

EFLUENTES DEL PROCESAMIENTO DEL TOMATE: DIAGNÓSTICO Y DESARROLLO DE ÍNDICES PARA EL MANEJO AMBIENTAL

Evelyn Vuksinic*, Roberto Esteban Miguel y Diana Elvira Crespo

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Regional Catamarca-La Rioja, Estación Experimental Chilecito,

Tilimuqui, Chilecito, La Rioja, Argentina

*E-mail: vuksinic.evelyn@inta.gob.ar

Recibido: 31/10/2023
Aceptado: 29/05/2024

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es mundialmente cultivado para consumo fresco o industrializado. En la Argentina, se producen aproximadamente 1,1 millones t año⁻¹ en unas 17000 ha. La capacidad productiva de las agroindustrias aumentó en las últimas décadas lo que exige herramientas y metodologías que permitan evaluar el impacto de los efluentes que generan, minimizar su producción y mejorar los procesos industriales. Los objetivos fueron: (i) realizar un diagnóstico exploratorio descriptivo de la generación de efluentes en una industria de procesamiento de tomate de Chilecito, La Rioja (campana 2019) y (ii) desarrollar un índice simple y económico que contribuya a la gestión ambiental. Para ello, se identificaron entradas y salidas del proceso productivo, se estimaron los volúmenes de efluentes, se caracterizaron fisicoquímicamente mediante distintos parámetros, como la demanda biológica y química de oxígeno (DBO₅ y DQO, respectivamente), sólidos volátiles y totales, entre otros. Se calcularon cargas contaminantes (CC) y se construyó un índice para simplificar la información generada. Los resultados indicaron que se requiere una metodología detallada y robusta para caracterizar fisicoquímicamente los efluentes y su variabilidad en las diferentes etapas productivas. Las características fisicoquímicas difirieron durante la campana y brindaron escasa información diagnóstica. Para incluir otras variables se emplearon indicadores de CC, que relacionan los volúmenes de efluentes con su composición química, y se desarrolló el índice de intensidad de generación de efluentes (IIGE), que vincula la CC con los volúmenes producidos. Este índice resultaría útil para sintetizar información, establecer una línea de base e impulsar acciones para la mejora continua de los procesos.

Palabras clave: agroindustria, cargas contaminantes, gestión ambiental, índices, tomate.

EFFLUENTS FROM TOMATO PROCESSING: DIAGNOSIS AND DEVELOPMENT OF INDEXES ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

ABSTRACT

The tomato is cultivated worldwide for consumption fresh or industrialized. Argentina produces 1,100,000 t/year in 17000 ha. The productive capacity of agro-industries has increased in the last decades, which requires tools and methodologies to provide evaluate the impact of their effluents, minimize their production and improve industrial processes. The aim of this work were: i) carry out a descriptive exploratory diagnosis of the generation of effluents in a tomato processing industry in Chilecito, La Rioja (season 2019) and ii) develop a simple and economical index that contributes to environmental management. For this, inputs and outputs of the production process were identified, effluents volumes were estimated and physiochemically characterized through the following parameters: ph, electrical conductivity (EC) chemical oxygen demand and biological oxygen demand (COD and BOD, respectively), total and volatils solids, among others. Pollution loads (PL) were calculated and an index was built to simplify the information generated. A detailed and robust methodology is required to characterize the effluents physically and chemically and their variability throughout the different production steps. It should be noted that the physical-chemical characteristics were dissimilar during the season and provided little diagnostic information. To include other variables, PL indicators were incorporated, which relate effluent volumes to their chemical composition; and the Effluent Generation Intensity Index (EGII) was developed, which links PL to the production volume. This index was useful to establish a baseline and promote future actions for the continuous improvement of processes.

Key words: environmental management, agroindustrial, pollutant load, index, tomato.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es mundialmente cultivado para su consumo en fresco o en conserva (salsas, puré, jugos, deshidratados, enlatados, etc.). En la Argentina, el promedio anual de tomate cosechado se ubica en torno a 1,1 millones t que se produjeron en unas 17000 ha; el 60-70% de la producción se destina a consumo fresco y un 30-40% a industria (MAGyP, 2023). Las provincias productoras son Mendoza y San Juan (Cuyo), Salta, Jujuy y La Rioja (NOA), Corrientes y Formosa (NEA), Río Negro y Buenos Aires (MAGyP, 2023). El destino mayoritario es el consumo interno. En cuanto a exportaciones, Paraguay es el principal comprador de tomate fresco.

La industrialización del tomate consta de una serie de etapas iniciales comunes que incluyen lavado, clasificación y separación por tamaño. A continuación, se elabora la pasta con la que se continúa el proceso que depende del producto a obtener (aderezos, puré, salsas, conservas, etc.) (Franco, 2016). Los efluentes generados en estas etapas se componen del agua de lavado de tomates, tanques y tuberías, limpieza y saneamiento de superficies, limpieza de maquinarias, lavado de barriles y contenedores, ablandamiento del agua, purga de calderas y purga de torres de enfriamiento (Gohil y Nakhla, 2005). Según Vidyarthi y Simmons (2020) se identifican tres líneas de flujo de efluentes: (i) corriente de efluente de lavado proveniente principalmente del transporte de tomates, donde la calidad del efluente depende en gran medida de la calidad de los tomates; (ii) condensado de efluente de proceso, que refiere al vapor condensado proveniente de evaporadores y se caracteriza por presentar alta temperatura y materia orgánica con pH ácido debido a la migración de compuestos volátiles y en aerosol del jugo de tomate y (iii) corriente de efluente de lavado de las instalaciones. Varios equipos de procesamiento cuentan con un sistema automático para el lavado (CIP) donde circula agua caliente y agentes de limpieza, por ejemplo, soluciones cáusticas y de cloro.

El volumen de efluentes varía considerablemente en el tiempo en función de la estacionalidad de maduración del cultivo, que dura 90 días al año, y a la escala de producción de la industria (Iaquinta *et al.*, 2006). En cuanto a la calidad organoléptica, el efluente es coloreado y con fuertes olores. Se caracteriza por la presencia de partículas y coloides de baja biodegradabilidad (como semillas y piel) y exhiben características de mala sedimentación (Vidyarthi y Simmons, 2020). Otra

característica de este tipo de efluente es su deficiencia de nitrógeno y la elevada concentración de compuestos fenólicos de alto valor agregado, como flavonoides y carotenoides (Xu y Nakhla, 2006; Xu *et al.*, 2006; Andreou *et al.*, 2020).

El impacto ambiental relacionado con los efluentes de la industrialización del tomate puede conllevar, de no gestionarse adecuadamente, a olores putrefactos, daños en la estructura del suelo con cambios del pH, acidificación o alcalinización (Vidyarthi y Simmons, 2020) y contaminación de fuentes superficiales y subterráneas de agua. Por ello, es fundamental implementar herramientas y metodologías que permitan evaluar el impacto en el ambiente de los efluentes a lo largo de toda la cadena para desarrollar una producción de tomate sostenible (Boccia *et al.*, 2019).

Una de las cuestiones a evaluar es la calidad y cantidad de efluentes que generan las industrias del procesamiento del tomate a lo largo de las diversas etapas productivas. Sin embargo, son escasos los trabajos (Gohil y Nakhla, 2006; Iaquinta, 2006; Xu, 2006; Pérez Sáenz, 2012) que abordan estos aspectos, y en general lo hacen a través del análisis de las características fisicoquímicas de los efluentes, siendo los resultados disímiles y acotados a una sola muestra. Es importante aclarar que los trabajos son los únicos documentos a los que se accedió en la temática luego de una exhaustiva búsqueda de antecedentes y ninguno tuvo por objetivo la caracterización del efluente, sino el tratamiento o dimensionamiento de las plantas depuradoras, a partir de una muestra puntual en un momento de la producción. Por lo tanto, el diagnóstico de los efluentes en la industria del tomate no habría sido estudiado hasta el momento contemplando características, caudales y volúmenes productivos, garantizando la representatividad de los efluentes sujetas a las escalas temporales de la producción y estacionalidad del cultivo.

El objetivo general del presente trabajo fue: (i) realizar un diagnóstico exploratorio descriptivo de la generación de efluentes en una industria de procesamiento de tomate en Chilecito, La Rioja durante el 2019 y (ii) desarrollar un índice simple y económico que contribuya a la gestión ambiental de la agroindustria. Las hipótesis que se plantearon fueron: que los efluentes de la industria del tomate son variables en cantidad y calidad a lo largo de toda la campaña productiva y que las características fisicoquímicas de los efluentes no son suficientes para obtener diagnósticos representativos e integrales.

METODOLOGÍA

Para realizar el diagnóstico de la generación de efluentes del procesamiento de tomate se trabajó con una industria que produce pasta, cubeteado, puré y salsas de tomate, localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina. En una primera instancia se realizaron entrevistas no estructuradas a referentes y recorridos guiados por la planta industrial para describir el proceso productivo, identificar las líneas de producción, las entradas de materias primas e insumos y salidas, con énfasis en efluentes. Seguidamente, se protocolizó el muestreo de los efluentes a lo largo del año 2019 junto con la estimación de caudales. Finalmente, se calcularon las Cargas Contaminantes (CC) y se construyó un Índice de Intensidad de Generación de Efluentes (IIGE).

Estimación de caudal

La estimación del caudal se midió a través de la altura del pelo del agua en el canal rectangular de la planta de tratamiento de la industria para luego calcularlo por medio de la fórmula de Manning para canal trapecial (Jiménez Medina, 2015), donde además se especificó ancho de base, rugosidad y pendiente del canal. A partir de estos datos se calculó la velocidad de flujo y el caudal de ingreso a partir de la aplicación del software libre Hawsedc Manning Trap (<http://www.hawsedc.com/eng-calcs/Manning-Trap.php>). La altura del pelo de agua se midió cada hora durante 8 h y los valores registrados se promediaron para cada día de muestreo.

Toma de muestras de efluentes

La toma de muestras para la caracterización fisicoquímica de efluentes se realizó a la salida de la planta de tratamiento de la industria. Para ello, se tomó una submuestra de 1 l de efluente por hora en recipiente de PVC en un período de 8 h productivas cada 15 días durante el año 2019. Inmediatamente después de la toma y medición de los parámetros de campo, pH, temperatura y conductividad eléctrica, la submuestra fue refrigerada a 4 °C. Se tomaron un total de ocho submuestras de 1 l y se conformó al final de la jornada de campo una muestra compuesta sobre la cual también se determinaron los parámetros de campo, a excepción de temperatura (Figura 1). Posteriormente, 2 l de la muestra compuesta se almacenaron en conservadora portátil y se trasladaron para su caracterización fisicoquímica. Se tomaron un total de 16 muestras compuestas entre febrero y noviembre del 2019. Es importante destacar que las muestras no fueron compensadas con el caudal –situación ideal para la caracterización de la muestra final– debido a limitaciones de tiempo durante las múltiples actividades desarrolladas durante la jornada de muestreo y tiempo límite de entrega de muestra a laboratorio.

Caracterización fisicoquímica de los efluentes

Se determinaron las siguientes variables y parámetros en el Laboratorio de Alta Complejidad de la Universidad Nacional de Chilecito (LAC-UNDeC):

- Demanda química de oxígeno (DQO) (USEPA, 1975).
- Demanda biológica de oxígeno (DBO₅) (APHA, 2012).

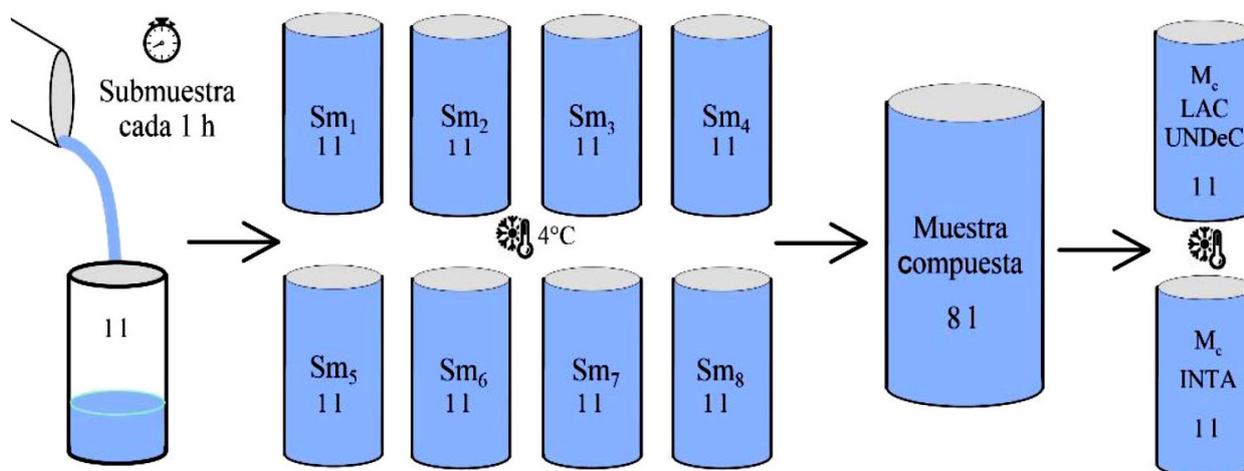


Figura 1. Esquema de muestreo. Sm: submuestra. Fuente: Vuksinic (2022).

- Polifenoles (Makkar *et al.*, 1993).
- Nitrógeno total (AOAC, 2016).
- Sólidos totales (APHA, 2012).
- Sólidos volátiles (APHA, 2012).
- Calcio, sodio, magnesio, potasio, cloruro, sulfato, bicarbonatos (APHA, 2012).
- Sólidos sedimentables (cono de sedimentación Imhoff de 1000 ml).

Carga contaminante (CC)

Para el cálculo de la CC del efluente, se multiplicó el caudal diario promedio por las concentraciones de cada uno de los parámetros estimados en el laboratorio (Ecuación 1). Luego, se calcularon los valores estadísticos para cada parámetro.

$$CC \text{ (kg día}^{-1}\text{)} = \frac{[C_x](\text{mg l}^{-1}) * Q \text{ (l día}^{-1}\text{)}}{1000000}$$

[Ecuación 1]

donde, CC: carga contaminante; [Cx]: concentración de X parámetro; Q: caudal.

Índice de intensidad de generación de efluentes (IIGE)

Se desarrolló y aplicó el IIGE, como adaptación del concepto MIPS ("Material Input Per Service Unit") del Instituto Wuppertal de Alemania (Ritthoff *et al.*, 2002). El concepto hace referencia a la cantidad de entradas de materiales y energía necesarios para la producción de un bien. Para la construcción del IIGE se tomaron los valores medios de las CC expresadas en kg día⁻¹ y se las multiplicó por los 365 días que funciona la planta industrial. De esta manera, se relacionaron las cargas contaminantes anuales (kg de analito año⁻¹) con el volumen de producción anual (kg de tomates año⁻¹) (Ecuación 2).

$$IIGE \text{ (kg de analito kg de tomate}^{-1}\text{)} = \frac{CC \text{ (kg año}^{-1}\text{)}}{\text{Vol. de producción (kg tomate año}^{-1}\text{)}}$$

[Ecuación 2]

donde, IIGE: índice de intensidad de generación de efluentes; CC: carga contaminante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Procesos productivos

La planta industrial cuenta con cinco naves donde se llevan a cabo las distintas etapas productivas. Desde enero a marzo se recibe la fruta de los campos aledaños con la que se elabora la pasta de tomate. Además de la industrialización del tomate para obtención de pasta, cubeteado, puré y salsas, también procesa legumbres y vegetales congelados y elabora comidas listas para consumo humano y animal. Estas actividades se realizan durante los meses donde no se recibe fruta y tienen un volumen de producción bajo en comparación con los productos que se industrializan con el concentrado de tomate a lo largo del año y poscosecha.

El proceso productivo de transformación del tomate presenta etapas comunes en las operaciones iniciales para la preparación del tomate, pero luego cuenta con etapas específicas en función del producto elaborado. La etapa inicial corresponde a la preparación de la pasta con la que se realiza el resto de las producciones (Figura 2). El tomate recolectado en el campo es transportado hasta la empresa en camiones que descargan la fruta en básculas (mediante un sistema de muelle elevado donde se ubican los camiones y tras la apertura de las compuertas de los contenedores se aplica agua a presión que provoca la caída del tomate en un canal de transporte). De esta manera, se amortigua la descarga y se evita el deterioro de las frutas. El tomate, por flotación y arrastre, es transportado desde el muelle de descarga hacia el sector donde se realiza una primera limpieza de la materia prima para luego continuar con el proceso de preparación de la pasta (Vuksinic, 2022).

Generación y gestión de efluentes

El mayor volumen de efluentes se generó durante la época de cosecha del tomate de enero a marzo, siendo la recepción, descarga y lavado del tomate las etapas de mayor generación. Algunas operaciones produjeron pérdidas de producto vertidas al piso y aportaron cargas orgánicas a los efluentes de limpieza. El resto del año, los efluentes se componen de las purgas de las calderas y lavados de fruta para vegetales y comidas listas.

Otro punto importante es el lavado de las instalaciones, conocido como CIP (por sus siglas en inglés "cleaning in place", que en español significa "limpieza *in situ*") donde no solo se utiliza agua sino productos como soda cáustica y ácidos. La industria bajo estudio

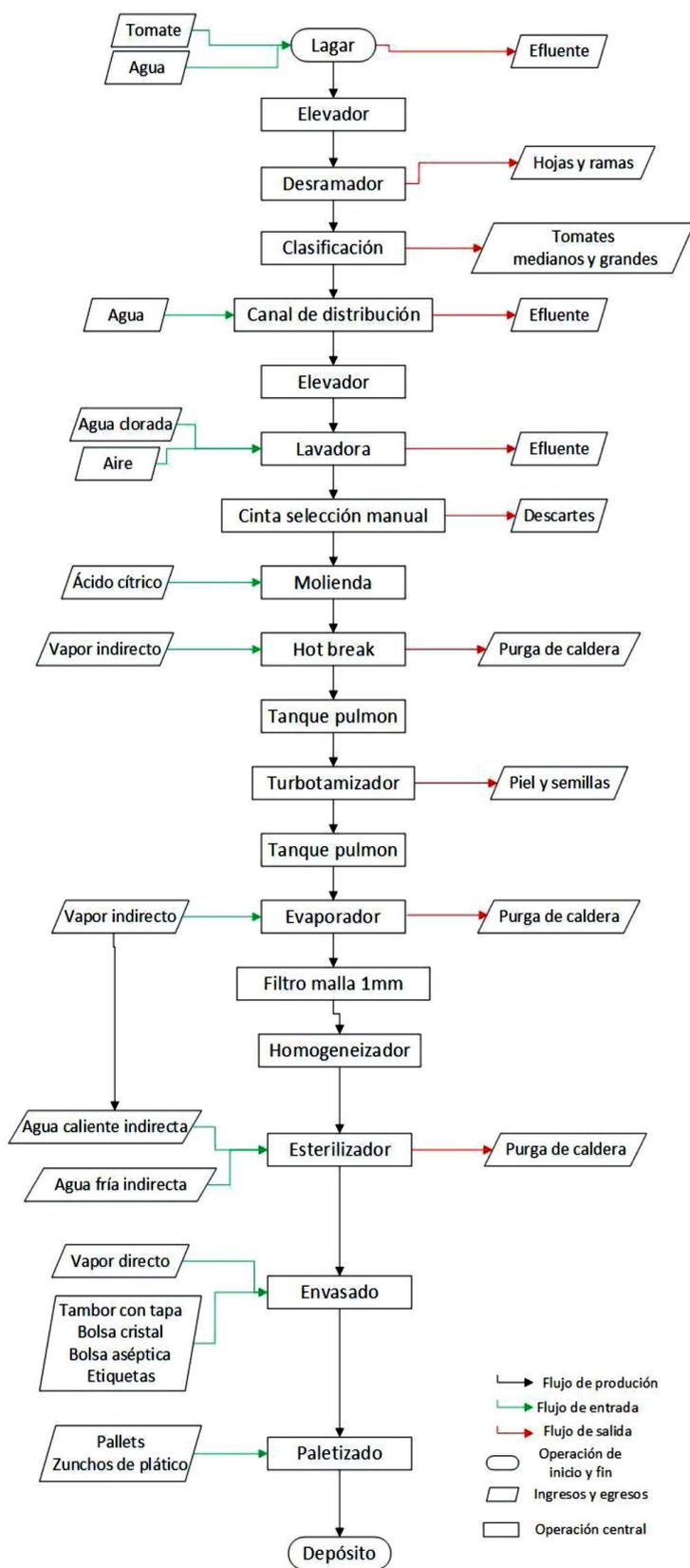


Figura 2. Diagrama de flujo del procesamiento de tomate para preparación de pasta de una industria de procesamiento de tomate localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina. Fuente: Vuksinic (2022).

aplica un tratamiento primario a los efluentes con un cilindro separador de gruesos y una planta de sedimentación con tres compartimentos por los que circula el efluente. En algunas ocasiones, se coloca un contenedor a la salida de la planta como medida de retención de los sólidos que permanecen en el efluente por flotación. Posteriormente, es conducido por una cañería enterrada hacia su disposición en el lecho de un río seco, ubicado a 1 km de la planta de procesamiento. Se observó en el transcurso de los muestreos que la planta presenta un mantenimiento puntual sin personal a cargo, por lo que usualmente se encuentra colapsada lo que dificulta la función de sedimentación.

Estimación de caudal

En el Cuadro 1 se presentan los aforos medios para los días de muestreo en litros por segundo, hora y día. El caudal promedio erogado por la industria es de 4,86 l seg⁻¹ (17 m³ h⁻¹). Cabe señalar que, durante la época de cosecha (enero a marzo), el volumen de efluente generado fue seis veces superior al del resto del año, con un registro máximo de 1576 m³ día⁻¹ en el mes de febrero. La industria generó un promedio de 420 m³ diarios y un

total anual de 153402 m³.

En un estudio realizado por Amon *et al.* (2017) se estimó que la masa total de efluente vertido por una procesadora de tomates en California, Estados Unidos, que procesa 265 t tomate h⁻¹, fue de 1340 millones de kg durante la temporada, siendo ligeramente mayor que la masa de agua utilizada al ingreso del proceso (1290 millones de kg de agua), debido a la adición del jugo de tomate durante el procesamiento. La industria analizada en el presente estudio procesó en 2019 45 t h⁻¹, por lo que la generación de efluentes fue significativamente mayor a lo mencionado por Amon *et al.* (2017), a pesar de ser una fábrica con menor procesamiento. Por su parte, Iaquina *et al.* (2009) determinaron la generación de efluentes de una industria italiana de procesamiento de tomate a la cual describen como una industria de "tamaño medio". Si bien no se explicita a que se denomina "tamaño medio", la industria analizada en el presente trabajo generaría por día aproximadamente 120 m³ de efluente adicional a lo mencionado por este antecedente.

Caracterización fisicoquímica de los efluentes

En el Cuadro 2 se presentan las concentraciones de

Cuadro 1. Caudales (en l s⁻¹, m³ h⁻¹ y m³ día⁻¹) para una industria de procesamiento de tomate localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina (año 2019).

Número y fecha de muestras	l s ⁻¹	m ³ h ⁻¹	m ³ día ⁻¹
M1 4/2	16,9	60,8	1460
M2 18/2	18,2	65,7	1576
M3 6/3	2,52	9,07	217
M4 25/3	5	18	432
M5 10/4	3,33	11,9	287
M6 2/5	2,44	8,78	210
M7 13/5	2,47	8,89	213
M8 28/5	2,16	7,77	186
M9 10/6	1,86	6,69	160
M10 10/7	2,21	7,95	190
M11 22/7	2,65	9,54	228
M12 21/8	1,96	7,05	169
M13 17/9	2,84	10,2	245
M14 23/10	4,87	17,5	420
M15 5/11	6,23	22,4	538
M16 19/11	2,14	7,7	184
Valor máximo	18,2	65,7	1576
Valor mínimo	1,86	6,69	160
Valor medio	4,86	17,5	420
Desvío estándar	5,12	18,4	442

los parámetros estimados para las 16 muestras compuestas de cargas orgánicas (DBO_5 y DQO) y su relación, conductividad eléctrica (CE), pH, sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), polifenoles y nitrógeno. En el Cuadro 3 se presentan las concentraciones de los iones mayoritarios.

Los efluentes derivados de la industria de tomate presentaron una elevada heterogeneidad, con valores de desvío estándar elevados para todos los parámetros, principalmente para conductividad eléctrica, DQO y sólidos totales (Cuadro 2). La media de conductividad eléctrica fue de $3275 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Cuadro 2); no obstante, cabe destacar las marcadas variaciones que se registraron en las submuestras diarias tomadas durante las ocho horas productivas, registrándose picos de conductividad con saltos de $1500 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $30400 \mu\text{S cm}^{-1}$. En el Cuadro 4 se presenta un ejemplo de las variaciones de los valores de pH y CE para cada submuestra de la décimo cuarta muestra compuesta (M14).

Los cambios en la conductividad eléctrica sin variación del pH se atribuyen a la sal utilizada en el proceso

de preparación de comidas listas; y los cambios con variaciones de pH, a los lavados que se realizan dentro de la industria con el sistema CIP, donde se utilizan sustancias, como soda caustica, lo que aumenta la proporción de sales y el pH. A lo largo del muestreo el pH exhibió valores ácidos (5,3) y básicos (10,6). Sin embargo, el pH medio fue de 7,6 con un desvío estándar de 1,5 lo que da cuenta de la neutralidad del pH en la mayoría de las muestras.

En la Figura 3 se observa la variabilidad organoléptica del efluente entre diferentes submuestras tomadas cada una hora de diferencia. Esta variabilidad se debió a las distintas actividades diarias (descarga de tomates, purgas de caldera, lavados de instalaciones y maquinarias, etapas correspondientes a los diferentes productos finales –pure, salsas, cubeteado– elaboración de comidas listas). En los trabajos antecedentes (Iaquinta *et al.*, 2006; Gohil y Nakhla, 2006; Xu, 2006; Pérez Sáenz, 2012) no está expresada la variabilidad organoléptica del efluente debido a que analizan muestras puntuales que no marcan los cambios en las características físico-

Cuadro 2. Concentración de los parámetros estimados para las 16 muestras compuestas y valores estadísticos para una industria de procesamiento de tomate localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina (año 2019). CE: conductividad eléctrica; DBO_5 : demanda biológica de oxígeno; DQO: demanda química de oxígeno; ST: sólidos totales; SV: sólidos volátiles; N: nitrógeno total.

Muestra	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	pH	DBO_5 mg l^{-1}	DQO mg l^{-1}	DBO_5/DQO	ST mg l^{-1}	SV mg l^{-1}	Polifenoles mg l^{-1}	N mg l^{-1}
M1	1060	6,2	2208	4750	0,46	1508	694	0,27	578
M2	1690	5,3	1692	2050	0,83	4004	1682	3,22	88
M3	1500	9,8	ND	215	ND	1458	293	2,61	< 1
M4	1590	6,9	ND	395	ND	1548	362	2,47	461
M5	7200	10,6	1044	1592	0,66	5110	830	6,4	241
M6	4810	7,7	590	790	0,68	3270	402	1,85	105
M7	3730	6,5	832	1488	0,56	3109	927	1,86	< 1
M8	2090	6,3	1064	3015	0,35	2348	1149	2,07	411
M9	6000	6,5	1700	3770	0,45	5263	1623	3,35	90
M10	2400	8,3	1816	3060	0,59	1636	284	3,92	366
M11	3260	7,9	2312	3840	0,60	2370	464	1,49	210
M12	2060	7,8	702	1937	0,36	2189	957	5,36	205
M13	5180	10,5	2104	3760	0,56	4310	960	3,26	95
M14	5990	7,6	2330	3120	0,75	4257	862	18,1	377
M15	1400	7,7	578	852	0,68	1452	517	10,8	438
M16	2450	7,3	426	520	0,82	2248	578	1,73	537
Valor máximo	7200	10,6	2330	4750	0,83	5263	1682	18,1	578
Valor mínimo	1060	5,3	ND	215	ND	1452	284	0,27	88
Valor medio	3275	7,68	1209	2197	0,52	2880	786	4,30	303
Desvío estándar	1960	1,52	814	1440	0,25	1335	429	4,44	176

ND: no detectado

Cuadro 3. Concentraciones de iones mayoritarios estimados para las 16 muestras compuestas y un blanco, tomados durante el año 2019 en una industria de procesamiento de tomate localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina. Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; K: potasio; Cl: cloruro; SO₄: sulfato; HCO₃⁻: bicarbonato.

Muestra	Ca mg L ⁻¹	Mg mg L ⁻¹	Na mg L ⁻¹	K mg L ⁻¹	Cl mg L ⁻¹	SO ₄ mg L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mg L ⁻¹
Blanco	133	38,4	50	7	69,5	416	169
M1	95,9	22,5	73,7	68,7	150	93,2	373
M2	134	23,1	152	71,2	408	155	209
M3	99,1	38,1	117	18	129	241	349
M4	120	35,5	138	51,2	254	187	298
M5	194	92,1	1245	66,2	2212	466	152
M6	88,6	45,4	937	95	1404	192	338
M7	134	51,9	550	217	955	419	189
M8	204	72,3	348	107	504	537	475
M9	243	84,1	950	147	1294	451	1087
M10	96,5	31,4	595	17	416	583	498
M11	117	34,3	630	25,5	789	528	324
M12	87,7	29,6	390	80	329	361	528
M13	152	52,1	987	59,5	1.345	538	422
M14	320	87,5	1062	43,5	1974	304	392
M15	98	76,6	202	28,2	263	458	234
M16	84	36,4	545	21,2	724	231	442
Valor máximo	320	92,1	1245	217	2212	583	1087
Valor mínimo	84	22,5	73,7	17	129	93,2	152
Valor medio	145	50,8	557	69,8	822	359	394
Desvío estándar	67,5	23,9	381	53,1	651	159	215

Cuadro 4. Valores de pH y conductividad eléctrica (CE) de submuestras correspondientes a la décimo cuarta muestra (M14) tomada el 23 de octubre de 2019 en una industria de procesamiento de tomate localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina.

Submuestra	pH	CE (μS cm ⁻¹)
1	8,6	3640
2	7,1	12780
3	7	6100
4	6,4	4500
5	11,8	6080
6	11,5	3890
7	10,5	3400
8	11	3710

químicas. Incluso, son notorias las diferencias entre los valores de los analitos expresados por cada autor, además de considerar solo algunos parámetros puntuales. Esto remarca la necesidad de implementar metodologías detalladas y robustas para lograr caracterizaciones que incorporen la variabilidad de los efluentes a lo largo de las distintas etapas productivas.

En cuanto a las cargas orgánicas, los valores de DBO₅ variaron entre niveles no detectados (purgas de caldera) y 2320 mg l⁻¹, y los valores de DQO oscilaron entre 4750 mg l⁻¹ y 250 mg l⁻¹. El promedio de la relación DBO₅/DQO, que indica la biodegradabilidad del efluente, fue 0,52; por lo tanto, se considera que el efluente presenta una buena biodegradabilidad; de hecho, solo en



Figura 3. Variación organoléptica (color) de las submuestras correspondientes a la novena muestra (M9) tomadas el 10 de junio de 2019 en una industria de procesamiento de tomate localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina.

cuatro muestras se registraron valores por debajo de 0,4 lo que da cuenta de pulsos de efluente con menor biodegradabilidad (Beily, 2015).

La Figura 4 presenta el gráfico de dispersión para los valores de DQO y DBO_5 de las 16 muestras compuestas. Las muestras que indican una mala biodegradabilidad (en naranja) estarían vinculadas a los lavados donde se utilizan sales y a la presencia de polifenoles característicos de la fruta. Los trabajos antecedentes (Gohil y Nakhla, 2005; Iaquinta, 2006; Xu *et al.*, 2006; Pérez Sáenz, 2012) mencionan concentraciones de DQO variables, entre 884 $mg\ l^{-1}$ y 4920 $mg\ l^{-1}$, dando cuenta que no existen valores estables en cuanto a la carga orgánica no biodegradables del efluente.

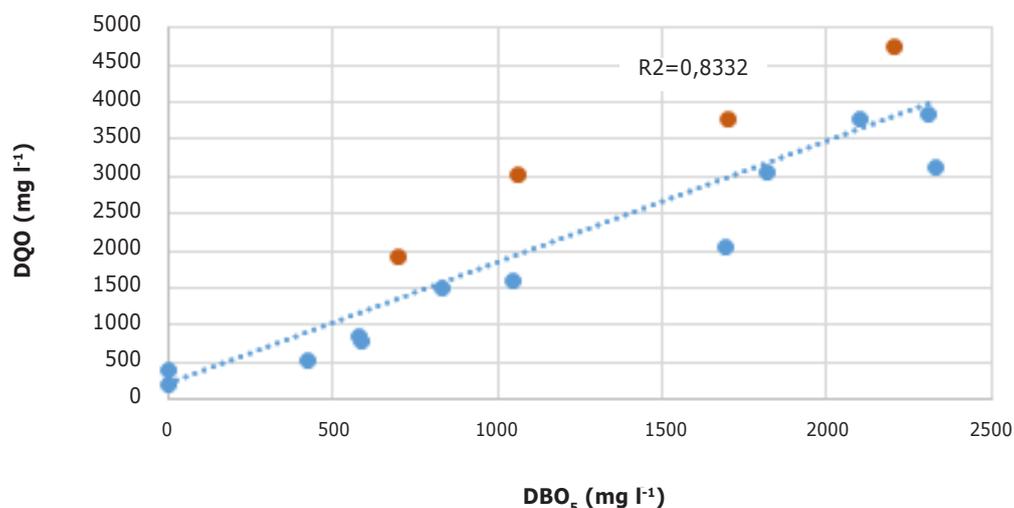


Figura 4. Relación entre DQO y DBO_5 mediante gráfico de dispersión. Cada punto representa una muestra compuesta. Círculos celestes: biodegradable. Círculos naranjas: no biodegradable. El R^2 se indican dentro del panel. Los datos provienen del Cuadro 2.

Todas las muestras exhibieron altos contenidos de sólidos totales con valores que van desde 5260 a 1452 $mg\ l^{-1}$, y una media de 2880 $mg\ l^{-1}$, a diferencia de los sólidos volátiles que presentaron concentraciones menores con valores máximos de 1682 $mg\ l^{-1}$ y una media de 786 $mg\ l^{-1}$. Esto indicaría que la mayor proporción de sólidos solubles en el efluente son sales no degradables, ya que los sólidos volátiles indican la fracción sólida orgánica del efluente y los totales, las fracciones orgánica e inorgánica (APHA, 2012).

En cuanto a los polifenoles, 13 de las 16 muestras presentaron concentraciones que oscilaron entre 0,2 y 6 $mg\ l^{-1}$ y solo dos muestras presentaron valores superiores a 10 $mg\ l^{-1}$. El aumento del contenido de fenoles en las muestras compuestas se vincula al uso puntual de otras materias primas como cebolla, acelga, zapallo, etc. (Pyo *et al.*, 2004; Ren y Zhou, 2021; Krstić *et al.*, 2023).

En el Cuadro 3, era esperable que M1 y M2 presentaran una marcada diferencia en la calidad del efluente con respecto a las muestras posteriores debido a que son las que corresponden a la llegada de la fruta a la industria. Sin embargo, las concentraciones de la mayoría de los parámetros de M1 y M2 fueron similares o incluso menores que muestras tomadas el resto del año. Esto podría deberse a que se utiliza un gran volumen de agua para la limpieza y descarga del tomate, lo que diluye las concentraciones. A priori se infiere que la descarga de la fruta no alteraría significativamente la calidad del efluente, situación que sí se da con respecto a los caudales y que se observa en las cargas contaminantes.

En cuanto a los iones mayoritarios, el principal anión

Cuadro 5. Sólidos sedimentables (SS) de las 16 muestras compuestas (ml l^{-1}) tomadas durante el año 2019 en una industria de procesamiento de tomate localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina. Los sólidos fueron determinados a 2 min, 10 min, 2 h y 24 h.

	SS _{2min}	SS _{10min}	SS _{2h}	SS _{24h}
M1	62	46	42,5	37,5
M2	230	265	230	220
M3	4,5	6	9,5	8
M4	17	26	29	25
M5	0,1	0,1	25	19
M6	0,3	0,4	7	7,5
M7	0,1	0,1	6,5	7,5
M8	0	0	30	34
M9	0,4	240	105	100
M10	0,1	0,1	1,4	3,5
M11	0,3	1,2	2,3	2,2
M12	1	1	3,6	4,6
M13	0	98	42	30
M14	2,5	14	16	14
M15	0	0	11	11
M16	4	5,5	5	6

fue el cloruro, seguido de bicarbonato y sulfato (Cuadro 3). De los cationes prevalecieron sodio, calcio, potasio y finalmente magnesio. La predominancia de iones de cloruro y sodio da cuenta, nuevamente, de la proporción de sal empleada en el proceso productivo.

En el Cuadro 5 se presentan los valores de sólidos sedimentables de las 16 muestras compuestas. Estos valores presentaron diferencias entre la M1 y M2 y el resto de las muestras; M2 registró los valores más altos. Estas diferencias están marcadas por la temporalidad del cultivo de tomate, con una mayor concentración de sólidos sedimentables durante los meses que la fruta llega a la planta procesadora (de enero a marzo). Se destaca que algunas muestras, que presentan menos de $0,5 \text{ ml l}^{-1}$ de sólidos a los 2 min, aumentan exponencialmente a los 10 min, por ejemplo, M9 y M13 (Cuadro 5). Esto se debe a que, tal como se mencionó en la introducción, los efluentes provenientes del procesamiento del tomate contienen altas fracciones de partículas y coloides que exhiben malas características de sedimentación, con tiempos mayores que otros componentes (Vidarthi y Simmons, 2020).

Carga contaminante (CC)

Las cargas contaminantes se calcularon para los parámetros considerados relevantes en el efluente (Cuadro 6). Con respecto a las CC, se destaca que algunas

muestras exhibieron concentraciones disímiles y cargas contaminantes similares, y viceversa. Por ejemplo, en la Figura 5 se presenta la comparación entre las primeras muestras, coincidentes con la época de llegada de la fruta a la industria y, las últimas muestras del final del año. Tanto en CE como en ST, las muestras de la época de cosecha (M1 y M2) presentaron concentraciones más bajas, pero valores de CC más elevados por los caudales generados en ese período. Sin embargo, las muestras correspondientes a mitad y fin de producción (M5 y M16, respectivamente) presentaron concentraciones más elevadas, pero valores de CC más bajos.

Los mayores aportes de cargas contaminantes se debieron a las cargas orgánicas, con un valor medio de 614 kg día^{-1} para DBO_5 y 1067 kg día^{-1} para DQO. La CE presentó una media de $1063 \text{ dS cm día}^{-1}$. Este aporte de sales se refleja a su vez en las cargas de los iones sodio y cloruro. El concepto de carga contaminante permite combinar los datos de calidad y cantidad de efluente, rompiendo con la visión parcial de considerar solo las concentraciones de analitos en el efluente, ya que las lecturas de estas resultan limitadas a los efectos de pensar en su gestión.

Índice de intensidad de generación de efluentes (IIGE)

En el Cuadro 7, se presenta el IIGE total para el volumen de producción anual y para los parámetros

Cuadro 6. Valores de carga contaminante (CC) para las 16 muestras compuestas (kg día^{-1}) tomadas durante el año 2019 en una industria de procesamiento de tomate localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina. CE: conductividad eléctrica; ST: sólidos totales; SV: sólidos volátiles; Na: sodio; K: potasio; Cl: cloro; N: nitrógeno total.

	CE*	DBO ₅	DQO	ST	SS _{2h} **	Polifenoles	Na	K	Cl	N
M1	1547	3224	6935	2201	62	0,39	107	100	219	843
M2	2664	2667	3232	6313	362	5,08	240	112	643	138
M3	326	0	46,8	317	2,07	0,57	25,5	3,92	28,1	0
M4	686	0	170	668	12,5	1,07	59,9	22,1	110	199
M5	2071	300	458	1470	7,19	1,84	358	19	636	69,3
M6	1014	113	166	689	1,48	0,39	197	20	295	22,1
M7	796	177	317	663	1,39	0,40	117	46,4	203	0
M8	390	198	562	438	5,6	0,39	65	20	94,1	76,7
M9	964	273	605	845	16,8	0,54	152	23,6	207	14,4
M10	458	346	584	312	0,27	0,75	113	3,25	79,6	69,8
M11	746	529	879	542	0,53	0,34	144	5,84	180	48
M12	348	118	328	370	0,61	0,91	66	13,5	55,7	34,7
M13	1271	516	922	1057	10,3	0,80	242	14,6	330	23,3
M14	2520	980	1312	1791	6,73	7,62	446	18,3	830	158
M15	753	311	458	781	5,92	5,80	108	15,1	141	261
M16	453	78,7	96,1	415	0,92	0,32	100	3,92	133	99,2
Valor máximo	2664	3224	6935	6313	362	7,62	446	112	830	843
Valor mínimo	326	0	46,8	312	0,27	0,32	25,5	3,25	28,1	0
Valor medio	1063	614	1067	1180	31,1	1,7	159	27,7	262	128
Desvío estándar	759	947	1739	1474	89,5	2,3	114	32,4	237	204

*Valores expresados en dS cm día^{-1} . ** Valores expresados en l día^{-1} .

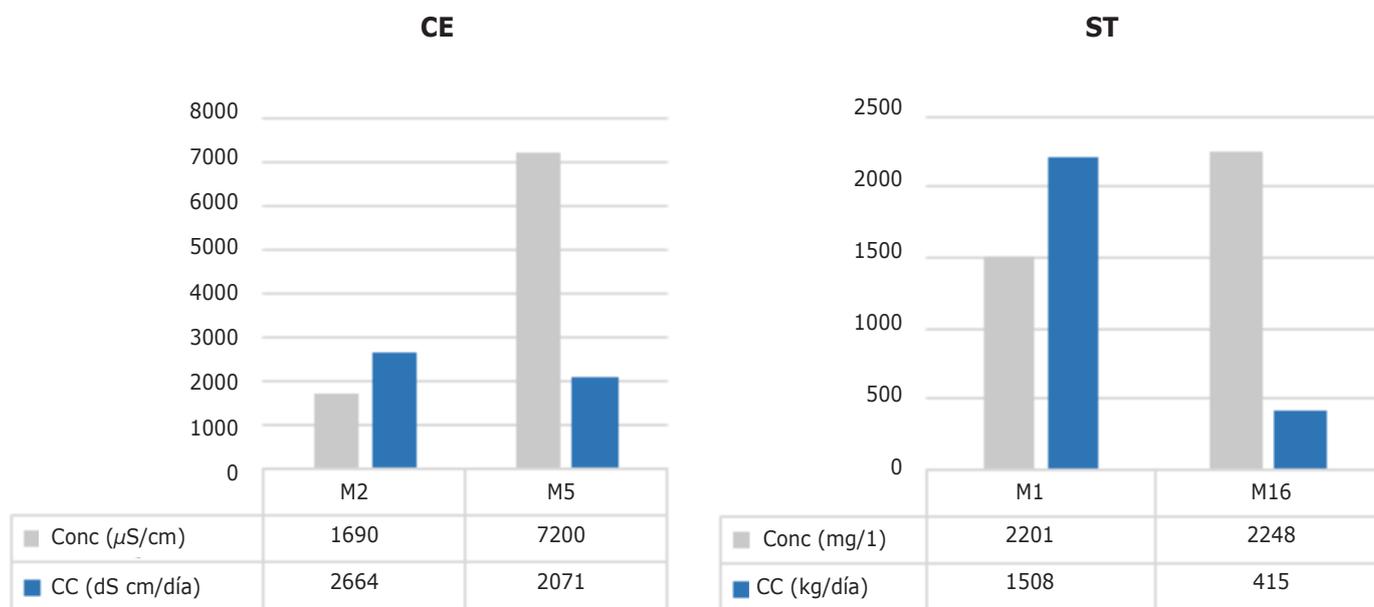


Figura 5. Comparación de concentraciones (Conc) y cargas contaminantes (CC) de conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales (ST). Los datos provienen de segunda (M2) y quinta (M5) muestra para conductividad eléctrica; y de la primera (M1) y decimosexta (M16) muestra para sólidos totales. Las muestras fueron tomadas durante el año 2019 en una industria de procesamiento de tomate localizada en el Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina. Las columnas representan la media ($n= 16$).

seleccionados de acuerdo a las cargas contaminantes estimadas anteriormente. El índice propuesto permitió unificar las estimaciones relacionadas a la calidad y cantidad de efluentes junto al volumen de producción de la industria. La bibliografía antecedente expresa que el total de agua consumida por industrias procesadoras de tomate ronda los 25 l kg⁻¹ y en fábricas muy eficientes, 5 l kg⁻¹ (Duek y Fasciolo, 2014); si bien la industria analizada está por encima de este último valor, se acerca a los de una industria eficiente. Sin embargo, se podrían aplicar medidas sencillas que favorezcan la disminución del valor del IIGE por unidad de producción. Por ejemplo, separar el agua de las purgas de las calderas del efluente final para su reutilización como limpieza de instalaciones, lo cual colaboraría a disminuir los caudales. Amon *et al.* (2015) demostraron el potencial de utilizar el calor residual del condensado para precalentar los tomates antes del proceso de "hot break" y reducir la demanda de vapor. Por otro lado, el IIGE para sólidos sedimentables podría ser reducido manteniendo en con-

diciones la planta sedimentadora para que cumpla correctamente su función; de esta manera se generaría la disminución sinérgica del IIGE de otros parámetros, como el de cargas orgánicas, polifenoles, sólidos totales y sólidos volátiles.

CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió profundizar en el análisis de la generación de efluentes en una planta industrial del tomate con el fin de constituir una herramienta para la evaluación ambiental continua del proceso productivo a partir de la comparación de la cantidad y calidad de sus efluentes, bajo el concepto de carga contaminante (CC), junto a los volúmenes de producción de la industria. Se corroboraron las hipótesis planteadas. Por lo tanto, se concluye que los diagnósticos de la generación de efluentes agroindustriales deben presentar una sólida metodología en cuanto al muestreo de las características y cantidades generadas para garantizar la representatividad de los efluentes sujeta a las escalas temporales de la producción y estacionalidad de los cultivos. A su vez, es necesario incluir en los diagnósticos indicadores que permitan simplificar y cuantificar la información ya que las características fisicoquímicas no son suficientes para obtener diagnósticos representativos e integrales. Las aplicaciones de índices, como el IIGE, permiten identificar puntos críticos para mejorar la calidad y cantidad de los efluentes, así como evaluar el monitoreo de acciones y propuestas de producción más limpias en el tiempo, contribuyendo a la sostenibilidad de los procesos productivos. En definitiva, debe "romperse" con la inercia de utilizar valores generales y ahondar en las particularidades de los procesos para entender cómo funcionan y dónde focalizar la gestión ambiental de los efluentes. De esta manera, la gestión podría ser abordada desde la integralidad, aportando soluciones que sean acordes a la realidad de cada industria y su contexto regional y local.

Cuadro 7. Valores de índice de intensidad de generación de efluentes (IIGE) del procesamiento de tomate estimados para una industria en la Ciudad de Chilecito, La Rioja, Argentina, para el año 2019. DBO₅: demanda biológica de oxígeno; DQO: demanda química de oxígeno; ST: sólidos totales; SS: sólidos sedimentables; Q: caudal; CC: carga contaminante.

Parámetro	CC y Q	Volumen de fruta	IIGE
DBO ₅	224 t año ⁻¹		11,6 g kg ⁻¹
DQO	389 t año ⁻¹		20,2 g kg ⁻¹
ST	431 t año ⁻¹		22,4 g kg ⁻¹
SS _{2h}	11315 l año ⁻¹		0,587 ml kg ⁻¹
Polifenoles	0,62 t año ⁻¹	19265 t	0,03 g kg ⁻¹
Sodio	58 t año ⁻¹		3,01 g kg ⁻¹
Potasio	10,1 t año ⁻¹		0,52 g kg ⁻¹
Cloruro	95,6 t año ⁻¹		4,96 g kg ⁻¹
Nitrógeno	46,7 t año ⁻¹		2,43 g kg ⁻¹
Q	153402 m ³		7,96 l kg ⁻¹

BIBLIOGRAFÍA

- Amón, R., Maulhardt, M., Wong, T., Kazama, D. y Simmons, C. W. (2015). Waste heat and water recovery opportunities in California tomato paste processing. *Applied Thermal Engineering*, 78, 525-532. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.11.081>
- Amón, R., Wong, T., Kazama, D., Maulhardt, M., Maulhardt, T. y Simmons, C. W. (2018). Assessment of the industrial tomato processing water energy nexus: A case study at a processing facility. *Journal of Industrial Ecology*, 22(4), 904-915. <https://doi.org/10.1111/jiec.12600>
- Andreou, V., Dimopoulos, G., Dermesonlouoglou, E. y Taoukis, P. (2020). Application of pulsed electric fields to improve product yield and waste valorization in industrial tomato processing. *Journal of Food Engineering*, 270, 109-778. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109778>
- Beily, M. E. (2015). *Caracterización de efluentes de cerdos, con énfasis en biodegradabilidad anaeróbica* (tesis para el título de Magister en Gestión Ambiental). Instituto Tecnológico de Buenos Aires. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/2080> [Último acceso: 25/08/21].

- Boccia, F., Di Donato, P., Covino, D. y Poli, A. (2019). Food waste and bio-economy: A scenario for the Italian tomato market. *Journal of Cleaner Production*, 227, 424-433. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.180>
- Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas-CEE. (2014). Convenio sobre la protección y utilización de los cursos de agua transfronterizos y de los lagos internacionales. *Guía para la Implementación del Convenio sobre el Agua*. https://unece.org/DAM/env/water/publications/WAT_Text/Convention_text_SPA.pdf [Último acceso: 28/09/2023].
- Duek, A. E. y Fasciolo, G. E. (2014). Uso de agua en industrias de elaboración de conservas de tomate y de durazno de Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46(1), 59-72. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652014000100005&script=sci_arttext [Último acceso: 04/06/2023].
- Franco, D. (2016). *Tomate industrializado*. Presentación. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/ediciones/47/cadenas/r47_06_TomateIndustrializado.pdf [Último acceso: 04/06/2023]
- Gohil, A. y Nakhla, G. (2005). Treatment of tomato processing wastewater by an upflow anaerobic sludge blanket-anoxic-aerobic system. *Bioresource technology*, 97(16), 2141-2152. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.017>
- Iaquinta, M., Stoller, M. y Merli, C. (2006). Development of synthetic wastewater from the tomato industry for membrane processing purposes. *Desalination*, 200(1-3), 739-741. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.03.499>
- Iaquinta, M., Stoller, M. y Merli, C. (2009). Optimization of a nanofiltration membrane process for tomato industry wastewater effluent treatment. *Desalination*, 245(1-3), 314-320. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.028>
- Jiménez-Medina, O. (2015). Fórmulas generales para los coeficientes de Chézy y de Manning. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(3), 33-38. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000300003 Último acceso: 23/09/2022
- Krstić, S., Miljić, M., Antić-Stanković, J., Božić, D. D., Krivokuća, M. J. y Pirković, A. (2023). Pumpkin pulp extracts from a Serbian Cucurbita maxima Breeding Collection: Phenol profile and in vitro bioactivity. *Food Chemistry Advances*, 3, 100395. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.10039>
- Makkar, H. P., Blümmel, M., Borowy, N. K. y Becker, K. (1993). Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61(2), 161-165. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740610205>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina-MAGyP. (2023). Producción de tomate en Argentina. Evolución del cultivo hasta la temporada 2021/22. <https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/produccion-tomate-en-argentina-hasta-2021-2022.pdf> [Último acceso: 1/10/2023]
- Paez, V., Barrett, W. B., Deng, X., Diaz-Amigo, C., Fiedler, K., Fuerer, C. et al. Coates, S. G. (2016). AOAC SMPR® 2016.002. *Journal of AOAC International*, 99(4), 1122-1124. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.SMPR2016.002>
- Pérez Sáenz, D. (2012). Diseño de una EDAR para la industria de conserva de tomate (trabajo fin de estudios). Escuela técnica superior de ingeniería industrial. Universidad de La Rioja, Argentina <https://es.scribd.com/document/419779044/Diseno-de-Una-EDAR-Para-La-Industria-Conservera-Del-Tomate> [Último acceso: 23/09/2022].
- Pyo, Y. H., Lee, T. C., Logendra, L. y Rosen, R. T. (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of Swiss chard (*Beta vulgaris* subspecies *cycla*) extracts. *Food chemistry*, 85(1), 19-26. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00294-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00294-2)
- Ren, F. y Zhou, S. (2021). Phenolic components and health beneficial properties of onions. *Agriculture*, 11(9), 872. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090872>
- Rice, E. W., Bridgewater, L. y American Public Health Association-APHA (Eds.). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). American public health association.
- Ritthoff, M., Rohn, H. y Liedtke, C. (2002). *Calculating MIPS: Resource productivity of products and services*. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. Alemania. <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/1577/file/WS27e.pdf> [Último acceso: 23/09/2022].
- United States Environmental Protection Agency-USEPA. (2012). *Guidelines for Water Reuse*. USEPA, Washington.
- Vidarthi, S. K. y Simmons, C. W. (2020). Characterization and management strategies for process discharge streams in California industrial tomato processing. *Science of The Total Environment*, 723, 137976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137976>
- Vuksinic, E. (2022). *Caracterización química y ambiental de efluentes agroindustriales y análisis de sus implicancias sobre el agua subterránea en el Valle Central Antinaco Los Colorados, provincia de La Rioja* (Tesis para acceder al grado de doctor en Ciencias Aplicadas). Universidad Nacional de Lujan, Argentina. <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/discover> [Último acceso: 04/06/2023]
- Xu, Z., y Nakhla, G. (2006). Pilot-scale demonstration of pre-fermentation for enhancement of food-processing wastewater biodegradability. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 81(4), 580-587. <https://doi.org/10.1002/jctb.1432>
- Xu, Z., Nakhla, G. y Patel, J. (2006). Characterization and modeling of nutrient-deficient tomato-processing wastewater treatment using an anaerobic/aerobic system. *Chemosphere*, 65(7), 1171-1181. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.06>