o Petróleo.
Capacidad (kg vapor/h)	2.000
Capacidad (kcal/h)	1.320.000
Capacidad (kW)	1.535
Capacidad calorífica del quemador (kcal/h)	1.518.000
Consumo de gas natural (m <sup>3</sup> /h)	127,06
Presión de trabajo (atm)	7-8
Superficie de calefacción (m <sup>2</sup> )	50
<b>Datos constructivos</b>	
Largo total (mm)	5.800
Ancho total (mm)	2.500
Alto total (mm)	2.600

Fuente: Elaboración propia.

### 9.3.2 Diagrama de abastecimiento de vapor

Las corrientes en rojo representan el vapor de caldera, mientras que las corrientes en verde representan el condensado.

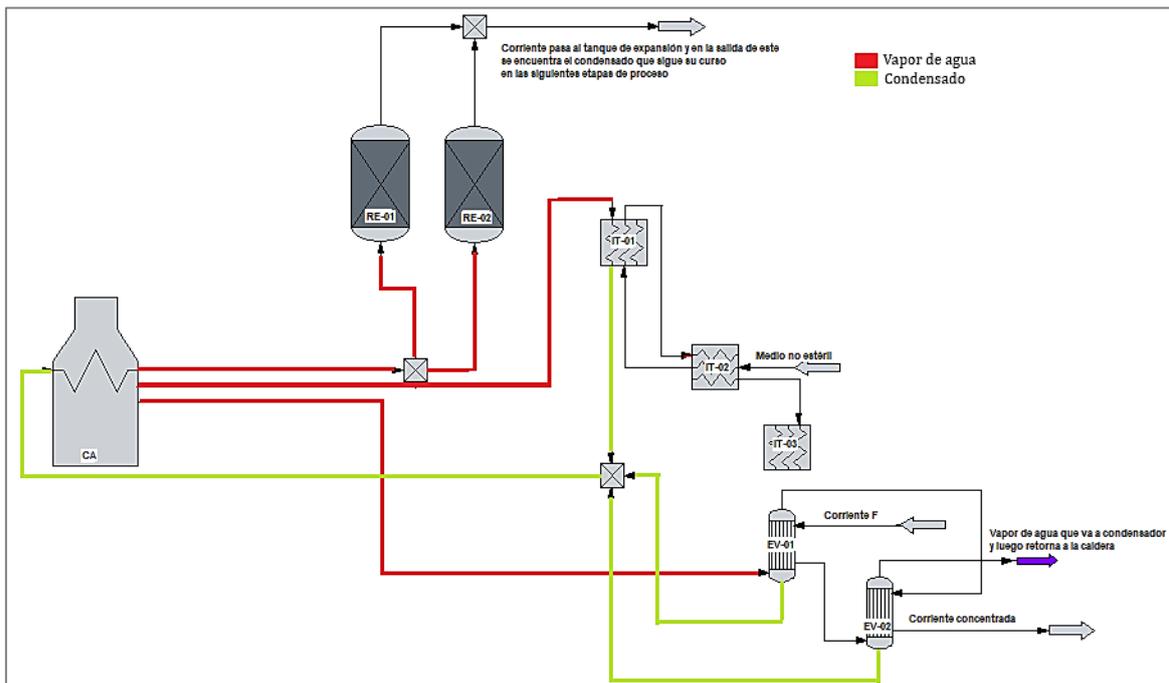


Figura 9-12: Diagrama de distribución de vapor. Fuente: Elaboración propia.

### 9.3.3 Dimensiones de las tuberías de distribución de vapor

Para dimensionar el diámetro de una tubería de vapor sobrecalentado y retorno de condensados, se tienen en cuenta la velocidad con la que circulan en la línea de distribución.

- El diámetro de la tubería depende de la velocidad del vapor, puesto que, con una mayor velocidad de vapor en la línea de distribución, aumentan la erosión y el ruido. Por lo tanto, las velocidades recomendadas para una adecuada y correcta distribución de vapor dentro de las líneas son de 25 a 35 m/s.
- Para el retorno de condensado la velocidad de diseño depende de la existencia de vapor en la línea. ("SISTEMA DE DISTRIBUCION DE VAPOR - PDF4PRO") Si solo es líquido, como en este caso, la velocidad recomendada varía entre 1 y 1,5 m/s.

El cálculo del diámetro de la tubería se efectúa con la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times M_v \times V_e}{V \times \pi}}$$

$D$ : Diámetro de la tubería (m)

$M_v$ : Masa de vapor  $\left(\frac{kg}{h}\right)$

$V_e$ : Volumen específico de vapor  $\left(\frac{m^3}{kg}\right)$

$V$ : Velocidad de vapor  $\left(\frac{m}{h}\right)$

Tabla 9-11: Tuberías de vapor adoptadas para esterilización y evaporación.

	<b>Tubería de vapor</b>	<b>Tubería condensados</b>
$M_v$ (kg/h)	1.850	1.850
$V_e$ adoptado ( $m^3/kg$ )	0,4624 <sup>10</sup>	0,001036 <sup>11</sup>
$V$ adoptado (m/h)	90.000	3.600
$D$ calculado (in)	4,33	1,02
Construcción	Acero al carbono Schedule 80	Acero al carbono Schedule 80
Aislante	Lana mineral	Lana mineral

Fuente: Elaboración propia.

En el capítulo de diseño y dimensionamiento de equipos, se describe que el ingreso de vapor al reactor se realiza por la parte superior e inferior, por lo que existe una división en la masa total solicitante. En la Tabla 9-12 se detallan sus características.

Tabla 9-12: Tuberías de vapor adoptadas para la explosión de vapor.

<b>Tubería de vapor</b>	
$M_v$ (kg/h)	24.000
$V_e$ adoptado ( $m^3/kg$ )	0,4624
$V$ adoptado (m/h)	90.000
$D$ calculado (in)	15,60
Construcción	Acero al carbono Schedule 80
Aislante	Lana mineral

Fuente: Elaboración propia.

## 9.4 GAS NATURAL

La producción de gas natural en la Argentina se concentra en cuatro cuencas: Noroeste, Neuquina, Del Golfo, y Austral. El gas natural extraído de dichas cuencas es inyectado en el sistema de gasoductos troncales, que transportan el fluido desde los yacimientos hasta las zonas de consumo. La operación de estos gasoductos es

<sup>10</sup> Dato extraído de la página web "TLV compañía especialista en vapor".

<sup>11</sup> Dato extraído de la página web "TLV compañía especialista en vapor".

llevada adelante por las Empresas Transportadoras, Transportadora de Gas del Norte (TGN) y Transportadora de Gas del Sur (TGS). (“La Industria del Gas: Producción, Transporte y Distribución - Ecogas”) La distribución, cuya función es llevar el fluido a cada punto de consumo particular, es realizado por nueve Empresas Distribuidoras, donde Gas NEA opera el servicio en el Noroeste argentino, la zona de licencia comprende cinco provincias: Entre Ríos (excepto ciudad de Paraná), Corrientes, Misiones, Chacho y Formosa.

En el parque industrial de Concepción del Uruguay, donde se encuentra la planta procesadora de ácido cítrico, cuenta con instalaciones de gas que abastecen a todos los terrenos. Dicho parque está dentro de la provincia de Entre Ríos, en consecuencia, el ente que provee este servicio es Gas NEA y es quién se encarga de abastecer al parque industrial en cuestión.

En la planta se utiliza este servicio, en menor medida, para uso general en el sector de oficinas, en el laboratorio, suministro de agua caliente en baños, cocina, etc. Además, también es utilizado principalmente como combustible de la caldera para la generación de vapor para calentamiento y otras etapas de proceso.

#### **9.4.1 Consumo de gas**

Para la producción de ácido cítrico se requiere el uso de gas natural en:

- Caldera (CA), la cual consume 127,06 m<sup>3</sup>/h para la producción de vapor utilizado en la explosión de vapor, esterilización y evaporación.
- Secador (S-1), el cual consume 326,35 m<sup>3</sup>/h, para calefaccionar al aire utilizado en la etapa de secado de ácido cítrico.
- Secador (S-2), el cual consume 762,30m<sup>3</sup>/h para calefaccionar el aire utilizado en la etapa de secado del sulfato de calcio.

Se considera un margen de seguridad de 25m<sup>3</sup>/h destinado a uso del servicio en otros sectores de la planta como cocina, calefacción, laboratorio, administración, entre otros. En conclusión, la planta presenta un consumo total diario de 1240,65 m<sup>3</sup>/h.

### 9.4.2 Red de cañerías de gas

Las cañeras de distribución de gas natural son especiales. Son de acero y revestidas con pintura epoxi. La rama principal de suministro a la caldera y secadores cuenta con un diámetro nominal de 1 ½” y las derivaciones a las instalaciones con un diámetro de ¾”.

## 9.5 CÁLCULO Y ADOPCIÓN DE BOMBAS DE SERVICIOS AUXILIARES

La eficiencia y operatividad de numerosos sistemas industriales y de servicios dependen en gran medida de la capacidad de las bombas de servicios auxiliares para cumplir con sus funciones de manera efectiva. Estas bombas desempeñan un papel fundamental en una amplia variedad de aplicaciones, desde la circulación de fluidos hasta la transferencia de calor.

El proceso de cálculo y adopción de bombas de servicios auxiliares no es un aspecto que deba tomarse a la ligera. Requiere un análisis detallado de las necesidades específicas de cada sistema, así como la selección de las bombas adecuadas para satisfacer esas necesidades de manera eficiente y confiable.

### 9.5.1 Bomba BA-01

Esta bomba es la encargada de transportar el agua de almacenamiento de proceso desde el tanque de almacenamiento (TAA) hacia la torre de purificación (TPF) para luego ser utilizada en diferentes etapas del proceso productivo.

Tabla 9-13: Adopción de bomba BA-01.

<b>Bomba BA-01</b>			
<i>Datos del sistema para el cálculo</i>			
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	19.77	Viscosidad (cP)	1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1000	Presión (atm)	1
<i>Lado de aspiración</i>			
Longitud total (m)	52	Accesorios	1 válvula
Diámetro interior (mm)	153		on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0.29	Factor de fricción	0.023
Nº. Reynolds	45.900	Pérdida de carga (m)	0.036
<i>Lado de impulsión</i>			

Longitud total (m)	28	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	76		
Velocidad de flujo (m/s)	1.21	Factor de fricción	0.021
N°. Reynolds	91.200	Pérdida de carga (m)	0.57
<i>Parámetros obtenidos para la bomba</i>			
Eficiencia	75%		
Potencia calculada (HP)	0.2		
<i>Sistema de tuberías</i>			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior succión e impulsión (mm)	168.28 – 88.9		
Diámetro nominal succión e impulsión (in)	6 - 3		
<i>Bomba adoptada</i>			
Proveedor	CER		
Tipo de bomba	Centrífuga		
Marca	Fluvial		
Modelo	FE 500		
Tensión (V)	220		
Potencia (HP)	0.5		
Altura máxima de elevación (m)	20		
Caudal máximo entregado (m <sup>3</sup> /h)	20		
Succión máxima (m)	9		
Protección	IP44		
Peso del producto (kg)	7		

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9-13: Bomba BA-01. Fuente: <https://www.cer.com.ar/>.

### 9.5.2 Bomba BA-02

Esta bomba es la encargada de transportar el agua purificada desde la torre de purificación hacia las torres de enfriamiento (TE-1, TE-2, TE-3, TE-4, TE-4, TE-5 y TE-6).

Tabla 9-14: Adopción de bomba BA-02.

<b>Bomba BA-02</b>			
<i>Datos del sistema para el cálculo</i>			
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	72.54	Viscosidad (cP)	1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1000	Presión (atm)	1
<i>Lado de aspiración</i>			
Longitud total (m)	3	Accesorios	-
Diámetro interior (mm)	169		
Velocidad de flujo (m/s)	0.89	Factor de fricción	0.018
N°. Reynolds	152.100	Pérdida de carga (m)	0.013
<i>Lado de impulsión</i>			
Longitud total (m)	178	Accesorios	2 válvulas on/off 2 codos 90° 1 conexión en T
Diámetro interior (mm)	146		
Velocidad de flujo (m/s)	1.2	Factor de fricción	0.016
N°. Reynolds	175.200	Pérdida de carga (m)	1.432
<i>Parámetros obtenidos para la bomba</i>			
Eficiencia	75%		
Potencia calculada (HP)	0.69		
<i>Sistema de tuberías</i>			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior succión e impulsión (mm)	219.80 – 168.28		
Diámetro nominal succión e impulsión (in)	8 - 6		
<i>Bomba adoptada</i>			
Proveedor	CER		
Tipo de bomba	Centrífuga de alto caudal		
Marca	Pedrollo		
Modelo	HFm 50A		
Tensión (V)	220		
Potencia (HP)	0.75		
Altura máxima de elevación (m)	12		

Caudal máximo entregado (m <sup>3</sup> /h)	75
Succión máxima (m)	7
Protección	IPX5
Peso del producto (kg)	8.9

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9-14: Bomba BA-02. Fuente: <https://www.cer.com.ar/>.

### 9.5.3 Bomba BA-03

Esta bomba se encarga de transportar el agua desde la torre de purificación (TPF) hacia el tanque de dilución de ácido sulfúrico (DAS).

Tabla 9-15: Adopción de bomba BA-03.

<b>Bomba BA-03</b>			
<i>Datos del sistema para el cálculo</i>			
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	40,99	Viscosidad (cP)	1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1000	Presión (atm)	1
<i>Lado de aspiración</i>			
Longitud total (m)	66,5	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	149		1 codo 90°
Velocidad de flujo (m/s)	0,65	Factor de fricción	0,02
N°. Reynolds	96850	Pérdida de carga (m)	0,192
<i>Lado de impulsión</i>			
Longitud total (m)	67,4	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	102		3 codos 90°
Velocidad de flujo (m/s)	1,39	Factor de fricción	0,017
N°. Reynolds	142800	Pérdida de carga (m)	1,12
<i>Parámetros obtenidos para la bomba</i>			

Eficiencia	75%
Potencia calculada (HP)	1,4
<i>Sistema de tuberías</i>	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro exterior succión e impulsión (mm)	168,28 - 114,30
Diámetro nominal succión e impulsión (in)	6 - 4
<i>Bomba adoptada</i>	
Proveedor	CER
Tipo de bomba	Centrífuga
Marca	Motorarg
Modelo	BC 150
Tensión (V)	220
Potencia (HP)	1,5
Altura máxima de elevación (m)	36
Caudal máximo entregado (m <sup>3</sup> /h)	41
Succión máxima (m)	7
Protección	IP44
Peso del producto (kg)	22,8

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9-15: Bomba BA-03. Fuente: <https://www.cer.com.ar/>.

#### 9.5.4 Bomba BA-04

Esta bomba se encarga de transportar el agua desde la torre de purificación (TPF) hacia el sistema de limpieza CIP.

Tabla 9-16: Adopción de bomba BA-04.

<b>Bomba BA-04</b>			
<i>Datos del sistema para el cálculo</i>			
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	13.5	Viscosidad (cP)	1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1000	Presión (atm)	1

<i>Lado de aspiración</i>			
Longitud total (m)	53	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	126		
Velocidad de flujo (m/s)	0.3	Factor de fricción	0.023
N°. Reynolds	37.800	Pérdida de carga (m)	0.044
<i>Lado de impulsión</i>			
Longitud total (m)	17	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	40		
Velocidad de flujo (m/s)	2.98	Factor de fricción	0.018
N°. Reynolds	120.000	Pérdida de carga (m)	3.510
<i>Parámetros obtenidos para la bomba</i>			
Eficiencia	75%		
Potencia calculada (HP)	0.3		
<i>Sistema de tuberías</i>			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior succión e impulsión (mm)	168.28 – 42.16		
Diámetro nominal succión e impulsión (in)	6 – 1.25		

Fuente: Elaboración propia.

La bomba adoptada en esta etapa es igual a la bomba BA-01, debido a las similitudes entre sus características y requerimientos de potencia.

### 9.5.5 Bomba BA-05

Esta bomba se encarga de transportar el agua desde la torre de purificación (TPF) hacia el reactor de hidrólisis enzimática (R-1).

Tabla 9-17: Adopción de bomba BA-05.

<b>Bomba BA-05</b>			
<i>Datos del sistema para el cálculo</i>			
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	87,45	Viscosidad (cP)	1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1000	Presión (atm)	1
<i>Lado de aspiración</i>			
Longitud total (m)	88,50	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	203		1 codo 90°
Velocidad de flujo (m/s)	0,75	Factor de fricción	0,018

N°. Reynolds	152200	Pérdida de carga (m)	0,23
<i>Lado de impulsión</i>			
Longitud total (m)	157,2	Accesorios	1 válvula on/off 4 codo 90°
Diámetro interior (mm)	151		
Velocidad de flujo (m/s)	1,36	Factor de fricción	0,017
N°. Reynolds	203800	Pérdida de carga (m)	1,65
<i>Parámetros obtenidos para la bomba</i>			
Eficiencia	75%		
Potencia calculada (HP)	4,68		
<i>Sistema de tuberías</i>			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior succión e impulsión (mm)	218,08 - 168,28		
Diámetro nominal succión e impulsión (in)	8 - 6		
<i>Bomba adoptada</i>			
Proveedor	CER		
Tipo de bomba	Centrífuga de alto caudal		
Marca	Pedrollo		
Modelo	HF 20A-N		
Tensión (V)	380V		
Potencia (HP)	5,5		
Altura máxima de elevación (m)	21		
Caudal máximo entregado (m <sup>3</sup> /h)	108		
Succión máxima (m)	7		
Protección	IPX4		
Peso del producto (kg)	41		

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9-16: Bomba BA-05. Fuente: <https://www.cer.com.ar/>.

### 9.5.6 Bomba BA-06

Esta bomba se encarga de transportar agua desde las torres de enfriamiento hacia el intercambiador de placas (IP-3).

Tabla 9-18: Adopción de bomba BA-06.

<b>Bomba BA-06</b>			
<i>Datos del sistema para el cálculo</i>			
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	23.72	Viscosidad (cP)	1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1000	Presión (atm)	1
<i>Lado de aspiración</i>			
Longitud total (m)	145	Accesorios	2 válvulas on/off
Diámetro interior (mm)	167		1 codo 90° 1 conexión en T
Velocidad de flujo (m/s)	0.3	Factor de fricción	0.022
Nº. Reynolds	50.100	Pérdida de carga (m)	0.088
<i>Lado de impulsión</i>			
Longitud total (m)	108.5	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	53		
Velocidad de flujo (m/s)	2.99	Factor de fricción	0.021
Nº. Reynolds	159.000	Pérdida de carga (m)	19.73
<i>Parámetros obtenidos para la bomba</i>			
Eficiencia	75%		
Potencia calculada (HP)	2.34		
<i>Sistema de tuberías</i>			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior succión e impulsión (mm)	168.28 – 60.33		
Diámetro nominal succión e impulsión (in)	6 - 2		
<i>Bomba adoptada</i>			
Proveedor	CER		
Tipo de bomba	Centrífuga alto caudal		
Marca	Pedrollo		
Modelo	HF 6A		
Tensión (V)	380		
Potencia (HP)	3		
Altura máxima de elevación (m)	18		
Caudal máximo entregado (m <sup>3</sup> /h)	72		

Succión máxima (m)	7
Protección	IPX4
Peso del producto (kg)	26.7

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9-17: Bomba BA-06. Fuente: <https://www.cer.com.ar/>.

### 9.5.7 Bomba BA-07

Esta bomba se encarga de transportar agua desde las torres de enfriamiento hacia los prefermentadores (PF-1 y PF-2).

Tabla 9-19: Adopción de bomba BA-07.

<b>Bomba BA-07</b>			
<i>Datos del sistema para el cálculo</i>			
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	1,67	Viscosidad (cP)	1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1000	Presión (atm)	1
<i>Lado de aspiración</i>			
Longitud total (m)	23,72	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	38		
Velocidad de flujo (m/s)	0,41	Factor de fricción	0,032
Nº. Reynolds	15200	Pérdida de carga (m)	0,16
<i>Lado de impulsión</i>			
Longitud total (m)	123	Accesorios	2 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	22		2 codos 90° 1 conexión en "T"
Velocidad de flujo (m/s)	1,64	Factor de fricción	0,028
Nº. Reynolds	30400	Pérdida de carga (m)	23,66
<i>Parámetros obtenidos para la bomba</i>			
Eficiencia	75%		

Potencia calculada (HP)	0,25
<i>Sistema de tuberías</i>	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro exterior succión e impulsión (mm)	48,26 – 33,40
Diámetro nominal succión e impulsión (in)	1 ½ - ¾
<i>Bomba adoptada</i>	
Proveedor	CER
Tipo de bomba	Centrífuga
Marca	Pedrollo
Modelo	CP 130
Tensión (V)	380
Potencia (HP)	0,5
Altura máxima de elevación (m)	23
Caudal máximo entregado (m <sup>3</sup> /h)	4,8
Succión máxima (m)	7
Protección	IPX4
Peso del producto (kg)	7,3

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9-18: Bomba BA-07. Fuente: <https://www.cer.com.ar/>

### 9.5.8 Bomba BA-08

Esta bomba se encarga de transportar agua desde las torres de enfriamiento hacia los fermentadores (BR-1, BR-2, BR-3, BR-4, BR-5 y BR-6).

Tabla 9-20: Adopción de bomba BA-08.

<b>Bomba BA-08</b>			
<i>Datos del sistema para el cálculo</i>			
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	9.26	Viscosidad (cP)	1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1000	Presión (atm)	1
<i>Lado de aspiración</i>			

Longitud total (m)	94	Accesorios	2 válvulas on/off
Diámetro interior (mm)	60		1 codo 90° 1 conexión en T
Velocidad de flujo (m/s)	0.91	Factor de fricción	0.023
N°. Reynolds	99.000	Pérdida de carga (m)	1.488
<i>Lado de impulsión</i>			
Longitud total (m)		Accesorios	3 válvulas on/off
Diámetro interior (mm)	33		2 conexión en T 1 codo 90°
Velocidad de flujo (m/s)	3.00	Factor de fricción	0.025
N°. Reynolds	54.000	Pérdida de carga (m)	30.939
<i>Parámetros obtenidos para la bomba</i>			
Eficiencia	75%		
Potencia calculada (HP)	1.53		
<i>Sistema de tuberías</i>			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior succión e impulsión (mm)	60.33 – 33.4		
Diámetro nominal succión e impulsión (in)	2 - 1		
<i>Bomba adoptada</i>			
Proveedor	CER		
Tipo de bomba	Centrífuga de alto caudal		
Marca	Motorarg		
Modelo	BC25 200		
Tensión (V)	220		
Potencia (HP)	2		
Altura máxima de elevación (m)	36		
Caudal máximo entregado (m <sup>3</sup> /h)	14		
Succión máxima (m)	7		
Protección	IP44		
Peso del producto (kg)	20		

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9-19: Bomba BA-08. Fuente: <https://www.cer.com.ar/>

### 9.5.9 Bomba BA-09

Esta bomba se encarga de transportar agua desde las torres de enfriamiento hacia la etapa de cristalización.

Tabla 9-21: Adopción BA-09

<b>Bomba BA-09</b>			
<i>Datos del sistema para el cálculo</i>			
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	0,365	Viscosidad (cP)	1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1000	Presión (atm)	1
<i>Lado de aspiración</i>			
Longitud total (m)	3	Accesorios	2 válvula
Diámetro interior (mm)	21		on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,29	Factor de fricción	0,039
Nº. Reynolds	6300	Pérdida de carga (m)	0,10
<i>Lado de impulsión</i>			
Longitud total (m)	115	Accesorios	1 válvula
Diámetro interior (mm)	10		on/off
Velocidad de flujo (m/s)	1,29	Factor de fricción	0,031
Nº. Reynolds	12500	Pérdida de carga (m)	28,40
<i>Parámetros obtenidos para la bomba</i>			
Eficiencia	75%		
Potencia calculada (HP)	0,40		
<i>Sistema de tuberías</i>			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior succión e impulsión (mm)	21,34 – 10,29		
Diámetro nominal succión e impulsión (in)	0,5 – 0,12		

Fuente: Elaboración propia.

La bomba adoptada en esta etapa es igual a la bomba BA-01, debido a las similitudes en las características y requerimientos de potencia.

# CAPÍTULO 10

---

*Gestión de calidad*

## 10 GESTIÓN DE LA CALIDAD

---

### 10.1 INTRODUCCIÓN

La calidad se define como el grado de adecuación del producto para su uso al que se le destina, sin dejar de resaltar la incidencia fundamental sobre los costos de la empresa, especialmente sobre los relacionados a la existencia de productos defectuosos. La mala calidad es una fuente de costos tangibles e intangibles, y su importancia va en aumento cuanto más tarde se identifica una falla en el sistema de producción. Es por esto, que se implementan técnicas y actividades para controlar la calidad, lo que significa controlar las variables de proceso en las diferentes etapas de producción, controlar el producto final para asegurar que cumpla con las especificaciones técnicas, y la materia prima que se utiliza no solo para cumplir con los requerimientos de calidad sino también para evitar pérdidas económicas.

Los requisitos de calidad para los insumos de las industrias alimenticias significan que distintos lotes de un mismo producto se mantienen en las mismas condiciones durante su fabricación, lo que les permite garantizar la eficiencia del producto en el momento de su aplicación y su estabilidad en el tiempo. Por lo tanto, todos los procesos de producción del insumo deben apearse estrictamente a parámetros de calidad, relacionado con el concepto de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

El área de aseguramiento de calidad tiene como objetivo garantizar la reducción o eliminación de errores en el proceso de diseño, desarrollo, fabricación, control y distribución del producto cumpliendo las normas BPM, para garantizar la seguridad, calidad y eficiencia del producto final. Para cumplir con estas acciones, es necesario implementar un sistema de calidad que incluya muestreo, especificaciones y pruebas, así como procedimientos de organización, documentación y autorización para garantizar que las pruebas necesarias y pertinentes se realicen efectivamente y que no se permita el libre comercio hasta que su calidad haya sido determinada como satisfactoria. El control de calidad debe existir en todos los aspectos relacionados con el producto, por tal razón, es necesario ejecutar los controles en

todas las etapas de su desarrollo, como así también en la materia prima. Los sistemas de control también pueden mejorar la eficiencia, rendimiento y ahorrar recursos.

En este capítulo se describe las principales características de BPM para productos alimenticios y se detalla el plan de control de calidad para la producción de Ácido Cítrico (Moreno & Tavella, 2020).

Principalmente los objetivos de la calidad son:

- Asegurar la calidad del producto elaborado.
- Mantenerse un sistema de distribución rápido y eficiente, cumpliendo con el tiempo de entrega requerido por el cliente.
- Lograr la satisfacción de los clientes, tanto en la conformidad con el producto como así también el servicio de entrega y distribución de este.

## **10.2 BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA**

### **10.2.1 Definición**

Las Buenas Prácticas de Manufactura son los procedimientos específicos para los procesos de elaboración, tendientes a lograr alimentos inocuos y seguros. Estas prácticas son de aplicación obligatoria en Argentina; no son más que la aplicación de las correctas técnicas, metodologías y procesos de elaboración, manipulación, conservación, distribución, comercialización y servicio de alimentos, basadas primordialmente en la prevención como actividad programada y la capacitación de todos los operarios.

Son indispensables para la aplicación del Sistema HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control), o del Sistema de Calidad como ISO 22000 (J., Bromatología y Legislación alimentaria, 2020).

### **10.2.2 Principios generales de las Buenas Prácticas de Manufactura**

#### ***10.2.2.1 Principios generales para las materias primas***

Las materias primas que se utilizan tienen que asegurar la calidad del producto final, ya que una deficiencia en ellas impacta de manera negativa en el proceso, generando pérdidas en el mismo. Cuando ingresa material a la planta, se le realizan los análisis correspondientes para autorizar su uso o distribución.

En cuanto a su origen o procedencia, la calidad de la materia prima no debe comprometer el desarrollo de las BPM, si se sospecha que son inadecuadas para el consumo, deben ser aisladas y rotuladas claramente, para luego ser eliminadas. Se debe tener en cuenta que las medidas para evitar contaminaciones, química, física y/o microbiológica, son específicas para cada establecimiento productivo.

Sólo se utilizarán en la fabricación los materiales que estén rotulados correctamente, conforme a sus especificaciones e identificaciones con respecto a su estado de inspección.

Por otro lado, en cuanto a su almacenamiento, estas deben ser almacenadas en condiciones apropiadas que aseguren la protección de la materia prima contra los posibles contaminantes a los que se expone. El depósito en donde se almacena debe estar alejado de los productos terminados, para impedir la contaminación cruzada. Además, deben tenerse en cuenta las condiciones óptimas de almacenamiento como humedad, temperatura, ventilación e iluminación.

#### ***10.2.2 Principios generales higiénicos-sanitarios de los establecimientos***

En cuanto a la estructura, es establecimiento no debe estar ubicado en zonas que se inundan, que contengan olores objetables, humo, polvo, gases, luz y radiación que puedan afectar la calidad del producto que se elabora.

Las vías de tránsito interno deben tener una superficie pavimentada para permitir la circulación de camiones, transportes internos y contenedores. A su vez, estos deben ser resistentes al tránsito, impermeables, no absorbentes, lavables y antideslizantes, no deben contar con grietas y debe ser fácil de limpiar y desinfectar. Es importante que las paredes y techos también estén contruidos con materiales no absorbentes, deben encontrarse en perfectas condiciones, evitando grietas o roturas para evitar acumulación de suciedad o potenciales goteras.

En los edificios e instalaciones, las estructuras deben ser sólidas y sanitariamente adecuadas, y el material no debe transmitir sustancias indeseables. Las aberturas deben impedir la entrada de animales, insectos, roedores, moscas y contaminantes del medio ambiente como humo, polvo, vapor. Asimismo, deben existir tabiques o separaciones para impedir la contaminación cruzada.

El espacio debe ser amplio y los empleados deben tener presente que operación se realiza en cada sección, para impedir la contaminación cruzada. Además, debe tener un diseño que permita realizar eficazmente las operaciones de limpieza y desinfección, por esto se debe contar con zócalos sanitario no menor a 40 cm de la pared, para que se permita una buena circulación, una adecuada limpieza, organización y control de redores. Por otro lado, la construcción entre pared y piso debe facilitar la limpieza, por lo cual se harán a 45°.

El agua utilizada debe ser potable, ser provista a presión adecuada y a la temperatura necesaria, y, además, debe existir un desagüe adecuado.

Los equipos y utensilios para la manipulación de alimentos deben ser de un material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores. Las superficies de trabajo no deben tener hoyos, ni grietas.

La pauta principal consiste en garantizar que las operaciones se realicen higiénicamente desde la llegada de la materia prima hasta la elaboración del producto final.

En cuanto a los equipos y utensilios, todos deben mantenerse en buen estado higiénico, de conservación y de funcionamiento. Para la limpieza y la desinfección, es necesario utilizar productos que no tengan olor ya que, pueden producir contaminaciones además de enmascarar otros olores. Para organizar estas tareas, es recomendable aplicar los POES (Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento) que escriben qué, cómo, cuándo y dónde limpiar y desinfectar, así como los registros y advertencias necesarias.

Las sustancias tóxicas (plaguicidas, solventes u otras sustancias que pueden representar un riesgo para la salud y una posible fuente de contaminación) deben estar rotuladas con un etiquetado visible y almacenadas en áreas exclusivas. Estas sustancias deben ser manipuladas sólo por personas autorizadas.

Los vestuarios, baños y comedor deben estar completamente separados de las zonas de manipulación de alimentos, no tener accesos directos a éstas, ni tener comunicación alguna.

Se deben identificar las zonas con carteles, como así también la identificación de elementos de limpieza, por ejemplo, escobillas, baldes, desinfectantes.

Se encuentra prohibido el uso de vidrio entro del perímetro de producción, en caso de excepciones, se deberán colocar láminas de seguridad antirrotura y de ser posible, se reemplazará este material por uno apto para el proceso. También se debe evitar el uso de plásticos duros dentro de las áreas productivas y en caso de no poder sustituirlo, se deberá mantener un control sobre ellos.

### **10.2.2.3 Principios generales sobre higiene personal y requisitos sanitarios**

#### 10.2.2.3.1 Personal

Se aconseja que todas las personas que manipulen alimentos reciban capacitación sobre hábitos y manipulación higiénica. Esta es responsabilidad de la empresa y debe ser adecuada y continua, algunos puntos que se deberán trabajar en la capacitación son:

- El personal no debe ser un foco de contaminación durante la elaboración.
- La ropa de calle debe depositarse en un lugar separado del área de manipulación.
- Los empleados deben lavar sus manos ante cada cambio de actividad.
- Se debe utilizar la vestimenta de trabajo adecuada.
- No se debe fumar, comer, beber en las áreas de manipulación de alimentos.
- Se deben tomar medidas similares con los visitantes, para que no se conviertan en un foco de contaminación.

Debe controlarse el estado de salud y la aparición de posibles enfermedades contagiosas entre los manipuladores. Por esto, las personas que están en contacto con los alimentos deben someterse a exámenes médicos, no sólo previamente al ingreso, sino de forma periódica. Cualquier persona que perciba síntomas de enfermedad tiene que comunicarlo inmediatamente a su superior.

Por otra parte, ninguna persona que sufra una herida puede manipular alimentos o superficies en contacto con alimentos hasta su alta médica.

Es indispensable el lavado de manos de manera frecuente y minuciosa con un agente de limpieza autorizado, con agua potable y con cepillo. Debe realizarse antes de iniciar el trabajo, inmediatamente después de haber hecho uso de los retretes, después de haber manipulado material contaminado y todas las veces que las manos se vuelvan un factor contaminante. Debe haber indicadores que obliguen a lavarse las manos y un control que garantice el cumplimiento.

Todo el personal que esté de servicio en la zona de manipulación debe mantener la higiene personal, debe llevar ropa protectora, calzado adecuado y cofia. Todos deben ser lavables o descartables. No debe trabajarse con anillos, colgantes, relojes y pulseras durante la manipulación de materias primas y alimentos. La higiene también involucra conductas que puedan dar lugar a la contaminación, tales como comer, fumar, salivar u otras prácticas antihigiénicas. Asimismo, se recomienda no dejar la ropa en la zona de producción ya que son fuertes contaminantes.

#### 10.2.2.3.2 Higiene en la elaboración

Durante la elaboración, debe prevenirse la contaminación cruzada, que consiste en evitar el contacto entre materias primas y productos ya elaborados, entre alimentos o materias primas con sustancias contaminadas.

El agua utilizada debe ser potable y debe haber un sistema independiente de distribución de agua recirculada que pueda identificarse fácilmente.

La elaboración o el procesado debe ser llevada a cabo por empleados capacitados y supervisados por personal técnico. Todos los procesos deben realizarse sin demoras ni contaminaciones. Los recipientes deben tratarse adecuadamente para evitar su contaminación y deben respetarse los métodos de conservación.

El material destinado al envasado y empaque debe estar libre de contaminantes y no debe permitir la migración de sustancias tóxicas. Debe inspeccionarse de forma periódica con el objetivo de tener la seguridad de que se encuentra en buen estado.

Deben mantenerse documentos y registros de los procesos de elaboración, producción y distribución y conservarlo durante un período superior a la duración mínima del alimento.

#### 10.2.2.3.3 Almacenamiento y transporte de materias primas y producto

Las materias primas y el producto final deben almacenarse y transportarse en condiciones óptimas para impedir la contaminación y/o la proliferación de microorganismos. De esta manera, también se los protege de la alteración y de posibles daños del recipiente. Durante el almacenamiento debe realizarse una inspección periódica de productos terminados. Y como ya se puede deducir, no deben dejarse en un mismo lugar los alimentos terminados con las materias primas.

Los vehículos de transporte deben estar autorizados por un organismo competente y recibir un tratamiento higiénico. Los alimentos refrigerados o congelados deben tener un transporte equipado especialmente, que cuente con medios para verificar la humedad y la temperatura adecuada.

#### 10.2.2.3.4 Control de procesos en la producción

Para tener un resultado óptimo en las BPM, son necesarios ciertos controles que aseguren el cumplimiento de los procedimientos y los criterios para lograr la calidad esperada en un alimento, garantizar la inocuidad y la genuinidad de este.

Los controles sirven para detectar la presencia de contaminantes físicos, químicos y/o microbiológicos. Para verificar que éstos se lleven a cabo correctamente, deben realizarse análisis que monitoreen si los parámetros indicadores de los procesos y productos reflejan su real estado. Se pueden hacer controles de residuos de pesticidas, detector de metales y controlar tiempos y temperaturas, por ejemplo.

#### 10.2.2.3.5 Documentación

La documentación tiene el propósito de definir los procedimientos y los controles, además, permite un fácil y rápido rastreo de productos defectuosos. El sistema de documentación deberá permitir diferenciar números de lotes, siguiendo la trazabilidad de los alimentos desde la utilización de insumos hasta el producto terminado, incluyendo el transporte y la distribución.

Todo lo descripto anteriormente requiere estar documentado, ya que este es un aspecto básico de las BPM. Esta documentación, describe procesos, instrucciones, responsabilidades, entre otras cosas y es recomendable que se elabore como Manual.

### **10.3 IDENTIFICACIÓN Y TRAZABILIDAD**

Cada uno de los productos elaborados cuenta con un número de lote, el cual permite identificar y reconstruir la historia de la elaboración del producto en cada una de sus etapas hasta la finalización.

### **10.4 MANEJO DE AGUA Y DESECHOS**

Como punto fundamental el responsable del establecimiento deberá garantizar un suministro suficiente de agua potable y un sistema adecuado de evacuación de efluentes; este último deberá ser claramente explicado y visible para evitar que el empleado no sepa cómo tratar con los residuos. Deberá además implementar un plan de análisis periódicos para garantizar la potabilidad del agua. El empleado por su parte deberá cumplir con las indicaciones correspondientes al manejo de agua y efluentes.

Algunos puntos importantes para programar la capacitación interna sobre el manejo de agua y los efluentes son los siguientes:

- En las áreas de obtención de materia prima se debe evitar la contaminación por agua y desechos, como excrementos, residuos agrícolas o industriales.
- Se debe controlar el abastecimiento de suficiente agua potable, tanto en el establecimiento como en las zonas de obtención de materia prima.
- El vapor que tenga contacto con el alimento no debe estar contaminado.
- Se debe evitar el contacto del agua potable con agua no potable utilizada para extinguir incendios, por ejemplo.
- Todas las operaciones de limpieza deben ser realizadas con agua potable.
- Se debe evitar la elevada residencia de residuos evacuados en el establecimiento.
- Se debe evitar la contaminación del abastecimiento de agua por efluentes.
- Se debe disponer de algún lugar determinado dentro del establecimiento para almacenar la materia prima en mal estado, los desechos y los productos que presenten alguna no conformidad. Este lugar debe estar aislado y correctamente señalizado.

- Se debe evitar que los desechos tanto líquidos como sólidos entren en contacto con alimentos, y que se crucen durante las etapas de elaboración.
- El agua recirculada debe ser tratada de manera que no constituya un foco de contaminación.

### **10.5 AUDITORÍAS**

Se planifican y ejecutan las auditorías internas, dirigidas a verificar el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura y de su sistema de calidad. Para ello se establece y mantienen actualizados procedimientos y registros donde se definen los criterios de auditorías y la metodología a seguir para asegurar la objetividad e imparcialidad de estas. Las auditorías internas son coordinadas y lideradas por personal responsable de calidad que ha sido previamente calificado como auditor.

### **10.6 PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTANDARIZADOS DE SANEAMIENTO (POES)**

El mantenimiento de la higiene en una planta procesadora de alimentos es una condición esencial para asegurar la inocuidad de los productos que allí se elaboren. Una manera eficiente y segura de llevar adelante las operaciones de saneamiento es la implementación de procedimientos operativos estandarizados de saneamiento (POES). Se trata de procedimientos que describen las tareas de saneamiento, estos se aplican antes, durante y después de las operaciones de elaboración, de hecho, son requisito fundamental para asegurar la calidad del producto.

En resumen, se trata de:

- Programas escritos de saneamiento que deben incluir procedimientos validados de limpieza de las instalaciones y los equipos. Estos deben ponerse en práctica y también ponerse a conocimiento del personal involucrado. Es importante que se destaque la importancia de la implementación de estos en las sesiones de capacitación.
- Los elementos claves de un programa de limpieza y desinfección son el calendario general de limpieza, el programa diario de limpieza, los procedimientos escritos de limpieza y las prácticas de limpieza.

- El calendario general de limpieza se utiliza para garantizar la realización periódica de las tareas de limpieza no diarias. En el mismo se debe detallar las distintas tareas de limpieza, como así también la frecuencia y el personal responsable.
- El programa diario de limpieza lista las tareas que deben realizarse rutinariamente en las áreas de producción para garantizar que se mantengan limpias, seguras y ordenadas. Esto también incluye la limpieza durante el turno de trabajo.
- Los procedimientos escritos de limpieza son las instrucciones de trabajo que detallan como se limpia el equipo, que tipos de productos químicos son necesarios y los procedimientos de seguridad que se deben cumplir al manipular productos químicos.
- Se deben utilizar códigos de color para los cepillos, escobas y resto de equipo utilizado para evitar contaminaciones cruzadas entre las zonas de elaboración del producto final y las de materia prima.

### **10.7 SISTEMA DE CONTROL DE PLAGAS**

Entiéndase por plaga a todos aquellos animales que compiten con el hombre en la búsqueda de agua y alimentos, invadiendo espacios en los que se desarrollan las actividades humanas. Su presencia resulta molesta y desagradable, pudiendo dañar estructuras o bienes. Además, constituyen uno de los más importantes vectores para la propagación de enfermedades.

Estas pueden causar pérdidas económicas como lo son las mercaderías arruinadas, potenciales demandas por alimentos contaminados y productos mal utilizados para su control. A estos acontecimientos se le debe sumar la pérdida de imagen de la empresa.

Por tales motivos es importante la implementación de un manejo integrado de plagas, MIP. Este es un sistema de selección de técnicas de control integradas en una estrategia de manejo, se trata de un sistema proactivo que se adelanta a la incidencia de impacto de plagas en los procesos productivos.

Con la implementación de este sistema se usa un 70% menos de agroquímicos, sumándole a esta técnica, el biocontrol, se logra reducir un 15% las aplicaciones de insecticidas y bajar la toxicidad setenta veces, punto fundamental en plantas procesadoras de alimentos.

Para que la implementación del MIP sea efectivo:

- Las instalaciones y zonas circundantes se deben monitorear periódicamente.
- Los productos químicos utilizados deben estar autorizados y deben ser manipulados por personal capacitado.
- Se debe recurrir a los plaguicidas en caso de que no se puedan aplicar eficazmente otras medidas preventivas. Antes de su aplicación, se deberá proteger alimentos, equipos, utensilios y al finalizar se deberán limpiar aquellos artefactos contaminados.
- Se deben mantener los mapas de trampas, control a realizar según planta o área y metodología, productos a utilizar para el control de plagas, registro de control realizado incluyendo fecha, responsables, plaga encontrada y producto utilizado.

Para asegurarse el correcto desempeño de los anteriores puntos, se contrata de manera tercerizada el servicio de control de plagas a la empresa Biogens especialista en tratamiento de plagas.

## **10.8 PLAN DE CONTROL DE CALIDAD**

### **10.8.1 Plan de calidad para materias primas e insumos**

El control de la materia prima es un factor importante para la obtención del producto, tanto en calidad como en cantidad. Solamente se adquiere materia prima de proveedores que cumplan las especificaciones requeridas, sin embargo, es necesario realizar los controles para determinar eventuales desviaciones en la calidad deseada. Además de los controles fisicoquímicos realizados, se debe controlar que ingrese la cantidad detallada por el proveedor.

Dado que los componentes químicos se adquieren de laboratorios reconocidos y vienen con sus propiedades ya detalladas, en esta sección solo se considerarán los controles realizados sobre la cáscara de arroz e insumo necesarios en el proceso.

Tabla 10-1: Controles realizados a la materia prima.

<i>Etapa</i>	<i>Materia prima</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Técnica</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Registro</i>	<i>Acción correctiva preventiva</i>	<i>Responsable de la muestra</i>	<i>Responsable del análisis</i>
Recepción	Cáscara de arroz	Determinación de sólidos totales	T-01	Por lote	A/FQ-01	-	Operario de turno	Analista de laboratorio
		Determinación de cenizas	T-02	Por lote	A/FQ-01	-	Operario de turno	Analista de laboratorio
		Determinación de carbohidratos estructurales	T-03	Por lote	A/FQ-01	-	Operario de turno	Analista de laboratorio
		Determinación de hemicelulosa y celulosa	T-04	Por lote	A/FQ-01	-	Operario de turno	Analista de laboratorio
		Cantidad	Pesaje en báscula	Por camión	A/VI-01	Informar al proveedor	Operario de turno	
		Apariencia	Inspección visual	Por lote	A/VI-01	Informar al proveedor. Rechazar lote.	Operario de turno	

Fuente: Elaboración propia.

### **10.8.2 Plan de calidad para el control del proceso**

Se deben establecer controles en los diferentes puntos del proceso y las especificaciones que se deben cumplir para prevenir la elaboración de un producto de calidad indeseada. Es necesario el monitoreo continuo de ciertos parámetros de la producción, como es el caso de la fermentación (disposición ANMAT N°2819/2004). Por lo tanto, también debe haber elementos de control automático de proceso.

Si aparece algún desvío de la calidad en el transcurso del proceso, éste debe corregirse inmediatamente; si el control en la corriente final de proceso se encuentra fuera de especificación debe rechazarse el lote, por lo tanto, es de suma importancia el control riguroso en las etapas iniciales del proceso productivo.

Tabla 10-2: Control de producción.

<b>Producción y control:</b>		Fecha: 5/06/2023
<b>Elaboración del producto ácido cítrico (AC)</b>		Revisión: 01
		Página:
<b>Emitió:</b> Producción	<b>Revisó:</b> Calidad	<b>Aprobó:</b> Gerente general.

Objetivo	Responsable	Norma técnica	Cantidad / Frecuencia	Valor límite	Acción Correctiva (*)	Identificación y trazabilidad	Estado inspección	Registro
Acondicionar higiénicamente los equipos.	Personal de planta.	Control soluciones de lavado.	Al vaciarlos.	Tiempo: 1 hora Recuento microbiológico. < 100 UFC/ml	Corregir soluciones de lavado. Repetir procesos de limpieza.			P-01
Dispones de la cantidad necesaria de cáscara de arroz.	Encargado de fermentación y personal de planta.		Todos los lotes.	Volumen predefinido.	Incorporar cáscara faltante.	Cada producción recibe un número de orden desde el 1, de acuerdo con el plan de producción. Este número es denominado "número de partida" y es el que	La cáscara de arroz se inspecciona y analiza con anterioridad. Si alguna de las producciones es alterada significativamente se informa como NO conforme y queda	
Limpieza de la solución generada.			Todos los lotes.	Predefinido por el proveedor.	Se regeneran las resinas mensualmente.			
Disponer de la cantidad de nutrientes.			Todos los lotes.	Masa predefinida	Incorporar la cantidad indicada.			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO  
A PARTIR DE CELULOSA



Llevar el medio a condiciones estériles.			Todos los lotes.	Temperatura: 121°C; Tiempo 15min.	Repetir proceso de esterilización.	define en adelante la identidad del lote. Como dato adicional se identifica el fermentador principal que se usó en cada elaboración.	sujeta a verificación para definir su disposición.	R-02
Llevar el medio a condiciones de fermentación.			Todos los lotes.	Temperatura: 30°C.	Recircular más agua por la chaqueta. Inyectar vapor hasta regular temperatura.			P-01
Realizar la fermentación respetando las condiciones operativas.			Todos los lotes.	Temperatura: 30°C; Agitación 150rpm.	Calentar o enfriar por camisa según corresponda.			RC-03
Acondicionar el caldo mediante el filtrado.			Todos los lotes.	Tiempo: 4 horas.	Re filtrado de la suspensión biológica.			P-01
Saturar la solución filtrada.			Todos los lotes.	Temperatura: 65°C.	Aumentar o disminuir el tiempo de retención en el evaporador.			
Enfriar para lograr la cristalización, mantener en			Todos los lotes.	Temperatura: 30°C.	Recircular más agua por la chaqueta.			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO  
A PARTIR DE CELULOSA



suspensión los cristales.								
Separar los cristales de la masa de agua			Todos los lotes.	Concentración de ácido cítrico en el filtrado menor al 8%.	Recristalizar y filtrara nuevamente.			
Realizar el secado de los cristales	TP-07 TP-08 TP-01 TP-09 TP-02 TP-03 TP-04 TP-06 TP-05		Todos los lotes.	Riqueza > 99.5% Humedad < 0.5% As < 1ppm Ceni sulf < 0.05% Cl < 50 ppm Fe < 50 ppm Hg < 1ppm Oxalato < 100ppm Pb < 1ppm	Aumentar o disminuir el flujo de aire caliente.			RC-04
Fracionar los cristales			Todos los lotes.	Peso x bolsa: 50kg	Separar la bolsa mal fraccionada, envasar nuevamente.			P-01

Fuente: Elaboración propia.

### 10.8.3 Controles constructivos del fermentador

Para evitar contaminación durante el proceso, lo que implica la pérdida de grandes volúmenes de fermentación se deben tener a consideración las siguientes reglas:

- Evitar conexiones directas entre partes estériles y no estériles del sistema.
- Minimizar las conexiones bridadas, ya que estas pueden moverse por consecuencias de vibraciones o expansiones térmicas, lo que produce un consecuente ingreso de contaminantes. Dentro de lo posible, utilizar conexiones soldadas, y asegurarse de pulir correctamente estas uniones para evitar la acumulación de sólidos que puedan resistir a la esterilización.
- Evitar espacios muertos, cavidades y similares, ya que los sólidos pueden acumularse en los y convertirse en un ambiente aislado, donde no sea factibles la técnica de esterilización.
- Asegurarse que varias partes del equipo puedan esterilizarse de forma independiente.
- Utilizar válvulas que sean fáciles de limpiar, mantener y esterilizar.
- Mantener una presión positiva en el fermentador de forma tal que siempre pierda hacia afuera.

## 10.9 CONTROL DE CALIDAD DEL ÁCIDO CÍTRICO

Tabla 10-3: Especificaciones del AC.

Aspecto sólido cristalino	Blanco
Fórmula	$C_6H_8O_7$
Peso molecular (g/mol)	192
Riqueza mínima	99.5%
Humedad máxima	0.5%
Arsénico máximo	1ppm
Ceniza sulfatada máxima	0.05%
Cloruro máximo	50ppm
Hierro máximo	50ppm
Mercurio máximo	1ppm
Oxalato máximo	100ppm
Plomo máximo	1ppm

Las técnicas analíticas necesarias para el control de calidad del producto terminado se detallan a continuación:

- Determinación del porcentaje de pureza (TP-07)
- Determinación de cloruros (TP-02)
- Determinación de hierro (TP-03)
- Determinación de mercurio (TP-04)
- Determinación de plomo (TP-05)
- Determinación de oxalatos (TP-06)
- Determinación de arsénico (TP-01)
- Determinación de humedad- Método Karl Fisher (TP-08)
- Determinación de cenizas sulfatadas (TP-08)

Estas técnicas son desarrolladas específicamente en el ANEXO A, al final del desarrollo del presente capítulo.

## **10.10 MEJORA**

Se pretende mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de calidad mediante el uso de la política de calidad, los objetivos de la calidad, los resultados de las auditorias, el análisis de datos, las acciones correctivas y preventivas y la revisión.

### **10.10.1 No conformidad y acción correctiva**

Se establece el procedimiento “no conformidades y reclamos” para definir los controles, responsabilidades y autoridades para tratar los productos no conformes y los reclamos de los clientes.

Para eliminar la causa de las no conformidades, se realizan acciones correctivas según lo especificado en el procedimiento Acciones correctivas preventivas.

El procedimiento incluye los siguientes pasos:

- Revisión de las no conformidades.
- Determinación de las causas de las no conformidades.
- Evaluación de la necesidad de acciones que aseguren que la no conformidad ocurra nuevamente.

- Determinación e implementación de la acción correctiva necesaria.
- Registro de los resultados de la acción tomada.
- Revisión de la acción correctiva tomada.

### **10.11 PUNTOS CRÍTICO DE CONTROL (PCC)**

La determinación de los puntos críticos de control según la FAO constituye un principio del Análisis de Peligro y Puntos Críticos de Control (APPCC) y se define como: la fase en la que puede aplicarse un control y que es esencial para prevenir o eliminar un peligro relacionado con la inocuidad de los alimentos o para reducirlo a un nivel aceptable.

Generalizando el concepto se podría decir que un PCC es la fase en la que puede aplicarse un control y que es esencial para prevenir o eliminar un peligro relacionado con la característica del producto final.

Para determinar los PCC se precisa un modo de proceder lógico y sistematizado, como el uso de un árbol de decisiones, el cual es una secuencia de preguntas hechas para determinar si un punto de control es PCC o no. En cada una de las etapas, el árbol de decisiones se debe aplicar a cada uno de los peligros identificados y a sus medidas preventivas. Si se determina la existencia de un peligro en una fase y no existe ninguna otra medida preventiva que permita controlarlo, debe realizarse una modificación del producto o proceso que permita incluir la correspondiente medida preventiva (Pinilla & Llanos, 2014).

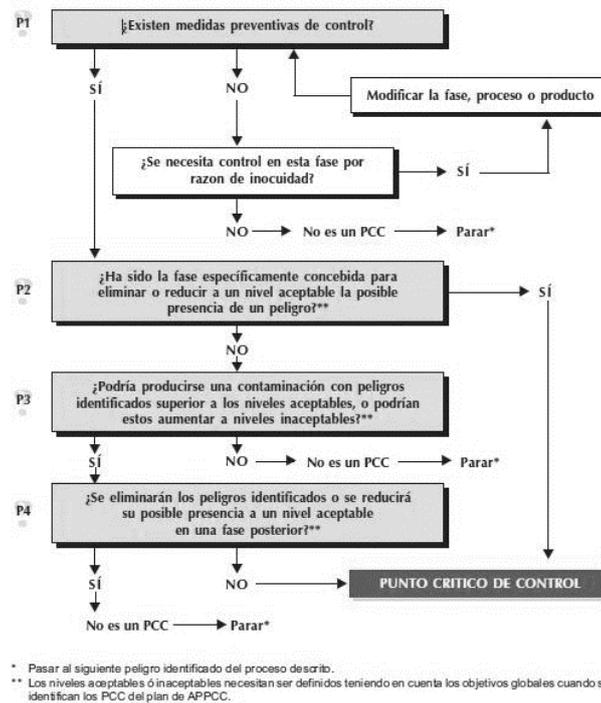


Figura 10-1: Árbol de decisiones de Puntos Críticos de Control (PCC). Fuente: Google.

### 10.11.1 Identificación de los peligros, análisis de riesgo, y determinación de las medidas para su control

Se puede definir “peligro” como la contaminación inaceptable, la proliferación o la supervivencia en los alimentos de microorganismos que puedan afectar a la inocuidad del alimento o deteriorarlo, y/o la producción o persistencia inaceptable en los alimentos de ciertos productos del metabolismo microbiano, tales como toxinas o enzimas. Pero, además, por lo indicado anteriormente, también es un peligro la contaminación indeseable de tipo físico y químico.

La probabilidad de presentación de los peligros sanitarios es el riesgo que podría clasificarse de alto, moderado, bajo y despreciable, pudiendo variar dependiendo de las circunstancias del momento en el que se producen.

La severidad, es otro concepto que considerar. Se trata de la magnitud del peligro o grado de consecuencia que resultar cuando existe un peligro.

Identificado los riesgos o peligros en relación con un determinado tipo de alimento y con la materia prima e ingredientes que lo integran, el análisis de riesgo debe incluir también una evaluación de la posibilidad o probabilidad de que puedan ocurrir.

Se identifican los siguientes peligros sanitarios:

- Peligro químico.
- Peligro físico.
- Peligro biológico.

Una vez identificados los peligros es necesario definir las medidas preventivas que puedan minimizar los mismos. Estos son los mecanismos de control para cada peligro y se definen como aquellos factores que son necesarios para eliminar o reducir la aparición de los peligros a un nivel aceptable. Para la evolución de riesgo, se consideró la matriz que se muestra en la Figura 10-2.

PROBABILIDAD DEL RIESGO	SEVERIDAD DEL RIESGO		
	LIGERAMENTE DAÑINO (1)	DAÑINO (2)	EXTREMADAMENTE DAÑINO (3)
BAJA (1)	Trivial (1) No significativo	Tolerable (2) No significativo	Moderado (3) No significativo
MEDIA (2)	Tolerable (2) No significativo	Moderado (4) No significativo	Importante (6) Significativo
ALTA (3)	Moderado (3) No significativo	Importante (6) Significativo	Intolerable (9) Significativo

Figura 10-2: Matriz de identificación de riesgos.

### 10.11.2 Identificación de los puntos de control

La determinación de los puntos críticos de control del proceso se llevó a cabo teniendo en cuenta la bibliografía y comparándolos en el árbol de decisiones y matriz de identificación de riesgos.

Tabla 10-4: Identificación de puntos críticos de control.

<i>Etapas</i>		<i>Peligro identificado</i>	<i>Medida de control</i>	<i>Probabilidad de ocurrencia</i>	<i>Severidad de ocurrencia</i>	<i>¿Peligro significativo?</i>	<i>PCC</i>
<i>Producto principal</i>							
Previo a la explosión de vapor	F	Elementos extraños.	Escáner.	3	3	Sí	PCC1

Hidrólisis enzimática	F	Partes móviles del equipo.	Mantenimiento preventivo.	1	3	No	-
	Q B	Agua de proceso.	Análisis laboratorio.	1	3	No	-
	B	Enzimas deterioradas.	Buenas condiciones de almacenamiento.	2	2	NO	-
Preparación sustrato	Q B	Contaminación de nutrientes.	Buenas condiciones de almacenamiento.	2	2	NO	-
	F	Partes móviles del equipo.	Mantenimiento preventivo.	1	3	NO	-
Esterilización	Q	Productos de limpieza.	Correcto lavado.	3	6	SI	PCC2
	B	Contaminación MO.	Tiempo necesario de esterilización.	3	6	SI	
Prefermentación	Q B	Propagación de MO indeseados	Correcta esterilización	3	3	SI	-
Fermentación	Q B	Propagación de MO indeseados	Controlar parámetros de operación (pH, temperatura)	3	6	SI	PCC3
	F	Partes móviles del equipo	Mantenimiento preventivo.	3	3	SI	-
Etapas de purificación	F	Partes móviles del equipo	Mantenimiento preventivo.	3	3	SI	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10-5: Tratamiento de puntos críticos de control.

PCC	Valor Objetivo	Acción correctiva		Límite crítico	Método de control	Frecuencia de control	Responsable
		De proceso	De producto				
PCC1	Cero apariciones.	Parada de proceso,	Identificar lote como	Igual o mayor a	Visual.	Continuo.	Operario.

		revisión y ajuste de equipos y materias primas	no conforme.	dos unidades.			
PCC2	Cero apariciones.	Parada de proceso, revisión y ajuste del método y equipo.	Identificar lote como no conforme.	Igual o mayor a una unidad.	Control de: Temperatura y tiempo de residencia.	Continuo.	Operario.
PCC3	Cero apariciones.	Parada de proceso, revisión parámetros de operación, aparatos relacionados a estos.	Identificar lote como no conforme.	No se tolera error.	Muestreo.	Continuo.	Analista de laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

## 10.12 CONTROL DE REGISTROS

En la norma ISO 9001:2015 se redacta la necesidad de conservar información documentada como evidencia. Los registros del sistema son las evidencias de las tareas realizadas en el sistema de gestión de la calidad, además, los registros son la base en la que se encuentran los datos para analizar el comportamiento y las mejoras de los procesos del sistema de gestión.

Los factores que deben tenerse en cuenta para un correcto control de los registros son:

- *Identificación:* Los registros deben ser identificados fácilmente. Se deben diferenciar por un campo identificador presente en el mismo, como la fecha de cumplimentación, número, nombre del responsable, entre otros.
- *Almacenamiento:* Es necesario determinar dónde se realiza el archivo de los registros para luego ser encontrados fácilmente.

- *Protección:* Es importante determinar el nivel de protección de los registros para evitar cambios en la información que contienen, como, por ejemplo, protección con contraseña o existencia de archivos con acceso restringido. Es fundamental la realización de copias de seguridad de los registros digitales de la organización.
- *Retención:* Se debe determinar el tiempo de conservación de los registros. Es recomendable que el tiempo de conservación sea de aproximadamente tres años, coincidiendo con el plazo de concesión de los certificados ISO 9001.
- *Disposición de los registros:* Se necesita establecer como se efectuará la eliminación de los registros o donde se archivarán de forma indefinida, si así se ha establecido.

Es de suma importancia que para cada análisis que se realice se registre de manera clara y ordenada cada resultado obtenido, para poder ejecutar esta tarea de utilizar plantillas de registro, las cuales deberán ser llenadas por la persona responsable del análisis.

Una vez realizado los registros en los puntos de control del proceso o en el laboratorio, deben ser enviados al departamento de calidad, en donde se llevan a cabo los análisis estadísticos adecuados para cada uno de ellos para corroborar que los estándares de calidad se estén cumpliendo correctamente.

#### **10.12.1 Registros de materia prima, control de proceso y producto terminado**

El código de los registros en las planillas tiene la siguiente forma: letras que indican sobre que etapa o producto se realiza el control acompañadas de su número si corresponde. Luego de éste se indica el tipo de análisis: microbiológico (MB), fisicoquímico (FQ) o visual (VI) y finalmente a continuación de éste un número que indica el número de registro correspondiente. Como, por ejemplo: PF-01/MB-02, lo que indicaría que estamos analizando el Prefermentador, realizando un análisis microbiológico y se trata del registro número 2.

A continuación, se muestran y detallan ejemplos de diferentes planillas de registros que se llevan a cabo en el proceso, como son el registro de control de la materia

prima en la Tabla 10-6, registro de control de proceso en la Tabla 10-7 y el registro de control de producto terminado en la Tabla 10-8, entre otros.

Tabla 10-6: Registro de control de materia prima/insumo.

TIPO DE REGISTRO:	MATERIA PRIMA/INSUMO			
CÓDIGO	MP-01/FQ-01			
MATERIA PRIMA/INSUMO	Cáscara de arroz			
DESCRIPCIÓN	Análisis fisicoquímico			
PROVEEDOR	*Nombre del proveedor*			
TÉCNICA/CÓDIGO	Determinación de sólidos totales		T-01	
LÍMITES DE ACEPTACIÓN	--			
LOTE	FECHA	RESULTADO	ANALISTA	FIRMA
001	02/06 /2023	9%	Analista 1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10-7: Registro de control de proceso.

TIPO DE REGISTRO:	CONTROL DE PROCESO			
CÓDIGO	PF-02/MB-01			
EQUIPO/CORRIENTE	PF-02			
DESCRIPCIÓN	Análisis microbiológico-Rendimiento esterilización			
HORA INICIO ETAPA	14:50h	FECHA:	02/06/23	
HORA FINAL ETAPA	15:30h	FECHA:	02/06/23	
RESPONSABLE	Operario 2			
PARÁMETRO:	Esterilidad			
TÉCNICA/CÓDIGO	Ensayo de esterilidad	T-01		
LÍMITES DE ACEPTACIÓN	Ausencia de crecimiento			
LOTE	FECHA	RESULTADO	ANALISTA	FIRMA
001	02/06/23	Ausencia	Analista 1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10-8: Registro de control de producto terminado.

TIPO DE REGISTRO	CONTROL CALIDAD DE AC	CÓDIGO:
PARTIDA N°:		
FECHA:		

PESO:			
LUGAR ALMACENAMIENTO:			
RESPONSABLE:			
ANÁLISIS	RESULTADO	LÍMITE	OBSERVACIONES
PUREZA		>99.5%	
HUMEDAD		<0.5%	
ARSÉNICO		<1ppm	
CENIZAS SULFATADAS		<0.05%	
CLORUROS		<50ppm	
HIERRO		<50ppm	
MERCURIO		<1ppm	
OXALATOS		<100ppm	
PLOMO		<1ppm	

Fuente: Elaboración propia.

### 10.12.2 Registro de control de los fermentadores

Tabla 10-9: Planilla de control de los fermentadores.

TIPO DE REGISTRO	CONTROL DE FERMENTADORES		CÓDIGO:
PARTIDA N°:			
FECHA:			
HORA:			
RESPONSABLE:			
VARIABLE	VALOR ALCANZADO	LÍMITE	OBSERVACIONES
TEMPERATURA		25-30°C	
PRESIÓN		2-3atm	
BIOMASA DESARROLLADA		<4%p/p	
PH		<2	
CONCENTRACIÓN DE AC		>22%p/p	
CANTIDAD DE NEUTRALIZADOR		-	

Fuente: Elaboración propia.

### 10.12.3 Registros de control de detección de no conformidad y acción correctiva

Tabla 10-10: Planilla de control de detección de no conformidad y acción correctiva.

DETECCIÓN DE NO CONFORMIDAD:
------------------------------

NÚMERO:	FECHA: ...../...../.....		
1- DESCRIPCIÓN DE LA NO CONFORMIDAD			
2- CAUSA DE LA NO CONFORMIDAD			
3- ACCIONES INMEDIATAS			
4- ACCIONES CORRECTIVAS			
ACCIÓN	FECHA PREVISTA	FECHA DE REALIZACIÓN	RESPONSABLE
	...../...../.....	...../...../.....	
	...../...../.....	...../...../.....	
	...../...../.....	...../...../.....	
SEGUIMIENTO/OBSERVACIONES			
FIRMA DEL RESPONSABLE:		FECHA DE CIERRE:	
		...../...../.....	

Fuente: Elaboración propia.

#### 10.12.4 Registros de requerimiento y puesto de trabajo

Tabla 10-11: Registro de control de requerimiento de puesto de trabajo

<b>REQUERIMIENTO DEL PUESTO DE TRABAJO</b>	IDENTIFICACIÓN:
	FECHA: ...../...../.....
DEPARTAMENTO	
SUPERIOR	
FUNCIÓN/RESPONSABILIDADES	
CONOCIMIENTOS	
EDUCACIÓN	

EXPERIENCIA LABORAL	
FIRMAS	
.....	.....
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO	RESPONSABLE DE RRHH

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10-12: Registro de control de puesto de trabajo.

<b>PUESTO DE TRABAJO</b>	IDENTIFICACIÓN:
	FECHA: ...../...../.....
DEPARTAMENTO	
PUESTO DE TRABAJO	
CANTIDAD DE PERSONAS EN EL PUESTO DE TRABAJO	
APELLIDO Y NOMBRE DEL OCUPANTE TITULAR DEL PUESTO DE TRABAJO	
APELLIDO Y NOMBRE DEL REEMPLAZANTE DEL PUESTO DE TRABAJO	
ULTIMOS CAMBIOS EN EL DEPARTAMENTO	
CÁUSAS:	
FIRMA	
.....	.....
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO	RESPONSABLE DE RRHH

Fuente: Elaboración propia.

### 10.12.5 Registro de solicitud de materia prima

Tabla 10-13: Registro de control de solicitud de materia prima.

<b>REGISTRO DE SOLICITUD DE MATERIA PRIMA</b>	IDENTIFICACIÓN:
	FECHA: ...../...../.....

CANTIDAD	PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN	FECHA DE PEDIDO	FECHA DE ENTREGA

Fuente: Elaboración propia.

### 10.12.6 Registro de calificación de proveedores

Tabla 10-14: Registro de control de calificación de proveedores.

<b>PROVEEDOR:</b>		<b>IDENTIFICACIÓN:</b>	
		FECHA: ...../...../.....	
<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
Domicilio:			
Tel/celular:			
e-mail:			
<b>DESCRIPCIÓN</b>			
Pedidos totales realizados a proveedor			
Días totales de atrasos en los pedidos			
Promedio de los días de demora			
<b>DESICIÓN/ACCIÓN</b>			
Continuar comprando hasta la aparición de proveedor alternativo			
Eliminarlo como proveedor de forma definitiva			
Mantenerlo como segundo proveedor o alternativo			
Analizar desempeño posterior a la calificación y decidir alguna de las acciones anteriores			
<b>FIRMA DEL CALIFICADOR:</b>		<b>FECHA DE CALIFICACIÓN:</b>	
		...../...../.....	

Fuente: Elaboración propia.

# CAPÍTULO 11

---

*Tratamiento de efluentes*

## 11 TRATAMIENTO DE EFLUENTES

---

### 11.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como principal objetivo la identificación de los efluentes que se generan a lo largo del proceso productivo de ácido cítrico, una vez determinados se caracterizan teniendo en cuenta diferentes parámetros, para así poder seleccionar un método adecuado de tratamiento para cada efluente presente en la planta productiva.

Los efluentes generados por la industria biotecnológica tienen una importancia particular, ya que contienen altas concentraciones de materia orgánica. Esta es fácilmente oxidable por microorganismos presentes en los cursos de agua, disminuyendo rápidamente el oxígeno disuelto. Por las etapas de concentración y purificación del producto, diferentes sustancias terminan en las aguas residuales en forma de suspensión, de coloide o disolución.

Por la toxicidad de muchos efluentes, es necesario previo al vertido de estos, principalmente en cursos de agua, para tratarlos de manera que no produzcan contaminación al medio ambiente y, en consecuencia, a los seres vivos.

Algunos parámetros usados para determinar si el efluente puede desecharse o no son: concentración de oxígeno disuelto (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), pH, color, turbidez, dureza, sólidos disueltos totales (SDT), sólidos en suspensión (SS), olor y temperatura.

Los parámetros utilizados dependen de las normativas a las que se ajusta el sector, a nivel nacional, por ejemplo, se contempla la presencia de metales como cromo, mercurio y plomo entre otros.

### 11.2 DEFINICIONES

- *Oxígeno disuelto (OD)*: Es la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua. Se lo considera como un indicador para mantener la vida acuática. La concentración de este elemento es resultado del oxígeno que entra en el sistema y el que se consume por los organismos vivos. La entrada de oxígeno

puede estar provocada por diversas fuentes, pero la principal es el oxígeno absorbido de la atmósfera.

- *Demanda biológica de oxígeno (D.B.O.):* La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos (bacterias, hongos, plancton) al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. Es la materia susceptible para oxidar por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se usa para medir el grado de contaminación.

El ensayo consiste en medir la cantidad de oxígeno diatómico disuelto en un medio de incubación al comienzo y al final de un lapso de 5 días ( $DBO_5$ ) a una temperatura de  $20^{\circ}C$  y en la oscuridad, para inhibir la eventual formación de oxígeno por las algas mediante la fotosíntesis. Se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ( $mgO_2/l$ ).

- *Demanda química de oxígeno (D.Q.O.):* La demanda química de oxígeno es el parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. Cuanto mayor es la D.Q.O., más contaminada está el agua.

Esta prueba dura alrededor de 3 horas, por lo que los resultados se obtienen en menor tiempo que la prueba de D.B.O. Todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. Se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ( $mgO_2$ ).

- *pH:* Es la medida exacta del grado de acidez o alcalinidad de una solución. Varía entre los límites de 0 y 14; cuanto más bajo sea el valor, mayor será la acidez y cuanto más alto, mayor la alcalinidad.
- *Dureza:* Es la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, particularmente sales de magnesio y calcio. El agua denominada como “dura” contiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en baja proporción.
- *Sólidos disueltos totales (SDT):* Es una medida del contenido de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en el líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro granular (sol coloidal).

La definición operativa es que todos los sólidos deben ser pequeños para sobrevivir a la filtración con un filtro con poros de 0,45 micrómetros (tamaño nominal).

- *Sólidos en suspensión (SS):* Es un parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y tratamiento de aguas residuales, indica la cantidad de sólidos (mg/l) presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como, por ejemplo, filtración al vacío o la centrifugación. Algunas veces se asocia a la turbidez del agua.
- *Color y olor:* El color puede establecer el tipo de compuesto del cual se trata, este color interfiere en la transmisión de la luz, por lo que, al volcarse a un curso de agua disminuirá la acción fotosintética. El olor de un efluente indica su vejez, ya que, cuando es fresco es ligeramente pútrido, pero cuando envejece se septiza y produce hidrógeno sulfurado, dándole un olor fuertemente pútrido.
- *Temperatura:* Los líquidos a elevadas temperaturas se deterioran y, si no se modifican, provocan alteraciones en el medio ambiente.

### 11.3 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE EFLUENTES

El grado de tratamiento que requiere un efluente depende íntimamente de los límites de vertido y de la eficiencia de la remoción de los contaminantes indeseados. A partir de ello, existen tres niveles de tratamientos para los fluidos vertidos, denominados como tratamiento primario, tratamiento secundario y terciario.

*Tabla 11-1: Tipos de tratamientos de efluentes y sus niveles.*

<b><i>Tratamiento primario</i></b>	<b><i>Tratamiento secundario</i></b>	<b><i>Tratamiento terciario</i></b>
Se utiliza para eliminar sólidos en suspensión y materiales flotantes.	Es un tratamiento biológico, donde se elimina principalmente la materia orgánica por acción de microorganismos.	Es un tratamiento físico químico que busca eliminar compuestos específicos.
Cribado, sedimentación, flotación, separación de aceites, homogeneización, neutralización.	Lodos aditivos, aireación prolongada, estabilización por contacto lagunaje con aireación, estabilización por lagunaje, filtros biológicos, discos biológicos y tratamientos anaeróbicos.	Micro tamizado, filtración, precipitación y coagulación, adsorción (carbón activado), intercambio iónico, ósmosis interna, electrodiálisis, cloración,

		ozonización y procesos de reducción de nutrientes.
--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

### 11.3.1 Clasificación de las operaciones a nivel general

Las operaciones que se realizan en los tratamientos de los efluentes se pueden clasificar en físicas, químicas y biológicas.

#### 11.3.1.1 Tratamientos físicos

En los tratamientos físicos intervienen fenómenos de esta índole, muchos de ellos se utilizan como pretratamiento. Ellos son:

- Adsorción (carbón activado).
- Desorción.
- Evaporación.
- Extracción líquido-líquido.
- Filtración.
- Flotación natural o provocada por aire.
- Homogeneización y ecualización de caudales.
- Intercepción de aceites y grasas.
- Remoción de sólidos mediante enrejado.
- Sedimentación.
- Tratamiento con membranas.

#### 11.3.1.2 Tratamientos químicos

En este tipo de operaciones, la eliminación de contaminantes se realiza incorporando reactivos químicos con propiedades específicas que interactúan con compuestos de los efluentes. Entran en esta clasificación:

- *Coagulación-floculación*: En la coagulación se desestabilizan determinadas partículas coloides, principalmente a través de la neutralización de su carga eléctrica y utilizando ciertos coagulantes. La floculación supone la agrupación de estas partículas descargadas, que contactan entre sí para formar flóculos capaces de retenerse en etapas posteriores. Aquellos

productos que favorecen la formación de los flóculos se denominan agentes floculantes.

- *Intercambio iónico*: Se emplean resinas que interactúan con los caudales removiendo determinados iones. Se utiliza, por ejemplo, en la eliminación de la dureza del agua.
- *Neutralización*: El agregado de ácidos o bases fuertes proporcionará un equilibrio en la concentración de hidronios u oxidrilos, según sea el caso.
- *Oxidación-reducción*: Algunos oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ozono, cloro, permanganato de potasio o reductores como el sulfito de sodio se añaden para generar la deposición de diversos sólidos.
- *Precipitación química*: Se realiza la generalmente añadiendo hidróxido de sodio, sulfatos o sulfuros. Al incorporar estas sustancias a las aguas residuales que contienen metales, se forman hidróxidos o sulfuros de los metales, según sea el caso, los cuales tienen una solubilidad limitada en el agua. Utilizando esta técnica se remueven la mayoría de los metales y algunas especies aniónicas, como sulfatos y fluoruros.
- *Reducción electrolítica*: Este tratamiento incluye reacciones de oxidación-reducción sobre la superficie de electrodos que provocan la deposición de los contaminantes. Suele emplearse en la recuperación de elementos valiosos.

### **11.3.1.3 Tratamientos biológicos**

Microorganismos que digieren la materia orgánica presente en los efluentes realizan este tratamiento. Generalmente se utilizan bacterias, que consumen las sustancias presentes en los líquidos residuales como nutrientes, generando masa celular y excretando otros compuestos más livianos, como gases.

En el procesamiento, los microorganismos forman flóculos por agregación que deben ser separados posteriormente como lodos mediante sedimentación o decantación, de otra forma contaminan las aguas.

Este tipo de tratamiento se realiza en lagunas, que pueden ser aeróbicas o anaeróbicas. Para la construcción de estos sistemas se utilizan terraplenes de tierra, asegurándose la adecuada impermeabilización del fondo y laterales (para que no se

produzcan filtraciones que contaminen las napas). Entre los principales tipos de lagunas se encuentran:

- *Lagunas anaeróbicas:* Se produce la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Suelen tener profundidades de entre 4 y 6 metros y se ubican en zonas rurales debido a los olores fuertes producidos. Los tiempos de retención son cortos aproximadamente de 3 a 5 días.
- *Lagunas aeróbicas:* El oxígeno se obtiene a partir de las algas, que mantienen las condiciones aerobias. La profundidad suele ser menor que las anaeróbicas, entre 0,3 y 0,5 metros, lo que aumenta la superficie a cubrir. Tienen bajos costos de operación y mantenimiento, pero su eficiencia suele ser variable ya que está condicionada por factores tales como la radiación solar, agitación del viento y la temperatura ambiente.
- *Lagunas aireadas:* Si el espacio es limitado, se recurre a la agitación mecánica para asegurar las condiciones aeróbicas. Esto supone un aumento en los gastos operativos aun contemplando el ahorro de espacio. Desempeñan en la depuración de entre el 50 y 60 %, debido a la presencia de sólidos en suspensión. Suelen estar acompañadas de lagunas facultativas para aumentar la eficiencia global.
- *Lagunas facultativas:* En las capas inferiores yacen microorganismos anaerobios (facultativos), mientras que en las superiores convergen los aerobios. Las algas en las capas superiores producen oxígeno por fotosíntesis, durante las horas de luz solar. Este oxígeno lo utilizan las bacterias para la degradación de la materia orgánica. A su vez, los productos de estas últimas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ) son empleados por las algas. Tienen un rendimiento de entre el 70 y 80%, por lo que, pueden ser el único tipo de tratamiento biológico empleado. La altura útil disminuye constantemente con la deposición de lodos (partiendo de 1,5 a 1,8 m de profundidad), por lo que es necesaria la construcción de otra laguna para dejar secar cuando la altura impide el procesamiento. Suelen tener tiempos de retención de entre 10 y 12 días.

Otros tipos de tratamientos biológicos que utilizan intensivamente el espacio y merecen ser señalados son:

- *Lodos activos*: Se incorporan microorganismos en forma de flóculos a un depósito agitado y aireado mecánicamente. Luego de un tiempo suficiente, el líquido tratado se envía a un clarificador donde sedimentan los fangos bacterianos. Tienen alta eficiencia (90 – 95%) pero, naturalmente suponen altos costos de operación y mantenimiento, como así también de inversión.
- *Filtros bacterianos*: Los microorganismos están fijos en un soporte por el que fluyen las aguas a depurar. Se debe asegurar la incorporación constante de oxígeno dado que es un método aerobio.
- *Biodiscos*: Intermedio entre lodos y filtros. Grandes discos en una mezcla de agua residual con microorganismos, que facilitan la fijación y degradación de éstos.

#### **11.4 NORMATIVA SOBRE EL VERTIDO DE EFLUENTES**

Según lo establece la Ley Nacional 26.221 en su artículo N°17, los efluentes industriales serán obligatoriamente vertidos a la red cloacal operada por la concesionaria cuando cumplan con las normas establecidas en el presente marco regulatorio y normas nacionales aplicables, con las excepciones que establezca la Autoridad de Aplicación a solicitud de los usuarios.

Los efluentes industriales deberán ajustarse a las normas aplicables relativas a la calidad, concentración de sustancias y volumen de acuerdo con lo indicado en el presente Marco Regulatorio.

Las Normas de vertido son las fijadas por la Autoridad de Aplicación en un todo de acuerdo con las disposiciones del Decreto N.º 674/89 y demás Normativa complementaria y modificatoria o aquella que se dicte en el futuro.

Está prohibido arrojar o verter residuos peligrosos, especiales y/o patogénicos, así como también barros u otros residuos contaminantes en el sistema de desagües cloacales operados por la Concesionaria como método de disposición.

Cuando se detecten vertidos fuera de norma, la Concesionaria procederá a intimar al responsable para que adecue la calidad de estos en un plazo determinado y podrá facturar a los usuarios industriales el diferencial de tratamiento que requieran los efluentes cuya calidad exceda el límite del vuelco. La tarifa que aplicará la aprobará la Autoridad de Aplicación.

Tabla 11-2: Límites establecidos para el vertido de agua a nivel nacional.

Parámetro	Desagües a cuencas <sup>12</sup>	Descarga a cuerpo receptor <sup>13</sup>		
		Sin tratamiento	Con tratamiento primario	Con tratamiento secundario <sup>14</sup>
pH	5,5-10	5,5-8,0	5,5-8,0	5,5-8,0
Sustancias solubles en éter (mg/l)	100	100	100	100
Sulfuros (mg/l)	1	-	-	1
Temperatura (°C)	45	45	45	45
DBO sobre muestra bruta (mg/l)	200	300	180	30
DQO	-	-	-	125
Oxígeno consumido en KMgO <sub>4</sub> sobre muestra bruta (mg/l)	80	120	70	-
MES (mg/l)	-	-	-	35
Cianuros totales (mg/l)	1	1	1	1
Cianuros destructibles por cloración (mg/l)	0,1	0,1	0,1	0,1
Hidrocarburos totales (mg/l)	50	100	100	50
Cromo III (mg/l)	2	2	2	2
Cromo VI (mg/l)	0,2	0,2	0,2	0,2
SRAO detergentes (mg/l)	5	5	5	3
Cadmio (mg/l)	0,1	0,1	0,1	0,1
Plomo (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,5

<sup>12</sup> Control a cargo de la concesionaria.

<sup>13</sup> Control a cargo del Ente Regulador.

<sup>14</sup> Deben cumplirse el 90% de las muestras.

Mercurio (mg/l)	0,005	0,005	0,005	0,005
Arsénico (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,5
Sustancias fenólicas (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0.005 <sup>15</sup>
Plaguicidas y herbicidas	-	Igual límite que para captación	Igual límite que para captación	Igual límite que para captación

Fuente: Ley Nacional 26.221 Art. N°17.

## 11.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DE LA PLANTA

El proceso en sus distintas operaciones genera residuos de variadas composiciones y concentraciones, pudiendo ser sólidos o líquidos.

### 11.5.1 Efluentes sólidos

A continuación, se detallarán los principales residuos sólidos en la producción.

#### 11.5.1.1 Micelio proveniente de la fermentación de ácido cítrico

Como residuos sólidos está el micelio proveniente de la fermentación, que es la parte vegetativa de los hongos y puede usarse de diversas maneras por sus propiedades y características. Por ello, es almacenado para su posterior comercialización como subproducto. Dentro de los potenciales usos para el micelio se encuentran:

- *Materiales de construcción sostenibles:* El micelio se puede utilizar para elaborar materiales de construcción, como paneles y bloques. Estos materiales son biodegradables, ligeros y tienen propiedades de aislamiento acústico y térmico.
- *Envases y embalajes biodegradables:* El micelio se ha utilizado para fabricar envases y embalajes biodegradables que son una alternativa ecológica a los plásticos tradicionales. Estos envases son compostables y se descomponen fácilmente en el medio ambiente.
- *Productos textiles:* El micelio se puede transformar en un material similar al cuero, el cual se utiliza para confeccionar ropa, calzado y accesorios. Estos productos son sostenibles y pueden ser una alternativa ética a los productos de cuero animal.

<sup>15</sup> Vertidos en un radio no menos a 5km de una toma de agua para bebida.

- *Biorremediación:* El micelio puede degradar sustancias químicas tóxicas y contaminantes en el suelo, lo que lo convierte en aplicaciones de biorremediación para limpiar suelos contaminados.
- *Suplementos alimenticios y nutrición animal:* Algunos tipos de micelio son comestibles y pueden ser usados como suplementos alimenticios ricos en proteínas y fibra.
- *Filtración de agua:* El micelio también se ha investigado como un medio de filtración de agua efectivo para eliminar contaminantes y microorganismos no deseados del agua potable.

Estos son algunos de los diversos usos que se le puede dar al micelio que se obtiene de la fermentación del ácido cítrico, su versatilidad y capacidad de ser modificado para diferentes aplicaciones hace que sea un material prometedor en la búsqueda de soluciones sostenibles en diversas industrias.

#### **11.5.1.2 Sulfato cálcico generado en la descomposición del citrato de calcio**

El sulfato cálcico, también conocido como yeso, es un subproducto común en la producción de ácido cítrico a través de fermentación. Este subproducto tiene diversas aplicaciones y usos en las industrias, como:

- *Agricultura:* El sulfato de calcio se utiliza como enmienda del suelo para mejorar la estructura y su permeabilidad, también aporta calcio y azufre, dos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Se puede aplicar directamente al suelo o mezclar con otros fertilizantes.
- *Construcción:* El yeso se utiliza en la construcción para hacer mortero y yeso. También se utiliza para la fabricación de paneles de yeso en la construcción de paredes y techos en edificios. Es un material ampliamente utilizado debido a su durabilidad y capacidad para retardar el fuego.
- *Industria alimenticia:* El sulfato de calcio grado alimentario se utiliza como agente endurecedor en la fabricación de productos alimenticios como el tofu. También se usa en la clarificación de cerveza y vino y en la fabricación de quesos para mejorar la textura y la consistencia.

- *Industria química:* El sulfato de calcio se utiliza en la fabricación de productos químicos, como el sulfato de calcio di hidratado, que se utiliza en la fabricación de productos farmacéuticos y en la industria del papel.
- *Tratamiento de aguas:* En el tratamiento de aguas residuales, el sulfato de calcio se utiliza para eliminar impurezas y sólidos suspendidos, ayudando a purificar el agua antes de su liberación al medio ambiente o su reutilización.
- *Industria del cemento:* En la producción de cemento Portland, el sulfato de calcio se utiliza como regulador de fraguado para controlar el tiempo de fraguado y mejorar la resistencia del cemento.
- *Industria del vidrio:* El yeso se utiliza en la fabricación de vidrio para mejorar su claridad y resistencia.
- Este subproducto será almacenado en depósitos en espera de su posterior comercialización.

En la Tabla 11-3 se exponen las características de las corrientes que forman parte de los efluentes sólidos.

Tabla 11-3: Corrientes que forman parte de los efluentes sólidos.

<i>Denominación</i>	<i>Descripción</i>	<i>Composición</i>		<i>pH</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
C	Micelio	Micelio	0,02	2,5-3,5	25-30
		Glucosa	0,04		
		Agua	0,93		
SC <sub>2</sub>	Sulfato cálcico	Sulfato de calcio	0,99	7	25
		Agua	0,01		

Fuente: Elaboración propia.

## 11.5.2 Efluentes líquidos

### 11.5.2.1 Sólidos solubles y agua provenientes de explosión de vapor

Este efluente tiene gran cantidad lignina en su composición. La lignina tiene varios usos y aplicaciones, principalmente en la industria de la biomasa y la producción de energía, así como en la industria química y de materiales, por lo que es considerada un subproducto. Las aplicaciones más comunes se detallan a continuación:

- *Biocombustibles:* La lignina se utiliza como fuente de energía en la producción de biocombustibles, como el etanol celulósico y el bioetanol. Puede ser

quemada directamente para generar calor y electricidad o convertida en combustibles líquidos a través de procesos de gasificación o pirólisis.

- *Producción de energía:* La lignina se quema en plantas de energía de biomasa para generar electricidad y calor. Es una fuente de energía renovable que puede reemplazar parcialmente a los combustibles fósiles en la generación de energía.
- *Materiales compuestos:* La lignina se utiliza como un componente en la fabricación de materiales compuestos biodegradables y sostenibles. Puede mezclarse con otros polímeros naturales o sintéticos para crear productos como tableros de partículas, tableros de fibra, plásticos reforzados y más.
- *Productos químicos:* La lignina se puede descomponer en sus componentes químicos individuales y utilizarse como materia prima en la síntesis de productos químicos diversos, como fenoles, resinas, adhesivos y productos químicos aromáticos.
- *Aditivos agrícolas:* La lignina también se puede utilizar en la agricultura para mejorar la retención de agua y la estructura del suelo y liberar gradualmente nutrientes a las plantas.
- *Productos farmacéuticos y cosméticos:* Se han investigado las propiedades antioxidantes y antimicrobianas de algunos extractos de lignina para su uso en productos farmacéuticos y cosméticos.
- *Tintes y colorantes:* Algunos tipos de lignina se utilizan en la producción de tintes y colorantes, especialmente en la industria textil.

Además, este efluente se compone de materiales lignocelulósicos, que se usan como combustible o para el cultivo de hongos. A éstos se les puede dar valor agregado al ser utilizados para la captura y remoción de diferentes metales pesados de aguas y suelos, así como para ser empleados como materias primas en otros bio-proceso o biomateriales. Estos materiales son promisorios, por su capacidad absorbente, para la fabricación de filtros biodegradables o como cápsulas para la liberación de nutrientes y herbicidas de bajo costo, de esta manera se puede minimizar el impacto ambiental que causan estos residuos al ser desechados en ríos o incinerados.

### 11.5.2.2 Impurezas provenientes de la hidrólisis

Este efluente está compuesto por materiales lignocelulósicos, por los que se lo puede considerar como subproducto al igual que el anterior, con sus respectivas aplicaciones y usos.

En el caso de no ser aprovechados como subproducto, dado que estos materiales lignocelulósicos provienen de fuentes biológicas, son considerados compuestos orgánicos y son biodegradables, por lo que se pueden desechar de forma segura.

### 11.5.2.3 Solución de glucosa separada del citrato de calcio formado

Este efluente está compuesto en su mayoría por agua y una mínima concentración de glucosa. Dada su naturaleza orgánica y que su componente mayoritario es agua, se lo considera como una corriente de agua pura, por lo que se le puede dar diversos usos en el proceso o predio de la planta industrial.

En la Tabla 11-4 se detallan las características de las corrientes efluentes líquidas.

Tabla 11-4: Corrientes que forman parte de los efluentes líquidos.

Denominación	Descripción	Composición		pH	Temperatura (°C)
D	Sólidos solubles y agua	Celulosa	0,25	6,5-7	25
		Hemicelulosa	0,13		
		Lignina	0,16		
		Agua	0,40		
S	Impurezas	Celulosa	0,83	7	25
		Hemicelulosa	0,04		
		Azúcares	0,03		
		Lignina	0,06		
		Cenizas	0,02		
AG	Solución de glucosa	Agua	0,98	6,5-7	25
		Glucosa	0,02		

Fuente: Elaboración propia.

# CAPÍTULO 12

---

*Control automático de proceso*

## **12 CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESO**

---

### **12.1 INTRODUCCIÓN**

En la contemporaneidad la producción industrial se ha caracterizado principalmente por la optimización de los procesos, empleando avances tecnológicos de la comunicación y el control, a fin de lograr productos a bajo costo, alta calidad capaces de cumplir con los estándares exigidos por el mercado.

La tecnología actual permite supervisar y controlar diversas industrias. El control y la automatización a través de la electrónica han experimentado un cambio importante en la mayoría de las industrias, para ampliar y mantener su posición en los respectivos campos de acción.

El control automático (CA) se refiere a un conjunto de componentes físicos interconectados o relacionados que les permite regular su desempeño, sin la intervención de agentes externos. Además, este avance electrónico, permite la corrección de posibles errores.

Las razones por la cual se implementa en la industria:

- Evitar lesiones al personal de planta o daño al equipo.
- Mantener la calidad del producto en el tiempo y con un costo mínimo.
- Mantener la tasa de producción de la planta al costo mínimo.

En el presente capítulo se describe como se adoptó un sistema de control automático sobre la etapa de fermentación del proceso de producción de ácido cítrico, además se detalla la secuencia de arranque y las hojas de especificaciones de los accesorios requeridos para dicho propósito.

### **12.2 CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS**

El objetivo del control automático de procesos (CAP) es mantener en un determinado valor, una variable crítica de la operación que se desea controlar. Las variables que pueden controlarse en un proceso químico son la temperatura, presión, nivel del líquido, el caudal, la relación de reflujo, la composición y ciertas

propiedades físicas cuyas magnitudes pueden verse influenciadas por algunas de las otras variables, por ejemplo, viscosidad, presión de vapor, índice de refracción.

Existen cuatro componentes básicos en el sistema de control:

1. Sensor o elemento primario.
2. Transmisor o elemento secundario.
3. Controlador, este es el cerebro del sistema de control.
4. Elemento final de control, frecuentemente se trata de una válvula de control.  
Pero, se encuentran otros elementos como, bombas de velocidad variable, transportadores y motores eléctricos.

Estos componentes serán los responsables de realizar las operaciones que deben estar presentes en un sistema de control: medición, decisión y acción.

El sensor se conecta físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para transmitirla al controlador. El controlador recibe la señal, la compara con el valor que se desea y, según el resultado de la comparación, decide qué hacer para mantener la variable en el valor deseado. Según la decisión, el controlador envía otra señal al elemento final de control, que efectúa la acción correspondiente según esa señal. Esta última, puede ser del tipo neumática, eléctrica o electrónica. Lo descrito antes es lo que se denomina lazos de control.

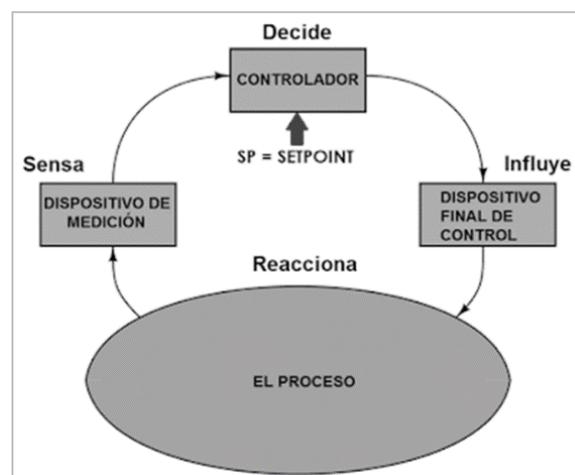


Figura 12-1: Lazo de control. Fuente: Cátedra Control automático de procesos.

### 12.2.1 Elementos que conforman un sistema de control

A continuación, se definen términos básicos que conforman un sistema de control:

- Variable controlada: cantidad o condición que se mide y controla. Normalmente es la salida del sistema.
- Variable manipulada: es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.
- Variable de referencia: El valor que se desea que tenga la variable controlada.
- Planta: cualquier objeto físico que se va a controlar (dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial), también se lo puede considerar como parte del equipo que funcionan juntas para ejecutar la operación.
- Proceso: cualquier operación que se va a controlar, como procesos químicos, biológicos, entre otros.
- Perturbaciones: señal que tiende a afectar de manera negativa el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se la denomina interna, mientras que las perturbaciones externas se generan fuera del sistema y es una entrada.
- Tiempos muertos: tiempo entre el cambio de la entrada del sistema y la respuesta de la salida del sistema.

### 12.2.2 Tipos de sistemas de control

Definidos los términos básicos de un sistema de control, se mostrarán los tres tipos de sistemas de control:

#### *Sistema de control realimentado*

Se trata de un sistema que mantiene una relación prescrita entre salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control. Se trata de un sistema que no se limita solo a la ingeniería, de hecho, se encuentra en diversos campos ajenos a ella.

Se puede resumir como un mecanismo que relaciona de forma automática los valores establecidos para sus variables de estado de salida de forma precisa, a pesar de las variaciones que pueden producirse en la entrada manteniendo un equilibrio.

### Sistema de control de lazo cerrado

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado, en la práctica, estos términos se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente.

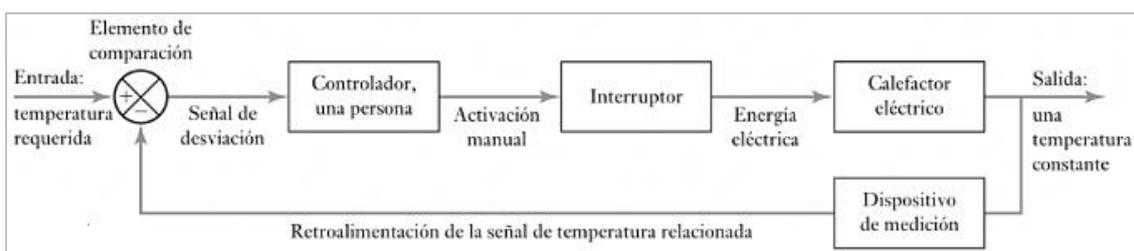


Figura 12-2: Ejemplo sistema de control de lazo cerrado.

### Sistema de control de lazo abierto

En este tipo de sistemas no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. La salida no afecta la acción de control, no hay regulación de variables, sino que se realizan operaciones de una manera determinada que pueden venir por eventos o por tiempo.

En la práctica, el control en lazo abierto se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas.

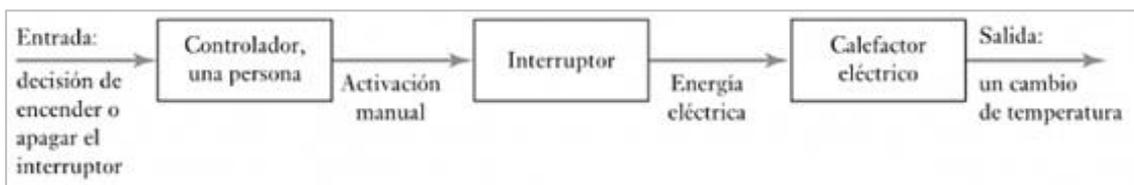


Figura 12-3: Ejemplo sistema de control de lazo abierto.

## 12.2.3 Estrategias de control

### Control por retroalimentación

De acuerdo con lo medido en la variable de salida, se envía información al controlador para regular la variable de entrada y mantener el sistema en las condiciones establecidas. El circuito de control no detecta que tipo de perturbación

ingresa al proceso, únicamente trata de mantener la variable controlada en el punto de control.

La desventaja de este sistema es que la perturbación se debe propagar por todo el proceso antes de que la pueda compensar el control por realimentación.

#### *Control por acción precalculada*

El objetivo de esta estrategia es detectar las perturbaciones y compensarlas antes de que la variable se controlada se desvíe de punto de control. Este tipo de accionar controlará las variables consideradas importantes en el proceso y evitará que estas sean las que se desvíen, pero si existe algún tipo de perturbación en el proceso, no se compensará con esta estrategia y puede provocar la desviación permanente de la variable respecto al punto de control.

Es por lo anterior, que lo satisfactorio es aplicar el control por acción precalculada y retroalimentación, de esta manera, la acción precalculada se encargará de las perturbaciones más serias, mientras que el control por retroalimentación compensa todas las demás.

### **12.3 AUTOMATIZACIÓN DE LA ETAPA DE FERMENTACIÓN**

Las variables que se controlan son:

- Temperatura.
- Nivel Alto.
- Nivel bajo.
- Nivel continuo.
- Caudales.

#### **12.3.1 Secuencia de arranque**

La corriente MD, que contiene el mosto desarrollado proveniente de la etapa de prefermentación, la corriente M2 que lleva es el 90% del medio esterilizado. Ambas, ingresan a los fermentadores a través de sus correspondientes bombas.

Los flujos de entrada de dichas corrientes son medidos por transmisores de caudal (FT), estos están conectado a las bombas con un variador de frecuencia. Además, estos están conectados a un PLC para enviar las cantidades necesarias para cada lote.

Además, ingresa un corriente de aire estéril que aporta el oxígeno necesario para el proceso de fermentación.

Además, cada biorreactor cuenta con:

- Dos sensores de nivel discontinuo. El interruptor de nivel bajo, al activarse, habilita el tanque para ser llenado. El operador selecciona el fermentador que quiere que entre en funcionamiento, se abren las válvulas, se recibe la confirmación de que las válvulas están en la posición correcta y posteriormente se encienden las bombas.

El interruptor de nivel alto se encuentra por seguridad en caso de un fallo en el sensor continuo y evitar un rebalse.

- Un sensor de nivel continuo va a indicar el porcentaje del tanque ocupado, al llenarse hasta un 20%, se activa el agitador. Cuando se llena al 70% del reactor (volumen operativo), el PLC envía la orden de detener las bombas de las corrientes MD y M2 y a su vez, cerrar las válvulas on/off de estas corrientes y abre el ingreso de aire.

En el momento de la descarga, cuando este toma un valor menor al 10% del tanque en uso, se detiene el agitador.

- Un transmisor de temperatura, con un lazo PID a la válvula modulante de la corriente de agua de enfriamiento para regular el ingreso de esta y mantener la temperatura de fermentación óptima. ‘

Cumplidas las 144 horas de fermentación para la obtención de ácido cítrico, se abre la válvula (V-05) de descarga, se corta el ingreso de aire y control de temperatura. A media que transcurre la descarga, va a llegar el momento en el que se va a activar el interruptor de nivel bajo, que va a significar que se cierre la válvula de descargar.

En la Tabla 12-1 se especifican los accesorios necesarios para la automatización de la etapa de fermentación.

Tabla 12-1: Elementos de control en etapa de fermentación.

<b>Elemento de control</b>	<b>Denominación</b>
Transmisores de caudal	FT-1 FT-2
Interruptores de nivel	<i>Nivel bajo:</i> LLS - 1 LLS - 2 LLS - 3 LLS - 4 LLS - 5 LLS - 6 <i>Nivel alto:</i> HLS - 1 HLS - 2 HLS - 3 HLS - 4 HLS - 5 HLS - 6
Transmisor de nivel	LT-1 LT-2 LT-3 LT-4 LT-5 LT-6
Trasmisor de temperatura	TT-1 TT-2 TT-3 TT-4 TT-5 TT-6
Válvulas modulantes	V-030 V-031 V-032 V-033 V-034 V-035
Válvulas actuadas	V-01

	V-02
	V-03
	V-04
	V-05
	V-06
	V-07
	V-08
	V-09
	V-10
	V-11
	V-12

Fuente: Elaboración propia.

### 12.3.2 P&ID

En la imagen que se aprecia a continuación se muestra el P&ID de un único fermentador, pero las conexiones hechas, las consideraciones de automatización, los elementos de control utilizados se replican en cada uno de los seis fermentadores presentes en el proceso.

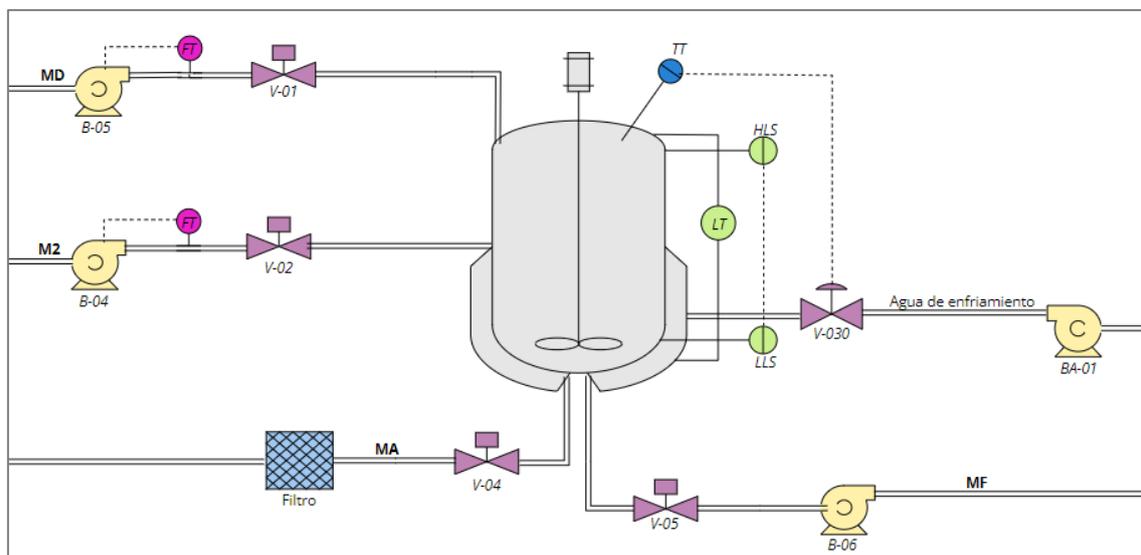


Figura 12-4: P&ID de un fermentador. Fuente: Elaboración propia.

### 12.3.3 Simulación de carga

En la Figura 12-5 se ejemplifica como sería la carga.

Anteriormente, se explicó, que cuando se activa el sensor de nivel bajo, se habilita la llenada de un tanque. En este caso, el operario, decidió poner en funcionamiento el fermentador 3.

Por lo tanto, se activaron las válvulas correspondientes a este camino, y se encendieron las bombas de carga, esto se ve reflejado en el camino coloreado en verde, simbolizando que estos elementos de control y cañería están activos.

Cuando los elementos de control son negros, indica que están inactivos y si están rojos, trabajan fuera de los límites de control.

En caso de la descarga se activarán y desactivarán los elementos de control necesarios transcurrido el tiempo de fermentación.

La figura es de modo ilustrativo, la idea es plasmar criterio que se toma para la carga y descarga e identificar variables fuera de control, esto se vería reflejado en una pantalla de control (SCADA), facilitando la retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo y controlar el proceso automáticamente.

Además, en el esquema se omite la alimentación de aire y agua de enfriamiento, el sistema de descarga y simplifica algunas conexiones.

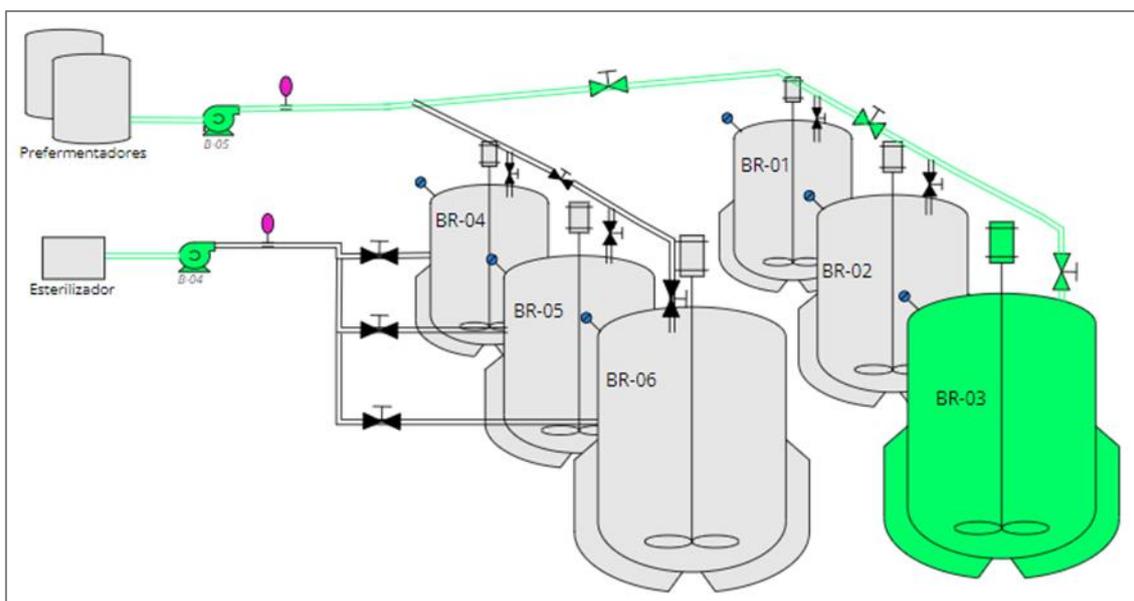


Figura 12-5: Simulación de carga del reactor tres – Esquema simplificado. Fuente: Elaboración propia.

## 12.4 HOJAS DE ESPECIFICACIONES

### 12.4.1 Transmisores de caudal

En la Tabla 12-2 se detallan las especificaciones que deben cumplir los transmisores de caudal adoptados para el sistema de control.

Tabla 12-2: Especificaciones transmisor de caudal.

Hoja de especificaciones		Transmisores de caudal	
General	TAG	FT-1	FT-2
	Tipo de caudalímetro	Másico	
	Función	Medir caudales de ingreso a los biorreactores.	
	Servicio	Medida continua	
	Corrientes	MD	M2
Conexión a proceso	Material de cañería	AISI 316	
	Conexión	Bridada	
Modelo		OPTIMASS 1400	
Diseño sensor	Caudal máximo (kg/h)	170000	170000
Transmisor	Señal de salida	4-20 mA	
	Comunicación	RS 485	
	Alimentación	230 V	
	Salida de impulsos	Ajustable (0,001 – 1000 imp/dm <sup>3</sup> )	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 12-6: Transmisores de caudal. Fuente: Limesa.

#### 12.4.2 Válvulas modulantes

En la Tabla 12-3 se detallan las especificaciones que deben cumplir las válvulas adoptadas para el sistema de control.

Tabla 12-3: Especificaciones válvulas modulantes.

HOJA DE ESPECIFICACIONES		Válvulas Modulantes					
<i>General</i>	TAG	V-30	V-31	V-32	V-33	V-34	V-35
	Servicio	Variación de caudal, agua de enfriamiento.					
	Ubicación	Entrada de agua de enfriamiento - Etapa fermentación.					
<i>Cuerpo</i>	Tipo de válvula	Modulante					
	Conexión/ extremos	Brida					
	Material	Acero inoxidable					
	Marca	Powers process control					
<i>Actuador</i>	Tipo	Neumático					
	Fluido motor	Aire comprimido					
	Presión de fluido motor (kgf/cm <sup>2</sup> )	8,57					
	Voltaje (V)	24					
	Transmisor	Analógico					

Fuente: Elaboración propia.



Figura 12-7: Válvula globo con actuador. Fuente: Powers process control.

### 12.4.3 Válvulas actuadas

Tabla 12-4: Especificación válvulas actuadas

HOJA DE ESPECIFICACIONES		Válvulas Actuadas											
General	TAG	V-01	V-02	V-03	V-04	V-05	V-06	V-07	V-08	V-09	V-10	V-10	V-12
	Servicio	Variación de caudal.											
	Ubicación	Carga y descarga de fermentadore, carga de aire, conexión entre fermentadores.											
Cuerpo	Tipo de válvula	De bloqueo											
	Conexión/ extremos	Bridada											
	Material	Acero inoxidable											
	Marca	Del Val Flow											
Actuador	Tipo	Neumático											
	Fluido motor	Aire											
	Presión de fluido motor (kgf/cm <sup>2</sup> )	8,60											

Fuente: Elaboración propia.



Figura 12-8: Válvula mariposa montada con un actuador neumático on/off.

### 12.4.4 Interruptor de nivel

En la Tabla 12-5 se detallan las especificaciones que debe cumplir los switches de nivel adoptados para el sistema de control.

Tabla 12-5: Especificación switch de nivel.

HOJA DE ESPECIFICACIONES		Switch de nivel	
General	TAG	LLS-1	HLS - 1
		LLS-2	HLS - 2
		LLS-3	HLS - 3
		LLS-4	HLS - 4
		LLS-5	HLS - 5
		LLS-6	HLS - 6
	Servicio	Control nivel bajo – nivel alto	
Ubicación	Fermentadores		
Sensor transmisor	Tipo de sensor	Discontinuo	
	Modelo	VEGASWING 61	
	Orientación	Lateral	
	Material	Acero inoxidable	
	Presión máxima (bar)	64	
	Temperatura máxima (°C)	250	
	Conexión a proceso	Bridada	
	Señal de salida	Digital	
Proceso	Fluido	Mosto de fermentación	
	Presión (bar)	1	
	Temperatura (°C)	30	
	Cantidad	6	6

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12-9: Sensor de nivel bajo y nivel alto. Fuente: VEGA.





Figura 12-10: Ilustración de ubicación del sensor. Fuente: VEGA.

### 12.4.5 Transmisor de nivel

En la Tabla 12-6 se detallan las especificaciones que debe cumplir el transmisor de nivel adoptado para el sistema de control.

Tabla 12-6: Especificación transmisor de nivel.

HOJA DE ESPECIFICACIONES		Transmisor de nivel					
General	TAG	LT-1	LT-2	LT-3	LT-4	LT-5	LT-6
	Servicio	Control nivel del fermentador					
	Ubicación	Fermentadores					
Sensor transmisor	Tipo de sensor	Continuo					
	Modelo	VEGAPULS 6X					
	Orientación	Vertical					
	Material	Acero inoxidable					
	Rango de medición (m)	120m					
	Temperatura máxima (°C)	450					
	Presión máxima (bar)	160					
Conexión a proceso	Bridado						
Proceso	Fluido	Mosto de fermentación					
	Presión (bar)	1					
	Temperatura (°C)	30					

	Cantidad	6
--	----------	---

Fuente: Elaboración propia.



Figura 12-11: Trasmisor de nivel. Fuente VEGA.



Figura 12-12: Ubicación del trasmisor. Fuente: VEGA.

#### 12.4.6 Transmisor de temperatura

En la Tabla 12-7 se detallan las especificaciones que debe cumplir el transmisor de temperatura adoptado para el sistema de control.

Tabla 12-7: Especificaciones transmisor de temperatura.

HOJA DE ESPECIFICACIONES		Transmisor de temperatura					
General	TAG	TT-1	TT-2	TT-3	TT-4	TT-5	TT-6
	Servicio	Medir temperatura.					
	Ubicación	Zona media del fermentador					
Sensor transmisor	Tipo de sensor	Continuo					

	Orientación	Horizontal
	Material	Acero inoxidable
	Longitud aproximada (mm)	4500
	Rango de temperatura (°C)	-50 a 500
	Conexión a proceso	Roscado
<i>Proceso</i>	Fluido	Mosto de fermentación
	Presión (bar)	1
	Temperatura (°C)	30
	Cantidad	6

*Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 12-13: Trasmisor de temperatura. Fuente: Endress + Hausen (EH).*

# CAPÍTULO 13

---

*Obras civiles*

## 13 OBRAS CIVILES

---

### 13.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describen la construcción civil que se ejecutará en el terreno seleccionado para instalar la planta productora de ácido cítrico. Se elabora el layout de los equipos utilizados en el proceso, así como la distribución física de todas las áreas que lo conforman.

La distribución física tiene numerosas repercusiones tácticas y estratégicas como la mejora del flujo de materiales, en la eficiencia de la implementación de mano de obra y equipos, a su vez, se reducen riesgos para los trabajadores.

Cabe aclarar que la ubicación de la planta procesadora de ácido cítrico se decidió en capítulo 4: “Localización” del presente proyecto.

### 13.2 UBICACIÓN

La planta procesadora de ácido cítrico se encuentra localizada en el Parque industrial de Concepción del Uruguay ubicada en el acceso a la localidad de Concepción del Uruguay, sobre Ruta Provincial 39 en su confluencia con la Autovía Mesopotámica. El terreno que se utiliza se encuentra dentro de la manzana 15, lotes números 2-6 los que conforman una superficie de 6,25 hectáreas (62300m<sup>2</sup>).

La distribución de los diferentes sectores en el terreno se llevó a cabo teniendo en cuenta el movimiento del personal, del producto y la secuencia de operaciones desde la recepción de la materia prima hasta la expedición del producto terminado.

Es de destacar, que las áreas que se encuentran en el exterior de la nave industrial son, la carga y la descarga, estacionamiento, servicios auxiliares, etapa de fermentación, almacenamientos de lotes que se van produciendo. El resto e incluso algunos almacenamientos se encuentran en el interior de la nave industrial.

Áreas como oficinas, baños, comedor y portería, se encuentran ubicados según las necesidades del proceso.



Figura 13-1: Identificación de la ubicación de la planta procesadora de ácido cítrico. Fuente: P.I.C.U

Como primera disposición, se alza para el predio un cerco perimetral con premoldeados de hormigón armado y alambre olímpico (romboidal) con terminación de tres líneas de alambres de púa.

El predio se comunica con las calles internas del parque llamadas: Álvaro Celilnski, Calle 4 y Calle 5.

### 13.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO

Tabla 13-1: Detalle de la superficie cubierta en la planta procesadora de ácido cítrico.

<b>Edificio</b>	<b>Sector</b>	<b>Área</b>	<b>Área total</b>	
1	Estacionamiento	480m <sup>2</sup>	960m <sup>2</sup>	
2	Portería	254,88m <sup>2</sup>	254,88m <sup>2</sup>	
3	Administración	Baño	7,8m <sup>2</sup>	250m <sup>2</sup>
		Cocina	12m <sup>2</sup>	
		Recepción	20m <sup>2</sup>	
		Oficina directora	50m <sup>2</sup>	
		Oficina RR. HH	16m <sup>2</sup>	
		Oficina Finanzas	16m <sup>2</sup>	
		Oficina Ventas-Compras	12m <sup>2</sup>	
		Oficina Marketing	16m <sup>2</sup>	
		Oficina Logística	12m <sup>2</sup>	
Administración	12m <sup>2</sup>			
4	Vestuarios Damas	40m <sup>2</sup>	40m <sup>2</sup>	
5	Vestuarios Caballeros	40m <sup>2</sup>	40m <sup>2</sup>	
6	Baños Damas	12m <sup>2</sup>	12m <sup>2</sup>	

7	Baños Caballeros	12m <sup>2</sup>	12m <sup>2</sup>
8	Comedor	40m <sup>2</sup>	40m <sup>2</sup>
9	Laboratorio	96m <sup>2</sup>	96m <sup>2</sup>
	Oficina supervisor laboratorio	12m <sup>2</sup>	
10	Depósito AC	40m <sup>2</sup>	40m <sup>2</sup>
11	Sala de transformador	100m <sup>2</sup>	100m <sup>2</sup>
12	Sala de caldera	84m <sup>2</sup>	84m <sup>2</sup>
13	Sala de compresores	120m <sup>2</sup>	120m <sup>2</sup>
14	Producción producto principal	5520m <sup>2</sup>	5520m <sup>2</sup>
<b>Total superficie cubierta</b>			<b>7518,88m<sup>2</sup></b>

*Fuente: Elaboración propia.*

### **13.3.1 Edificio 1** **Estacionamiento**

Al ingreso del establecimiento se encuentran dos estacionamientos que presenta un sector para bicicletas y motocicletas y otro para automóviles, quedando un área ocupada de 480m<sup>2</sup> cada uno.

Para los automóviles se considera un ancho designado de 2,5m para cada uno de ellos y un largo de 5m, por lo que dicho estacionamiento tiene una capacidad para 20 vehículos aproximadamente.

Se decide una orientación de 90°, considerando dos lugares para personas con discapacidad.

Las características constructivas son: playas construidas de pavimento rígido y hormigón, realizado con cemento, estructura de hierro y toldos impermeables para mayor [protección de los vehículos, con luminaria pertinente y correcta señalización.

En la Figura 13-2 se muestra la disposición resultante del sector, ambos estacionamientos son iguales.

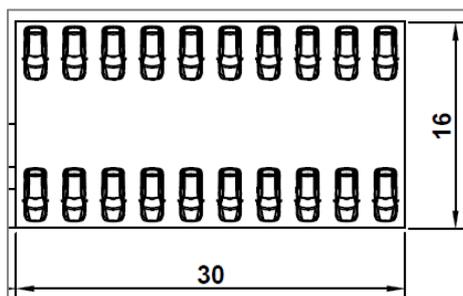


Figura 13-2: Estacionamiento.

### 13.3.2 Edificio 2

#### Portería

Al ingresar al predio, se encuentra la garita de seguridad con una barrera al paso. Tiene funciones relacionadas con el control interno de la planta productiva de ácido cítrico, porque el parque industrial de Concepción del Uruguay ya cuenta con seguridad propia.

En esta garita se va a controlar el flujo de personas que ingresan y egresan a la planta, ya sea personal o clientes y proveedores. Este edificio presenta un área de 254,88m<sup>2</sup>. Se encuentra construidos con ladrillo block de hormigón y techo de loza con pintura impermeabilizante.

En su interior se encuentra un escritorio, baño y herramientas tecnológicas necesarias para llevar adelante los registros necesarios.

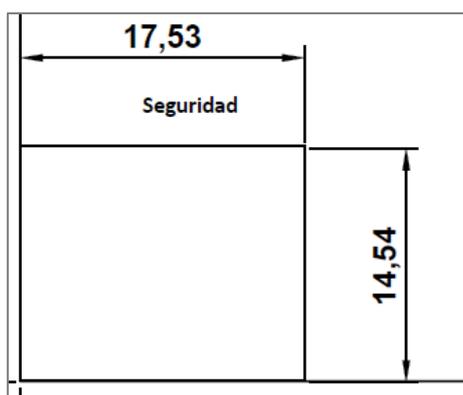


Figura 13-3: Garita de seguridad.

### 13.3.3 Edificio 3

#### Administración

Todo el edificio correspondiente a esta sección de la planta se encuentra construido por ladrillos block de hormigón y un techo de hormigón con viguetas.

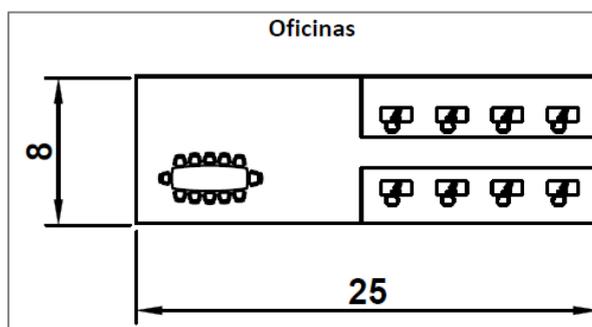


Figura 13-4: Representación de la distribución en el edificio de administración.

Dentro de este edificio se encuentra:

#### *Recepción*

Es el primer contacto que tiene el cliente o persona externa a la empresa con el personal interno de esta. La infraestructura cuenta con un área cubierta de 20m<sup>2</sup>. En su interior cuenta con un escritorio, cuatro sillas, computadora, impresora, telefonía fija.

#### *Oficinas director y sala de reuniones*

Esta oficina es la más grande, ya que esta cuenta además con la sala de reuniones y conferencias. El área total de esta oficina es de 50m<sup>2</sup>, está equipada con un escritorio, y una mesa de reuniones que cuenta con aproximadamente 10 sillas, además se encuentran todas las herramientas tecnológicas e informáticas necesarias (computadora, impresora, telefonía, proyector).

#### *Oficinas administrativas*

En dichas oficinas se encuentran trabajando los departamentos de administración, compras-ventas, finanzas (contador), recursos humanos, logística y marketing. Todas ellas están equipadas con escritorio, silla, computadoras, impresoras y teléfonos fijos.

Tabla 13-2: Dimensiones oficinas administrativas.

Oficina	Superficie (m <sup>2</sup> )
Oficina 1: Recursos humanos	16m <sup>2</sup>
Oficina 2: Finanzas (contador)	16m <sup>2</sup>
Oficina 3: Compras- ventas	17,6m <sup>2</sup>
Oficina 4: Marketing	16m <sup>2</sup>
Oficina 5: Logística	12m <sup>2</sup>
Oficina 6: Administración	12m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

### Baño

Dentro del edificio de administración, se cuenta con un baño para uso del personal, el mismo posee dos inodoros y dos lavatorios con agua fría y caliente. Este ocupa un área de 7,8m<sup>2</sup>.

### Cocina

En frente del baño se encuentra la cocina de la administración, esta cuenta con área de 12m<sup>2</sup> y esta está equipada con una heladera, cocina, pileta lavaplatos, pava eléctrica, microondas, dispense agua fría y caliente.

### 13.3.4 Edificio 4

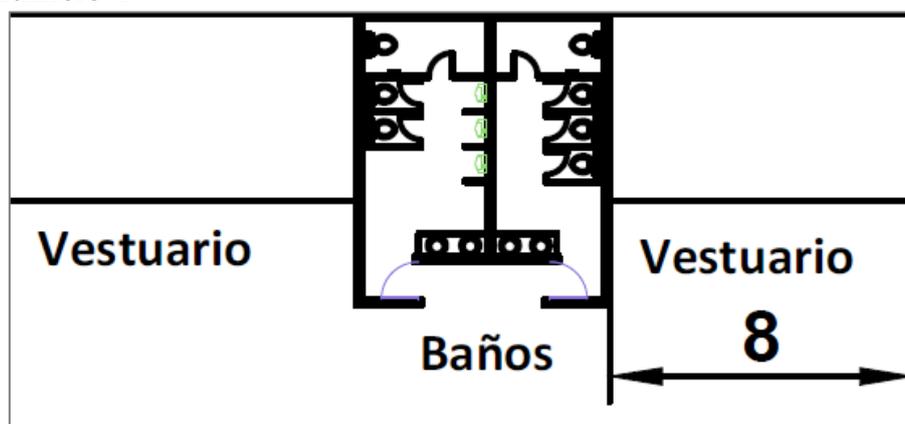


Figura 13-5: Disposición baños y vestuarios.

### Vestuarios Damas

Este edificio se encuentra construido de ladrillo block de hormigón, con techo de loza de hormigón con viguetas y pintura impermeabilizante, sus paredes internas se encuentran recubiertas por cerámicas blancas, hasta una altura de dos metros,

según exigencias sanitarias. El área de este edificio es de 40m<sup>2</sup> y cuenta con un ingreso directo a planta.

Están equipados con casilleros metálicos identificado con el nombre del empleado, estos están compuestos por dos compartimientos, uno asignado para la ropa de calle y el otro para el uniforme de trabajo y además cuenta con bancos.

### **13.3.5 Edificio 5**

#### **Vestuarios Caballeros**

Este edificio se encuentra construido de ladrillo block de hormigón, con techo de loza de hormigón con viguetas y pintura impermeabilizante, sus paredes internas se encuentran recubiertas por cerámicas blancas, hasta una altura de dos metros, según exigencias sanitarias. El área de este edificio es de 40m<sup>2</sup> y cuenta con un ingreso directo a planta.

Están equipados con casilleros metálicos identificado con el nombre del empleado, estos están compuestos por dos compartimientos, uno asignado para la ropa de calle y el otro para el uniforme de trabajo y además cuenta con bancos.

### **13.3.6 Edificio 6**

#### **Baños Damas**

Este edificio se encuentra construido de ladrillo block de hormigón, con techo de loza de hormigón con viguetas y pintura impermeabilizante, sus paredes internas se encuentran recubiertas por cerámicas blancas, hasta una altura de dos metros, según exigencias sanitarias. El área de este edificio es de 12m<sup>2</sup>. Se encuentra equipado por inodoros, y piletas para lavarse las manos, además está comunicado con el vestuario.

### **13.3.7 Edificio 7**

#### **Baño Caballeros**

Este edificio se encuentra construido de ladrillo block de hormigón, con techo de loza de hormigón con viguetas y pintura impermeabilizante, sus paredes internas se encuentran recubiertas por cerámicas blancas, hasta una altura de dos metros, según exigencias sanitarias. El área de este edificio es de 12m<sup>2</sup>. Se encuentra

equipado por inodoros, y piletas para lavarse las manos, además está comunicado con el vestuario.

### 13.3.8 Edificio 8

#### Comedor

El comedor está construido con ladrillos block de hormigón, techo de hormigón con viguetas, además las paredes internas están recubiertas de cerámica blanca hasta una altura de dos metros según las exigencias sanitarias. El área de este espacio es de 40m<sup>2</sup>. Está equipado por mesas, sillas, heladera, cocina, pileta lavaplatos, un bajo mesada y alacena con utensilios necesarios y microonda.



Figura 13-6: Representación del comedor.

### 13.3.9 Edificio 9

#### Laboratorio

Este espacio está destinado a realizar pruebas estándares de calidad, tanto de la materia prima como del producto terminado. Cuenta con una superficie de 96m<sup>2</sup>, está construido con ladrillo block de hormigón y el techo de hormigón con viguetas. En su interior se encuentra un revestimiento con mosaicos debido a su alta resistencia, impermeabilidad y durabilidad.

Dentro de este edificio se encuentra:

- Área de lavado de equipos y vajillas.
- Área de equipos y realización de los métodos de control.

Dentro del edificio del laboratorio, se encuentra la oficina del supervisor, que cuenta con una superficie de 12m<sup>2</sup>, esta se encuentra equipada con un escritorio, sillas,

computadora, impresora, teléfono fijo. Constructivamente es igual al edificio general del laboratorio.

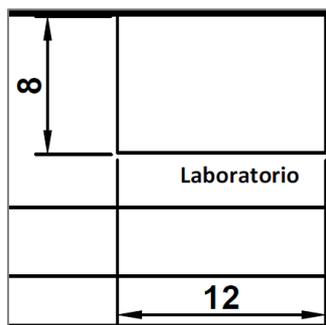


Figura 13-7: Dimensión laboratorio.

### 13.3.10 Edificio 10

#### Depósito AC

Se provee de un espacio de 40m<sup>2</sup>, suficiente para ubicar los lotes de producto final, hasta su posterior comercialización.

Las características constructivas son techo parabólico cubierto con chapa de acero galvanizada, paredes de ladrillo bloque, revoque grueso y fino, pintura látex y pisos de hormigón con endurecimiento de superficie.

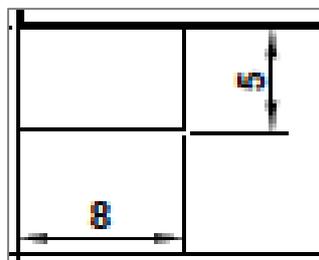


Figura 13-8: Dimensión del depósito.

### 13.3.11 Edificio 11

#### Producción producto principal

Área destinada a la producción de ácido cítrico, posee una superficie cubierta de 5520m<sup>2</sup>, en la misma se distribuyen los equipos de pretratamiento de la materia prima (reactor de explosión, transporte de sólidos, bombas, filtros, preparación de sustrato, intercambiadores de calor, prefermentadores), y los de la etapa de purificación del producto (cristalización, secador, evaporador, reactor neutralizador y desdoblador) ya que los fermentadores se encuentran en el exterior.

A la hora de diseñar la distribución de los equipos, se tuvieron en cuenta varias consideraciones, entre ellas, la distancia óptima, facilidad de mantenimiento, acceso seguro y cómodo.

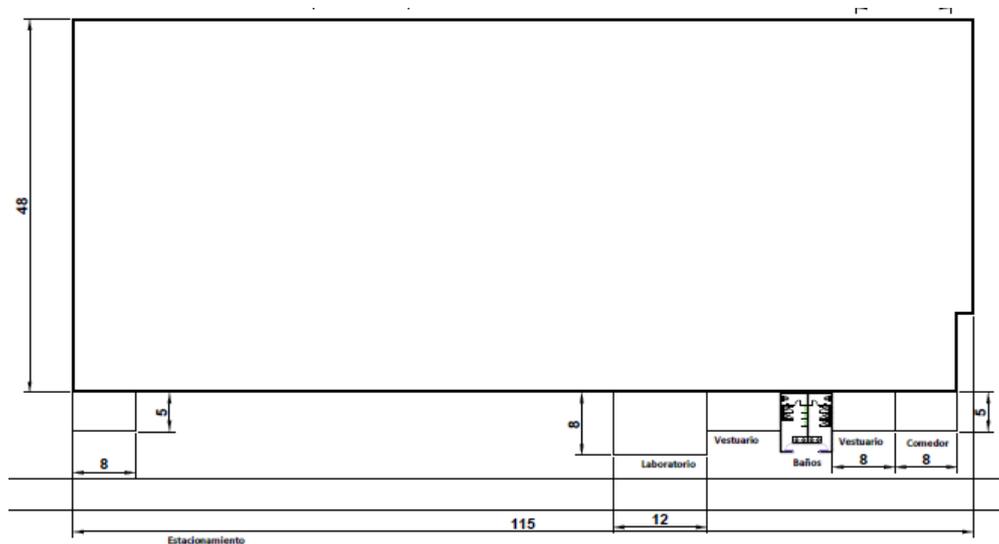


Figura 13-9: Dimensión de la nave industrial.

### 13.3.12 Sector Almacenamiento y servicios auxiliares

#### Almacenamiento y servicios auxiliares

Tanto el almacenamiento de los productos terminados como el de la materia prima, la caldera, torres de agua de enfriamiento, tanques de agua de proceso, se encuentran a la intemperie.

Por lo que se utilizan tanque o tolvas, dependiendo de que estemos tratando construidos de acero inoxidable, estos se encuentran ubicados en partes estratégicas de la planta, para facilitar la carga y descarga de los mismo.

# CAPÍTULO 14

---

*Instalaciones eléctricas*

## **14 INSTALACIONES ELÉCTRICAS**

---

### **14.1 INTRODUCCIÓN**

La eficiencia y seguridad en la producción de ácido cítrico es de vital importancia. En este contexto, el capítulo de instalaciones eléctricas juega un papel esencial para garantizar un funcionamiento óptimo y sostenible de la planta. A lo largo del mismo, se explorarán una serie de aspectos relacionados con las instalaciones eléctricas, adoptando las normativas establecidas por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) para asegurar la conformidad y calidad del diseño de las instalaciones.

En el desarrollo del capítulo se brindará un panorama general de la infraestructura eléctrica que abastece a la planta, esto incluirá la distribución de energía, la disposición de tableros eléctricos y la ubicación estratégica de los puntos de control y medición; se analizará el requerimiento energético de los equipos para optimizar la distribución eléctrica, el requerimiento y consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación ya que, una iluminación adecuada es esencial para la seguridad de los trabajadores como para el correcto funcionamiento de las operaciones y finalmente el consumo total de energía de la planta, considerando todas las fuentes de consumo eléctrico, desde los equipos de proceso hasta el sistema de iluminación. Este análisis integral será fundamental para la gestión eficiente de la energía en la planta productiva.

### **14.2 DESCRIPCIÓN GENERAL**

El Parque Industrial Concepción del Uruguay cuenta con líneas de 132kV, 33kV y 13.2 kV. El suministro de energía es ilimitado y confiable ya que la línea de 132 kV esta alimentada de forma directa del anillo del Sistema Interconectado Argentino-uruguayo de 500 kV de origen en la Represa de Salto Grande. Este suministro es provisto por la empresa ENERSA.

La potencia total necesaria se determina teniendo en cuenta la energía que consumen tanto las luces como los equipos que forman parte de la producción. Los sistemas de iluminación funcionan con electricidad alterna monofásica de 220 V, mientras que los equipos relacionados con la fuerza motriz operan con electricidad alterna trifásica de 380 V.

#### **14.2.1 Descripción de las instalaciones eléctricas**

Para el funcionamiento correcto de la instalación eléctrica se requieren una serie de elementos los cuales incluyen:

- Tableros eléctricos.
- Conductores eléctricos.
- Bandejas porta cables.
- Elementos de protección y seguridad.
- Tomacorrientes.
- Transformadores.
- Generador de emergencia.
- Iluminación.
- Iluminación de emergencia.
- Pararrayos

##### **14.2.1.1 Tableros eléctricos**

Los tableros eléctricos, también conocidos como tableros de distribución o paneles eléctricos, son dispositivos esenciales en sistemas eléctricos que se utilizan para controlar, proteger y distribuir la energía eléctrica de manera segura y eficiente.

Características de los tableros eléctricos:

1. *Seguridad:* Los tableros eléctricos están diseñados con componentes y dispositivos de seguridad, como interruptores automáticos o disyuntores, que protegen contra sobrecargas, cortocircuitos y otros problemas eléctricos que puedan causar daños o peligros.
2. *Distribución:* Permiten la distribución de la electricidad desde una fuente de alimentación principal a diferentes circuitos y dispositivos, lo que facilita el

control individual de cada circuito. Los circuitos se bifurcan y ordenan convenientemente. Éstos están formados por aparatos de maniobra, con llaves o conmutadores, aparatos de protección, como fusibles y llaves automáticas, aparatos de medición, como medidores de energía, amperímetros, voltímetros, etc.

3. *Identificación*: Los circuitos y dispositivos conectados a un tablero eléctrico están etiquetados de manera clara y organizada para facilitar la identificación y el mantenimiento.
4. *Montaje*: Pueden montarse en paredes o estructuras, y su diseño generalmente incluye gabinetes metálicos o plásticos no inflamables, no higroscópicos, con resistencia mecánica para soportar cargas y una baja constante dieléctrica, lo que proporciona protección adicional y reduce los riesgos de contacto accidental. Generalmente son paneles verticales colocados dentro de cajas. La altura a la cual están ubicados debe permitir las operaciones de una persona.
5. *Capacidad de ampliación*: Los tableros eléctricos se diseñan para ser escalables, lo que permite agregar circuitos adicionales o dispositivos en el futuro según sea necesario.

Clasificación de tableros eléctricos según su tipo de operación:

- A. *Tablero Principal o Principal de servicio*: Este tablero recibe la alimentación eléctrica directamente desde la fuente principal de energía del edificio. Distribuye la electricidad a los tableros secundarios que alimentan circuitos específicos en la instalación.
- B. *Tablero de Distribución Secundaria o Seccional*: Estos tableros se utilizan para dividir la electricidad en circuitos más pequeños y específicos dentro de un edificio o instalación. Pueden ser subtableros que se alimentan desde el tablero principal.
- C. *Tablero de Control*: En aplicaciones industriales, se utilizan tableros de control para operar y controlar máquinas y equipos. Estos tableros suelen incluir dispositivos de automatización, como PLC (Controladores Lógicos Programables).

D. *Tablero de Conexión de Generador*: En instalaciones con generadores de respaldo, se usan tableros de conexión de generador para alternar entre la fuente de alimentación principal y el generador cuando se necesita energía de respaldo.



Figura 14-1: Tablero eléctrico.

#### **14.2.1.2 Conductores eléctricos**

Los materiales conductores, o conductores eléctricos, son aquellos que presentan una baja resistencia al flujo de corriente eléctrica debido a sus características particulares. La disposición de los átomos en los conductores eléctricos permite que los electrones se desplacen con facilidad a través de ellos, lo que resulta en una capacidad efectiva para transmitir electricidad.

Un cable eléctrico es un dispositivo diseñado y producido específicamente para transportar la electricidad. Su componente principal se elabora principalmente a partir de cobre, ya que este metal posee una alta capacidad de conducción eléctrica. No obstante, en algunos casos se emplea aluminio, el cual, aunque con una conductividad menor, suele ser una alternativa más económica al cobre.

Los cables eléctricos constan de varios elementos esenciales, que incluyen el conductor, una capa aislante, una capa de relleno y una cubierta exterior. Cada uno de éstos cumple con una función:

- a) *Conductor eléctrico*: El conductor propiamente dicho es el material a través del cual fluye la corriente eléctrica. Los conductores suelen estar hechos de metales altamente conductores, como el cobre y el aluminio, debido a su

capacidad para transportar la electricidad de manera eficiente. Estos materiales tienen electrones libres que pueden moverse fácilmente, lo que permite que la corriente fluya a través de ellos.

- b) *Aislamiento*: Los conductores eléctricos están rodeados por un aislante, que es un material que evita que la corriente eléctrica se disperse o se escape. El aislante ayuda a mantener la corriente dentro del conductor y a prevenir cortocircuitos o descargas eléctricas accidentales. Los materiales aislantes comunes incluyen el polietileno, el PVC (policloruro de vinilo) y el caucho.
- c) *Capa de relleno (en cables de múltiples conductores)*: En cables que tienen varios conductores internos, puede haber una capa de relleno entre los conductores para mantener una forma uniforme y evitar la deformación del cable.
- d) *Cubierta exterior*: La cubierta es el material que protege al cable de la intemperie y elementos externos. (“Tipos de cables eléctricos - RELSAMEX”)

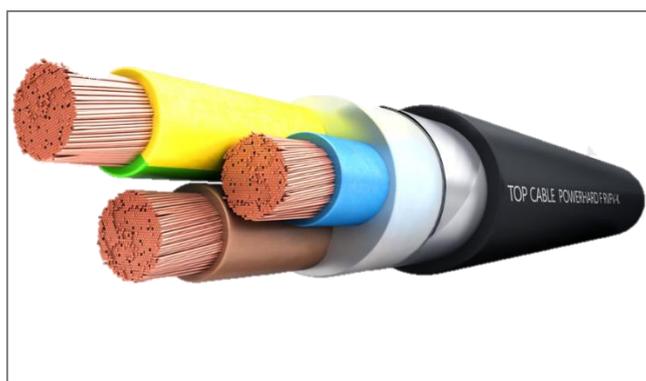


Figura 14-2: Conductores eléctricos.

### 14.2.1.3 Bandejas portacables

Las bandejas portacables son dispositivos utilizados en instalaciones eléctricas e industriales para soportar, organizar y proteger cables y conductores eléctricos. Estas bandejas son estructuras metálicas o de otro material resistente que se instalan de forma horizontal o suspendida en una ubicación estratégica, como techos, paredes o soportes, para contener y mantener los cables de manera ordenada y segura. A continuación, se detallan algunas de las características y funciones clave de las bandejas portacables:

- *Soporte y Organización:* Su función principal es proporcionar un soporte físico para los cables eléctricos y ayudar a organizarlos en una disposición ordenada. Esto evita que los cables cuelguen o se enreden, reduciendo así el riesgo de daños y facilitando el acceso para mantenimiento y reparaciones.
- *Protección:* Las bandejas portacables protegen los cables de factores ambientales adversos, como la humedad, la corrosión, el polvo y la radiación solar, que podrían dañar los cables si no se protegen adecuadamente.
- *Facilitan el enrutamiento:* Permiten el enrutamiento eficiente de cables a lo largo de un recorrido específico, lo que ayuda a evitar interferencias con otros equipos o estructuras en la instalación.
- *Acceso para mantenimiento:* Facilitan el acceso a los cables para tareas de mantenimiento, inspección y reparación, ya que los cables están fácilmente visibles y accesibles en las bandejas portacables.
- *Cumplimiento normativo:* Su uso puede estar sujeto a normativas y estándares específicos, como los establecidos por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) en Argentina, que garantizan la seguridad y la conformidad de la instalación eléctrica.
- *Variedad de tamaños y materiales:* Las bandejas portacables están disponibles en una variedad de tamaños y materiales, como acero galvanizado, aluminio y plástico, para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto.



Figura 14-3: Bandejas portacables.

#### **14.2.1.4 Elementos de protección y seguridad eléctrica**

Con el fin de mantener la seguridad de una instalación, es esencial disponer de medidas adecuadas de protección eléctrica para las personas, el entorno, los activos

y los componentes eléctricos. Estas medidas se materializan principalmente a través de los siguientes dispositivos:

- *Sistemas de puesta a tierra:* La misión principal de las tomas de tierra es evitar que se produzcan derivaciones de corriente no deseadas hacia elementos que estén en contacto directo con el entorno, para evitar descargas indeseadas a causa de fallos en otros sistemas de aislamiento. Son un tipo de protecciones eléctricas destinadas principalmente a evitar electrocuciones, y consisten básicamente en la puesta a tierra de todas las masas metálicas de las que consta una instalación mediante varios elementos conductores y una toma (una placa o una barra, generalmente), que disipa la corriente en el terreno. (“TOMAS DE TIERRA - systems-protection.blogspot.com”).
- *Dispositivos de corte como interruptores y relés:* La mayoría de ellos persiguen el objetivo de evitar electrocuciones, pero también sirven para impedir que se produzcan cortocircuitos, sobrecargas, y daños en el circuito eléctrico y/o en sus componentes. En cualquier tipo de instalación, pero en especial en entornos adversos, el uso de ciertos tipos de interruptores y relés es más que recomendable. Entre otros, los interruptores de protección más utilizados en instalaciones eléctricas son:
  - Interruptores magnetotérmicos (o pequeños interruptores automáticos, conocidos como ‘PIA’), destinados a proteger la instalación de sobrecargas y cortocircuitos.
  - Interruptores diferenciales, que ‘saltan’ o impiden el paso de corriente eléctrica cuando alguna de las fases del circuito eléctrico se deriva a tierra. Cumplen la misión de evitar, sobre todo, daños en la instalación eléctrica y electrocuciones. (“Tipos de protección eléctrica que debes conocer - Simón”).
- *Otros dispositivos protectores y aislantes:* Dentro del apartado de los interruptores entran todos aquellos tipos de protecciones eléctricas con una conductividad eléctrica casi nula, como por ejemplo los plásticos. Éstos protegen los distintos componentes eléctricos de las instalaciones y lo aíslan de su entorno más inmediato, protegiéndolos del efecto de agentes externos,

así como de golpes e impactos. De esta forma evitan que cualquier persona pueda entrar en contacto directo con ellos, con el consiguiente riesgo para la salud que ello supone. Algunos componentes protegidos contra polvo, agua y humedades con un alto nivel de protección son los armarios precableados de alta resistencia, la toma de corriente, las clavijas, los interruptores y las bases de enchufe estancas.



Figura 14-4: Interruptor de seguridad.

#### 14.2.1.5 Tomacorrientes

Los tomacorrientes son dispositivos eléctricos que sirven como punto de conexión para alimentar equipos eléctricos, tales como electrodomésticos, equipos portátiles e industriales. Los tomacorrientes no consumen ninguna energía, este solo enlaza la fuente de alimentación a los equipos que se vayan a alimentar de una fuente de energía eléctrica. (“Tipos de tomacorrientes eléctricos y sus aplicaciones.”)

En los sectores tales como la oficina y el laboratorio se colocan tomacorrientes del tipo monofásicos mientras que en el sector de producción se colocan del tipo trifásico, ya que en este sector se requieren mayores necesidades energéticas.



Figura 14-5: Tomacorrientes.

#### 14.2.1.6 Transformadores

Se emplea para resistir las fuerzas generadas por cortocircuitos externos, sobretensiones transitorias y operaciones de maniobra, además de facilitar una eficiente disipación del calor. Su ubicación se encuentra en la subestación eléctrica, desde donde se distribuye la electricidad a lo largo de toda la planta.



Figura 14-6: Transformadores eléctricos.

#### 14.2.1.7 Generador de emergencia

Los generadores de emergencia, también conocidos como generadores de respaldo o grupos electrógenos, son dispositivos diseñados para proporcionar energía eléctrica de manera inmediata en situaciones de emergencia o cuando se produce un corte de energía en la red eléctrica principal.

En la industria, los generadores de emergencia pueden ser esenciales para evitar la pérdida de producción y para mantener la seguridad de los trabajadores en caso de cortes de energía. También se utilizan para respaldar sistemas críticos de control y automatización.



Figura 14-7: Generador de emergencia.

#### **14.2.1.8 Iluminación**

El objetivo principal de la iluminación en el entorno industrial es asegurar una visibilidad efectiva y cómoda durante las tareas laborales, al mismo tiempo que contribuye a mantener un entorno seguro. Para elegir la iluminación apropiada, es fundamental considerar varios factores: la naturaleza de la tarea visual o trabajo a realizar, la cantidad y calidad de la luz necesaria en función de la tarea visual y los requisitos de seguridad y comodidad, así como la elección de los dispositivos de iluminación o luminarias que proporcionen la cantidad adecuada de luz.

La implementación de una iluminación adecuada ofrece beneficios tanto para los trabajadores como para la empresa. En el caso de los trabajadores, contribuye a preservar su capacidad visual, reduce la fatiga ocular y minimiza la probabilidad de accidentes. Para la empresa, conlleva un aumento en la productividad, una reducción en la incidencia de errores facilita las tareas de limpieza y mantenimiento, optimiza la utilización del espacio, entre otros aspectos positivos.



Figura 14-8: Iluminación.

#### **14.2.1.9 Iluminación de emergencia**

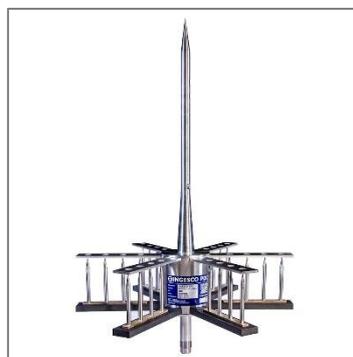
Suministra iluminación a vías de evacuación, escaleras y en los casos de interrupción de servicio normal. Debe tomar energía de una conexión independiente y distinta a la del servicio principal y ser capaz de mantener la intensidad de 5 luxes por lo menos durante una hora.



*Figura 14-9: Iluminación industrial de emergencia.*

#### **14.2.1.10 Pararrayos**

Es un instrumento cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando el aire para excitar, llamar y conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a las personas o construcciones.



*Figura 14-10: Pararrayos.*

#### **14.2.2 Requerimientos de energía eléctrica**

En la planta procesadora de ácido cítrico se tuvo en cuenta la fuerza motriz requerida por los equipos del proceso y la iluminación necesaria en cada área para determinar el requerimiento total de energía eléctrica.

### 14.2.2.1 Consumo de energía eléctrica de los equipos de proceso

En la Tabla 14-1 se detallan los consumos de potencia diaria y anual de cada equipo, considerando las horas de funcionamiento en un ciclo de producción de 350 días.

Tabla 14-1: Consumo de energía eléctrica de los equipos de proceso.

<b>Consumo de energía eléctrica de los equipos</b>				
<i>Equipo</i>	<i>Potencia (kW)</i>	<i>Frecuencia (h/día)</i>	<i>Consumo diario (kW/día)</i>	<i>Consumo anual (kW/año)</i>
<i>Equipos de proceso</i>				
FR-1	8,00	24,5	196,00	68.600,00
FR-2	8,00	24,5	196,00	68.600,00
R-1	277,89	24,5	6808,30	2.382.907,00
R-3	4,10	24,5	100,45	35.157,50
PF-1	4,10	24,5	100,45	35.157,50
PF-2	4,10	24,5	100,45	35.157,50
BR-1	398,95	24,5	9.774,27	3.420.996,25
BR-2	398,95	24,5	9.774,27	3.420.996,25
BR-3	398,95	24,5	9.774,27	3.420.996,25
BR-4	398,95	24,5	9.774,27	3.420.996,25
BR-5	398,95	24,5	9.774,27	3.420.996,25
BR-6	398,95	24,5	9.774,27	3.420.996,25
FP-1	6,00	24,5	147,00	51.450,00
FP-2	6,00	24,5	147,00	51.450,00
FP-3	6,00	24,5	147,00	51.450,00
CT	1,12	24,5	27,44	9.604,00
S-1	4,00	24,5	98	34.300,00
S-2	30,00	24,5	735,00	257.250,00
TS	44,74	24,5	1096,13	383.645,00
<i>Cantidad total</i>			<b>68.544,88</b>	<b>23.990.706</b>
<i>Bombas de proceso</i>				
B-01	1,68	24,5	41,16	14.406,00
B-02	1,64	24,5	40,18	14.063,00
B-03	2,91	24,5	71,30	24.953,25
B-04	19,02	24,5	465,99	163.096,50
B-05	2,98	24,5	73,01	25.553,50
B-06	0,37	24,5	9,07	3.172,75

B-07	2,98	24,5	73,01	25.553,50
B-08	0,74	24,5	18,13	6.345,50
B-09	0,62	24,5	15,19	5.316,50
B-10	0,25	24,5	6,13	2.143,75
B-11	0,25	24,5	6,13	2.143,75
B-12	0,25	24,5	6,13	2.143,75
B-13	1,17	24,5	28,67	10.032,75
B-14	0,74	24,5	18,13	6.345,50
B-15	0,40	24,5	9,80	3.430,00
B-16	1,09	24,5	26,71	9.346,75
<i>Cantidad total</i>			<b>908,71</b>	<b>318.046,75</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 14.2.2.2 Iluminación

El nivel de iluminación mínimos requeridos por los diferentes espacios físicos de la planta se calcula en base a los requisitos de las normas IRAM, las cuales se detallan en la Tabla 14-2.

Tabla 14-2: Niveles mínimos de iluminación por actividad y sector.

<b>Tipo de actividad visual</b>	<b>Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)</b>
Sólo visión ocasional	100
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes	100 - 300
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos	300 - 750
Tareas severas y prolongadas, con poco contraste	750 - 1.500
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste	1.500 - 3.000
Tareas excepcionales, difíciles o importantes	5.000 - 10.000
<b>Tipo de edificio, local y tarea visual</b>	
Circulación general	100
Iluminación general sobre escaleras y pasarelas	200
Iluminación sobre equipos	400
Laboratorio de ensayo y control	600
Iluminación sobre el plano de lectura de aparatos	600
Panel de control	600
Sala de calderas	600
Baños	150

Comedor	200
Oficinas	600

Fuente: Norma IRAM-AADL J 20-06.

Para determinar el nivel de iluminación requerido para cada sector, se tienen en cuenta las dimensiones que poseen los mismos y el flujo luminoso necesario de acuerdo con el trabajo que se realice. El nivel de iluminación se mide en lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) y surge del cociente de flujo luminoso (lumen) y el área de la superficie iluminada ( $\text{m}^2$ ).

#### 14.2.2.2.1 Cálculo del número de luminarias interiores

Para los cálculos de los niveles de iluminación de la instalación se utiliza el método de los lúmenes, cuya finalidad es calcular el valor medio en servicio de la luminancia en un local iluminado con alumbrado general.

Teniendo en cuenta los requisitos lumínicos de los sectores, se procede a realizar los cálculos de la cantidad de lámparas necesarias para satisfacer las necesidades de iluminación establecidas. Para poder realizarlo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de lámparas} = \frac{E * S}{F_m * \eta * I_i}$$

Donde:

$E$  = Nivel de iluminación (lux).

$S$  = Superficie del sector a iluminar ( $\text{m}^2$ ).

$F_m$  = Factor de mantenimiento.

$\eta$  = Factor de utilización.

$I_i$  = Flujo luminoso de la lámpara (lumen).

### Determinación de la altura de suspensión de las luminarias

En primer lugar, se determina la altura de las lámparas, es decir, la altura que existe entre las luminarias y el plano de trabajo.

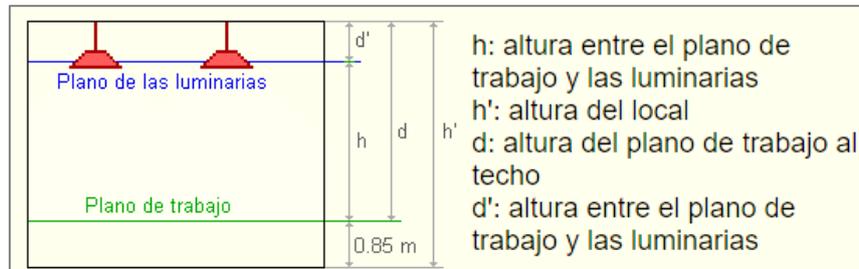


Figura 14-11: Altura de suspensión de las luminarias.

La altura entre el plano de trabajo y el plano de las luminarias (h) en locales con iluminación directa se estima a partir de la siguiente relación:

$$h \cong \frac{4}{5} * (h' - 0,85)$$

### Cálculo del índice del local (K)

Se realiza el cálculo del índice del local a partir de la geometría de éste. Para un sistema de iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{a * b}{h * (a + b)}$$

Donde:

$K$  = Índice del local.

$a$  = Largo de la superficie (m).

$b$  = Ancho de la superficie (m).

$h$  = Altura de las lámparas (m).

El valor de K es un número comprendido entre 1 y 10.

Determinación de los coeficientes de reflexión

Se determinan los coeficientes de reflexión de techos y paredes, estos valores se encuentran tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado, según lo que se muestra en la Tabla 14-3.

Tabla 14-3: Coeficientes de reflexión.

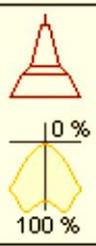
	<b>Color</b>	<b>Factor de reflexión</b>
Techo	Blanco o muy claro	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>.

Se utilizará un coeficiente de reflexión de 0,5 para techos y de 0,5 para las paredes.

Determinación del factor de utilización ( $\eta$ )

El factor de utilización establece el rendimiento de las luminarias y se determina a partir del índice del local y los coeficientes de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En la tabla se encuentra para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. (“LUMINOTECNIA. Cálculo Método de Lúmenes”) Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario interpolar.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización ( $\eta$ )																	
		Factor de reflexión del techo																	
		0.8			0.7			0.5			0.3			0					
		Factor de reflexión de las paredes																	
		0.5			0.3			0.1			0.3			0.1			0		
	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58						
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67						
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72						
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77						
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81						
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85						
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88						
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89						
	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92						
	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.97	.97	.96	.94						

$H_m$ : altura luminaria-plano de trabajo

Figura 14-12: Tabla para el cálculo de factor de utilización ( $F_u$ ). Fuente: Megaman.

### Determinación del factor de mantenimiento ( $F_m$ )

El factor de mantenimiento o conservación de la instalación ( $F_m$ ) está relacionado con el ensuciamiento de la iluminación, dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de limpieza del local.

Tabla 14-4: Factores de mantenimiento.

<b>Ambiente</b>	<b>Factor de mantenimiento (<math>F_m</math>)</b>
Interior baja polución	0,9
Exterior baja polución	0,8
Exterior moderada polución	0,7
Exterior elevada polución	0,6

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>.

### Determinación del flujo luminoso de las lámparas ( $I_i$ )

A continuación, se detallan los tipos de lámpara adoptados para las diferentes zonas, todas ellas son luminarias industriales de la empresa Lucciola. Los dos tipos de serie utilizados son:

Serie MARE LED:

- Tipo de luminaria: Hermética de aplicar/suspendida.
- Sistema óptico: Difusor de policarbonato opal.
- Distribución de luz: Directa, simétrica.
- Materiales: Base y difusor de policarbonato virgen.
- Fuente led: Interna incorporada.



Figura 14-13: Luminaria serie MARE LED. Fuente: <https://www.lucciola.com.ar/index.php>.

Serie UFO:

- Tipo de luminaria: Campana de led colgante, aplique orientable.
- Sistema óptico: Ópticas de policarbonato.
- Distribución de luz: Directa, simétrica.

- Materiales: Inyección de aluminio.
- Fuente led: Interna incorporada.



Figura 14-14: Luminaria serie UFO. Fuente: <https://www.lucciola.com.ar/index.php>.

Tabla 14-5: Adopción de luminarias para cada sector.

<b>Sector</b>	<b>Tipo de lámpara</b>	<b>Flujo luminoso (lm)</b>	<b>Potencia (w)</b>
Administración	Luminaria Lucciola Serie: MARE LED Modelo: X302.OP	5.500	36
Laboratorio	Luminaria Lucciola Serie: MARE LED Modelo: X302.OP	5.500	36
Nave de la planta	Luminaria Lucciola Serie: UFO Modelo: CAL201	26.000	200
Depósito	Luminaria Lucciola Serie: UFO Modelo: CAL151	19.500	150
Portería de la planta	Luminaria Lucciola Serie: MARE LED Modelo: X302.OP	5.500	36
Comedor	Luminaria Lucciola Serie: MARE LED Modelo: X302.OP	5.500	36
Baños y vestuarios	Luminaria Lucciola Serie: MARE LED Modelo: X302.OP	5.500	36
Sala de caldera	Luminaria Lucciola Serie: UFO Modelo: CAL151	19.500	150

Nave de servicios auxiliares	Luminaria Lucciciola Serie: UFO Modelo: CAL151	19.500	150
Alumbrado exterior	Luminaria Lucciciola Serie: UFO Modelo: CAL101	13.000	100

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 14-6, se detallan la cantidad de lámparas calculadas y adoptadas para cada sector, teniendo en cuenta todos los factores mencionados anteriormente.

Tabla 14-6: Cantidad de luminarias interiores por metro cuadrado.

<b>Cantidad de luminarias interiores</b>								
Sector	<i>E</i> (lux)	<i>S</i> (m <sup>2</sup> )	<i>K</i>	<i>F<sub>u</sub></i>	<i>F<sub>m</sub></i>	<i>I<sub>i</sub></i> (lm)	Nºlámp. calculadas	Nº lámp. adoptadas
Administración	600	160	0.57	0.61	0.9	5.500	31.96	32
Laboratorio	600	96	0.56	0.60	0.9	5.500	19.18	20
Nave de la planta	300	5.520	0.30	0.32	0.6	26.000	326.63	327
Depósito	300	40	0.29	0.31	0.7	19.500	2.79	3
Portería de la planta	600	100	0.56	0.61	0.9	5.500	19.98	20
Comedor	200	40	0.56	0.61	0.9	5.500	2.66	3
Baños y vestuarios	150	192	0.56	0.61	0.9	5.500	9.59	10
Sala de caldera	600	84	0.30	0.31	0.9	19.500	13.05	14
Nave de servicios auxiliares	100	120	0.29	0.31	0.7	19.500	2.33	3
<i>Cantidad total</i>								<b>432</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 14.2.2.2 Cálculo del número de luminarias exteriores

Las instalaciones que se encuentran al aire libre, junto con las vías de circulación y estacionamientos, deberán contener proyectores de exterior de la marca Artelum, modelo DAN apto para intemperie construido en aluminio con cierre de vidrio templado. El método que se utiliza para determinar la cantidad de reflectores a instalar es el siguiente:

En primer lugar, se calcula el flujo luminoso total ( $\phi$ ), con la siguiente ecuación:

$$\phi = \frac{N_i * S}{K}$$

Donde:

$N_i =$  Nivel de iluminación deseado (lux).

$S =$  Superficie a iluminar ( $m^2$ ).

$K =$  Coeficiente de utilización.

Teniendo en cuenta las pérdidas de flujo luminoso por condiciones ambientales, se adopta un valor de K entre 0,20 y 0,35. Una vez que se tiene el valor de del flujo luminoso total, se procede a la al cálculo para obtener la cantidad de reflectores por área, con la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ reflectores} = \frac{\phi}{\phi_i}$$

Donde:

$\phi_i =$  Flujo de cada luminaria (lm).

Tabla 14-7: Cantidad de reflectores exteriores por metro cuadrado.

<b>Cantidad de reflectores exteriores</b>				
Sector	Nivel de iluminación	S ( $m^2$ )	$\phi_i$ (lm)	N° reflectores
Estacionamiento	100	500	13.000	14
Vías de circulación	100	3000	13.000	84
Parque	100	20000	13.000	560
Iluminación de fermentadores	400	960	13.000	108
<i>Cantidad total</i>				<b>766</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 14.2.2.2.3 Consumo total de energía eléctrica del sistema de iluminación

En la Tabla 14-8 se muestran los consumos diarios y anuales de las luminarias de cada uno de los sectores, considerando un ciclo de producción anual de 350 días. Como no todos los sectores requieren que las luminarias estén encendidas las 24 horas, en la misma se muestran las (h/día) que estarán encendidas.

Tabla 14-8: Consumo energético total del sistema de iluminación.

<b>Consumo global por iluminación</b>					
Tipo de iluminación	N° lámparas	Potencia (kW/h)	Frecuencia (h/día)	Consumo diario	Consumo anual

				(kW/h)	(kW/año)
Administración	32	1,15	8	9,20	3.220,00
Laboratorio	20	0,72	24	17,28	6.048,00
Nave de la planta	327	65,40	24	1569,60	549.360,00
Depósito	3	0,45	8	3,60	1.260,00
Portería de la planta	20	0,72	24	17,28	6.048,00
Comedor	3	0,11	8	0,88	308,00
Baños y vestuarios	10	0,36	24	8,64	3.024,00
Sala de caldera	14	2,10	24	50,40	17.640,00
Nave de servicios auxiliares	3	0,45	24	10,80	3.780,00
Estacionamiento	14	1,40	12	16,80	5.880,00
Vías de circulación	84	8,40	12	100,80	35.280,00
Parque	560	56,00	12	672,00	235.200,00
Iluminación fermentadores	108	10,80	24	259,20	90.720,00
<i>Cantidad total</i>				<b>2.736,48</b>	<b>957.768,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 14.2.3 Consumo global de energía eléctrica de la planta

El consumo total de energía eléctrica de la planta, que contempla el consumo de los equipos involucrados en la producción y servicios auxiliares, como así las luminarias, se encuentra descrito en la Tabla 14-9 .

Tabla 14-9: Consumo eléctrico global de la planta.

<b>Consumo eléctrico global de la planta</b>		
<i>Tipo de consumo</i>	<i>Consumo diario (kW/h)</i>	<i>Consumo anual(kW/año)</i>
Equipos	69453,58	24.308.753,00
Iluminación	2.736,48	957.768,00
<b>Consumo total</b>	<b>72.190,06</b>	<b>25.266.521,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

# CAPÍTULO 15

---

*Higiene y seguridad industrial*

---

## 15 HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

---

### 15.1 INTRODUCCIÓN

La seguridad industrial es un factor esencial en el entorno laboral, y su importancia se ha acrecentado con el tiempo debido a la creciente conciencia sobre la importancia de proteger la integridad física y la salud de los trabajadores, como así también preservar los recursos y activos de la organización.

Este capítulo se enfoca en explorar y analizar los diferentes aspectos relacionados con la seguridad industrial, examinando su importancia, los riesgos inherentes a las actividades industriales, las estrategias y prácticas que se pueden implementar para mitigar estos riesgos. A lo largo del capítulo, se examinarán las normativas y regulaciones vigentes, las tecnologías y metodologías actuales que contribuyen a fortalecer la seguridad en el entorno laboral.

La seguridad industrial no solo tiene implicaciones significativas para la protección de los trabajadores, sino que también tiene un impacto directo en la eficiencia operativa, la reputación de la empresa y su posición en el mercado. En este contexto, el capítulo busca proporcionar una base sólida para comprender y abordar la seguridad industrial como un componente crucial en la gestión de cualquier organización, independientemente de su industria o tamaño.

### 15.2 SEGURIDAD INDUSTRIAL

Se define como el conjunto de actividades destinadas a la prevención, identificación y control de las causas que generan accidentes de trabajo.

Su objetivo principal es detectar, analizar, controlar y prevenir los factores de riesgo específicos y generales existentes en los lugares de trabajo, que contribuyen como causa real o potencial a producir accidentes de trabajo.

Esta actividad es de gran trascendencia dentro de las actividades de salud ocupacional, por las siguientes razones:

- Las fallas de seguridad industrial se traducen en sucesos repentinos que no dan tiempo a reaccionar, por lo cual es indispensable aplicar, con antelación, medidas preventivas en el momento en que se detecta el peligro.
- La consecuencia negativa de la falta de seguridad industrial, materializada en el accidente, es el indicador más utilizado para la evaluación de un programa de gestión preventiva y, por consiguiente, factor decisivo para calificar la eficiencia de dichos programas.
- La seguridad industrial no es una actividad científica; puede suceder que en situaciones de peligros inminentes jamás ocurra un accidente, y, por el contrario, en ambientes aparentemente seguros, se presenten accidentes sin que exista una relación directa como la existente entre la exposición a agentes nocivos de higiene industrial (en concentraciones que sobrepasen los valores límites permisibles), y la enfermedad profesional.

### 15.2.1 Actividades generales de la seguridad industrial

En la Figura 15-1 se presenta una clasificación de las técnicas de seguridad.

TÉCNICAS ANALÍTICAS	
Previas al accidente o incidente	Posteriores al accidente o incidente
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inspecciones de seguridad.</li> <li>2. Análisis de tareas.</li> <li>3. Observación de comportamientos.</li> <li>4. Reporte de actos y condiciones inseguras.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Notificación de accidentes e incidentes.</li> <li>2. Registro de accidentes e incidentes.</li> <li>3. Investigación de accidentes e incidentes.</li> <li>4. Análisis estadístico.</li> </ol>
TÉCNICAS OPERATIVAS	
Factor técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad en diseño, proyecto de instalaciones.</li> <li>• Seguridad en diseño y proyecto de equipos.</li> <li>• Seguridad en diseño de métodos de trabajo.</li> </ul>
Factor humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptación de sistemas de seguridad.</li> <li>• Adaptación de defensas y resguardos.</li> <li>• Equipos de protección personal.</li> <li>• Implantación de normas de seguridad.</li> <li>• Señalización de zonas de riesgo.</li> <li>• Mantenimiento.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Competencias.</li> <li>• Selección del personal.</li> <li>• Formación.</li> <li>• Adiestramiento.</li> <li>• Divulgación.</li> <li>• Acción de grupo.</li> <li>• Motivación.</li> <li>• Desarrollo de incentivos.</li> </ul>

Figura 15-1: Técnicas de seguridad industrial.

De lo anterior se deduce la importancia que tienen las actividades previas al accidente como técnica analítica, por ejemplo, en el caso de la inspección de seguridad. Sus principales actividades se relacionan en la

Tabla 15-1: Programas y subprogramas previos al accidente.

<b>Programas y subprogramas previos al accidente</b>		
<i>Actividad</i>	<i>Programa</i>	<i>Subprograma</i>
Prevención de emergencias	<i>Rama preventiva:</i> aplicación de normas legales y técnicas.	Combustibles, inflamables, sistema eléctrico, fuentes de calor, reactivos y sustancias peligrosas.
	<i>Rama pasiva o estructural:</i> diseño y construcción de edificaciones.	Resistencia al fuego, vías de evacuación.
	Rama activa o control de las emergencias.	Controles de emergencias, detectores, alarmas, conformación de brigadas, extintores, sistemas hidráulicos (gabinetes) y sistemas automáticos (regaderas).
Estadísticas	Registro de accidentes. Registros de incidentes. Índices de severidad. Índices de frecuencia. Índice de lesión incapacitante. Ausentismo.	
Demarcación	Áreas de trabajo. Vías de circulación. Áreas de almacenamiento.	
Señalización	Código de colores, señales preventivas, informativas, prohibitivas y ordenativas.	
Máquinas, equipos y herramientas: verificar condiciones de seguridad	En equipo.	Generación de fuerza. Transmisión de fuerza. Piezas dotadas de movimiento. Punto de operación.
	En máquinas.	Resistencia de la losa. Anclajes. Espacios libres para operación.
	Mantenimiento.	Correctivo, preventivo, de mejoras y predictivo.

	Utilización adecuada.	Catálogos. Instructivos de operación segura. Selección de operarios. Capacitación y entrenamiento. Supervisión.
Instalaciones locativas y saneamiento básico industrial	Barandas, cubierta, escaleras, iluminación, instalaciones eléctricas, hidráulicas y neumáticas, pisos, puertas y ventanas, ventilación y tratamiento de desechos.	
Orden y limpieza	Organizar, ordenar, limpiar, mantener y disciplinar.	
Equipos de protección industrial	Cabeza, rostro y ojos, extremidades superiores, tronco, extremidades inferiores e integrales.	

### 15.3 HIGIENE INDUSTRIAL

La higiene industrial es una disciplina de la seguridad laboral que se enfoca en identificar, evaluar y controlar los factores ambientales y físicos en el entorno de trabajo que pueden afectar la salud y el bienestar de los trabajadores.

Su objetivo principal es prevenir enfermedades ocupacionales y lesiones relacionadas con el trabajo al minimizar o eliminar la exposición a agentes o condiciones que causan daños.

Algunos de los factores que aborda la higiene industrial incluyen:

- *Contaminantes químicos*: Involucra la identificación y control de sustancias químicas que pueden estar presentes en el lugar de trabajo, como gases, vapores, polvos, humos, productos químicos líquidos y otros materiales peligrosos. Se realizan mediciones y evaluaciones para asegurar que los niveles de exposición estén por debajo de los límites de seguridad establecidos.

- *Contaminantes biológicos*: La higiene industrial también se preocupa por la prevención de enfermedades transmitidas por microorganismos, como bacterias, virus y hongos, que pueden estar presentes en ciertos entornos laborales, como laboratorios.
- *Factores físicos*: Esto involucra la exposición a ruido excesivo, vibraciones, radiación ionizante y no ionizante (como la radiación UV o la radiación electromagnética), temperaturas extremas, iluminación adecuada y otros factores físicos que pueden impactar negativamente en la salud de los trabajadores.
- *Ergonomía*: La higiene industrial también se relaciona con la ergonomía, que se enfoca en diseñar lugares de trabajo y tareas que se adapten a las capacidades y necesidades humanas. Esto busca prevenir trastornos musculoesqueléticos y otros problemas relacionados con la postura y la carga física en el trabajo.
- *Ventilación y control de contaminantes*: Se diseñan sistemas de ventilación adecuados para eliminar o reducir la concentración de contaminantes en el aire, garantizando un ambiente de trabajo más saludable.

La higiene industrial tiene un papel crucial en la prevención de enfermedades ocupacionales y la promoción de ambientes de trabajo seguros y saludables. Los profesionales de la higiene industrial realizan evaluaciones de riesgos, implementan controles y recomiendan medidas de protección para proteger la salud de los trabajadores y cumplir con las regulaciones de seguridad. Esto contribuye a mejorar la calidad de vida de los empleados y a reducir los costos asociados con la atención médica y las bajas laborales relacionadas con la salud.

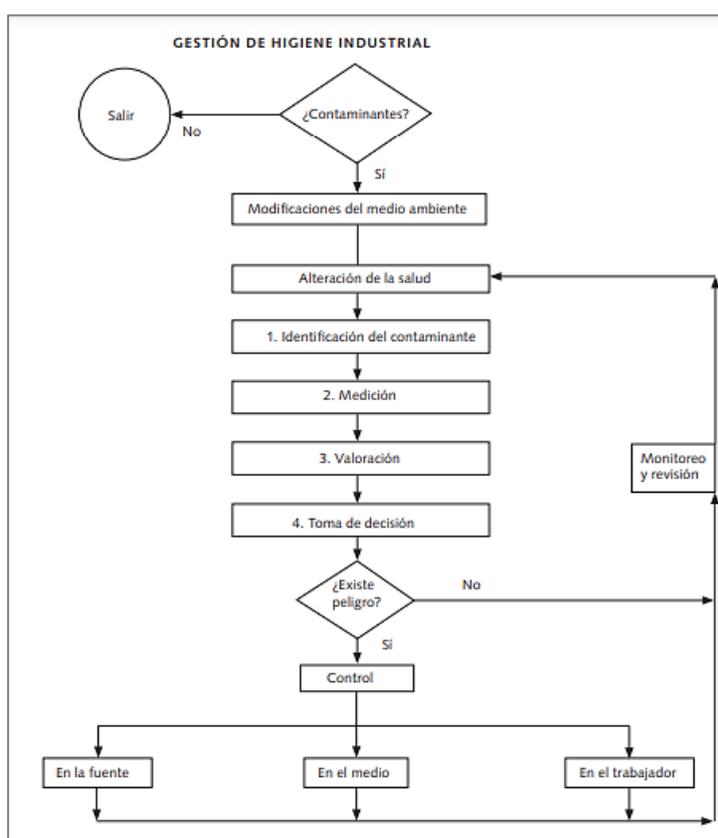
### 15.3.1 Ramas de la higiene industrial

- *Higiene teórica*: Es la fuente de información sobre características y efectos de los contaminantes, valores límites permisibles y métodos de medición.
- *Higiene de campo*: Identifica, toma muestras y mide los contaminantes en los ambientes de trabajo.
- *Higiene analítica*: Aplica los protocolos para identificar y cuantificar las concentraciones de los contaminantes presentes en las muestras. Estos

análisis deben ser realizados en laboratorios debidamente autorizados por las autoridades competentes de cada país.

- *Higiene operativa*: Es la encargada de seleccionar los métodos de control para minimizar o eliminar las concentraciones de contaminantes, y de realizar los seguimientos periódicos encaminados a comprobar la eficiencia de los sistemas de control.

Los procedimientos de higiene industrial, así como las ramas que la componen, se enfocan en la práctica siguiendo el esquema que aparece a continuación:



## 15.4 LEGISLACIÓN INDUSTRIAL

El marco legal de la seguridad industrial en Argentina está compuesto por una serie de leyes, decretos, normativas y regulaciones que establecen los requisitos y responsabilidades para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores en el entorno laboral. A continuación, se mencionan las leyes y regulaciones de este ámbito.

*Ley Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (Ley 19.587)*

Esta ley es la principal normativa de seguridad industrial en Argentina. Establece los deberes y responsabilidades de los empleadores y los trabajadores para prevenir accidentes y enfermedades laborales. También crea la Comisión Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo, encargada de promover la seguridad laboral.

*Decreto 351/79 y sus modificaciones*

Este decreto reglamenta la ley 19.587 y establece las normas técnicas específicas para la prevención de riesgos laborales en diferentes industrias y sectores.

*Resolución 299/11 de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT)*

Esta resolución establece las pautas y requisitos para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST) en las empresas. El SGSST es fundamental para la gestión de la seguridad industrial y la prevención de accidentes laborales.

*Ley Nacional de Riesgos del Trabajo (Ley 24.557)*

Esta ley regula el sistema de riesgos del trabajo en Argentina y establece el marco para la prevención de accidentes laborales y las indemnizaciones por enfermedades y accidentes laborales.

*Leyes provinciales*

Además de las leyes y regulaciones nacionales, cada provincia en Argentina puede tener sus propias leyes y regulaciones relacionadas con la seguridad industrial y la prevención de riesgos laborales. Estas leyes pueden variar según la ubicación geográfica.

*Normas técnicas*

Argentina también adopta normas técnicas internacionales, como las normas ISO, para la gestión de seguridad industrial. Estas normas proporcionan directrices y mejores prácticas para la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo.

## 15.5 POLÍTICA DE HIGIENE Y SEGURIDAD

El propósito último de las prácticas relacionadas con la seguridad e higiene industrial es elevar la calidad de vida y fomentar un desarrollo que sea seguro y sostenible. Este objetivo trascendental solo puede materializarse mediante la colaboración de todos los miembros de la empresa, desde los niveles más altos de la jerarquía hasta los más bajos, lo que abarca tanto a los directivos como a los distintos departamentos. En este sentido, la dirección se compromete a crear una conciencia profunda acerca de la relevancia de los elementos que componen un entorno de trabajo seguro en todo el personal que labora en todas las áreas de la organización. Esta conciencia debe desembocar en un firme compromiso por parte de todos los empleados con prácticas seguras y responsables.

Una política de higiene y seguridad es un documento fundamental dentro de cualquier organización que establece el compromiso y las directrices de la empresa en lo que respecta a la protección de la salud y la seguridad en los trabajadores. En este documento la empresa establece que su principal prioridad es la seguridad y el bienestar de los empleados, contratistas y visitantes. Se muestran comprometidos con la creación y el mantenimiento de un entorno de trabajo seguro y saludable en todas sus instalaciones y operaciones basándose en los siguientes principios:

- *Cumplimiento legal*: Se comprometen a cumplir con las leyes y regulaciones aplicables relacionadas con la higiene y seguridad en el trabajo. Esto incluye normas nacionales y provinciales, así como también, las regulaciones específicas de la industria.
- *Responsabilidad compartida*: La seguridad es responsabilidad de todos. Los empleados y directivos tienen la obligación de seguir los procedimientos de seguridad, informar sobre cualquier condición peligrosa y trabajar juntos para mantener un ambiente laboral seguro.
- *Prevención de lesiones y enfermedades*: La empresa se compromete al esfuerzo para prevenir lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo, implementando medidas preventivas, capacitación adecuada y promover la conciencia de seguridad en todos los niveles de la organización.

- *Identificación y evaluación de riesgos:* Se realizarán evaluaciones de riesgos regulares para identificar los peligros potenciales en las operaciones. Se comprometen a tomar medidas para eliminar o controlar estos riesgos y garantizar la seguridad del personal.
- *Capacitación y formación:* Proporcionan a los empleados la capacitación necesaria para realizar sus tareas de forma segura y eficiente, fomentando el desarrollo continuo de habilidades en materia de seguridad.
- *Comunicación abierta:* Se promueve la comunicación abierta y efectiva sobre asuntos de seguridad. Los empleados son alentados a informar incidentes, preocupaciones o sugerencias de mejora de manera confidencial y sin temor a represalias.
- *Mejora continua:* Se buscarán constantemente formas de mejorar la política y procedimientos de higiene y seguridad, revisando regularmente el desempeño y estableciendo objetivos para la mejora continua.
- *Liderazgo ejemplar:* La dirección de la planta proporcionará liderazgo ejemplar en seguridad y demostrará su compromiso personal con esta política.

Las intenciones globales respecto a lo relacionado con salud, seguridad y medio ambiente, quedará plasmada en el documento y se colocará en carteles ubicados en diferentes zonas del establecimiento para que sea conocida y respetada por todos los miembros de la organización.

## **15.6 SEGURIDAD EN EL DISEÑO**

### **15.6.1 Proceso**

Los diseñadores son los responsables de señalar las áreas del proceso que tienen riesgos potenciales que exceden a las expectativas normales de riesgo en la planta, como son temperaturas máximas y mínimas, presiones máximas y mínimas, reacciones peligrosas, materias tóxicas y corrosivas.

El proceso productivo de ácido cítrico se encuentra detallado en el capítulo 6 correspondiente a Selección y Descripción del Proceso, en el cual se detallan las condiciones del proceso, destacándose aquellas que significan mayores riesgos.

### 15.6.2 Diseño de equipos

Las indicaciones para el diseño detallado de los equipos de producción deben ser análogos a las realizadas en el diseño del proceso productivo.

Las consideraciones que deben tenerse en cuenta al diseñar equipos industriales desde una perspectiva de seguridad son:

- *Ergonomía:* Diseñar equipos ergonómicos que minimicen la fatiga y la tensión muscular, reduciendo así el riesgo de lesiones relacionadas con la postura y el esfuerzo físico repetitivo.
- *Parámetros de diseño:* Respetar las temperaturas y presiones máximas de diseño, son esenciales para garantizar la seguridad y el rendimiento adecuado de los equipos.
- *Facilidad de mantenimiento:* Facilitar el acceso a partes y componentes que requieren mantenimiento o reparación para que los trabajadores puedan realizar estas tareas de manera segura y eficiente.
- *Controles y señalización:* Los controles deben ser intuitivos y de fácil acceso. La señalización debe ser clara y comprensible para indicar riesgos, procedimientos de seguridad y ubicación de equipos de protección.
- *Protecciones y salvaguardias:* Integrar sistemas de protección como cercas, dispositivos de bloqueo, interruptores de seguridad y cubiertas para evitar el acceso a áreas peligrosas de la maquinaria.
- *Prevención de atrapamientos y pellizcamientos:* Diseñar equipos de manera que eviten que los trabajadores queden atrapados o pellizcados en partes móviles, como cadenas, correas o engranajes.
- *Sistemas de parada de emergencia:* Incluir sistemas de parada de emergencia fácilmente accesibles en caso de que sea necesario detener rápidamente la maquinaria.

- *Reducción de ruido:* Implementar medidas de diseño que reduzcan el nivel de ruido de los equipos para proteger la audición de los trabajadores, como, por ejemplo, aislamiento acústico.
- *Reducción de temperatura:* Implementar medidas de diseño que reduzcan el nivel de temperatura de los equipos para proteger a los trabajadores, como, por ejemplo, aislamiento térmico.
- *Soportes a prueba de fuego*

Al incorporar estas consideraciones en el diseño de equipos industriales, se puede reducir significativamente el riesgo de accidentes y lesiones en el lugar de trabajo, lo que a su vez contribuye a un entorno de trabajo más seguro y productivo.

### 15.6.3 Metalurgia

El responsable del área de metalurgia será un especialista en el ámbito. Las consideraciones por tener en cuenta con respecto a la metalurgia son:

- *Tolerancia a la corrosión:* Se debe evaluar el ambiente en el que se utilizará el equipo, ya que, la corrosión puede provocar un debilitamiento estructural y fallos en los equipos industriales.
- *Elección de materiales:* Utilizar materiales resistentes adecuados para el uso, algunos materiales como el acero inoxidable o ciertas aleaciones de níquel, son conocidos por su resistencia a la corrosión.
- *Recubrimientos y protecciones adicionales:* Además de una correcta elección de materiales, se pueden aplicar recubrimientos protectores, como pinturas anticorrosivas o revestimientos de polímeros, para aumentar la resistencia de los componentes.
- *Resistencia a impactos y vibraciones:* Considerar la resistencia de los equipos a impactos y vibraciones para evitar que se vuelvan peligrosos debido a daños o desgastes.

Los materiales de construcción de los equipos correspondientes a la elaboración de ácido cítrico se detallan en el capítulo 8 correspondiente a Diseño y Adopción de Equipos.

#### **15.6.4 Obras civiles y estructurales**

Los edificios deben satisfacer códigos locales y nacionales de construcción que incluyen requerimientos específicos de seguridad. Además, las unidades pueden llegar a requerir medidas adicionales de seguridad, las cuales deben tenerse presentes.

Principales consideraciones sobre las obras civiles y estructurales:

- Seguridad en espacios interiores.
- Materiales de construcción.
- Seguridad en materiales de construcción.
- Sectorización de la planta.
- Emplazamiento de edificios.
- Diseño frente a terremotos.
- Diseño considerando la carga máxima de viento.
- Cargas de diseño para equipos y tuberías.
- Cargas máximas combinadas.
- Equipo para elevación de piezas.
- Protección contra el fuego de las estructuras.

En el capítulo correspondiente a Obras civiles se indican los aspectos indicados anteriormente. Allí se encuentran las medidas tenidas en cuenta respecto a higiene y seguridad al momento de definir como se construirán todas las estructuras que comprende la totalidad de la planta.

##### **15.6.4.1 Riesgos locativos**

Al hablar de riesgos locativos se hace referencia a todos aquellos riesgos inherentes a las instalaciones físicas del sitio de labor, como son los espacios de trabajo y las estructuras propias de la edificación: pisos, techos, ventanas, barandas, ventilación, entre otras. Estos riesgos son una constante durante toda la jornada laboral, por lo tanto, constituyen una de las causas más frecuentes de accidentes y, de sus características (sean positivas o negativas), dependerá, en alto grado, la seguridad, el bienestar y la productividad de los empleados.

Los parámetros importantes para contar con una edificación segura son:

- Distribución de espacios: Áreas de piso libres y volumen de aire por trabajador.
- Distribución de máquinas y equipos: Se tendrá en cuenta el paso mínimo para el acceso a máquinas y equipos, que debe ser de 0.6 m. La distancia mínima entre máquinas o en sus puntos extremos de recorrido y otras partes de instalaciones, columnas o pared será de 0.8 m.
- Escaleras fijas: Deben cumplir con las condiciones de seguridad.
- Pisos: Debe reunir diferentes condiciones como, ser homogéneo, plano, antideslizante, lavable, resistente a la carga, entre otras.
- Puertas: Se deberán tener en cuenta las siguientes distancias: distancia máxima a recorrer entre puertas de salida al exterior (45 m); ancho de puertas principales (1,2 m para un máximo de 50 personas), se aumenta 0,5 m por cada 50 personas más; Las hojas deben abrir en dirección a la salida, teniendo precaución de que no se abran directamente sobre zonas de tránsito peatonal, las puertas que den acceso a escaleras deben dar sobre rellanos y no sobre los escalones.
- Servicios: Los servicios sanitarios, cuartos para cambio de ropa y suministro de agua potable deben cumplir con las siguientes condiciones:  
Servicios sanitarios: Las paredes lavables, enchapadas en baldosín de porcelana y los pisos provistos de un desagüe por cada 15 m<sup>2</sup>. El desnivel del piso será de por lo menos 1% a 1,5%. La ventilación debe ser abundante y preferentemente enfrentada para incrementar su flujo; si no se dispone de ventilación natural es necesario instalar sistemas de extracción mecánica, calculada para un caudal de 6 cambios del volumen por hora. Todos los implementos serán de material impermeable y de fácil lavado. Se instalarán los servicios, separados por sexos y consistentes en: inodoro, lavamanos (y orinal para los servicios de hombres), en proporción no inferior a un servicio completo por cada 15 hombres y un servicio completo por cada 10 mujeres. En igual proporción se

dispondrá de duchas de agua fría y caliente, para trabajadores sometidos a ambientes calientes o con alta demanda física o expuestos a contaminación.

Cuartos para cambio de ropa: Estarán separados por género, dotados de casilleros individuales; serán dobles cuando los trabajadores estén expuestos a sustancias tóxicas, infecciosas o irritantes, a efecto de no contaminar la ropa de calle con la de trabajo o viceversa. Debe dotarse de bancas que permitan al trabajador sentarse para el cambio de pantalones y de calzado. Es aconsejable que estén próximos a los servicios sanitarios para facilitar el aseo personal al abandonar el trabajo.

Suministro de agua potable: Se debe disponer de por lo menos una fuente por cada 50 trabajadores, para suministro de agua potable y fresca (libre de contaminación física, química y bacteriológica), dotados de métodos o elementos para beber que garanticen la asepsia durante su consumo.

- Ventanales: El pretil de los ventanales no debe quedar a menos de 0.9 m del piso o superficie de trabajo, en caso de haberse construido más bajos, colocar tubos o barandas a la altura indicada. Los basculantes o abras no deben abrir hacia pasillos en que haya tránsito, si tienen alturas inferiores a 1.8 m. En los pisos altos es aconsejable que la hoja de la ventana tenga una graduación de control para evitar que sea golpeada por el viento. En dependencias en donde se manejen materiales livianos (papel, polvos, etc.) es conveniente que los basculantes para ventilación se coloquen altos. Cuando el vidrio sea enterizo hasta el piso, se colocarán cintas indicadoras de presencia.
- Tránsito interno: Se tendrá en cuenta el diseño de las vías, prestando atención a los cruces y bifurcaciones, que han de estar correctamente señaladas y libres de obstáculos que impidan la visualización del conductor y/o los peatones; cada uno de los cruces debe tener una señal de Stop y la prioridad de paso, y en la situación que un acceso peatonal desemboque en una vía de vehículos se deberá colocar una barandilla para proteger a los peatones.

### 15.6.5 Electricidad

Las causas de los riesgos eléctricos provienen principalmente del desconocimiento de las características de la energía eléctrica y de su potencial lesivo, que conlleva a: construcción de instalaciones eléctricas defectuosas, ampliación adecuación y mantenimiento sin cumplimiento de normas, alta humedad, baja calidad de los elementos instalados, falta de distancias de seguridad suficientes, proximidad de otros conductores o de fuentes de calor, posibilidad de acceso de personas no autorizadas y falta de medidas de control para realizar reparaciones eléctricas.

Los códigos nacionales y locales para la instalación y diseño incluyen también aspectos eléctricos de seguridad. Las consideraciones principales incluyen:

- Dimensionamiento de cables.
- Protección frente a fallas.
- Sistema de puesta a Tierra (SPT).
- Protección de los cables contra el fuego.
- Generación de energía de emergencia.

La instalación eléctrica, equipos y conexiones de la planta de producción de ácido cítrico se encuentra detallada en el capítulo correspondiente a Instalaciones Eléctricas.

#### 15.6.5.1 Medidas de control

##### 15.6.5.1.1 Protección contra contactos eléctricos directos

- *Alejamiento de las partes activas*: a distancias que no puedan ser alcanzadas por las personas o elementos conductores que ellas manipulen.
- *Interposición de obstáculos*: Se trata de impedir todo contacto con las partes activas por medio de algún obstáculo que deberá estar instalado de forma segura. Estos obstáculos pueden ser cubiertas, resguardos y carcasas que cubren el material eléctrico.
- *Recubrimiento de las partes activas*: Se logra mediante el recubrimiento de las partes activas con un material aislante de capacidad suficiente de acuerdo con las tensiones de los elementos que se pretende controlar.

- *Protección adicional con interruptores diferenciales:* Estos dispositivos permitirán garantizar una rápida desconexión de la instalación, disminuyendo la posibilidad de lesiones graves en el evento de contacto eléctrico.

#### 15.6.5.1.2 Protección contra contactos eléctricos indirectos

- *Sistemas de protección de clase A:* Consiste en el empleo de materiales aislantes o de aislamientos reforzados entre las partes activas y las masas accesibles.
- *Empleo de pequeñas tensiones de seguridad:* Consiste en usar tensiones pequeñas, llamadas de seguridad, en instalaciones sumergidas (12V), en emplazamientos húmedos o mojados (24V) y en ámbitos secos (50V). Se basa en no sobrepasar los valores existentes en función de las condiciones de humedad de la piel, por lo que, cualquier contacto con la corriente eléctrica no producirá efectos nocivos.
- *Sistemas de protección de clase B:* Se basan en la puesta a tierra directa o a neutro de las masas a proteger, asociándola a un dispositivo de corte automático que origine la desconexión de la instalación defectuosa. Toda la instalación eléctrica debe disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT).

#### 15.6.6 Protección contra incendios

La protección contra los incendios debe ser un factor prioritario en todas las organizaciones y ha de estar estructurado considerando los siguientes aspectos:

1. Sistema de detección y alarma.
2. Sistemas de agentes extintores fijos y/o extintores portátiles.
3. Sistemas de agua de reserva.
4. Mangueras, hidratantes y monitores contra incendios.
5. Personal capacitado para el control del fuego.
6. Un plan que permita que todos estos sistemas se integren coordinadamente, y en caso de requerirse, proceder a la evacuación del lugar.

### **15.6.6.1 Sistemas de detección y alarma**

La mejor manera de contener un incendio es detectarlo apenas inicia, por ellos los sistemas de detección juegan un papel importante. Los sistemas de detección de incendios se utilizan para determinar en el tiempo más corto posible la presencia de fuego en un área específica. Dependiendo de las características bajo las cuales se forma el conato de incendio, se establece el detector a utilizar.

#### 15.6.6.1.1 Detectores de incendios

Son los encargados de iniciar el sistema de alarma al detectar las partículas de humo en el ambiente. Existen los siguientes:

1. Iónicos.
2. Fotoeléctricos.
3. Autónomo.
4. Láser.
5. Llama.
6. Térmicos.
7. Mezcla explosiva.

#### 15.6.6.1.2 Sistemas de alarma

Los sistemas de alarma permiten informar a un grupo de personas en forma específica y/o general sobre la presencia de un siniestro. Lo anterior, asociado a un plan de emergencia, en el cual se haya definido un procedimiento para diferentes casos, permitirá el control de la emergencia o la evacuación de las personas a un lugar donde el riesgo sea menor o no exista.

Existen sistemas de alarma asociados a detectores de humo, activación automática de agentes extintores dentro de sistemas fijos y estaciones manuales de alarma. En estos casos se dispone de un panel de control, donde se puede ver el área exacta donde se ha producido la alarma y el dispositivo específico que la genera.

En general, la alarma debe contar con dos tonos diferentes, de tal forma que uno indique la presencia de la emergencia y el llamado a quienes corresponda para que actúen acorde con un plan previamente establecido. El otro tono deberá indicar que se debe evacuar de acuerdo con un plan igualmente establecido con anterioridad.

El sistema de alarma tiene que ir acompañado de un plan de emergencia, es decir, un procedimiento para la evacuación del personal y para iniciar una serie de acciones que ayuden a controlar la situación de peligro.

La planta estará equipada con un sistema de alarma contra incendio compuesto de los elementos que se muestran a continuación.

Tabla 15-2: Sistemas de alarma contra incendios.

<b>Sistema de alarma</b>	
<b>Equipos y campos de aplicación</b>	
	Alarma contra incendios conectada a un grupo electrógeno de modo que quede asegurado su funcionamiento.
	Sistema de aspersión automática de agua.
	Detectores de humo, ubicados en los recintos cerrados de la planta que activan la alarma contra incendios.

### 15.6.6.2 Causas de los incendios

Las causas de los incendios son muy variadas y entre ellas se citan las siguientes:

1. Sistemas eléctricos defectuosos, redes mal calculadas que permiten sobre cargas de las líneas.
2. Almacenamiento general inadecuado.
3. Sustancias inflamables almacenadas de manera inapropiada sin tener en cuenta las medidas preventivas.
4. Uso de sustancias inflamables sin seguir procedimientos de seguridad.
5. Fuentes de calor en áreas donde incide sobre materiales inflamables o combustibles.
6. Incompatibilidad de labores simultáneas, como es el caso de soldadura y pintura en aspersión en una misma área.
7. Fugas de gases o sustancias inflamables.
8. Uso de líquidos inflamables para limpieza.

Hay además otras causas que, si bien no generan incendios, su falta ocasiona que un conato de incendio pueda desencadenarse en un incendio declarado. Algunas de estas son:

1. No se cuenta con un sistema de detección de incendios.
2. No se dispone de un sistema de rociadores automáticos cuando las características del lugar lo exigen.
3. No hay gabinetes contra incendios y/o extintores acordes con el riesgo del incendio.
4. No hay un plan de emergencias.
5. No se ha conformado, capacitado y entrenado una brigada de emergencias.

### 15.6.6.3 Clases de fuego

Según la composición de las sustancias que entran en combustión, el fuego puede clasificarse en: A, B, C, D, E Y K según lo mostrado en la Figura 15-2.

CLASE DE FUEGO	TIPO DE MATERIALES INCINERADOS	CARACTERÍSTICAS
A	Madera, papel, caucho, plásticos, telas y otras fibras naturales.	Producen humo de color blanco, brasa y residuos y por eso la facilidad de la reignición.
B	Líquidos inflamables.	Producen humo de color oscuro negro o grises y no dejan brasa, porque tanto los líquidos como los gases se consumen en su totalidad.
C	Equipos eléctricos energizados.	No existen incendios eléctricos sino fuego producido por la electricidad como el generado por una chispa eléctrica o por cargas de electricidad estática. Al cesar la corriente eléctrica queda un fuego tipo A, B, D, E ó K dependiendo del material combustible.
D	Metales combustibles como el sodio, litio.	Se produce por la oxidación de metales como el sodio, el potasio, el magnesio, el litio, el titanio, y aun el acero en su estado en polvo.
E	Elementos radioactivos.	Son aquellos que se presentan por combustión de material nuclear.
K	Grasas animales y vegetales.	Incluye a los que tienen como material combustible aceites industriales o domésticos.

Figura 15-2: Tipos de fuego.

### 15.6.6.4 Agentes extintores

Reciben este nombre todos aquellos productos que por su naturaleza se usan para extinguir un incendio.

Dentro de los tipos de agentes extintores se encuentran:

### ***El agua***

Es el extintor universal, económico y de gran disponibilidad y efectividad en la mayoría de los incendios. El agua apaga los incendios debido a que, al evaporarse, el vapor formado desplaza el aire disminuyendo el nivel de oxígeno y sofocando el incendio.

El agua puede ser manejada en muchas formas y con objetivos diferentes, algunas de ellas son: en forma de agua pulverizada, vapor, productos humectantes y como agua liviana.

### ***Polvos químicos***

Son compuestos de sales finamente pulverizadas, con agentes hidrófugos que impiden su apelmazamiento por la humedad ambiental y aditivos que impiden su compactación.

Las principales clases de polvos químicos se muestran en la Figura 15-3.

POLVO QUÍMICO	COLOR
Bicarbonato de sodio	Blanco
Bicarbonato de potasio	Blanco
Cloruro de sodio	Rosado
Cloruro de potasio	Rosado
Monofosfato de amonio	Amarillo

*Figura 15-3: Clases de polvos químicos extintores.*

#### 15.6.6.4.1 Agentes extintores mediante sistemas manuales

Los agentes extintores son sustancias que, dependiendo de sus características y de la forma de aplicación, extinguen el fuego; por sofocación si desplazan el aire, por enfriamiento si reducen la temperatura o por inactivación de la reacción en cadena si actúan sobre la química del fuego.

Los agentes extintores se clasifican de acuerdo con el fuego que son capaces de combatir en A, BC y ABC. La Figura 15-4 muestra la clasificación de los extintores manuales detallando sus características primordiales.

CLASE	AGENTE EXTINTOR	ESTADO AGENTE EXTINTOR	AGENTE EXPULSOR	CAPACIDAD	COLOR
A	Agua.	Líquido.	Nitrógeno.	2½ galones.	Verde o plateado.
BC	Bicarbonato sódico o bicarbonato potásico.	Polvo seco.	Nitrógeno si es interno. Bióxido de carbono si es adosado.	Para portátiles: 5.0 10, 20 y 30 libras. Para carretilla: 150 libras.	Rojo.
	Bióxido de carbono	Gaseoso	Bióxido de Carbono interno	10, 15, 20 libras.	Rojo.
ABC	Cloruro de amonio o fosfato monoamónico.	Polvo seco.	Nitrógeno si es interno. Bióxido de carbono si es adosado.	Portátiles y carretillas de 150 libras.	Amarillo.
K*	Solución acuosa de sales inorgánicas, tales como acetato de potasio, entre otros.	Líquido.	Nitrógeno.	1.6 galones en portátiles.	Plateado.

\*Este agente extintor es especial para incendios por grasas animales y vegetales, se usa especialmente en cocinas industriales.

Figura 15-4: Clasificación de extintores según el agente extintor.

### Uso correcto de los extintores

1. El extintor es eficaz si se usa cuando, en donde y como es.
2. Debe emplearse el extintor adecuado según el fuego a combatir.
3. En fuegos al aire libre, el usuario debe colocarse siempre de espalda al viento.
4. Antes de ir a apagar el incendio debe analizarse el riesgo y por donde salir.
5. El operario no debe acercarse demasiado al fuego, pues la presión del extintor puede hacer que las llamas se inclinen hacia él.
6. Al extinguir el fuego hay que retirarse sin darle la espalda al lugar, porque puede haber un reinicio del fuego.

Los equipos y agentes extintores existentes en la planta de elaboración de ácido cítrico se detallan a continuación, considerando que el tipo de equipo a utilizar dependerá del tipo de fuego que se pueda generar de acuerdo con las sustancias manipuladas en el proceso.



Figura 15-5: Tipos de extintores en la planta.

#### **15.6.6.5 Forma correcta de instalar los extintores**

La instalación adecuada de un extintor es esencial para garantizar su eficacia en caso de incendio. Los pasos para instalar un extintor de manera correcta:

1. *Ubicación estratégica:* Colocar el extintor en un lugar estratégico y de fácil acceso, donde esté visible y no esté obstruido por objetos. Debe estar en un lugar donde las personas puedan verlo y alcanzarlo rápidamente en caso de un incendio. Las ubicaciones típicas incluyen pasillos, salidas de emergencia, cocinas y áreas con riesgo de incendio, como talleres.
2. *Altura adecuada:* Se monta el extintor a una altura que sea fácilmente alcanzable por la mayoría de las personas, generalmente a una altura de 1,20 a 1,80 metros desde el suelo hasta la parte superior del extintor.
3. *Soporte de montaje:* Se utiliza un soporte de montaje diseñado para el tipo y tamaño específico de extintor que estás instalando. Asegurando que el

- soporte sea lo suficientemente robusto y resistente para mantener el peso del extintor.
4. *Distancia entre extintores:* Si hay múltiples extintores en un área, se asegura que estén separados por una distancia que no supere la distancia máxima de recorrido para alcanzar un extintor.
  5. *Identificación:* Se colocan señales o letreros que indiquen claramente la ubicación de los extintores. Estos letreros deben ser visibles desde una distancia y deben tener un fondo de color contrastante con letras y símbolos en color llamativo para facilitar la identificación.
  6. *Mantenimiento regular:* Se verificará periódicamente el estado del extintor para asegurarte de que esté en condiciones óptimas. Esto incluye inspeccionar la presión del medidor, asegurarse de que no haya obstrucciones en la boquilla y que el pasador de seguridad esté intacto. Si el extintor muestra signos de daño o pérdida de presión, debe ser reemplazado o recargado por un profesional calificado.
  7. *Capacitación:* Se proporciona capacitación a los empleados o personas que puedan utilizar el extintor. Asegurando que sepan cómo operarlo correctamente y en qué situaciones debe ser utilizado.



Figura 15-6: Altura de instalación de extintores.

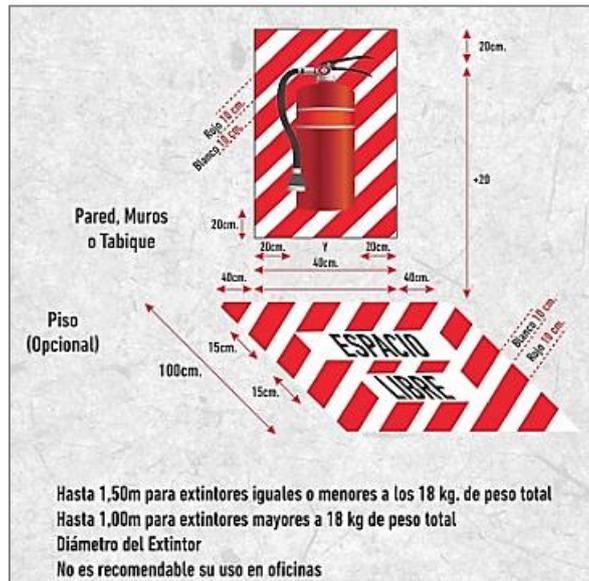


Figura 15-7: Dimensiones de señalización de extintores.



Figura 15-8: Visibilidad del rotulado de extintores.

### 15.6.6.6 Procedimiento de extinción

Al descubrirse un incendio se procederá de la siguiente manera y en el orden que se establece:

1. Ubicar el foco de incendio.
2. Alejar materiales explosivos, inflamables o combustibles del lugar del incendio.

3. Determinar qué material se incendia para apagar el fuego con los elementos adecuados.
4. Establecer la proporción del incendio para disponer la cantidad de elementos necesarios.
5. Pedir colaboración en caso de ser necesario.

Al atacar el fuego se deben tener consideración las siguientes acciones:

- A. Cortar la corriente eléctrica en el sector.
- B. Cortar toda corriente de aire en caso de ser posible.
- C. Atacar el fuego lo más cerca posible, con viento a favor de modo de aprovechar al máximo la capacidad del elemento extintor.
- D. Desde la menor distancia posible, dirigir el chorro sobre la base del fuego y no al centro, barriendo en zigzag y en lo posible alrededor del incendio para atacarlo por todos los costados.
- E. Encerrar el fuego para evitar su propagación.
- F. Utilizar el material indispensable con el máximo rendimiento, teniendo en cuenta que cada extintor o boca de incendio abastece a una zona que no debe quedar desprotegida en ningún momento, salvo que sea por una razón bien justificada.
- G. Actuar siempre con serenidad.

El personal de la empresa deberá estar capacitado para reaccionar ante casos de incendio. Las personas mejores capacitadas serán las que deban actuar en el momento del incendio. Las demás estarán en condiciones de aprender las maniobras necesarias cuando las cargas de los matafuegos estén a punto de vencer.

#### ***15.6.6.7 Plan de protección y control de incendios***

La protección contra incendios es una tarea interdisciplinaria que contempla todas las áreas de diseño, comprende tanto factores técnicos como humanos, y es responsabilidad del director de proyecto (especialista en Higiene y Seguridad) asegurarse de que dicha protección este contemplada en el diseño y posteriormente en la práctica.

## 15.7 SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

La fase de construcción de instalaciones es aquella en que se materializan los proyectos procedentes de la etapa de diseño.

Esta etapa será ejecutada por una organización, con personal ajeno a la propia empresa industrial, contratada para tal fin. Esto proporciona características particulares a la consideración de la seguridad en la construcción de las instalaciones.

La seguridad en la construcción tendrá dos vertientes a considerar por separado:

***Seguridad en los propios trabajos de construcción:*** La dispersión de mandos y responsabilidades que se deriva de la actuación de la empresa contratista dentro del ámbito de la empresa propietaria obliga a una coordinación adecuada de información, actuación y mando; esto incluye:

- a. Notificación de los procedimientos de seguridad en la construcción a los contratistas.
- b. Emisión y control de permisos para la ejecución de trabajos de cierta peligrosidad.
- c. Nombramiento de uno o varios supervisores de seguridad con atribuciones para emitir y controlar los permisos, así como para detener los trabajos en caso oportuno y hasta que se adopten las medidas de seguridad pertinentes.
- d. Aseguramiento eficiente y fehaciente por los contratistas sobre los riesgos de accidente y de daños a terceros.
- e. Consideración de todos los riesgos derivados de los propios trabajos y del entorno en que se llevan a cabo los mismos.

***Seguridad y control de calidad en la construcción:*** La calidad de la obra ejecutada y la fidelidad a un diseño correcto influyen de manera importante en la seguridad de la operación y mantenimiento futuro de las instalaciones. Ello hace que un control cuidadoso de dicha calidad sea un complemento imprescindible a un proyecto bien hecho.

### **15.8 SEGURIDAD EN LA PUESTA EN MARCHA**

La puesta en marcha de la planta implica riesgos significativos debido a que se trata de una instalación recién construida. En este punto, todo el equipo es nuevo y es posible que no se hayan identificado errores o materiales inadecuados durante el proceso de diseño. Además, los operarios aún no están familiarizados con la disposición y el funcionamiento de la planta.

Por estas razones, se llevarán a cabo las pruebas y la puesta en marcha de manera gradual y meticulosa. Cada componente del sistema será sometido a pruebas individuales. Después de verificar minuciosamente todos los sistemas utilizando fluidos no peligrosos y cuando la planta se encuentre en una condición segura, se introducirán gradual y secuencialmente los materiales peligrosos en la planta.

Previo a esta etapa crítica y para garantizar que se han tomado todas las precauciones necesarias durante el diseño y la construcción, un especialista en Higiene y Seguridad llevará a cabo una revisión exhaustiva de todos los sectores de la planta mediante un proceso de control y verificación.

### **15.9 SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN**

La seguridad durante la operación es una extensión natural de la seguridad en el diseño. Esto se debe a que la posibilidad de que ocurra un incidente peligroso no solo está relacionada con las características técnicas del proceso y los sistemas de control de seguridad, sino que también depende de factores operativos y organizativos. Estos factores incluyen las actitudes de los supervisores y los trabajadores, la posibilidad de cometer errores humanos, el mantenimiento inadecuado y la comprensión limitada de los operarios.

### **15.10 SEGURIDAD EN EL MANTENIMIENTO**

Todo lo que se ha delineado hasta este momento, ejecutado con una eficiencia del 100%, proporcionaría una cobertura preventiva significativa si las instalaciones se mantuvieran en su estado inicial de manera indefinida. Sin embargo, debido al desgaste, la corrosión, el envejecimiento y otros factores tanto internos como externos que afectan a diversas partes de la instalación a medida que se utilizan,

pueden surgir averías que generen condiciones peligrosas. Por esta razón, es evidente que un mantenimiento eficaz desempeña un papel crucial en la seguridad de las instalaciones y las operaciones.

En nuestra planta, se aplicarán dos enfoques de mantenimiento que se complementan mutuamente:

- *Mantenimiento correctivo*: Este enfoque implica abordar y corregir rápidamente las averías de manera eficiente y tomando precauciones para garantizar la seguridad durante las acciones correctivas. Para este tipo de mantenimiento, se mantendrá una cantidad estadísticamente determinada de repuestos en stock para garantizar una respuesta efectiva.
- *Mantenimiento preventivo*: Se llevarán a cabo inspecciones periódicas de todos los componentes de las instalaciones, con frecuencias que se ajusten a análisis estadísticos de averías. El objetivo es identificar y abordar cualquier elemento que requiera reparación o reemplazo antes de que surja una avería. En situaciones en las que una avería potencial podría tener consecuencias graves para la seguridad, el mantenimiento preventivo será obligatorio.

La responsabilidad del mantenimiento de la planta recae en personal especializado, de acuerdo con lo establecido en el capítulo de Organización industrial.

## **15.11 SEGURIDAD EN PREVENCIÓN, DEFENSA Y ACTUACIÓN**

Debido a circunstancias imprevistas o eventos de fuerza mayor, y considerando que la prevención no siempre puede garantizar una eficacia del 100%, es necesario reconocer que existe la posibilidad de que el riesgo se manifieste en forma de incidentes, accidentes o situaciones de emergencia.

Aunque hasta este punto se han evaluado y adoptado una serie de medidas necesarias en cada área específica de la planta para prevenir diversos tipos de riesgos, cumpliendo con todas las regulaciones legales vigentes, no se puede considerar el proceso completo sin abordar lo que se presenta a continuación. Esto incluye estrategias de prevención, preparación y respuesta ante situaciones de emergencia, especialmente en el caso de incendios, lo cual es especialmente

relevante debido a las características particulares del proceso de producción, que involucra equipos y sustancias potencialmente peligrosos.

#### **15.11.1 Orden y limpieza**

El mantenimiento técnico de las instalaciones debe ir de la mano con la limpieza general de la planta, y esta tarea será responsabilidad del personal de limpieza asignado.

Además de las labores de limpieza generales, se brindará capacitación a todos los empleados sobre su responsabilidad individual en cuanto al mantenimiento del orden y la limpieza en sus respectivos puestos de trabajo. Esta formación formará parte de la capacitación más amplia del personal en temas de seguridad e higiene, que se detallará más adelante.

#### **15.11.2 Señalización**

La adecuada señalización en los diversos ambientes de trabajo es fundamental para mejorar las condiciones laborales como para actuar de manera rápida, organizada y eficaz frente a una situación de riesgo.

Una campaña de señalización en la industria no elimina por completo el riesgo, pero sí es un complemento que tiende a evitar o reducir la cantidad de accidentes.

Las señales, pueden ser ópticas, acústicas, olfativas o táctiles.

- Ópticas: Las ópticas son aquellas que resultan de la combinación de una forma geométrica, un color y un símbolo o pictograma, atribuyéndoseles un significado determinado. Cada color y forma posee un significado propio a fin de que las distintas personas puedan identificarlas, y son estas las principales señales que se utilizarán en la planta.

Las tablas siguientes muestran señales que se pueden encontrar en una industria y lo que representa cada una de ellas.

Tabla 15-3: Señales informativas.

<i>Señales informativas</i>	
<p>Se utilizan para guiar al usuario y proporcionar ciertas recomendaciones que se deben observar dentro y fuera del establecimiento.</p> <p>Se ubican donde un estudio previo indique la necesidad de su uso, permitiendo que las personas tengan el tiempo suficiente para captar el mensaje.</p>	
<i>Señal y significado</i>	
	<p>Informa la ubicación del botiquín por si se sufre algún tipo de lesión. Es de importancia que se encuentre completo y en condiciones.</p>
	<p>Informa la ubicación de las posibles salidas de socorro; pueden estar situadas del establecimiento y en cualquier dirección.</p>
	<p>Informa la ubicación de las salidas de socorro o emergencias.</p>
	<p>Punto de reunión indica un lugar predeterminado, cercano y seguro de los efectos del siniestro, donde se trasladará a todos los evacuados.</p>
	<p>Indica zona segura, en caso de siniestros.</p>

	<p>Indica el camino diseñado para que trabajadores, empleados y público en general evacuen las instalaciones en el menor tiempo posible y con la máxima seguridad.</p>
---	--

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 15-4: Señales preventivas.*

<i>Señales preventivas</i>	
<p>Son las que tiene el objeto de advertir al usuario de la existencia y naturaleza de un riesgo. En general, este tipo de señalización adopta el color amarillo de fondo y negro de contraste</p>	
<i>Señal y significado</i>	
	<p>Suelo resbaladizo: señal de advertencia de que existe un riesgo de accidente por resbalón y caída.</p>
	<p>Materiales comburentes: Significa que se están manipulando gases, sólidos o líquidos oxidativos que pueden causar o intensificar un incendio o explosión.</p>
	<p>Riesgo eléctrico: esta señal indica que en un lugar hay corriente eléctrica, por lo tanto, peligro de descarga.</p>
	<p>Riesgo de incendio: esta señal indica que puede provocarse un incendio muy fácilmente.</p>

	<p>Gas comprimido: advierte que se desaconseja e incluso se prohíbe, prender fuego en una zona debido a la existencia de gas comprimido.</p>
	<p>Productos tóxicos: presencia de sustancias tóxicas en el ambiente.</p>
	<p>Material explosivo: puede provocarse una explosión muy fácilmente.</p>
	<p>Atención: Indica que hay que manejarse con prudencia porque existe algún tipo de riesgo, pero, no especifica al riesgo que se está expuesto.</p>
	<p>Paso de transporte: indica la presencia de algún vehículo industrial en el lugar en que se está.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15-5: Señales de prohibición.

<i>Señales de prohibición</i>	
<p>Estas señales de seguridad industrial prohíben un comportamiento que pueda provocar un riesgo o peligro. De esta forma, se impiden actividades que ponen en peligro la salud o vida de los trabajadores.</p>	
<i>Señal y significado</i>	
	<p>Prohibido apagar con agua: Indica que no se puede apagar los incendios con agua, ya que podrían desencadenarse daños materiales o humano.</p>
	<p>Prohibido beber agua: generalmente se realiza esta prohibición porque la misma puede estar contaminada, o bien, es apta para uso industrial pero no para consumo humano.</p>
	<p>Prohibido del paso de peatones: señalización para protección del peatón y trabajo sin accidentes.</p>
	<p>Prohibido fumar ya que este puede ser causante de siniestros.</p>
	<p>Prohibido el acceso sin autorización, indica zona de acceso restringido.</p>

	
---	--

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15-6: Señales de obligación.

Señales de obligación	
Proporciona información acerca de lo que se debe cumplir en forma obligatoria en lugar de trabajo o en un lugar específico.	
Señal y significado	
	Uso obligatorio del calzado de seguridad, apropiado para el lugar.
	Prohibido beber agua: generalmente se realiza esta prohibición porque la misma puede estar contaminada, o bien, es apta para uso industrial pero no para consumo humano.
	Prohibido del paso de peatones: señalización para protección del peatón y trabajo sin accidentes.
	Prohibido fumar ya que este puede ser causante de siniestros.

	
	Prohibido el acceso sin autorización, indica zona de acceso restringido.
	Obligatorio el uso de protección auditivos.
	Obligatorio el uso de anteojos para la protección de la vista.
	Obligatorio el uso de máscaras.
	Indica que el lugar en el que se está o se va a transitar es exclusivo para peatones y que ningún tipo de transporte puede circular por el mismo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15-7: Señales de lucha contra incendios.

<i>Señales de lucha contra incendios</i>	
Proporcionan información sobre elementos de lucha contra incendios.	
<i>Señal y significado</i>	
	<p>Boca de incendio: esta señal indica donde está situada la boca de incendio más próxima.</p>
	<p>Extintor: esta señal indica donde está ubicado el extintor más próximo; la flecha indica que el extintor se encuentra debajo de ella.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Deberán marcarse las zonas de proceso con franjas de color amarillo que indiquen dirección y sentido de circulación en pasillos y caminos. También, deberán marcarse, las zonas de circulación de operarios, transportadores y equipos de emergencia. Es de destacar en todos los casos los cruces, desviaciones u obstáculos donde puedan encontrarse elementos de transporte, contarán con indicación del peligro mediante franjas anchas de color amarillo.

El pintado de cañerías cumpliría con los requisitos establecido en las Norma IRAM 2407.

Producto	Color fundamental
Elementos para la lucha contra el fuego	Rojo
Vapor de agua	Naranja
Combustibles (líquidos y gases)	Amarillo
Aire comprimido	Azul
Electricidad	Negro
Vacío	Castaño
Agua fría	Verde
Agua caliente	Verde con franjas naranja

Figura 15-9: Color de las cañerías según las Normas IRAM 2407. Fuente: Google imágenes.

Otro tipo de señalización implementada para la seguridad de los empleados, en este caso de carácter temporal, serán las *Tarjetas de Seguridad*. Dichas tarjetas son cartones troquelados divididos en tres partes: una que se pone en un lugar visible del equipo que se está reparando, otra que la retiene el solicitante y la tercera que se coloca en el tablero principal. Con esta última se obtiene la habilitación de la máquina intervenida, por lo que esta tarjeta es la indicadora del peligro, ya que la presencia de la tarjeta ubicada en cualquier circuito o mecanismo (válvulas, interruptores, botoneras, etc.) indica que el equipo no debe ser operado bajo ningún concepto.

Si un mismo equipo o máquina está siendo atendida por varios sectores de la planta, cada uno de ellos colocará su propia *Tarjeta de Seguridad*.

Las tarjetas estarán a disposición de los solicitantes en las oficinas de mantenimiento y en la oficina de higiene y seguridad, esta última también será la responsable de generar nuevas tarjetas.

A continuación, se muestran modelos típicos de tarjetas de seguridad.



Figura 15-10: Modelo de tarjetas de seguridad.

### 15.11.3 Protección individual

Los equipos de protección personal constituyen un importante recurso para el control de riesgos profesionales. No obstante, deben ser una alternativa considerada después de haber analizado la posibilidad de controlar el riesgo en la fuente o en el medio. Es necesario tener plena información sobre la protección real que ofrecen los equipos ya que su eficacia depende, fundamentalmente, de una buena selección y de su correcto uso.

Los equipos de protección personal deben estar homologados o certificados por una entidad acreditada en emitir este tipo de conceptos y deben cumplir normas y controles de fabricación que garanticen la protección que ofrecen; equipos que no suministren este tipo de información no deben adquirirse porque, aparte de la pérdida económica, llevan a creer que existe una protección que realmente no proporcionan.

El uso de equipos de protección personal no evita el accidente, pero contribuye a atenuar sus consecuencias en el trabajador. Su uso requiere de una selección adecuada, capacitación al trabajador sobre su forma correcta de uso y toma de conciencia sobre su importancia para la seguridad.

Como parámetros de selección se recomiendan los siguientes:

- a. Grado de protección que requiere la situación de riesgo.
- b. Grado de protección efectiva que ofrece el equipo frente a dicha situación.

- c. Analizar que el equipo de protección personal no interfiera con la producción.
- d. Contemplar la posible coexistencia de riesgos simultáneos y los efectos del equipo frente a los demás riesgos.
- e. Compatibilidad con el uso de otros elementos de protección personal.
- f. Variedad de tallas.
- g. Comodidad de uso.

#### **15.11.3.1 Ropa de trabajo**

La ropa de trabajo a utilizar tendrá las siguientes características:

- Será de tela flexible, permitiendo una fácil y rápida limpieza y desinfección de esta en forma adecuada a las condiciones del puesto de trabajo.
- Ajustará bien al cuerpo del trabajador, sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.
- Siempre que las circunstancias lo permitan las mangas serán largas y ajustarán adecuadamente.
- Se eliminarán o reducirán en lo posible elementos adicionales como bolsillos, bocamangas, botones, partes vueltas hacia arriba, y cordones; por razones higiénicas y para evitar enganches.
- Se prohibirá el uso de elementos que puedan originar un riesgo adicional, como ser: corbatas, bufandas, tirantes, pulseras, cadenas, collares, anillos.
- En ocasiones especiales la ropa de trabajo será de tela impermeable, incombustible, de abrigo resistente a sustancias agresivas; y siempre que sea necesario, se dotará al trabajador de delantales, mandiles, petos, chalecos, fajas, cinturones anchos y otros elementos que puedan ser necesarios.

#### **15.11.3.2 Protección craneana**

##### Cascos de seguridad

El casco está compuesto por un cuerpo hecho en policarbonato, polipropileno, polietileno de alto impacto o fibra de vidrio. En su interior tiene un tafilete o cinta que rodea el contorno de la cabeza, y un atalaje que se une en la cima mediante un cordón o una cinta con línea de costura débil cuya función es amortiguar un golpe,

de modo que cuando se presente transmita la menor cantidad de energía cinética del impacto a la cabeza y el cuello.

El casco de seguridad se utilizará siempre que las condiciones de trabajo obliguen a ello por la existencia de riesgo de caída del operario o de materiales sobre él o contacto eléctrico. Su uso es personal y obligatorio y se cambiará al sufrir algún impacto violento. Con el casco de seguridad el trabajador se protege de:

- Caídas de objetos.
- Golpes en la cabeza.
- Proyección violenta de objetos.
- Contactos eléctricos.



Figura 15-11: Protección craneana, casco de seguridad.

### **15.11.3.3 Protección ocular y/o facial**

#### **Gafas de seguridad**

Se utilizan sobre todo en los trabajos que ofrecen riesgo de proyección de partículas que por sus características no agreden el rostro, pero sí los ojos por su mayor vulnerabilidad; asimismo, se usan cuando existe riesgo de radiaciones infrarrojas y ultravioleta, y en casos en que los tonos ayudan a resaltar contrastes cuando se realizan trabajos de precisión. Es necesario elegir modelos que tengan variedad de tallas y diseños que se ajusten al rostro del trabajador sin ocasionar molestias.



Figura 15-12: Protección ocular, gafas de seguridad.

### Caretas (yelmos)

Son equipos diseñados para filtrar las radiaciones de soldadura eléctrica, ultravioleta e infrarroja, las cuales pueden afectar los ojos y la piel de los soldadores. El yelmo debe elegirse de acuerdo con el trabajo que se vaya a ejecutar, ya que se encuentran en modelos con y sin babero, de filtro abatible o fijo, con atalaje para ajustar al casco, con protectores auditivos de copa, etc.



*Figura 15-13: Protección facial, careta de seguridad.*

Por lo tanto, se debe utilizar protección ocular o facial si está expuesto a:

- Proyección de partículas sólidas y/o líquidos.
- Exposición a radiaciones nocivas (soldadura oxiacetilénica o eléctrica, etc.).
- Exposición a atmósferas contaminadas.

#### **15.11.3.4 Protección auditiva**

Son elementos para la protección personal del sistema auditivo, utilizados para reducir el nivel de presión sonora que percibe una persona expuesta a un ambiente ruidoso.

En muchos ambientes ruidosos no resulta práctico, económico o factible reducir el ruido en máquinas, equipos y herramientas hasta un nivel aceptable para el oído humano, por lo cual se hace indispensable su empleo. Son fundamentales cuando se está sometido a niveles de ruido que superen los 85 dBA o, por ejemplo, si una persona que está a menos de 1 metro no lo escucha por el nivel de ruido existente.

A continuación, se exponen las principales características de los diferentes tipos de protectores auditivos:

1. *Protectores de copa (auriculares)*: consisten en dos copas circunauales, unidas por una diadema que se ajusta a la cabeza. Las copas disponen de empaques de espuma para sellar el contorno de las orejas. El nivel de atenuación es de hasta 45 db.
2. *Tapones auditivos de silicona*: estos tapones se fabrican en silicona y se colocan directamente sobre el pabellón auditivo de cada trabajador, ejerciendo el control del ruido en el pabellón auricular, con una pequeña inserción en el conducto del oído externo para disminuir la posibilidad de infecciones.
3. *Tapones auditivos de espuma auto expandible*: estos tapones se introducen en el conducto auditivo, donde deben mantenerse con presión del dedo hasta terminar su expansión. Son fabricados en espuma de goma y proporcionan un alto nivel de atenuación.
4. *Tapones auditivos de inserción de 2, 3 y 4 rebordes*: estos tapones son premoldeados y se fabrican en varios tamaños normalizados. Por lo general, disponen de uno a cuatro rebordes de ajuste que se adaptan al conducto del oído externo.
5. *Tapones auditivos semi-insertados*: estos tapones son diseñados en un tamaño que se ajusta a la mayoría de los oídos. Para mantenerse presionados contra la apertura del canal auditivo disponen de una banda sujeta a la cabeza, manteniendo la presión del protector sobre la abertura del oído.



Figura 15-14: Protección auditiva, protectores de copa y tapones.

### 15.11.3.5 **Protección respiratoria**

Se debe utilizar protección respiratoria cuando la concentración de polvo, de diferentes gases y/o vapores presentes en el aire superen los valores estipulados en la legislación vigente. Su elección dependerá del tipo de contaminante, el tiempo de

exposición y las características del trabajo a realizar. Así tendremos que emplear un filtro de retención (para partículas sólidas), de retención química (material gaseoso y vapores) o uno de retención combinada. De acuerdo con el grado de protección requerido utilizaremos barbijos, semimáscaras, máscaras o equipos autónomos.

En todos los casos asegúrese que, la máscara se adapte bien a su rostro (no use barba); los elementos o cartuchos filtrantes se encuentren en buen estado y hayan sido inspeccionados regularmente.

Los protectores se clasifican en dos grupos, debido a la función que ejercen para controlar los contaminantes:

### 1. Dependientes del medio ambiente

Los dependientes son aquellos que purifican el aire contaminado, dejándolo en condiciones adecuadas para ser inhalado por el trabajador, siempre y cuando el aire contenga el oxígeno necesario (19,5 a 23,5 %) y el contaminante se encuentre en baja concentración y no se trate de una atmósfera inflamable o explosiva.

Según el proceso de purificación o filtrado se clasifican en: filtros mecánicos o cartuchos químicos. Entre ellos se encuentran barbijos, respiradores y máscaras faciales.



*Figura 15-15: Protección respiratoria, equipos dependientes del ambiente.*

### 2. Independientes del medio ambiente

Estos equipos se utilizan en medios muy contaminados o en atmósferas con deficiencia de oxígeno, siempre y cuando no se trate de una atmósfera explosiva, ya que, en este caso, se debe complementar el control con sistemas de ventilación o internización que garanticen una atmósfera no inflamable. El sistema debe estar

provisto de presión positiva, para que, en caso de presentarse una falla en los sellamientos, salga el aire a presión al exterior y no pueda ingresar el aire externo contaminado. Estos equipos se clasifican en autónomos (suministran aire a través de tanques de aire comprimido) y semiautónomos (suministran aire a través de las líneas alimentadas por un compresor o soplador, el cual toma aire de lugares libres de contaminación).



Figura 15-16: Protección respiratoria, equipo dependiente del ambiente.

### **15.11.3.6 Protectores corporales** **Parciales**

Este tipo de protección hace referencia al mandil (delantal) y a las polainas impermeables. Esta protección debe proporcionarse para operaciones que impliquen la manipulación de sustancias químicas, zonas húmedas o de materiales biológicos patógenos. Protegen de:

1. Sustancias químicas nocivas.
2. Humedad.
3. Agentes biológicos patógenos.

Trabajos que requieren su uso: Laboratorios clínicos y patológicos, industrias químicas, dosificación de sustancias químicas y lavado de piezas o partes.

### **Integrales**

Incluye la capucha con visor, sacón o abrigo, pantalón, cubre botas, guante largo (aproximadamente 14") escaarpines y polainas. Se debe fabricar en material textil resistente al fuego, como rayón aluminizado y debe componerse de pantalón, abrigo

o sacón, capucha con visor, cubre botas y guante de 14" de largo con palma reforzada. Protegen de: Calor radiante y fuego (aproximación).

### **15.11.3.7      *Protección de manos***

#### **Guantes**

Se deben utilizar guantes de seguridad de acuerdo con el tipo de tarea que se vaya a emprender. Se los debe utilizar cuando se esté expuesto a peligros tales como:

- Contacto con sustancias peligrosas.
- Cortes y raspaduras severas.
- Quemaduras químicas o térmicas.
- Trabajar con circuitos eléctricos o cerca de ellos (en este caso los guantes deben ser dieléctricos).

Además, tener en cuenta que:

- Se debe mantener las manos alejadas de cualquier carga en movimiento.
- Nunca atar el cable guía de una carga al cuerpo o a las manos.
- Si está trabajando con máquinas-herramientas no utilice anillos ni pulseras.
- Para clavar un elemento a golpes de maza, sostener a éste con alguna pinza o soporte para no golpearse las manos.

A continuación, se detallan las características, materiales y aplicación de los diferentes tipos de guantes.

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
Carnaza	Protege contra raspaduras por manejo de materiales ligeramente ásperos y aislamiento térmico mediano.
Carnaza reforzada con malla de acero	Para manejo de materiales muy abrasivos.
Fibra sintética Terrycloth	Suavizador, resistente a cortadas y raspaduras, moderadamente al calor.
Lona fuerte	Agarre firme en materiales aceitosos, manejo de objetos ásperos o agudos, cortantes, resistente a raspaduras y al uso; buena disposición al calor.
Lona suave	Protege de mugre, cortadas y contusiones leves.
Malla de acero	Protege frente a elementos cortantes manuales como cuchillos (no protege en equipos de corte mecánico).
Kevlar	Resistente al corte.
Rayón aluminizado	Baja transferencia del calor.
<b>REVESTIDOS</b>	
Caucho natural	Mejores para resistencia a cortes y agarre, inferior para aceites y solventes.
Caucho nitrilo	Resistencia superior a cortes, raspaduras y solventes.
Látex (quirúrgicos)	Protección frente a agentes biológicos patógenos y químicos de baja concentración.
Neopreno	Resistente a los ácidos acético, benzoico, carbónico, fluorico, gasolina, aceite, creosotas, alcohol, algunos cáusticos y solventes clorados.
Vinilo	Usos: agarre en húmedo, resistencia a raspaduras; de fabricación especial para hidrocarburos, solventes del petróleo, ácidos inorgánicos y aislamiento térmico.
<b>IMPREGNADOS</b>	
Caucho butilo	Resistencia superior a químicos oxidantes, impermeable a gases y vapores, flexible en temperaturas extremadamente bajas, buena resistencia a la acetona y al metil etil cetona.
Látex de caucho	Para uso con ácidos y sales acetonas.
Buna N	Alta resistencia raspaduras y perforaciones, resistente a gases industriales, aceites, solventes químicos; se usa en limpiezas de chorro de arena.
Cloruro de polivinilo (PVC)	Excelentes para destreza de los dedos y usados para la protección del producto; se utilizan en laboratorios y para el manejo de partes pequeñas.
Neopreno	Alta resistencia a ozonos, calor, aceites vegetales, productos derivados del petróleo, grasas animales.
Plomados	Protegen de radiaciones ionizantes.



Figura 15-17: Protección de manos, guantes.

### 15.11.3.8 Protección de pies

Los requerimientos de selección, uso y mantenimiento del calzado se relacionan, por sus características, en forma general de acuerdo con las prestaciones que deban proporcionar.

- a. *Calzado con suela antideslizante:* su función es la de proporcionar una adecuada estabilidad para el tránsito por pisos lisos, húmedos, en declives, etc., por consiguiente, además de su capacidad para no deslizarse sobre el piso se requiere que el material de la suela sea resistente a los agentes químicos que puedan existir en el suelo del lugar de trabajo y mostrarse firmes frente al deslizamiento. El grabado de la suela debe conservarse con una profundidad mínima de 0.001 m en el sitio más gastado. Al presentar un

- mayor desgaste en cualquier sitio que haga contacto con el piso, debe sustituirse.
- b. *Botas de seguridad con puntera de acero*: indispensables para quienes manipulen o movilicen materiales pesados y rígidos.
  - c. *Botas impermeables*: son utilizadas por personal que tenga que transitar por espacios enfangados o húmedos. Su uso debe limitarse al tiempo en que cumpla labores dentro de dichas condiciones; el uso prolongado acalora los pies y puede producir mal olor y hongos. Es recomendable que estén forradas por dentro en tejido de algodón y han de lavarse periódicamente con agua y jabón.
  - d. *Botas dieléctricas*: al personal que realiza trabajos en redes o equipos eléctricos se le debe dotar con calzado dieléctrico protegido para tensión de maniobra. Son de material no conductor de la electricidad, cosidas (en ningún caso con clavos), libres de ojaletes o partes metálicas. La dieléctricidad se reduce con el desgaste de la suela y la acumulación de suciedad.



Figura 15-18: Protección de pies, zapatos y botas de seguridad.

#### **15.11.3.9 Protección en altura**

Se debe utilizar cinturón o arnés de seguridad cuando se trabaje en techos, azoteas y en todo lugar que no cuenten con barandas perimetrales, cuando se realice tareas en andamios, durante el montaje y desmontaje de éstos, cuando se trabaje en armaduras de acero en altura, o en silletas y cuando se efectúe todo tipo de tareas por encima de 1,8 m sin baranda de protección. También cuando el jefe del Servicio de Higiene y Seguridad, el empleador o la ART lo consideren necesario.

El sistema anticaída debe ser amarrado a un elemento resistente, revisándose frecuentemente el elemento de amarre y el mosquetón. No se deberá iniciar el trabajo sin este requisito.



Figura 15-19: Protección en altura, arnés de seguridad.

#### 15.11.4 Selección y capacitación

Con el objetivo de reforzar las medidas técnicas ya implementadas en la empresa y garantizar el cumplimiento adecuado de las normas internas, la empresa llevará a cabo un proceso de selección de empleados basado en sus aptitudes físicas y mentales. Además, se desarrollarán programas de capacitación diseñados para instruir a todo el personal en cuestiones relacionadas con la higiene y la seguridad en sus puestos de trabajo y en toda la planta.

En este sentido, el proceso de selección y contratación de personal será coordinado conjuntamente por el departamento de higiene y seguridad, los servicios médicos y otras unidades relacionadas. Esto se realizará teniendo en cuenta los riesgos específicos asociados a las tareas, operaciones y habilidades profesionales correspondientes.

En cuanto a la capacitación del personal, se llevará a cabo utilizando recursos como material educativo visual, medios audiovisuales, avisos y letreros informativos. Esta capacitación se llevará a cabo a través de:

- Cursos teóricos que abarcarán temas como operaciones, seguridad general, prevención y extinción de incendios, primeros auxilios, planes de emergencia y mantenimiento.
- Entrenamiento práctico que incluirá ejercicios de extinción de incendios, simulacros de situaciones de emergencia y prácticas de primeros auxilios.

Estos programas de capacitación se extenderán a todos los niveles jerárquicos de la empresa. La empresa establecerá acuerdos con una compañía de seguros para que

esta sea responsable de impartir los cursos y entrenamientos relacionados con la seguridad, utilizando recursos humanos y técnicos a su disposición.

#### **15.11.5 Servicio de medicina laboral**

La ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo, y sus decretos reglamentarios 351/79 y 1338/96 determinan las condiciones de seguridad que debe cumplir cualquier actividad industrial en todo el territorio de la República Argentina.

En lo que respecta a servicio de medicina, se respetará lo establecido en los artículos correspondientes a saber:

- Servicio de medicina.
- Exámenes médicos.
- Responsabilidad de asesoramiento (higiene y seguridad en los ambientes laborales).

La peligrosidad que se corre trabajando en la planta productora de ácido cítrico, por la robustez de sus equipos, materiales a manipular, entre otras condiciones de proceso, hace que sea indispensable contar con un servicio de medicina laboral interno, el cuál garantiza las prestaciones mínimas y permite una acción inmediata en caso de emergencias.

El servicio contará con profesionales de la salud contratados por la empresa o en centros habilitados por la autoridad sanitaria. Esto deberán cumplir con los requisitos de la especialidad laboral y deberán justificar su condición con el registro que los habilita.

Además, se capacitará a los trabajadores sobre el manejo de los instrumentos que se encuentren en el botiquín y técnicas de primeros auxilios. Estos botiquines se encontrarán en diferentes áreas de la planta y ante accidentes de gran envergadura se recurrirá a una asistencia médica externa.

Es de destacar que estas capacitaciones deben ir orientadas a todos los sectores de establecimiento en sus distintos niveles (gerencia, jefes, supervisores, operarios, analistas) y deberán ser planificadas en forma anual. Tendrá carácter obligatorio la

asistencia a estas capacitaciones de todo el personal, cumplir con las normas de prevención y correcta manipulación de los instrumentos de salud.

#### **15.11.6 Parada de planta**

Frente a una emergencia puede llegar a ser necesario la parada de planta. Para llevar a cabo este propósito es que todos los equipos de la planta tendrán dispositivos automáticos que aseguren la interrupción del suministro de fluido cuando se produzca alguna anomalía, la planta completa cesa su actividad en caso de que se inicie un incendio.

#### **15.11.7 Plan de emergencia y evacuación**

En las instalaciones, se establecerá un protocolo de emergencia que todos los empleados deberán conocer. Este protocolo se activará en caso de una situación de emergencia. Si ocurre un incidente, se deberá utilizar cualquier teléfono de la planta habilitado para tal fin. Al realizar la llamada, se debe mencionar la naturaleza de la emergencia, su ubicación y el nombre del informante. Estos teléfonos estarán conectados al departamento de higiene y seguridad, cuyo personal proporcionará asistencia de inmediato. Además, desde estos teléfonos se pueden realizar llamadas de emergencia al exterior si es necesario.

Ante una situación de emergencia, las personas deben refugiarse en lugares seguros y esperar instrucciones. No se permite acercarse al lugar del incidente en ninguna circunstancia. Cuando se escuchen tres señales prolongadas de alarma, que indican una evacuación total, las personas deben dirigirse a la salida de emergencia más alejada del área afectada.

Para llevar a cabo la evacuación, se implementará un plan de evacuación que también será de conocimiento general. Este plan incluirá los siguientes elementos:

- a. Identificación del sonido de la alarma.
- b. Ubicación de las salidas principales y secundarias en un plano indicativo.
- c. Designación de las personas responsables de notificar a los bomberos.
- d. Abandono inmediato de todas las actividades y salida segura, rápida y en silencio del edificio.
- e. Establecimiento de un punto de reunión fuera del edificio.

- f. Método para verificar que no haya personas atrapadas en el interior del edificio.

Se ha desarrollado un plan alternativo en caso de que el plan original no se pueda llevar a cabo. Para garantizar que el personal sepa cómo evacuar de manera efectiva y ordenada cuando sea necesario, se llevarán a cabo simulacros de evacuación como parte de su formación. Estos simulacros son esenciales para asegurar una evacuación eficiente en situaciones de emergencia.

#### **15.11.8 Política medioambiental**

Todas las acciones emprendidas por los seres humanos tienen un impacto en el entorno exterior a las instalaciones. Es imperativo minimizar este efecto por varias razones, incluyendo el cumplimiento de la legislación vigente, la prevención de pérdidas económicas, la protección de la comunidad y, por supuesto, la preservación del medio ambiente. Estos objetivos serán considerados en cada decisión preventiva que se tome, y la empresa se compromete a actuar rápidamente para corregir cualquier desviación que pueda ocurrir.

En lo que respecta a los desagües industriales, se seguirá estrictamente lo que establece la legislación vigente.

#### **15.11.9 Residuos sólidos**

En lo que respecta a la gestión de residuos sólidos, el objetivo principal de la empresa es reducir al máximo la generación de residuos tanto en términos de cantidad como de tipología desde su origen. Esto se logra a través de un sistema participativo que busca encontrar el equilibrio óptimo entre costos, beneficios y consideraciones medioambientales.

Los residuos sólidos se dividen en las siguientes categorías:

- *Recuperables*: Esta categoría incluye materiales como cartón limpio, papel sin contaminación, papel de oficina, bidones limpios de varios tipos, metales diversos, plásticos, latas, vidrios, entre otros. Estos materiales son entregados a una empresa de reciclaje para su procesamiento y reutilización.

- *Residuos asimilables a residuos urbanos*: En esta categoría se encuentran elementos como restos de comida con o sin envoltorio, cartones contaminados, cintas de embalaje, sobres de azúcar, etc. Estos residuos generados en las actividades diarias se depositarán en contenedores específicos ubicados en diversos puntos de la planta y edificios. Si se produce chatarra, esta se almacenará en un área designada y será recolectada periódicamente por una empresa contratada.
- *Residuos especiales o peligrosos*: Esta categoría abarca sustancias como diluyentes sucios, aceites usados, aceites lubricantes, productos químicos, gasoil, restos de pintura, grasas industriales, pilas, pinceles, guantes y herramientas contaminadas con grasas o pinturas, materiales de laboratorio, entre otros. Los residuos especiales o peligrosos deben ser llevados a un área específica identificada con carteles que indiquen la naturaleza especial de estos residuos. Es importante destacar que no deben mezclarse con la chatarra u otros materiales.

#### 15.11.10 Efluentes líquidos

Además de los efluentes líquidos producidos durante el proceso de fabricación, que se detallan en el capítulo correspondiente al Tratamiento de Efluentes, en la planta se originan varios otros efluentes líquidos que deben ser tenidos en cuenta. Estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- *Efluentes domésticos y cloacales*: Estos efluentes provienen de las instalaciones utilizadas por el personal de la planta, incluyendo instalaciones sanitarias como duchas, mingitorios, inodoros y lavamanos, así como instalaciones de uso doméstico como lavavajillas y bebederos, además de instalaciones de emergencia como duchas y lavados de ojos de seguridad. Los efluentes domésticos y cloacales serán direccionados directamente hacia el sistema de alcantarillado del parque industrial para su tratamiento, por lo que no se prevé la instalación de una planta de tratamiento adicional para estos efluentes.
- *Efluentes pluviales*: Estos efluentes se generan debido a la lluvia que se acumula en los techos y pisos de los patios de la planta. Dado que no

presentan características contaminantes significativas, no es necesario someterlos a un tratamiento específico. En su lugar, serán canalizados a través de sistemas de drenaje en techos y conductos de bajada hacia áreas de absorción en el terreno.

#### **15.11.11 Emisión gaseosa**

Los efluentes gaseosos generados por el proceso de producción son considerados en el capítulo correspondiente a Tratamiento de Efluentes.

#### **15.11.12 Sustancias del proceso**

Las características y propiedades de las sustancias manipuladas en el proceso productivo de ácido cítrico se detallan en el capítulo de Introducción y Generalidades.

# CAPÍTULO 16

---

*Organización industrial*

## **16 ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL**

---

### **16.1 INTRODUCCIÓN**

Como objetivo del estudio de organización del proyecto, es muy importante obtener una estimación lo más real posible de los costos incurridos en la implementación y gestión de las operaciones realizadas.

Una empresa se define como un conjunto de personas y activos que persiguen objetivos comunes de manera organizada. Es responsable de tomar decisiones sobre el uso de los factores disponibles para obtener bienes y servicios vendidos en el mercado. Las actividades productivas de una empresa consisten en convertir materias primas en productos, lo que se logra mediante el uso de trabajo y capital disponible, para lograrlo se necesita una estructura funcional que permita desarrollar eficientemente las tareas que se deben realizar.

En este capítulo se identifica el tipo de empresa adoptada, se mencionan las diferentes áreas que la componen y se elabora un organigrama que revela la distribución jerárquica dentro de la misma. Además, se explican las actividades de los diferentes puestos de trabajo, lo que enfatiza que para realizar las actividades correspondientes y alcanzar los objetivos planteados, la empresa cuenta con las tecnologías necesarias para alcanzarlos.

Los empleados de esta organización pertenecen al área afín a la industria alimentaria. Por ello, responden al sindicato de Confederación de Trabajadores de la Industria Alimentaria de la República Argentina. Por lo tanto, el Convenio Colectivo 244/94 es consistente con el acuerdo negociado por el sindicato.

### **16.2 TIPO DE SOCIEDAD COMERCIAL**

La Ley de Sociedades Comerciales 19550 (LSC) de la República Argentina contempla una gran variedad de tipos societarios. Los más utilizados en nuestro país son la sociedad anónima (S.A.) y la sociedad de responsabilidad limitada (S.R.L.).

La forma jurídica adoptada es la sociedad anónima, donde la responsabilidad de cada socio o accionista es proporcional al capital que haya aportado. Por ello, la

seguridad financiera es alta con respecto a la demás, ya que sus socios deberán responder, como máximo, con el capital aportado.

Para su conformación se requiere un mínimo de dos accionistas, y la cantidad máxima es ilimitada. Los accionistas pueden cotizar, o no, en el mercado de valores local. El directorio está compuesto por uno o más miembros, que pueden ser o no accionistas.

Las ventajas que presenta este tipo de sociedad son las siguientes:

- Reúne varios capitales, con la emisión y ventas de acciones.
- El capital social está representado por acciones y los socios limitan su responsabilidad a la integración del aporte y tenencia de estas.
- La duración de la sociedad es independiente de la vida de sus socios o finalización de estos.
- La administración y la fiscalización son realizados por organismos nombrados por los socios.
- Las decisiones están en manos de la asamblea de accionistas.
- El capital social mínimo según el artículo 186 de la ley 19550 es de 100000 pesos, con una integración del 25% de las acciones suscriptas.

La legislación laboral determina las condiciones de contratación del personal, las escalas salariales y los beneficios sociales correspondientes, aplicando a este caso lo establecido en el Convenio Nacional N° 244/94.

La legislación tributaria vigente determina los impuestos que debe pagar el proyecto en la etapa de operación, como, por ejemplo, los impuestos generales (Impuesto a las Ganancias, Impuesto al Valor Agregado o el Impuesto a los Ingresos Brutos).

### **16.3 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA**

Con lo que respecta a la estructura de la empresa, se lleva a cabo una clasificación por niveles jerárquicos, los cuales determinan las responsabilidades que posee cada uno de los empleados.

Los objetivos de este sistema de organización son los siguientes:

- Que cada empleado tenga los conocimientos técnicos adecuados para realizar sus funciones y cumplir con sus obligaciones.
- Tener información de cada una de las actividades que se desarrollan en el trabajo, con el fundamento de brindar un panorama más claro al trabajador y que la comprensión del objetivo final de la entidad sea eficiente.
- Establecer reglas y políticas de trabajo.
- Definir una cultura empresarial.

### **16.3.1 Organización interna**

En la empresa de producción de Ácido cítrico, se trabaja con departamentos. En estos se detallan las actividades que se realizan en los mismos y quienes son los encargados de llevarlas a cabo.

Cada departamento posee un director de área, el cual responde a la gerencia de la empresa. En la Figura 16-1 se presenta el organigrama de la empresa.

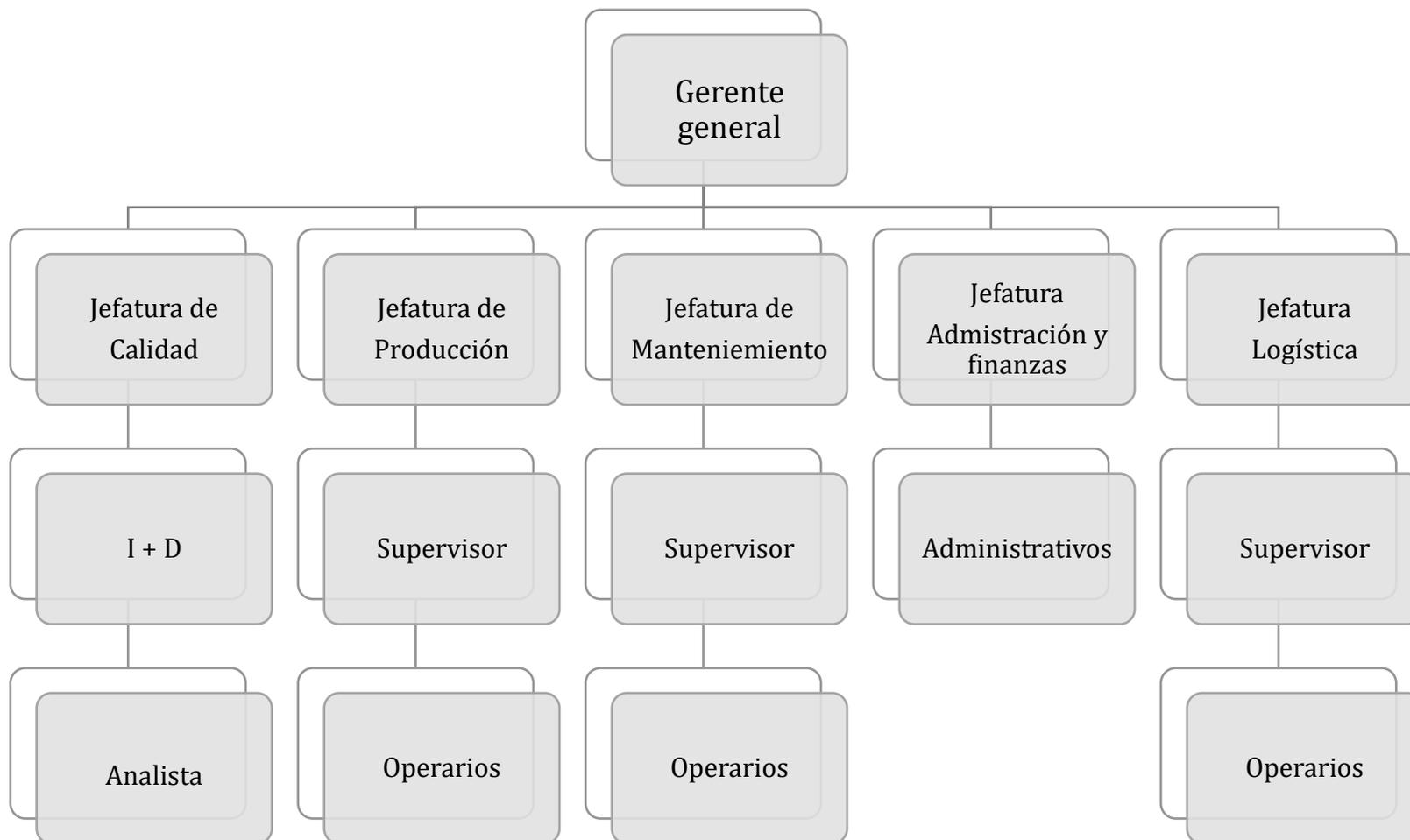


Figura 16-1: Organigrama de la empresa. Fuente: Elaboración propia.

## **16.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO**

La empresa productora de ácido cítrico posee jerarquías en los diferentes grupos de empleados, encontrándose una única persona encargada de dirigir es establecimiento para llevarla a altos niveles productivos y puede mantenerse en el mercado durante un cierto periodo.

La persona principal de la organización es el gerente general, este tiene apoyo en las diferentes áreas de la empresa, a través de la jefatura de cada una de ellas. Este grupo de autoridades, son las encargadas de definir el rumbo de la producción de la planta. La empresa cuenta con cinco departamentos, cada uno de ellos depende de gerencia general y están conformados por una cantidad determinada de empleados y cada uno de ellos cumplirá con sus funciones, como se describe a continuación.

### **16.4.1 Gerente general**

El gerente general de la empresa es la máxima autoridad de la entidad, es quien desarrolla y define los objetivos organizacionales, además, planifica el crecimiento de la empresa a corto y largo plazo.

Sus actividades principales consisten en:

- Coordinar y supervisar los proyectos de inversión que afectan a la planta y procesos de producción.
- Supervisión de los departamentos para la obtención de información y posterior toma de decisiones.
- Ejerce la representación legal de la empresa y participar en reuniones con instituciones públicas y privadas.
- Garantiza el cumplimiento de las normas, reglamentos, políticas, instructivos internos y los establecidos por las entidades de regulación y control.
- Participa en reuniones con Asociaciones, Cámaras, Ministerio y demás instituciones Públicas y Privadas.
- Supervisión de los reportes financieros, teniendo en cuenta los resultados reales con los presupuestados.

- Controla costos y rentabilidad de la empresa.
- Controla los índices y costos de producción, plane y programas.
- Controla la administración de los recursos monetarios y el cumplimiento de regulaciones en materia tributaria, arancelaria y demás obligaciones legales.

#### 16.4.2 Responsable de higiene y seguridad

Según el artículo 13 del decreto 1338/96, de acuerdo con la cantidad de trabajadores con los que cuenta la planta, corresponde un determinado número de técnicos responsables de higiene y seguridad. En la siguiente tabla se detallan estos datos.

*Tabla 16-1: Número de técnicos según decreto 1338/96.*

<b>Cantidad de trabajadores equivalentes</b>	<b>Número de técnicos</b>
150-450	1
451-900	2

*Fuente: Elaboración propia.*

Debido a que en el proceso de producción de ácido cítrico se cuenta con un total de 52 empleados, no es necesario contar con un departamento propio para esta área, por lo que se decide tercerizar el servicio.

El encargado de seguridad e higiene es un profesional externo contratado para controlar el cumplimiento de las normas de higiene y seguridad, el estado de las instalaciones y el uso de elementos de protección personal. Dirige los programas de capacitación en materia de seguridad industrial e higiene ocupacional.

Otras de las actividades que realizan los técnicos en seguridad e higiene, se destacan:

- Elaboración del programa de seguridad (planeación, ejecución, control)
- Identificar agentes potenciales de peligro en las distintas áreas de trabajo (agentes físicos, químicos, biológicos, y ergonómicos).
- Conocer el marco jurídico para la práctica de la Higiene Industrial: Ley de Seguridad e Higiene en el Trabajo N° 19587, Ley N° 24557 de Riesgos del Trabajo.

### **16.4.3 Departamento de calidad**

Se encarga de establecer límites de variación en los atributos y variables del producto e informar el estado en el que se mantiene dentro de esos límites. Comprende las funciones de desarrollo de métodos de control, control de medidas, inspección y ensayos, reclamos de clientes y recuperación de materiales rechazados o fuera de uso. Dentro de este departamento se encuentra el jefe de calidad, el encargado de laboratorio y analistas, cuyas actividades se describen a continuación.

#### **16.4.3.1 Jefe de calidad**

Su tarea es definir la metodología para el control de los estándares de calidad en el producto en proceso, materia prima y producto final. Además, organiza las actividades de laboratorio, informar a gerencia general, departamento de comercio y de producción sobre los resultados obtenidos en los análisis. Algunas de sus funciones son:

- Desarrollar e implementar procedimientos internos y de certificación de normas, para lo cual debe trabajar de modo conjunto con las áreas vinculadas.
- Controlar que las variables de proceso estén dentro de lo previsto, y de lo contrario reporta al jefe de planta.
- Contar con equipamiento específico que funcione correctamente y esté calibrado según los patrones establecidos.
- Responsabilizarse del entrenamiento y capacitación de su personal.
- Control de la materia prima para garantizar que este empleando la adecuada y verificar que las actividades de su área se realicen de acuerdo con lo establecido.
- Registrar y supervisar que se registren todos los procedimientos realizados y, además, registrar los análisis de materias primas y productos.
- Solicitar toma de muestras en campo y analizar las determinaciones con el objeto de verificar desvíos en las condiciones de proceso.
- Administrar documentación técnica y actualizada, en especial de la base de datos del laboratorio.

#### **16.4.3.2 Investigación y desarrollo (I+D)**

Área encargada de dirigir y coordinar las actividades relacionadas con el análisis y desarrollo de productos de la empresa. Lleva a cabo acciones relacionadas con la actualización de los productos existentes de la empresa, como el desarrollo y evaluación de nuevos productos. Este profesional se encuentra en la obligación de estar en constante aprendizaje y actualización para seguir las tendencias de los mercados y detectar las oportunidades de negocio. Además, tiene que colaborar con los demás departamentos de la empresa para poder estudiar correctamente las necesidades relacionadas con la innovación productiva.

Las principales actividades para desarrollar por este profesional son:

- Planificar, dirigir y coordinar las actividades de investigación y desarrollo, para crear procedimientos, productos, conocimientos o modos de utilización de materiales nuevos o perfeccionados.
- Planificar el programa general de investigación y desarrollo de la empresa, definir las metas de los proyectos y fijar sus presupuestos.
- Dirigir y gestionar las actividades del personal de investigación y desarrollo.
- Coordinar y controlar el desarrollo de proyectos en centros de investigación externos supervisando plazos, costes y calidad.
- Establecer y gestionar presupuestos, controlar los gastos y asegurar la utilización eficiente de los recursos.

#### **16.4.3.3 Analista de laboratorio**

Las actividades por desarrollar son:

- Realizar los controles fisicoquímicos y microbiológicos de materias primas, productos terminados, corrientes de procesos y equipos de la planta.
- Realizar las tareas que aporten a la investigación y desarrollo.
- Mantener el orden y la limpieza del laboratorio.

#### **16.4.4 Departamento de producción**

El departamento de producción tiene a cargo la elaboración del producto, el desarrollo e implementación de los planes productivos y el estudio de la factibilidad de nuevos procesos o de modificaciones de los ya existentes. Además, es su

responsabilidad respetar los estándares y patrones de calidad para la obtención de un producto final de las características instituidas, con el fin de obtener un producto acorde a las exigencias del mercado. Dentro de este departamento se encuentra el jefe de planta, supervisores y operarios, cuyas actividades se describen a continuación.

#### **16.4.4.1 Jefe de producción**

Es el encargado de planificar la producción asegurando el cumplimiento de los planes establecidos. Sus actividades son:

- Coordinar los equipos de trabajo.
- Verificar la calidad, cantidades y las características de los materiales de construcción a su cargo.
- Controlar que los operarios trabajen de manera eficiente (trabajando en contacto con los supervisores).
- Asegurar que se cumplan las condiciones de instalación, de puesta en marcha, mantenimiento preventivo de los equipos; conservando los manuales y las garantías de cada equipo.
- Verificar la calidad técnica de los trabajos que se ejecuten; y de las personas que los lleven a cabo y dirijan estos.

#### **16.4.4.2 Supervisores de producción**

Los supervisores son los encargados de proyectar, dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario. Sus actividades son:

- Planificar el trabajo diario, estableciendo prioridades y manejando efectivamente los recursos disponibles.
- Supervisar a los operarios, a los cuales debe impartir órdenes claras y precisas, favoreciendo el buen clima laboral y motivándolos para que realicen su tarea correctamente.
- Informar al jefe de planta cualquier desviación o problema ocurrido.

#### **16.4.4.3 Panelista**

Sus principales funciones son:

- Control de operaciones en modo automático y remoto desde la sala de control.
- Arranque y parada de planta en modo normal, emergencia o pruebas.
- Vigilancia de parámetros de operación e identificación de criticidad de alarmas de los sistemas en operación.

#### **16.4.4.4 Operario de producción**

Sus actividades son:

- Se encargan del manejo y el correcto desempeño de los equipos que tienen a su cargo.
- Cumplir con las tareas que le son asignadas y con las normas establecidas por sus superiores, además de asegurar una correcta limpieza de su zona de trabajo y controlan las distintas variables puestas en juego en el proceso, permitiendo que la planta logre un correcto accionar.
- Completar los registros, informar desperfectos para ser llevados al área de mantenimiento y poner en evidencia a su superior ante la ocurrencia de desviaciones en la calidad del producto.

#### **16.4.5 Departamento de mantenimiento**

Este departamento tiene por finalidad supervisar el mantenimiento de las instalaciones y reparación de equipos, estimando el tiempo y los materiales necesarios para realizarlo. Se planifica, coordina y controla el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos y sistemas eléctricos que se utilizan en las instalaciones. Dentro de este departamento se encuentra el jefe de mantenimiento y operarios, cuyas actividades se describen a continuación.

##### **16.4.5.1 Jefe de mantenimiento**

Debe establecer junto con el encargado de producción, un plan de mantenimiento anual y mensual de los sistemas eléctricos, mecánicos y edificios. Sus tareas son:

- Encargado de verificar la calidad, cantidades y características de los materiales de construcción que se utilizan en cada sección de la planta.
- Controlar la correcta ejecución de las tareas de montaje.

- Verificar especificaciones técnicas del equipamiento que se va a adquirir, colaborando con la decisión de la compra.
- Asegurar que se cumplan las condiciones en: instalación, puesta en marcha y mantenimiento preventivo de los equipos; conservando manuales y las garantías de cada equipo.
- Verificar la calidad técnica de los trabajos que se ejecuten y de las personas que los llevan a cabo y dirigen estos.
- Planificar los mantenimientos

#### **16.4.5.2 Supervisor de mantenimiento**

Al igual que los supervisores de producción, son los encargados de proyectar, dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario. Es el encargado de la supervisión, mantenimiento y reparación de las instalaciones y equipos.

#### **16.4.5.3 Operario de mantenimiento**

Deben llevar a cabo el mantenimiento preventivo y operativo, revisar periódicamente los equipos e instalaciones, informar a su superior los problemas detectados, etc. Se destacan:

- **Calderista:** El operario de la sala de calderas tendrá una función de controlar los parámetros de las calderas, conocer sobre sus funcionamientos óptimos y desviaciones, y actuar con serenidad en caso de alguna variación en los parámetros o fallas de los equipos antes mencionados.
- **Mecánico:** Debe realizar revisiones periódicas, así como el mantenimiento y reparaciones requeridas. Debe también, reparar o reemplazar las piezas averiadas o cuyo ciclo de vida útil se haya cumplido. Desmontar máquinas dañadas y reemplazarlas con modelos más modernos. Es el encargado de seguir los procedimientos y medidas de seguridad para evitar accidentes y amenazas potenciales.
- **Electricista:** encargado de realizar instalaciones y reparaciones relacionadas con la electricidad, especialmente en máquinas e iluminación.

#### **16.4.6 Departamento de Administración**

El departamento de administración se encarga de la organización dinámica de la empresa orientando sus esfuerzos hacia el cumplimiento de los objetivos de la empresa. Además, es

su deber optimizar las relaciones entre cliente, proveedores, mercado económico y fuentes de financiamiento. Dentro de este departamento se encuentra el jefe administrativo, el responsable de recursos humanos, el contador y el licenciado en marketing, cuyas actividades se describen a continuación.

#### **16.4.6.1 Jefe administrativo**

Sus actividades son:

- Coordinar, supervisar y controlar la ejecución de los procedimientos administrativos y contables que rigen el funcionamiento interno de la organización.
- Realizar altas y actualizaciones de cuentas de proveedores y clientes, inscripciones y trámites ante organismos oficiales, evaluación crediticia de clientes.
- Confeccionar balances mensuales e informes periódicos a solicitud de la gerencia.
- Realizar el control y seguimiento de gastos.

#### **16.4.6.2 Responsable de recursos humanos**

Entre sus tareas se destacan:

- Fomentar una relación de cooperación entre directivos y trabajadores para evitar enfrentamientos derivados por una relación jerárquica tradicional.
- Fomentar la participación entre todos los trabajadores para que se comprometan con los objetivos de la empresa.
- Establecer el monto del salario, mediante el proceso de negociación entre la empresa y los sindicatos de trabajadores.
- Encargado del proceso de reclutamiento, selección e ingreso del personal.

#### **16.4.6.3 Contador**

Sus actividades son:

Formula estados financieros e investiga y da soluciones a los problemas referentes a la falta de información para el registro contable.

- Identifica y analiza los ingresos, egresos y gastos que se dan en la empresa.
- Informa periódicamente todos los resultados obtenidos al gerente comercial.

- Prepara y ordena la información financiera y estadística para la toma de decisiones de las autoridades superiores.
- Se encarga del control y seguimiento de los gastos generados.
- Encargado de liquidación de sueldos.

#### **16.4.6.4 Licenciado en marketing**

Se encarga de:

- Promocionar el producto en el mercado
- Realizar un estudio de mercado para definir el precio del producto final.

#### **16.4.7 Departamento de logística**

Es el encargado de realizar las compras de materias primas e insumos que se utilizan en las distintas partes de la empresa, fijándose las políticas de supply chain (cadena de abastecimiento y suministros) de las mismas. Su función está en constante relación con los departamentos de producción y administración, y fundamentalmente con los proveedores de la empresa.

Comprende, también, el planeamiento para comercializar el producto en el lugar, cantidad, tiempo y precios adecuados. Incluye las funciones de determinación de políticas de ventas, presupuesto, embalajes y el movimiento de los productos desde el lugar de almacenamiento hasta el punto de utilización o consumo. Encierra, además, las funciones de almacenamiento de producto, expedición y servicio postventa.

Dentro de este departamento de encuentra el jefe de logística, cuyas actividades se describen a continuación.

##### **16.4.7.1 Jefe de logística**

Se encargará de las siguientes actividades:

- Cumplir con los objetivos de ventas del producto elaborado, alineándose a las políticas de la empresa.
- Crear relaciones comerciales con clientes y/o proveedores.
- Establecer la política de precios del producto final.

- Definir e implementar planes de acción para reducir costos, los plazos de entrega y mantener los stocks necesarios para responder a las necesidades del cliente.
- Negociar y gestionar la compra y entrega de materias primas e insumos.
- Verificar el abastecimiento en tiempo y forma según el plan de producción.
- Trabajar junto con el área administrativa de la planta en la redacción de órdenes de compra.
- Gestionar el abastecimiento de materiales menores: ropa de trabajo, repuestos para maquinarias, entre otros.
- Realizar el seguimiento de la distribución del producto final.
- Realizar informes de costos.
- Realizar mensualmente el stock de la planta, coordinando información con otros sectores.

#### **16.4.7.2 Operario de logística**

Las funciones por desarrollar son las siguientes:

- Envasado de las materias primas en sus respectivos tanques de almacenamiento y trasvase de los productos de proceso a los tanques cisterna de transporte.
- Organización del depósito, control de stock.
- Control de peso de materia prima en camiones ingresantes y de producto terminado de camiones salientes en la balanza.

#### **16.4.7.3 Licenciado en comercio exterior**

Es el encargado de las siguientes tareas:

- Realizar estudios o investigaciones de mercado que permitan descubrir oportunidades comerciales, concretando eficazmente las operaciones de importación y exportación, realizando toda la operatoria aduanera, contratando servicios de transporte internacional, coordinando todas las operaciones del comercio internacional.
- Tareas de análisis de costos de importación de productos y servicios, análisis de mercado, análisis sectorial y regional, análisis y fijación de precios,

estudios de mercados y proyecciones de oferta y demanda en mercado internacional.

- Tareas de planificación, coordinación, ejecución y control de todas las actividades y tareas del sector exportador e importador.

### **16.5 ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y TURNOS DE TRABAJO**

Tal como se fue detallando a lo largo de los demás capítulos, en este proceso se diferencia tres grandes áreas:

- Etapas de pretratamiento de la materia prima
- Etapa de fermentación
- Etapas de purificación

Las etapas de pretratamiento y fermentación operan en discontinuo, mientras que las etapas de purificación lo hacen en continuo.

Pero, se organiza el proceso de modo tal que las etapas trabajen en paralelo y no se corte la producción, logrando una sincronización de estas.

Por lo explicado con anterioridad, ciertos puestos de trabajo deben ser cubiertos durante 24 horas, por lo que la industria cuenta con un grupo de empleados bajo horario rotativo (HR).

Es decir, que, en producción normal, los cuatro turnos que rotan se van a encontrar en las siguientes condiciones:

- Turno 1: Mañana que comienza a las 6:00 y finaliza a las 14:00.
- Turno 2: Tarde, comienza a las 14:00 y finaliza a las 22:00.
- Turno 3: Noche, comienza a las 22:00 y finaliza a las 6:00.
- Turno 4: Franco.

Cada turno está formado por:

- Técnico en higiene y seguridad.
- Analista de laboratorio.
- Supervisor de producción.
- Operario de fermentación.
- Operario etapa de pretratamiento.
- Operario etapa de purificación
- Panelista.

- Supervisor de mantenimiento.
- Mecánico.
- Electricista.
- Calderista.
- Operarios de logística

En cuanto a la jefatura de cada uno de los departamentos y otros puestos específicos, se manejan con un horario al que definimos como HORARIO EXTENDIDO (HE) el cual inicia a las 08:00 Hs hasta las 17:30 Hs, de lunes a viernes, teniendo como franco el sábado y el domingo.

Tabla 16-2: Personal de la planta. Fuente: Elaboración propia.

<b>Área</b>	<b>Puesto</b>	<b>Horario</b>	<b>Cantidad de empleados</b>
<i>Gerencia general</i>	Gerente	-	1
<i>Calidad</i>	Jefatura	HE	1
	I+D	HE	1
	Analista	HR	4
<i>Producción</i>	Jefatura	HE	1
	Supervisor	HR	4
	Panelista	HR	4
	Operario de fermentación	HR	4
	Operario de pretratamiento.	HR	8
	Operario de purificación	HR	4
<i>Mantenimiento</i>	Jefatura	HE	1
	Supervisor	HR	4
	Calderista	HR	4
	Operario	HR	4
<i>Administración</i>	Jefatura	HE	1
	Recursos Humanos	HE	1
	Contador	HE	1
	Marketing	HE	1
<i>Logística</i>	Jefatura	HE	1

---

	Operario de logística	HC	1
	Comercio exterior	HE	1

*Fuente: Elaboración propia.*

Existe además otro horario en la industria, el cual es para los operarios de logística, adaptándose a las leyes de circulación de camiones, por lo que se trabajan solo en turno mañana (lunes a sábado) y turno tarde (lunes a viernes) al cual se denominó HORARIO DE CARGA (HC).

# CAPÍTULO 17

---

## *Estudio económico financiero*

*Para acceder a la información de este capítulo ponerse en contacto con:*

[agusaylensj@gmail.com](mailto:agusaylensj@gmail.com)

[ro98ambro@gmail.com](mailto:ro98ambro@gmail.com)

## 17 ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

---

### 17.1 INTRODUCCIÓN

La etapa económico-financiera constituyen la tercera fase en la planificación de proyectos de inversión. En esta etapa, se recopila y organiza de manera sistemática la información financiera, que resulta de investigación y análisis realizados en las fases previas. Esta información desempeña un papel crucial en la evaluación de la viabilidad económica del proyecto. En particular, este estudio abarca la estimación de los recursos financieros necesarios para llevar a cabo el proyecto antes de su implementación, así como la determinación del costo total requerido durante su periodo de operación.

El presente capítulo contempla los siguientes objetivos:

- Estimar la inversión para conocer el valor del crédito a solicitar a partir de los activos, fijos, nominales y capital de trabajo.
- Calcular y analizar los costos fijos y variables, entre los que se encuentran factores determinantes de la producción como son, costos de materias primas, mano de obra, servicios, financieros, entre otros.
- Estimar los ingresos anuales por ventas de ácido cítrico.
- Deducir el punto de equilibrio, que determina la capacidad para la cual la empresa comienza a obtener ganancias.
- Determinar el estado de resultados que permite conocer si la empresa luego cancelar los costos totales e impuestos obtiene utilidades netas positivas.
- Utilizar como indicadores principales el valor actual neto (VAN), la ta interna de recuperación (TIR), el periodo de recupero de la inversión (PRI) y los análisis de sensibilidad correspondientes (AS).
- Determinar la viabilidad de proyecto en base al análisis de los objetivos planteados anteriormente.

## 17.9 CONCLUSIONES

A lo largo de las diversas fases del proyecto, que abarcaron desde el análisis de sus características hasta la selección de procesos, capacidad, cálculos y diseño de equipos industriales y accesorios, así como la evaluación de la viabilidad, se lograron alcanzar los objetivos establecidos en el primer capítulo.

La investigación del entorno socioeconómico relacionado con la comercialización del ácido cítrico, considerando aspectos como las materias primas e insumos necesarios, la ubicación del mercado y la capacidad de consumo del producto condujo a la elección estratégica de la ubicación de la planta en el Parque Industrial de Concepción del Uruguay, provincia de Entre Ríos.

Mediante el análisis de mercado, se determinó, a través de la proyección de la demanda insatisfecha del producto, que la capacidad de producción necesaria para satisfacer el mercado nacional sería de 7,000 toneladas anuales durante un período de aplicación del proyecto de 10 años.

En el ámbito económico y financiero, el proyecto se considera factible, ya que la Tasa Interna de Retorno (TIR) supera significativamente la tasa nominal anual de interés proporcionada por el banco. Además, el Valor Actual Neto (VAN) es aproximadamente de 25 millones de dólares, estableciéndolo como un proyecto rentable con un período de recuperación de la inversión de 9 años.

En cuanto al análisis de sensibilidad, se observa que el proyecto es susceptible a los aumentos en el precio de las materias primas y a la disminución en el precio de venta.

En resumen, el desarrollo del proyecto, enfocado en la producción de ácido cítrico a partir de celulosa recuperada de cáscara de arroz, ha permitido aplicar las herramientas y conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, demostrando la capacidad de las personas involucradas para abordar problemas de envergadura en situaciones del mundo real.

## 18 BIBLIOGRAFÍA

---

- Anderson, Yépes, M., & Albeiro, H. (Agosto de 2009). Pretratamientos de la celulosa y biomasa para la sacarificación. Pereira.
- Belluccini, & Fernández. (s.f.). Producción de Ácido Cítrico . Villa María, Córdoba, Argentina .
- Chain, S., & Chain, S. (1991). *Preparación y evaluación de proyectos*. México.
- COMEX, Í. (2023). Obtenido de <https://comex.indec.gov.ar/#/>
- CoMPICU. (s.f.). *Dirección de la Producción - Municipalidad de Concepción del Uruguay* . Obtenido de <https://produccioncdelu.wordpress.com/parque-industrial/>
- Complexity, T. O. (s.f.). Obtenido de <https://oec.world/es/profile/hs/citricacid?countryComparisonGeoSelector=sa>
- FAO. (s.f.). *Bioenergía y seguridad alimentaria* . Obtenido de <https://www.fao.org/3/bp843s/bp843s.pdf>
- Fernández, M. R. (2012). *Seguridad e Higiene Industrial Gestión de riesgos*. Colombia: Alfaomega.
- Ferrero, & Galli. (2013). Producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos.
- J., R. (2020). *Bromatología y Legislación alimentaria*. Villa María.
- J., R. (2022). *Biotecnología*. Villa María.
- Lugo, & Amaíz. (2017). *Evaluación del uso de la linaza para la obtención de ácido cítrico empleando Aspergillus Niger*. Valencia.
- Mangini, R., & Zárate, L. (2011). *Fermentación de la melaza para la obtención de ácidos orgánicos*. Villa María.
- Markowicz. (s.f.). Obtenido de <https://calderasargentinas.com.ar/calderas/>
- Martínez López, G. (Semptiembre de 2017). Glicerol residua como sustrato para la producción de Ácido Cítrico por *Aspergillus Niger*.
- Moerma, F. (12 de 2013). *Cleaning in place (CIP) in food processing*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/287028653>

- Morales, L. (2018). *Mejora del cóctel enzimático de hidrólisis de biomasa vegetal mediante modificación genética*. Sevilla.
- Moreno, & Tavella. (2020). *Obtención de L-lisina HCL a partir de malezas*. Villa María.
- Novozymes. (s.f.). *Cellic® CTec2 and HTec2 - Enzymes for hydrolysis of lignocellulosic materials*. Obtenido de <http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/chair/chem010/manual/Ctec2.pdf>
- Páez, L., & otros. (2016). *La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación*. Universidad del Tolima.
- Pairetti, & Villalba. (2022). *Obtención de almidón acetilado a partir de afrechillo de arroz*. Villa María.
- Pérez, O. (2016). *Oportunidad de producción de ácido cítrico por vía fermentativa a partir de sustratos azucarados*.
- Pinilla, & Llanos. (2014). *Control de calidad en la producción de bioetanol a partir de material lignocelulósico*.
- Piñeros Castro, Y. (2014). *Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica, algunas experiencias de investigación en Colombia*. Bogotá, Colombia: Académica.
- Prescott, H. &. (2004). *Microbiología*. Madrid.
- Rodriguez Almarza, M. B. (2007). *Determinación de la composición química y propiedades físicas y químicas del pulido de arroz*. Chile.
- Sarmiento, & Allasia. (2016). *Producción de ácido hialurónico por fermentación microbiana*. Villa María.
- Soria, M. A. (1997). *Producción de ácido cítrico y desarrollo morfológico en miembros del género Aspergillus*. Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina .
- Velásquez, & otros. (2010). *Obtención de ácido cítrico por fermentación con Aspergillus Niger utilizando sustrato de plátano dominico maduro*. Tumbaga.
- Zarate, & Mangini. (2011). *Fermentación de la maleza para la obtención de ácidos orgánicos*.

# ANEXO I

---

*Control de calidad*

## 19 ANEXO I: CONTROL DE CALIDAD

### 19.1 DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO (TP-01)

#### 19.1.1 Materiales y reactivos

- Ácido clorhídrico (HCl) concentrado.
- Solución de ioduro de potasio (KI): disolver 15 gramos de ioduro de potasio en 100 ml de agua, guardar la solución en frasco de color ámbar, con tapón esmerilado.
- Solución de cloruro estanoso ( $\text{SnCl}_2$ ): disolver 40 gramos de cloruro estanoso exento de arsénico en 100 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado.
- Solución de acetato de plomo: disolver 10 gramos de  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$  en 100 ml de agua.
- Solución dietil ditio carbamato de plata ( $\text{AgSCSN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ): Disolver 1 gramo del compuesto en 200 ml de piridina ( $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ ), guardar esta solución en frasco color ámbar.
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 1N: disolver 40 gramos de NaOH en agua y aforar a 1 litro.
- Granalla de Zinc de 20 a 30 mallas libre de arsénico.
- Solución madre de arsénico: disolver 1.32 gramos de trióxido de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) en 100 ml de NaOH 1N y aforar a 1 litro; 1ml de esta solución equivale a 1 mg de arsénico.
- Solución intermedia de arsénico: disolver 5 ml de la solución madre en 500 ml con agua; 1 ml de esta solución equivale a 1 kg de arsénico.

#### 19.1.2 Aparatos y equipos

- Espectrofotómetro para usarse a 535 nm provisto de un paso de luz de 1 cm o colorímetro de filtro verde con un intervalo de transmitancia de 530-540 nm y celdas de 1 cm.
- Generador Gutzeit de arsina y tubo de absorción.
- Fibra de vidrio.

### 19.1.3 Procedimiento

#### 19.1.3.1 Curva de calibración

Primero se debe realizar la curva de calibración, para luego cargar la misma en el quipo espectrofotométrico. Para ellos, se toman distintos volúmenes de la solución patrón y se diluyen con agua (35ml), tratándolas de igual manera que las muestras. Luego se grafican las lecturas obtenidas contra las respectivas concentraciones de arsénico.

#### 19.1.3.2 Muestra

1. Diluir 10 gramos de ácido cítrico en 100 ml de agua. Tomar 35 ml de muestra y agregar 2 ml de la solución de KI y 0,4 ml de la solución de SnCl<sub>2</sub>. Agitar cuidadosamente y dejar reposar 15 minutos para que el arsénico se reduzca a estado trivalente.
2. Impregnar la fibra de vidrio con la solución de acetato de plomo y colocarla en el limpiador.
3. Montar el aparato generador de arsina. Medir con pipeta 4 ml de reactivo dietil ditio carbamato de plata en el tubo absorbente.
4. Agregar 3 gramos de zinc metálico en el frasco generador e inmediatamente conectarlo al tubo limpiador asegurándose que estén herméticamente unidos.
5. Dejar durante 30 minutos que se genere la arsina, calentando los primeros 15 minutos de 303K a 308K (30 a 35°C), enfriar gradualmente el matraz generador. Verter la solución del tubo absorbedor a una celda y medir la absorbancia de la solución a 535 nm usando un testigo como referencia.

Nota: El blanco se realiza con agua y se corre de igual manera que las muestras.

#### 19.1.3.3 Cálculo

Las concentraciones de arsénico se calculan por medio de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{A * 1mg}{M * 1000\mu g}$$

Donde:

$$C = \text{Concentración de arsénico en } \frac{mg}{kg} \text{ (ppm)}$$

$A = \text{Cantidad de arsénico leído en la curva } (\mu\text{g})$

$M = \text{Cantidad de muestra (kg)}$

## 19.2 DETERMINACIÓN DE CLORUROS (TP-02)

Este análisis se basa en el método de Mohr, el cual se apoya en las distintas solubilidades del Ag Cl y el  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ . Si tenemos una disolución de cloruros y le agregamos unas gotas de cromato (indicador), al adicionar iones plata se formará primero un precipitado blanco de cloruro de plata y cuando todos los iones cloruro hayan precipitado, una gota en exceso de nitrato de plata reaccionará con el cromato dando un precipitado rojo (punto final).

### 19.2.1 Reactivos

- Disolución de  $\text{AgNO}_3$  0.05N: Pesar 8.4944 g de nitrato de plata, disolver en agua y aforar a 1 litro.
- Disolución de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  al 5% (p/v).
- Disolución de ácido acético al 5%(v/v).
- Disolución de carbonato cálcico al 5%(p/v).

### 19.2.2 Procedimiento

1. Pesar en balanza analítica entre 0.3 y 0.5 gramos de muestra y pasar a un matraz aforado de 100 ml.
2. Añadir agua destilada y aforar el matraz.
3. Pipetear 25 ml de solución en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y diluir con agua destilada hasta aproximadamente 100 ml.
4. Ajustar el pH entre 6 y 10, con carbonato cálcico o ácido acético, según convenga.
5. Agregar 5 o 6 gotas de indicador (disolución de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ).
6. Valorar con la disolución de  $\text{AgNO}_3$  hasta la aparición de un precipitado rojo.
7. Repetir la valoración una vez más.
8. Calcular el porcentaje en iones cloruro según la ecuación:

$$\%Cl = \frac{V1 * F * N * Eq * Vo * 100}{1000 * V * a}$$

$V_1 = ml$  consumidos en la valoración.

$N: 0,05$ .

$F =$  Factor de la disolución valorante.

$V_0 =$  Volumen al que se diluyó la muestra (100ml).

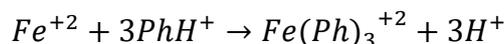
$V =$  Volumen utilizado para la valoración (25ml).

$E_q =$  Peso equivalente de  $Cl^-$  : Peso molecular de 35,5.

$a =$  Peso de la muestra en gramos.

### 19.3 DETERMINACIÓN DE HIERRO (TP-03)

Un método excelente y muy sensible para la determinación de hierro se basa en la formación de un complejo rojo-naranja de hierro (II) con o-fenantrolina. La o-fenantrolina es una base débil; en disolución acidificada, la principal especie es el ion fenantrolina  $PhH^+$ . Así, la reacción de formación del complejo se describe según la siguiente ecuación:



La constante de equilibrio de esta reacción es de  $2.5 \cdot 10^6$  a  $25^\circ C$ . La formación cuantitativa del complejo se observa en el margen de pH comprendido entre 2 y 9. Se recomienda un pH próximo a 4 para evitar la precipitación de diversas sales de hierro como puede ser el fosfato.

Al utilizar o-fenantrolina para analizar el hierro, se añade un exceso de reductor a la disolución para mantener el hierro en estado (+II)-, para este fin sirve la hidroquinona así como el clorhidrato de hidroxilamina. Una vez formado el color del complejo, es estable durante largos períodos de tiempo.

Determinados iones interfieren en el análisis del hierro, y, por lo tanto, no interesan que estén presentes. Estos generalmente son iones coloreados, la plata y el bismuto que precipitan con el reactivo y el cadmio, mercurio y zinc que forman complejos solubles incoloros con el reactivo y rebajan la intensidad del color. En ciertas condiciones el molibdeno, tungsteno, cobre, cobalto, níquel y estaño pueden también interferir. El experimento puede realizarse con un espectrofotómetro y el rango óptimo de encuentra entre 500 y 520nm.

### 19.3.1 Diluciones especiales

- Clorhidrato de hidroxilamina al 10%: Se disuelven 10 gramos de  $\text{H}_2\text{NOH} \cdot \text{HCl}$  en unos 100 ml de agua.
- Buffer de pH 4.
- O-fenantrolina 0.3% del monohidrato en agua. Se pueden agregar algunas gotas de ácido nítrico diluido para ayudar a disolver la fenantrolina. Se guarda en lugar oscuro. Se rechaza el reactivo cuando comience a tomar color.
- Disolución patrón de hierro 0.1 mg de Fe/ml: Se disuelven 0.14 gramos de  $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , calidad reactiva para análisis en 50 ml de agua que contenga 1 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se pasa a un matraz aforado y se diluye 200ml exactamente.

### 19.3.2 Preparación de la curva de calibración

1. Se coloca una alícuota de 2 ml de la disolución patrón de hierro en un vaso de precipitado y se agregan 2 ml de hidroxilamina.
2. Se ajusta el pH de esta solución a 4 con un pHímetro, agregando solución buffer de pH 4 y ajustando con la ayuda de HCl o NaOH diluido.
3. Se lleva cuantitativamente esta solución a un balón de 100 ml y se agrega 3 ml de la disolución de la o-fenantrolina. Se diluye hasta la marca.
4. Se limpian las cubetas del instrumento, se lava con la disolución del complejo y a continuación se llenan.
5. Se lava y se llena la segunda cubeta con una disolución en blanco, que contiene todos los reactivos menos el hierro.
6. Se secan con cuidado las paredes de la cubeta y se colocan en el instrumento.
7. Se realiza un barrido de absorbancia en función de la longitud de onda del patrón en contraste con la prueba en blanco.
8. Se preparan tres patrones más, como mínimo, dentro del intervalo lineal del equipo y se traza la curva de calibración del instrumento.

### 19.3.3 Análisis de la muestra

1. Se pone en un vaso de precipitado una alícuota de 5 ml de la muestra, se ajusta el pH de esta solución de la misma manera como se llevó a cabo para preparar los patrones de curva de calibración.
2. Se lleva cuantitativamente esta solución a un balón de 100 ml y se agregan 3 ml de la disolución de la o-fenantrolina y se enrasa y mide la absorbancia.
3. Se repite el análisis, de ser necesario, utilizando cantidades de muestra que den una absorbancia dentro del intervalo de la curva de calibración.
4. Se calculan los miligramos de hierro por litro de disolución de la muestra.

#### Notas:

- La intensidad del color del complejo de hierro es independiente del pH, en rango de 2 a 9.
- L o-fenantrolina en solución se descompone fácilmente, se recomienda su preparación el mismo día para asegurar la formación del complejo.
- El hierro debe estar en estado de oxidación (+II), el agente reductor se debe adicionar antes de desarrollar el color. Se puede utilizar hidroxilamina, en forma de cloruro:



- Se deben esperar 10 minutos para que se desarrolle la máxima intensidad de color antes de realizar la medición de la absorbancia.
- Debido a la interferencia del Cu no se puede determinar el hierro en bronce o latón.

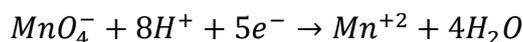
### 19.4 DETERMINACIÓN DE MERCURIO (TP-04)

Método por espectrofotometrías por absorción atómica utilizando generador de hidruros en frío. Esta técnica analítica es realizada en un laboratorio externo debido al costo del equipamiento a utilizar para la obtención de la información.

### 19.5 DETERMINACIÓN DE PLOMO (TP-05)

Método por espectrofotometría por absorción atómica utilizando una llama de aire-acetileno. Al igual que en la determinación de mercurio, esta técnica se realiza en un laboratorio externo por la misma causa.

### 19.6 DETERMINACIÓN DE OXALATOS (TP-06)



#### 19.6.1 Reactivos

- Solución de  $KMnO_4$  0.1N: Pesar cerca de 3.6 gramos de  $KMnO_4$ , colocarlos en un matraz erlenmeyer de boca ancha de 1 litro. Llenar el erlenmeyer hasta 800 ml. Disolver el sólido y hervir por 5 minutos. Llevar con agua destilada hasta un volumen de 900 ml. Colocar un cristal de reloj encima de la boca del Erlenmeyer y calentar la solución a ebullición por 5 minutos. Enfriar y guardar en la oscuridad hasta el próximo análisis.
- Solución de  $H_2SO_4$  0.75M: Verter 55 ml de ácido sulfúrico concentrado sobre 900 ml de agua en un matraz volumétrico de 1 litro. Dejar enfriar y completar 1 litro con agua y agitar la solución.

#### 19.6.2 Procedimiento

1. Disolución de la muestra: pesar 0.25 gramos de la muestra (por triplicado) y disolver con 250 ml de ácido sulfúrico 0.75M. Usar agitador magnético.
2. Titulación de la muestra: Calentar la muestra a una temperatura de entre 85-90°C (usar termómetro y no dejar enfriar la solución). Llevar a bureta con la solución de  $KMnO_4$ . Agitar la muestra y dejar caer una gota de esta solución desde la bureta sobre la muestra. Agitar continuamente hasta que desaparezca el color violeta de la solución de oxalato. Luego se continúa agregando gota a gota la solución de  $KMnO_4$ .
3. El punto final de la titulación se obtiene cuando la solución adquiere un color violeta claro que persiste por más de un minuto.

4. Titulación del blanco: El blanco tiene todos los reactivos en las mismas cantidades, menos el analito. Se titula de la misma manera que la muestra desconocida.

### 19.6.3 Cálculos

$$\%Oxalatos = \frac{(V_1 - V_b) * N * PE}{P_m}$$

$V_1$  = ml de  $KMnO_4$  gastados en la solución.

$V_b$  = ml de  $KMnO_4$  gastados en el blanco.

$N$  = Normalidad de la solución de  $KMnO_4$ .

$PE$  = Peso de un meq de  $H_2C_2O_4$   $\left(\frac{meq}{g}\right)$ .

$P_m$  = Peso de la muestra.

## 19.7 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PUREZA (TP-07)

El porcentaje de pureza de una sustancia se puede obtener a partir del volumen de una solución de normalidad conocida.

### 19.7.1 Reactivos

- Disolución de NaOH 0.1N.
- Patrón primario de ftalato de ácido de potasio para normalizar la solución titulante de NaOH.
- Azul de bromotimol 0.04% usado como indicador. La selección de este indicador se basó en que su intervalo de pH es adecuado para la determinación de ácido cítrico.

### 19.7.2 Procedimiento

1. Pesar en balanza analítica 5 gramos de la muestra y disolver con agua hasta 50 ml en matraz aforado, luego trasvasar a erlenmeyer.
2. Agregar una pequeña cantidad de indicador a la muestra anterior (la disolución de color amarillo).

3. Llenar una bureta con la solución de NaOH y valorar con este titulante agregando gota a gota lentamente y con agitación hasta el cambio de color amarillo a azul.
4. Anotar el volumen de titulante gastado, tal valoración se realiza por duplicado.
5. Cada vez que sea necesaria la preparación de la solución de NaOH y de manera periódica se controlará la normalidad de dicho titulante empleando el patrón primario de ftalato ácido de potasio.

### 19.8 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD- MÉTODO KARL FISHER (TP-08)

El método Karl Fisher se utiliza como referencia para numerosas sustancias. Se trata de un procedimiento de análisis químico basado en la oxidación de dióxido de azufre con yodo en una solución de hidróxido metílico. En principio, tiene lugar la siguiente reacción química:



#### 19.8.1 Procedimiento

La valoración puede realizarse por determinación coulométrica o coulométrica.

1. La primera determinación se emplea cuando el contenido de humedad de la muestra es mayor a 10%. Para la determinación de cantidades menores, dentro del margen de la ppm y hasta un 10% (como lo es el caso del AC), es conveniente utilizar en análisis por coulometría.
2. En el método coulométrico, el yodo que toma parte en la reacción se genera directamente en la célula de valoración por oxidación electroquímica de yoduro hasta que se detecta una traza de yodo sin reaccionar. Puede utilizarse la Ley de Faraday para calcular la cantidad de yodo generado a partir de la cantidad de electricidad consumida. Para realizar esta medición se emplea un coulómetro C20 KF compact, marca Metler, cuyo rango de medición es de  $10\mu g$  a 200 mg.

## 19.9 DETERMINACIÓN DE CENIZAS SULFATADAS (TP-09)

### 19.9.1 Procedimiento

1. En un crisol de masa constante pesar 10 gramos de la muestra previamente homogeneizada y diluida con agua hasta una concentración del 50% p/p.
2. Agregar gota a gota 8 ml de ácido sulfúrico concentrado ( $r=1.84\text{g/ml}$ ) procurando humectar toda la muestra.
3. Calentar el crisol en el mechero Bunsen hasta la carbonización completa de la muestra.
4. Transferir el crisol a la mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  hasta aparente ausencia de carbón.
5. Retirar el crisol de la mufla, dejar enfriar y humedecer con unas gotas de ácido sulfúrico para resulfatar.
6. Colocar nuevamente el crisol en la mufla, ahora a  $650^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante.
7. Determinar la masa del crisol (conteniendo las cenizas) en la balanza analítica.

### 19.9.2 Cálculo

$$\% \text{Cenizas sulfatadas} = \frac{(M_1 - M_2) * 100}{M}$$

$M_1$  = Masa del crisol conteniendo las cenizas (g).

$M_2$  = Masa del crisol vacío (g).

$M$  = Masa de la muestra (g).

El desarrollo de todas las técnicas explicadas anteriormente fue extraído de (Mangini & Zárate, 2011).

# ANEXO II

---

## *Planimetría*

## **20 ANEXO II: PLANIMETRÍA**

---

**20.1 PLANO 1: ISOMÉTRICO DE PLANTA**

**20.2 PLANO 2: CORTE DE PLANTA**

**20.3 PLANO 3: DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS INTERNOS**

**20.4 PLANO 4: DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS EXTERNOS**

**20.5 PLANO 5: SERVICIOS AUXILIARES**

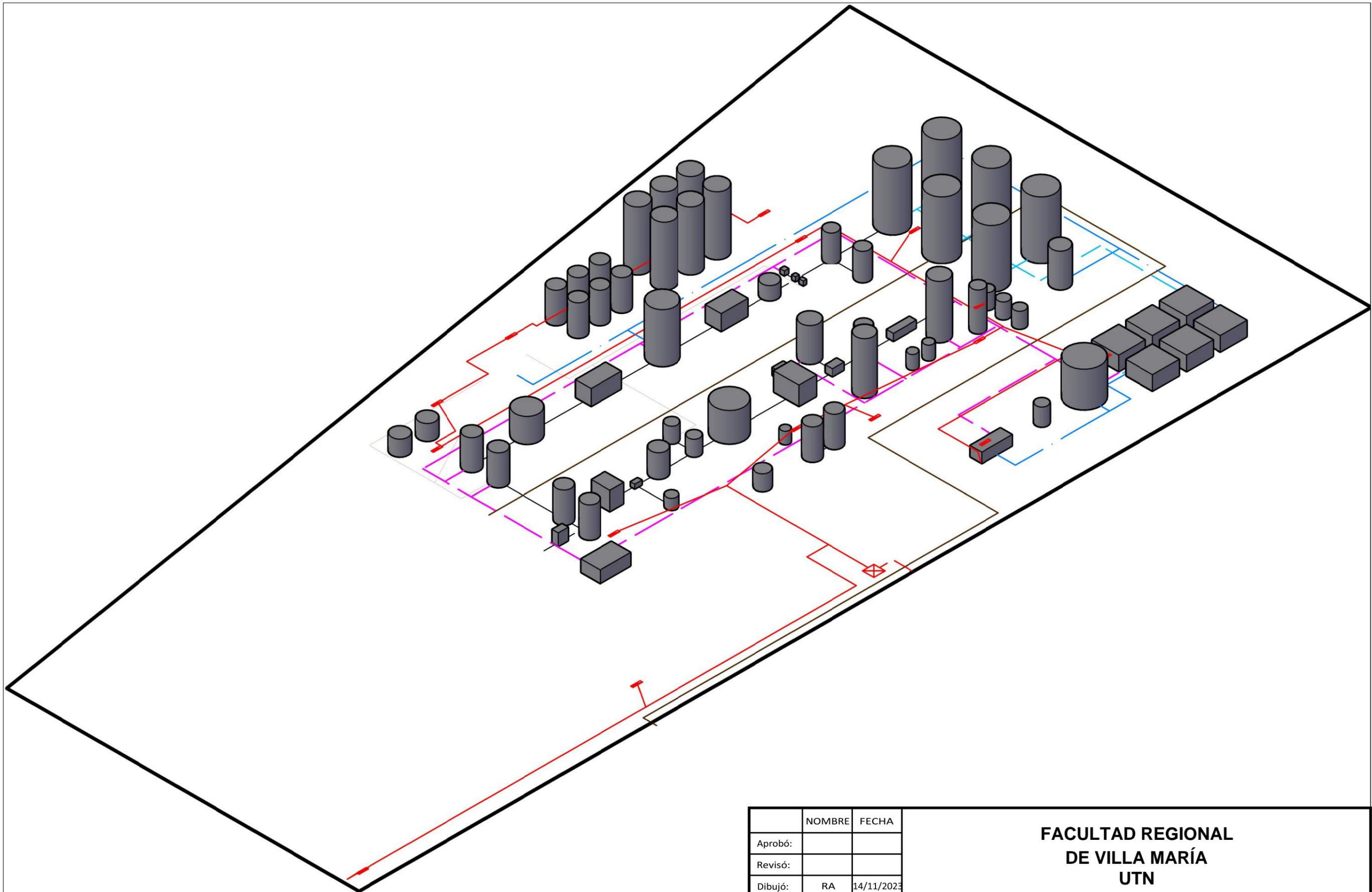
**20.6 PLANO 6: DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS**

**20.7 PLANO 7: FLOW SHEET**

**20.8 PLANO 8: FLOW SHEET TABLA CORRIENTES**

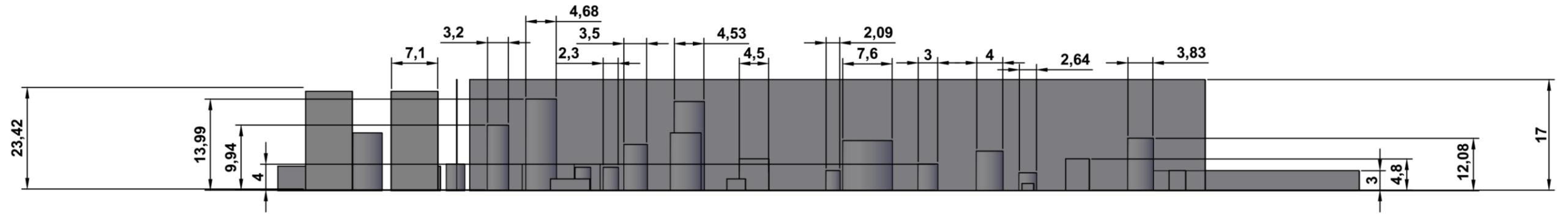
**20.9 PLANO 9: FERMENTADOR**

**20.10 PLANO 10: REACTOR EXPLOSIÓN DE VAPOR**

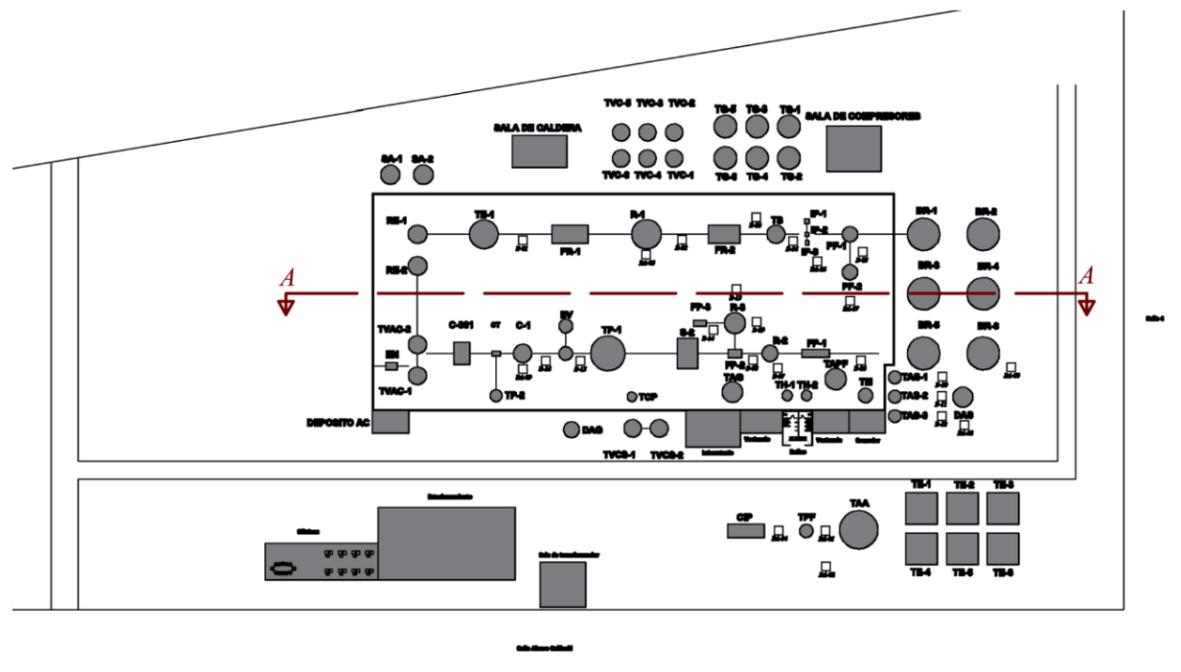


	NOMBRE	FECHA	<b>FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN</b>	
Aprobó:				
Revisó:				
Dibujó:	RA	14/11/2023		
Escala: S/N	Título: <b>PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO</b> <b>VISTA ISOMETRICA DE PLANTA</b>			Formato: A3
				Hoja: 1 de 10
	PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		AREA:	Archivo digital:

Vista Corte A-A



Vista Superior



Escala 1:1000

**Nota: Todas las medias se expresan en metros.**

		FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN	
Aprobó:			
Revisó:			
Dibujó:	RA	13/11/2023	
Escala: 1:400	Titulo: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		Formato: A3
	Cortes de Planta		Hoja: 2 de 10
PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		AREA: PLANTA	Archivo digital: MAQUETA.dwg

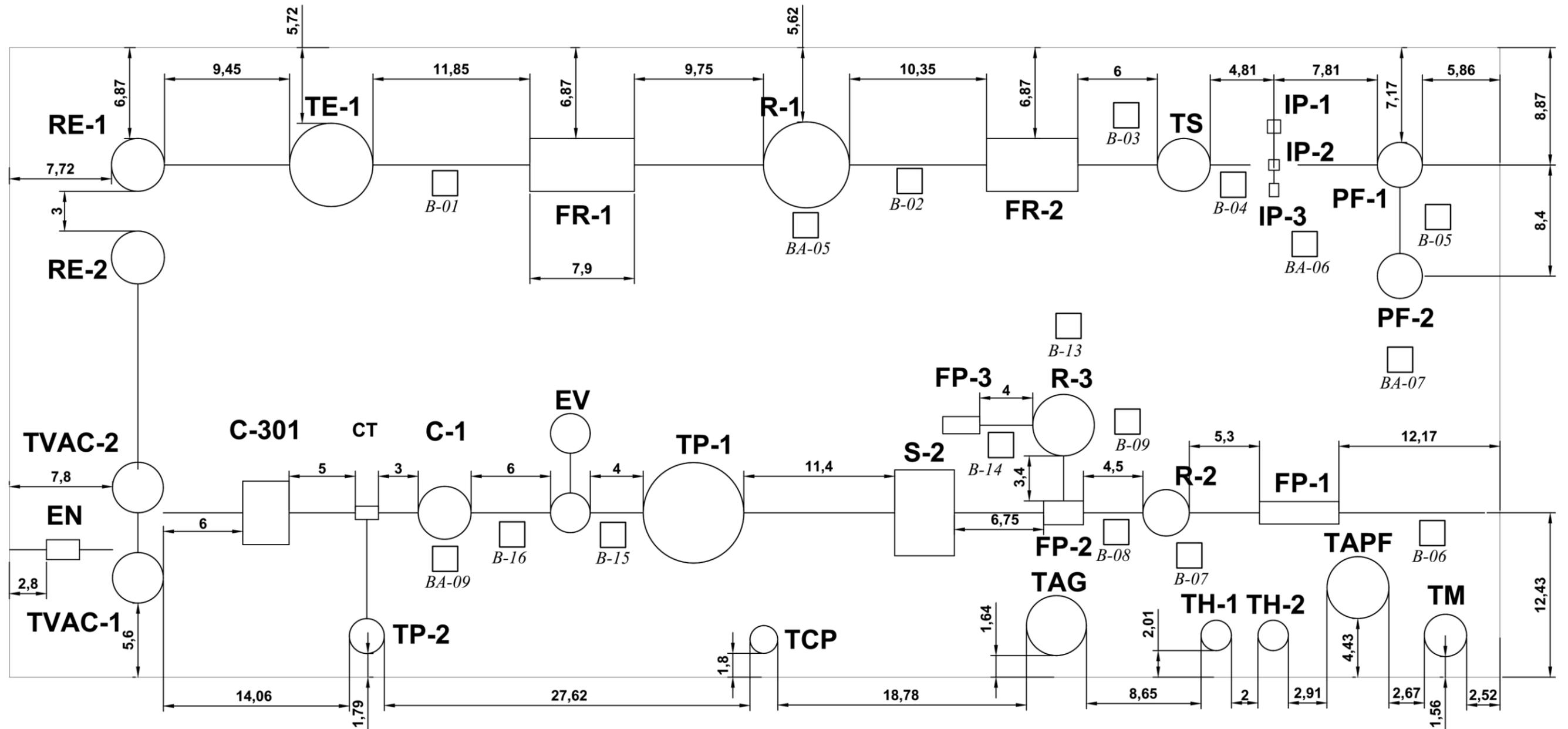


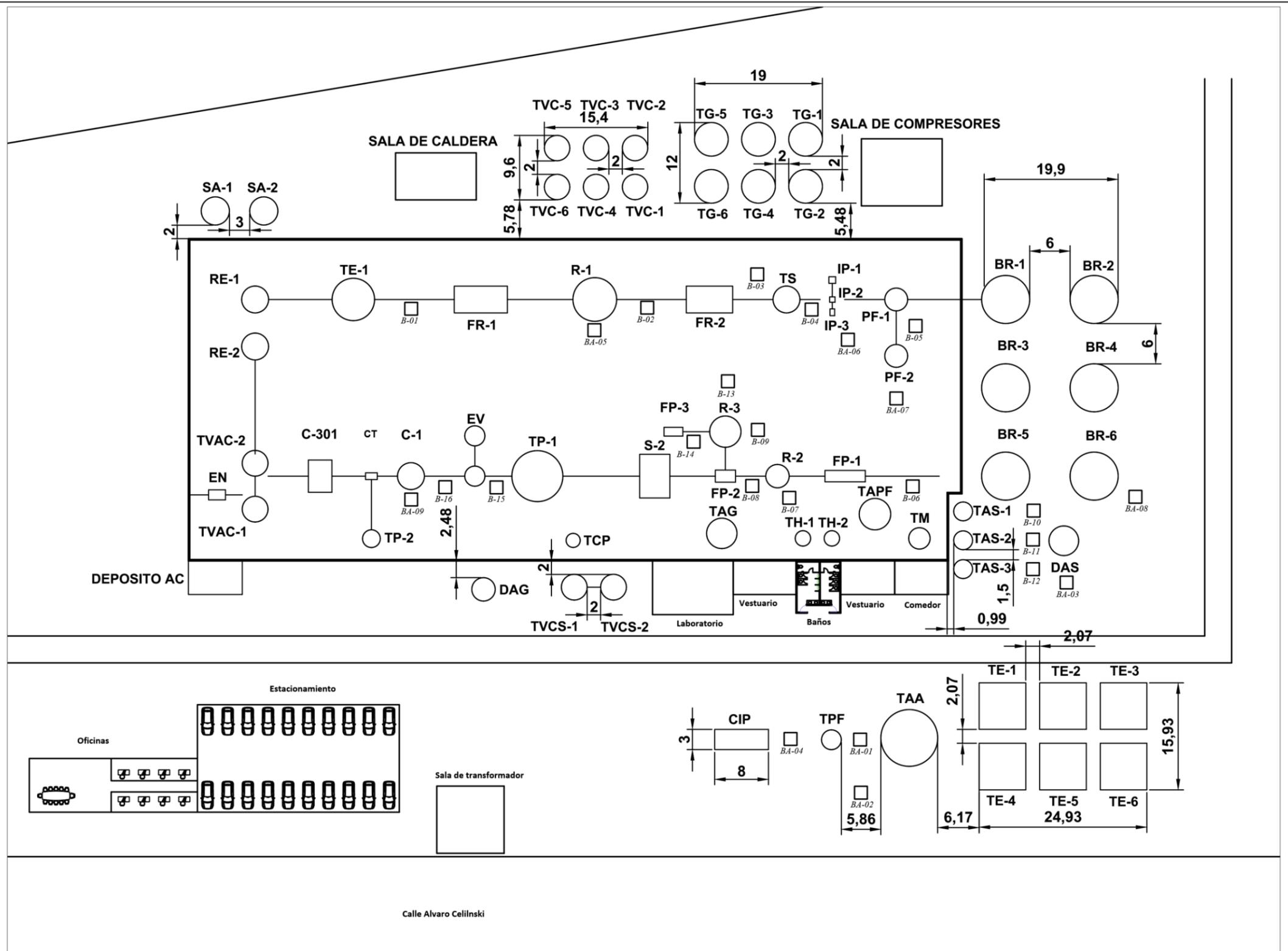
Tabla 2

TAG	Dimensiones	TAG	Dimensiones	TAG	Dimensiones
TM	D 3,2	FP-3	2,8 X 1,3	TE-1	D 6,3
TAPF	D 4,68	S-2	4,5 X 6,5	FR-1	7,9 X 4
TH-1	D 2,3	TP-1	D 7,6	R-1	D 6,5
TH-2	D 2,3	EV-1	D 3	FR-2	6,72 X 4
TAG	D 4,53	EV-2	D 3	TS	D 4
TCP	D 2,1	C-1	D 4	IP-1	1 X 1
TP-2	D 2,64	CT	1,75 X 1	IP-2	1 X 0,8
FP-1	6 X 1,7	TVAC-1	D 3,83	IP-3	0,8 X 1,3
R-2	D 3,5	TVAC-2	D 3,83	PF-1	D 3,4
FP-2	3 X 1,8	RE-1	D 4	PF-2	D 3,4
R-3	D 4,65	RE-2	D 4		

Nota: Todas las medias se expresan en metros.

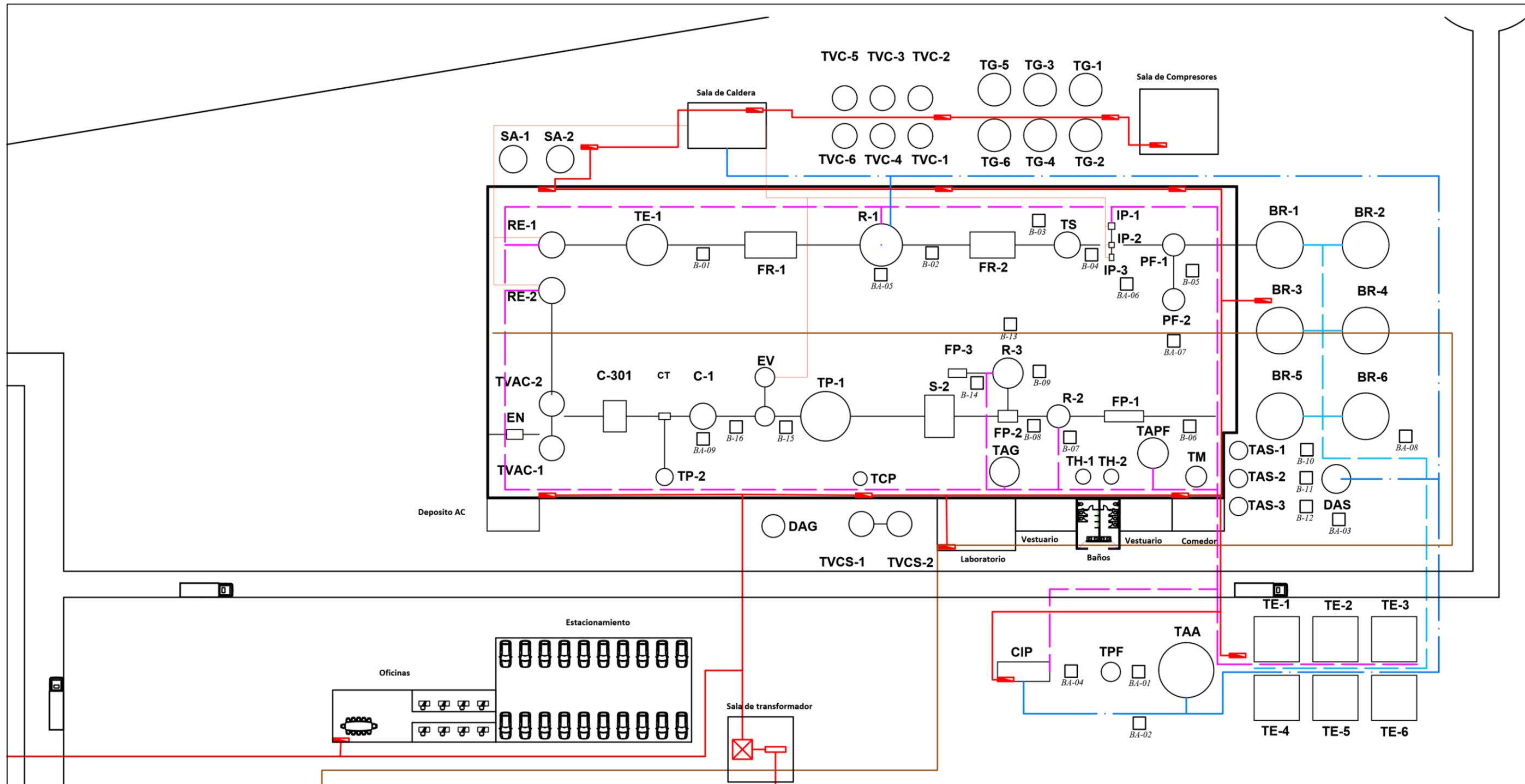
		<b>FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN</b>	
Aprobó:			
Revisó:			
Dibujó:	AS	13/11/2023	
Escala: 1:250	Titulo: <b>PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO DISTRIBUCION DE EQUIPOS INTERNOS</b>		Formato: A3
			Hoja: 3 de 10
PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		AREA: <b>interna</b>	Archivo digital: <b>MAQUETA.dwg</b>

Tabla 1	
TAG	Dimensiones
SA-1	D 4,2
SA-2	D 4,2
TVC-1	D 3,8
TVC-2	D 3,8
TVC-3	D 3,8
TVC-4	D 3,8
TVC-5	D 3,8
TVC-6	D 3,8
TG-1	D 5,0
TG-2	D 5,0
TG-3	D 5,0
TG-4	D 5,0
TG-5	D 5,0
TG-6	D 5,0
BR-1	D 7,15
BR-2	D 7,15
BR-3	D 7,15
BR-4	D 7,15
BR-5	D 7,15
BR-6	D 7,15
DAS	D 4,4
TAS-1	D 2,8
TAS-2	D 2,8
TAS-3	D 2,8
TE-1	6,93 X 6,93
TE-2	6,93 X 6,93
TE-3	6,93 X 6,93
TE-4	6,93 X 6,93
TE-5	6,93 X 6,93
TE-6	6,93 X 6,93
TAA	D 8,45
TPF	D 2,95
CIP	3 X 8
TVCS-1	D 3,83
TVCS-2	D 3,83
DAG	D 3,5



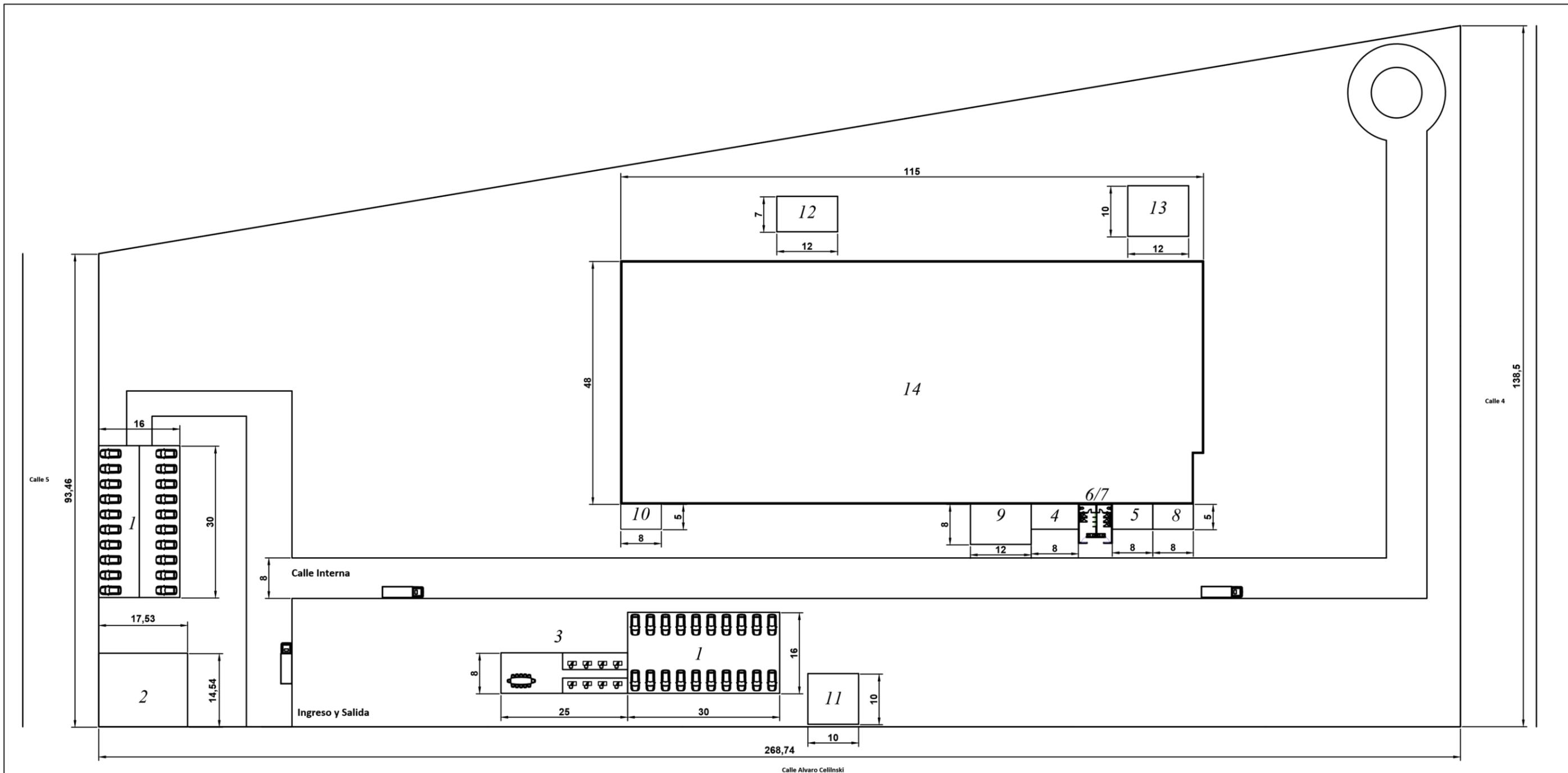
**Nota: Todas las medias se expresan en metros.**

NOMBRE		FECHA		FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN		
Aprobó:						<b>PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO</b> <b>DISTRIBUCION DE EQUIPOS EXTERNOS</b>
Revisó:				Formato: A3		
Dibujó:	RA	13/11/2023		Hoja: 4 de 10		
Escala: 1:500	Titulo:			PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO AREA: Equipos General		
				Archivo digital: MAQUETA.dwg		

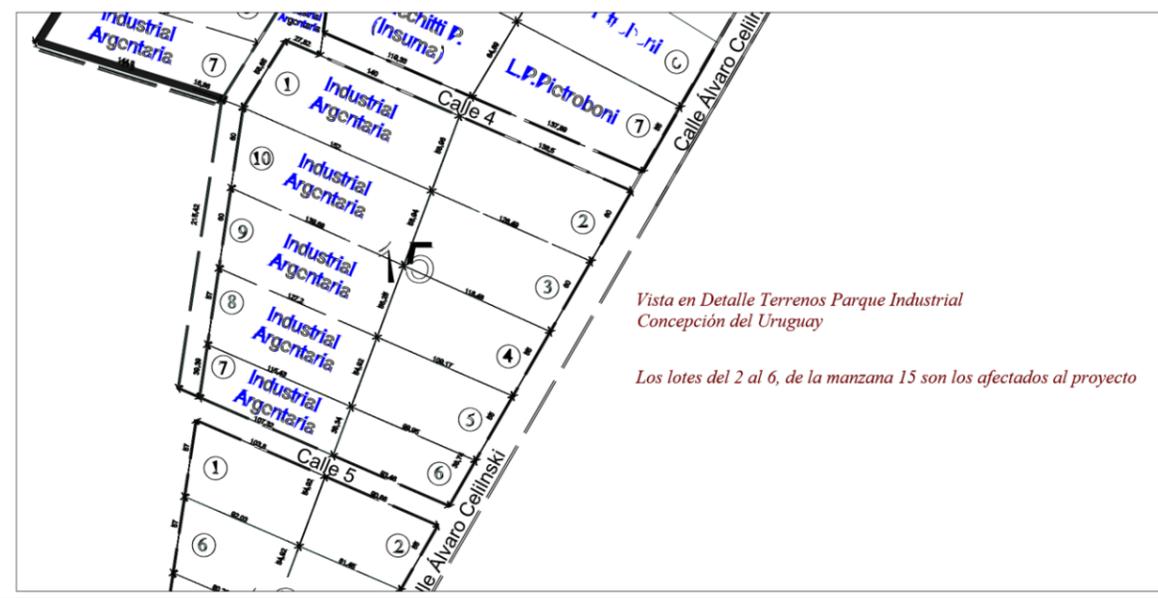


REFERENCIAS	
Agua	
Agua de enfriamiento	
Agua de proceso	
Cloaca	
CIP	
Vapor	
Electricidad	
Tablero Seccional	
Transformador	
Tablero general	

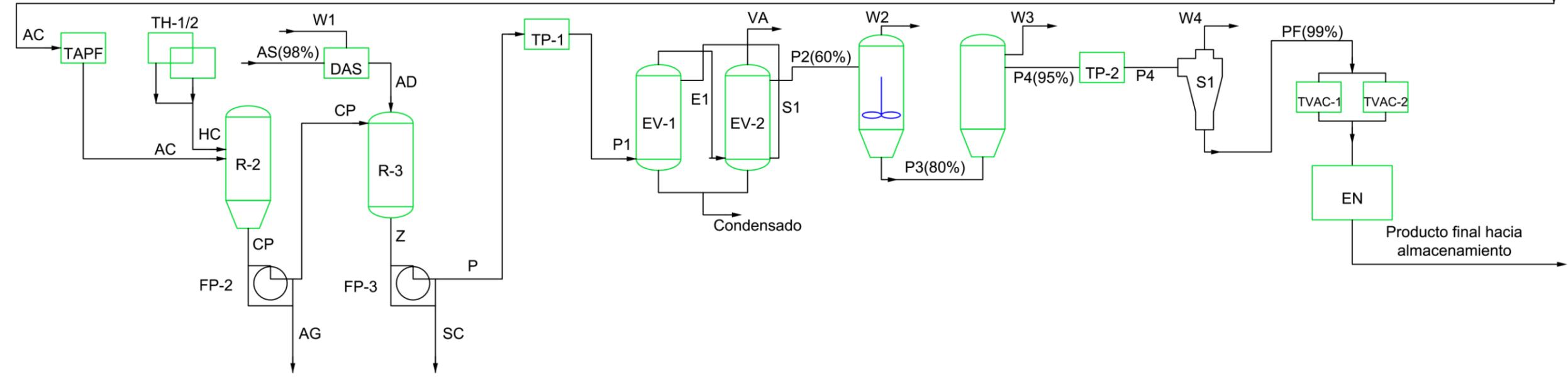
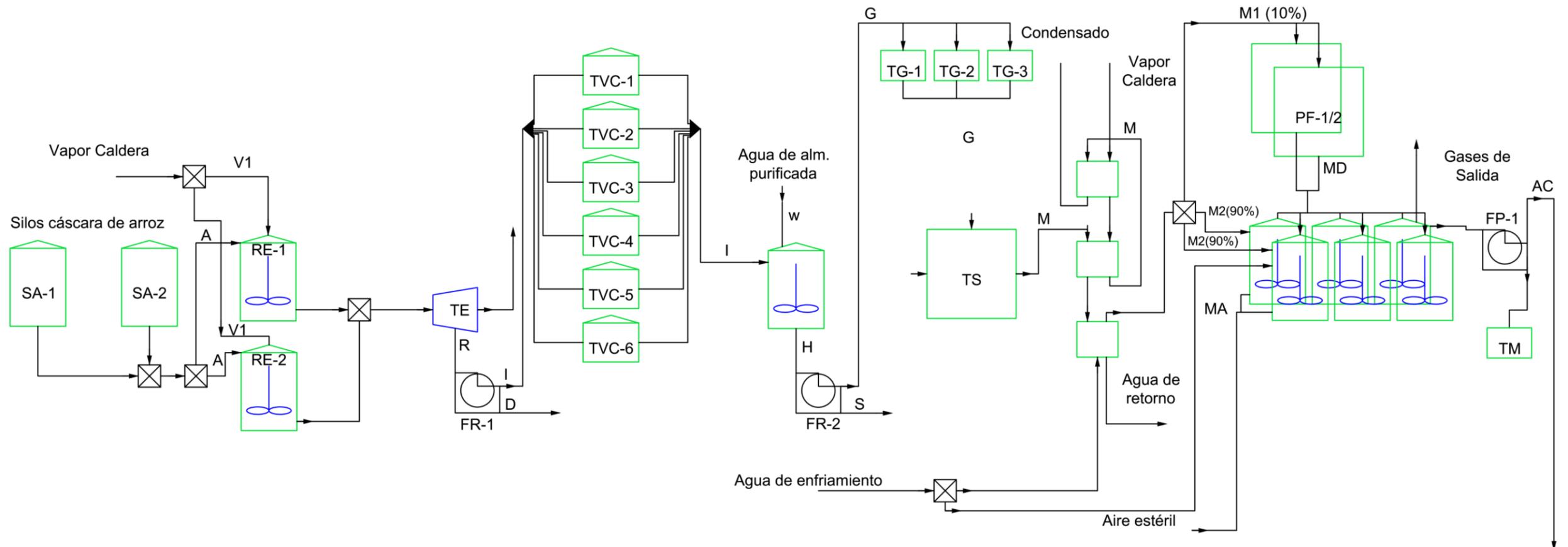
NOMBRE		FECHA		<b>FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN</b>	
Aprobó:					
Revisó:					
Dibujó:	AS	16/11/2023			
Escala: S/N	Título: <b>PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO DIAGRAMA SERVICIOS</b>			Formato: A2	
PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO AREA: GENERAL				Hoja: 5 de 10	
				Archivo digital: MAQUETA.dwg	



Edificio	Sector	Área	Área total
1	Estacionamientos	480m2	960m2
2	Portería	254,88m2	254,88m2
3	Administración	200m2	200m2
4	Vestuarios Damas	40m2	40m2
5	Vestuarios Caballeros	40m2	40m2
6	Baños Damas	12m2	12m2
7	Baños Caballeros	12m2	12m2
8	Comedor	40m2	40m2
9	Laboratorio	96m2	96m2
10	Depósito AC	40m2	40m2
11	Sala de transformador	100m2	100m2
12	Sala de caldera	84m2	84m2
13	Sala de compresores	120m2	120m2
14	Producción producto principal	5520m2	5520m2
<b>Total superficie cubierta</b>			<b>7518,88m2</b>



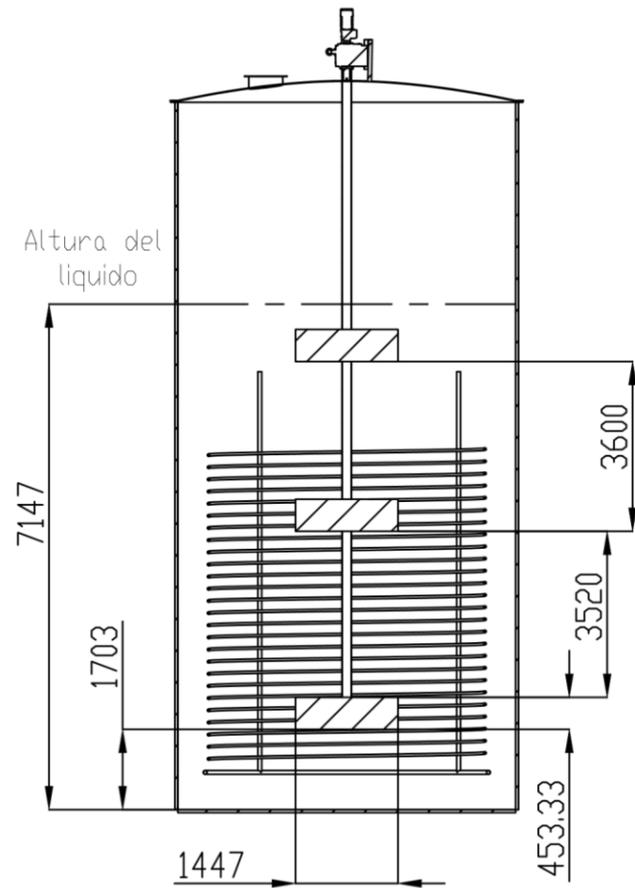
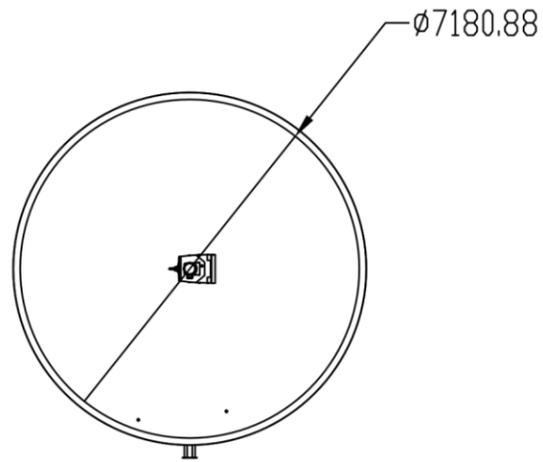
NOMBRE		FECHA		<b>FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN</b>	
Aprobó:					
Revisó:					
Dibujó:	AS	16/11/2023			
Escala:	Título:			<b>PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO DISTRIBUCION DE AREAS</b>	
1:400					
PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO AREA: GENERAL				Formato: A2	
				Hoja: 6 de 10	
				Archivo digital: MAQUETA.dwg	



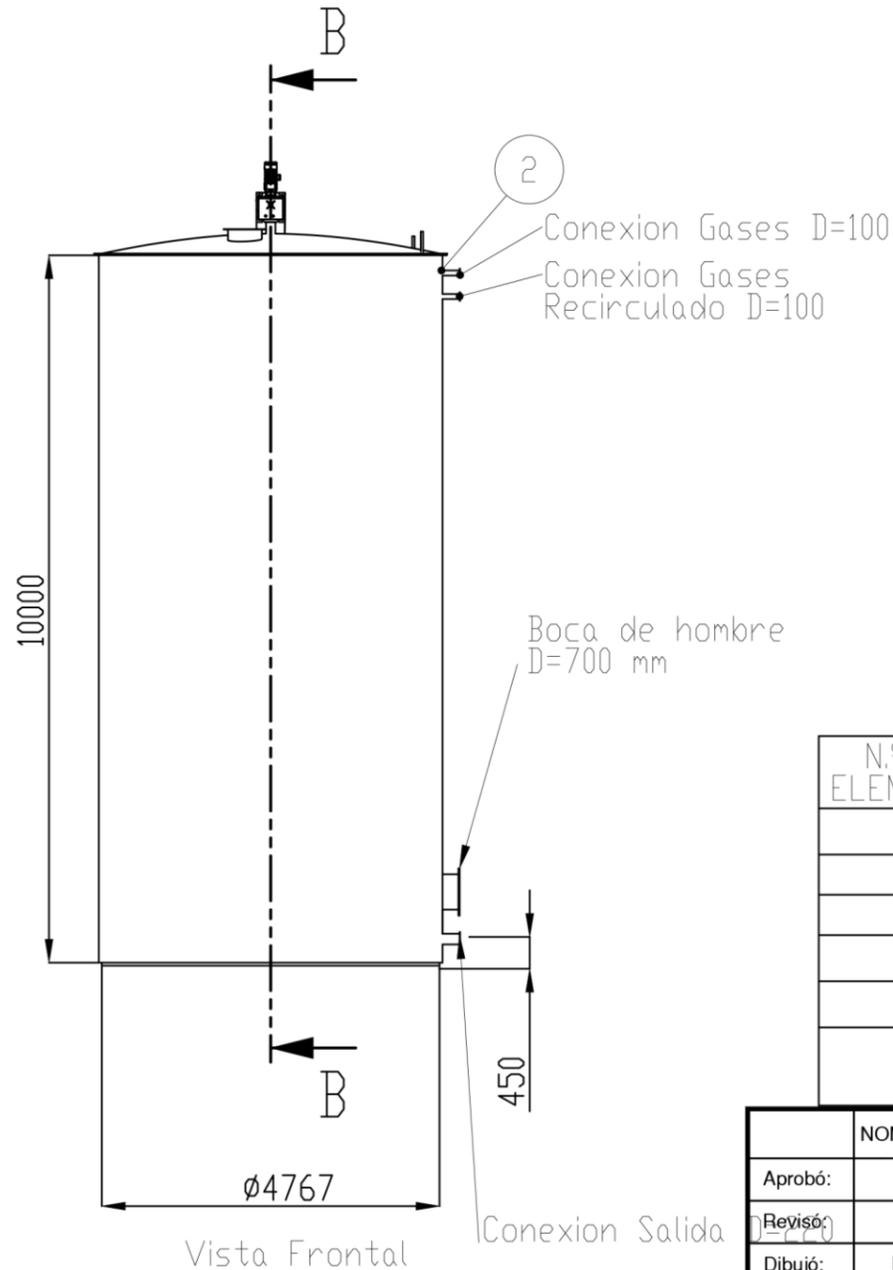
		NOMBRE	FECHA	<b>FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN</b>			
Aprobó:							
Revisó:							
Dibujó:		RA	13/11/2023				
Escala: S/N		Título: <b>PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO FLOW SHEET</b>			Formato: A3		
					Hoja: 7 de 10		
		PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO AREA: PRODUCCIÓN			Archivo digital: <b>flow-sheet.dwg</b>		

Corrientes de proceso					
ID	Detalle	Caudal másico (kg)	Temp. entrada(°C)	Temp. salida(°C)	Presión (atm)
A	Cáscara de arroz	131687,50	25	-	1
V1	Vapor de agua	105350,00	121	-	2
V2	Vapor de agua	28532,29	-	75	2
R	Sólidos	208505,21	-	70	1
I	Sólidos insolubles	76762,53	-	30	1
D	Sólidos solubles y agua	131742,68	-	30	1
W	Agua	262364,39	25	-	1
H	Hidrolizado	339126,92	25	45	1
S	Impurezas	632627,00	-	28	1
G	Solución de glucosa	333090,36	-	28	1
AF	Agua de enfriamiento	581240,16	5	28	1
VC	Vapor de caldera	35605,31	121	121	2
N	Sales y nutrientes	1122,73	25	-	1
M	Medio de cultivo	334213,09	25	30	1
M1	Medio de cultivo (10% de M)	33421,31	30	-	1
ML	Cultivo de laboratorio	43,00	25	-	1
MD	Mosto desarrollado	33464,31	-	27	1
M2	Medio de cultivo (90% de M)	300791,78	30	-	1
MA	Aire	695715,19	25	-	1
GS	Gases	697566,76	-	27	1
MF	Mosto fermentado	332404,53	-	27	1
C	Micelio	80962,07	-	25	1
AC	Ácido cítrico	251442,46	-	25	
HC	Hidróxido de calcio	12424,72	25	-	1
CC	Citrato de calcio precipitado	263867,18	-	25,15	1
AG	Agua y glucosa	229951,06	-	25	1
CP	Citrato de calcio	33916,12	-	25	1
AS	Ácido sulfúrico concentrado	-	25	-	1
AD	Ácido sulfúrico diluido	20431,39	26	-	1
W1	Agua	81988,56	25	-	1
Z	Solución de sulfato de calcio y ácido cítrico	136336,07	-	25,3	1
SC	Sulfato de calcio húmedo	27435,12	-	25	1
P	Ácido cítrico	108900,95	-	25	1
SC2	Sulfato de calcio seco	22949,36	-	80	1
VA	Vapor de agua	73081,95	-	60	1
P1	Ácido cítrico	108900,95	20	-	1
P2	Ácido cítrico 60% p/p	35819,00	-	60	1
W2	Agua	8954,75	-	40	1
P3	Ácido cítrico 80% p/p	26864,25	-	40	1
W3	Agua	4241,72	-	110	1
P4	Ácido cítrico 95% p/p	22622,53	25	-	1
W4	Vapor de agua	1023,13	-	150	1
PF	Ácido cítrico 0,5% p/p	21599,40	-	407	1

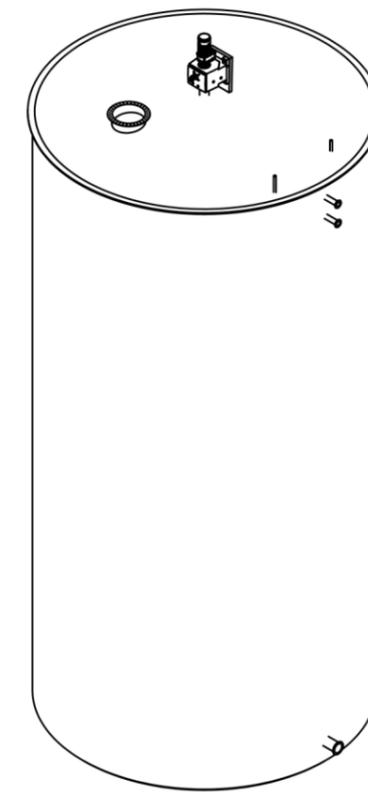
		<b>FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN</b>		
Aprobó:				
Revisó:				
Dibujó:	RA	13/11/2023		
Escala: S/N	Título: <b>PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO FLOW SHEET</b>		Formato: A3  Hoja: 8 de 10	
		PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO AREA: PRODUCCIÓN	Archivo digital: <b>flow-sheet.dwg</b>	



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 150



Vista Frontal

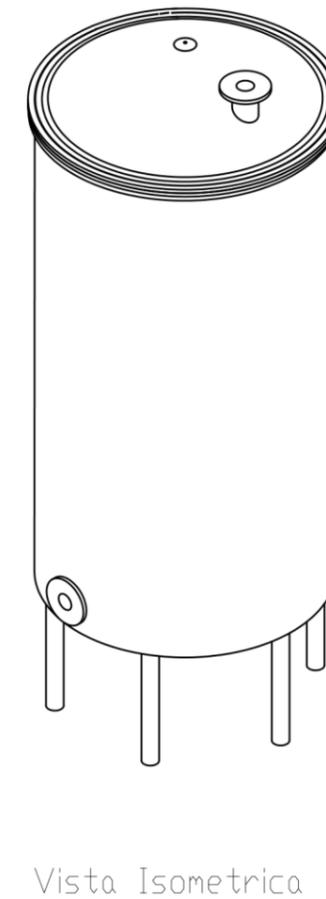
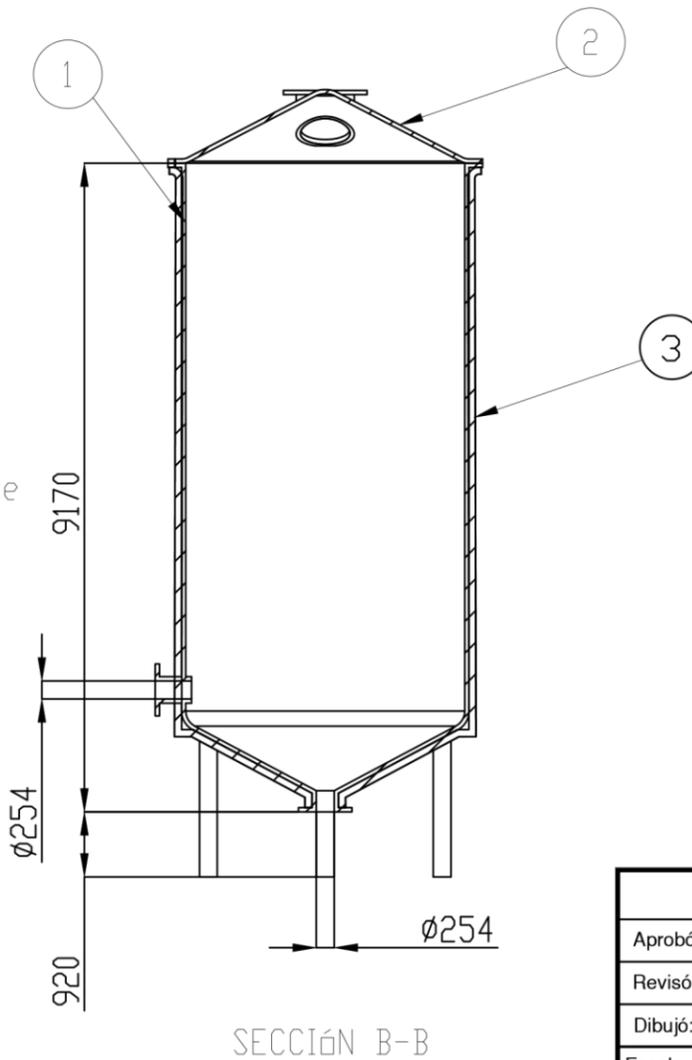
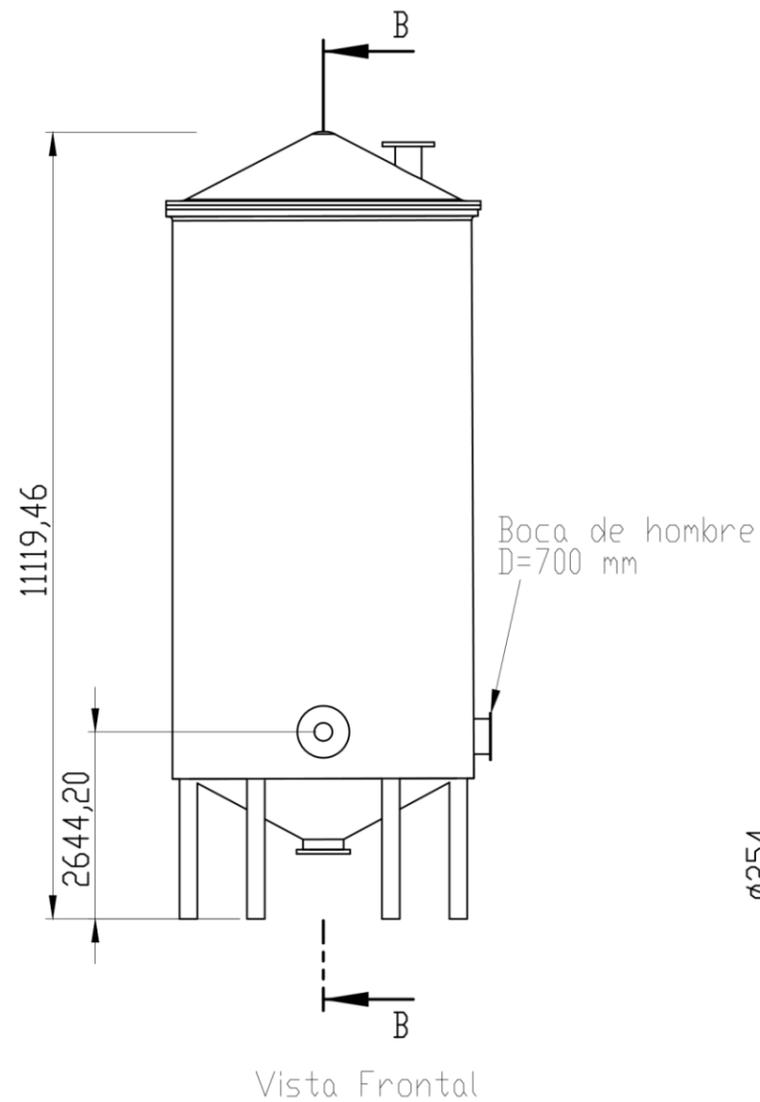
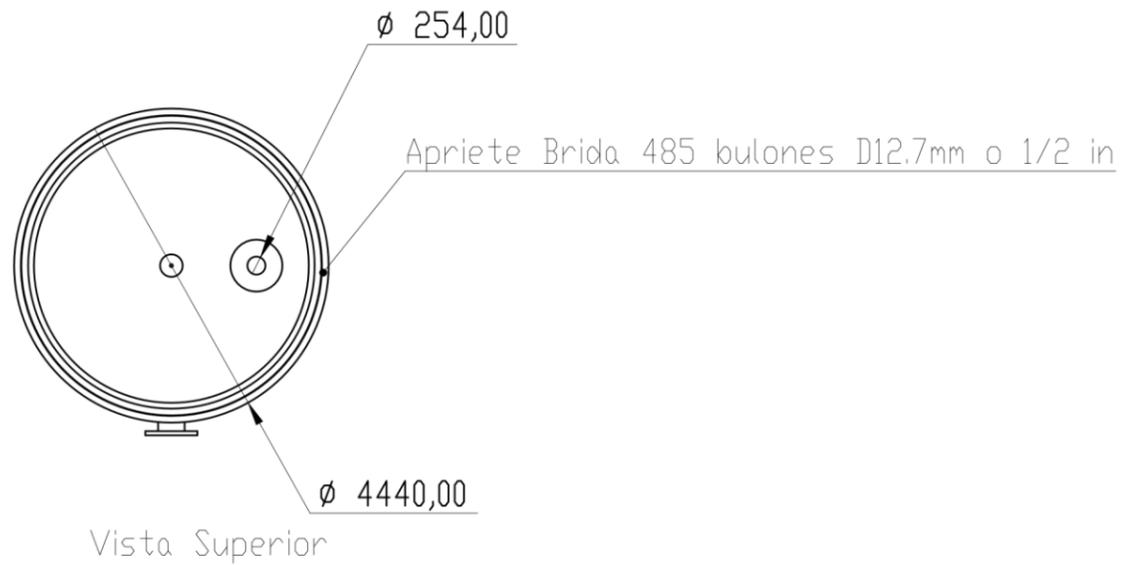


Vista Isometrica

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCION
1	REVESTIMIENTO	10mm Esp.
2	TANQUE	AISI 316
3	TAPA	
4	AGITADOR	D 2170mm L 430 mm
5	SERPENTIN	A=232m <sup>2</sup> D=50mm N=80
7	MOTOR Y CAJA REDUCTORA	100hp de1400 a 138 RPM

NOMBRE		FECHA	FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN	
Aprobó:				
Revisó:			Formato: A3	
Dibujó:	RA	16/11/2023		
Escala: 1:150	Titulo: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO FERMENTADOR		Hoja: 9 de 10	
PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		AREA: PLANTA	Archivo digital: MAQUETA.dwg	

Nota: Todas las medidas se expresan en mm



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tanque	Acero SA-285C	1
2	Tapa	Acero SA-285C	1
3	Camisa	Esp. 100mm	1

NOMBRE		FECHA	FACULTAD REGIONAL DE VILLA MARÍA UTN	
Aprobó:				
Revisó:				
Dibujó:	RA	16/11/2023		
Escala: 1:100	Título: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO Reactor de explosión de vapor		Formato: A3	
			Hoja: 10 de 10	
PLANTA: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO AREA: PLANTA			Archivo digital: Explosion Vapor.DWG	

Nota: todas las medidas se expresan en mm