



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



[Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

Esta licencia permite que otros distribuyan, mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo, incluso comercialmente, siempre que le reconozcan la creación original. Esta es la licencia más complaciente que se ofrece. Recomendado para la máxima difusión y uso de materiales con licencia.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

“La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020”

Presentado por:

BACH. ORNA CHAMOCHUMBI YENIFER DEL PILAR

ROL DEL AUTOR del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es PORCENTAJE DE SIMILITUD del 15% por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 05 abril de 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"

Dr. Jaime MARTINEZ HERNANDEZ
Director de la Unidad de Investigación Científica
Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIDAD DE INVESTIGACION
Dr. Jaime Martínez Hernández
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS

**La recirculación del agua residual industrial mediante el
proceso curtiembre en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020**

Línea de investigación:

Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

Presentado Por:

BACH. ORNA CHAMOCHUMBI YENIFER DEL PILAR

ICA- PERU

2022

TESIS:

**La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso
curtiembre en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

AUTOR:

BACH. ORNA CHAMOCHUMBI YENIFER DEL PILAR

ASESOR:

Dr. PEDRO CORDOVA MENDOZA

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi padre **ROLANDO**, quien me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por sí mismo. También está dedicado a mi madre **LOURDES**, quien me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

AGRADECIMIENTO

A mis Padres, **Lourdes y Rolando** que me entregaron todo su total amor y apoyo, cuyo mejor regalo ha sido mi educación.

Al **Dr. Pedro Córdova Mendoza**, mi asesor por su orientación incondicional para el desarrollo de la presente tesis.

A la **Dra. Antonina García Espinoza**, al **Dr. Jaime Antonio Martínez Hernández**, por las enseñanzas, conocimientos y consejos inculcados; así como por su paciencia y tiempo, pudieron ayudarme a crecer profesionalmente y personalmente.

A mi alma mater la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, a través de sus docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria quienes transmiten sus mejores conocimientos a los estudiantes quienes orgullosos de haber egresado somos forjadores del desarrollo de nuestra Ica, a todos es ellos mi especial consideración.

INDICE DE CONTENIDO

INFORME FINAL DE TESIS:	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
INDICE DE CONTENIDO	V
INDICE DE TABLAS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
SUMMARY	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. Antecedentes a nivel internacional	2
1.2.2. Antecedentes a nivel nacional	3
1.2.3. Antecedentes a nivel local	3
1.3. BASES TEÓRICAS	3
1.3.1. Definición Curtiembre	3
1.3.2. “Análisis de la situación de la industria curtiembre	3
1.3.3. La contaminación ambiental generada por las curtiembres	4
1.3.4. Estimación global de residuos y su impacto ambiental	4
1.3.5. Agua Residual Industrial	5
1.3.6. Costo de Reúso	5
1.3.7. “Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos”[21]	6
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.4.1. Problema principal	7
1.4.2. Problemas específicos	8
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.5.1. Objetivo principal	8
1.5.2. Objetivos específicos	8
1.6. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	8
1.6.1. Hipótesis principal	8
1.6.2. Hipótesis específicas	8
1.7. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	9

1.7.1.	Variable independiente	9
1.7.2.	Variable dependiente	9
1.7.3.	Variable interviniente	9
1.7.4.	Operacionalización de variables.....	10
1.8.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	11
1.8.1.	Justificación	11
1.8.2.	Importancia	11
1.9.	MARCO CONCEPTUAL.....	11
1.9.1.	Gestión del Agua.....	11
1.9.2.	Nueva Cultura del Agua	12
1.9.3.	Reúso de aguas servidas regeneradas	12
1.9.4.	Aguas Residuales	12
1.9.5.	Saneamiento y Salud	12
1.9.6.	Recirculación	13
1.9.7.	Carga orgánica	13
1.9.8.	Tiempo de retención hidráulico (TRH)	13
II.	ESTRATEGIA METODOLOGICA	14
2.1.	ÁREA DE ESTUDIO	14
2.2.	PUNTOS DE MONITOREO EN EL PROCESO DE LA CALIDAD DE AGUA RESIDUAL	15
2.3.	LA INVESTIGACIÓN	16
2.3.1.	Tipo y nivel de la investigación	16
2.3.2.	Población y muestra	17
2.3.3.	Marco legal	17
2.3.4.	Técnica de recolección de datos.....	18
2.3.5.	Instrumentos de recolección de datos	21
2.3.6.	Técnicas de procesamiento de datos.....	21
2.3.7.	Técnicas de procesamiento de datos.....	22
2.3.8.	Análisis e interpretación de los datos	24
III.	RESULTADOS.....	26
3.1.	LA RECIRCULACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL EN EL COSTO DE REÚSO.	26
3.2.	LA RECIRCULACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL Y EL VALOR DE COSTO ..	40
3.3.	EL RECICLO DEL AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO Y EL COSTO DE REÚSO	46
IV.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	53

4.1.	LA RECIRCULACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL EN EL COSTO DE REÚSO.	53
4.2.	“EL RECICLO DEL AGUA RESIDUAL EN EL COSTO DE REÚSO	55
V.	CONCLUSIONES.....	57
VI.	RECOMENDACIONES.....	59
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
	ANEXO	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	10
Tabla 2	“Valores de recirculación del agua residual industrial”[43].....	20
Tabla 3	Niveles y Tratamientos”[48]	23
Tabla 4	“La hipótesis estadística para investigar el grado de influencia de los tratamientos en el costo del proceso de recicló”[48]	24
Tabla 5	Costo de reúso	25
Tabla 6	Diseño 2 ³ : Notación de Yates.....	27
Tabla 7	Estimación de los efectos están en base a los tratamientos	28
Tabla 8	Los factores con las combinaciones de tratamientos y las réplicas consideradas en las fechas programadas	30
Tabla 9	Promedio en base al tratamiento con las ocho réplicas.....	33
Tabla 10	Suma total de cada tratamiento considerando las ocho réplicas	34
Tabla 11	Calculo de la suma total de cada tratamiento	36
Tabla 12	ANOVA Fc y F-Test	37
Tabla 13	Análisis ANOVA F-Test y Fc	39
Tabla 14	Diseño 2 ² : Notación de Yates.....	41
Tabla 15	Estimación de los efectos están en base a los tratamientos	42
Tabla 16	Los factores con las combinaciones de los tratamientos y las réplicas consideradas en las fechas programadas	42
Tabla 17	Calculo del promedio en base a las réplicas y la suma total de cada tratamiento.....	43
Tabla 18	Calculo de la suma total de cada tratamiento	44
Tabla 19	ANOVA Fc y F-Test	45
Tabla 20	Análisis ANOVA F-Test y Fc	45
Tabla 21	Diseño 2 ² : Notación de Yates.....	47
Tabla 22	Estimación de los efectos están en base a los tratamientos	48
Tabla 23	Los factores con las combinaciones de los tratamientos y las réplicas consideradas en las fechas programadas	48
Tabla 24	Calculo del promedio en base a las réplicas y la suma total de cada tratamiento.....	49
Tabla 25	Calculo de la suma total de cada tratamiento	50
Tabla 26	ANOVA Fc y F-Test	50
Tabla 27	Análisis ANOVA F-Test y Fc	51
Tabla 28	Cuadro comparativo de F (Φ_1 , Φ_2), al 95% de confianza.....	53
Tabla 29	Cuadro comparativo de F (Φ_1 , Φ_2), al 95% de confianza.....	56
Tabla 30	Cuadro comparativo de F (Φ_1 , Φ_2), al 95% de confianza.....	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Departamento de Ica	14
Figura 2	Ubicación del distrito de Pisco en la Provincial de Pisco	15
Figura 3	Ubicación de la curtiduría distrito de Pisco	15
Figura 4	“Localización de los puntos de monitoreo en el proceso de recirculación del agua residual industrial - Cercado de la Provincia de Pisco, donde se localizaron los puntos para el monitoreo: E-01, E-02 y E-03” [37]......	16
Figura 5	Diagrama de reciclaje y la disposición del agua residual industrial tratada	22
Figura 6	Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica I, de fecha 10.11.2022	31
Figura 7	Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica II, de fecha 12.11.2022	32
Figura 8	El efecto estándar permite ver si los factores son significativos	39

RESUMEN

Objetivo de la investigación fue evaluar la recirculación del agua residual industrial y su influencia en el costo de reúso del proceso. **Material y Métodos** el estudio realizado fue de tipo observacional-prospectivo-longitudinal, nivel explicativo, diseño experimental investigación aplicada. **Resultados**, “la norma DS N°003-2002-PRODUCE, establece los Límites Máximos Permisibles y valores referenciales para la actividad industrial de curtiembre con un pH entre 6-9, temperatura 35°C”[1], se habilito el Microsoft EXCEL, que permite alimentar el prototipo de proceso de curtidura diseñado para las 8 réplicas. Para la hipótesis estadística general, la ANOVA de 2^3 , margen de error 2.0032, prototipo: $X_1, X_3, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_2X_3$, desviación estándar (σ) 18.3545, R-CUAD 85.28%. Para la hipótesis estadística específica (1) la ANOVA de 2^2 , margen de error 2.1788, prototipo: X_1, X_2, X_1X_2 , desviación estándar (σ) 27.0686, R-CUAD 67.65%. Para la hipótesis estadística específica (2) la ANOVA de 2^2 , margen de error de 2.1788, prototipo: X_2, X_3, X_2X_3 , desviación estándar (σ) 16.7287, CUAD 97.28% **Conclusiones**, el costo de reúso del proceso depende del porcentaje de reciclaje del agua residual de la planta de tratamiento, de la carga másica de contaminantes aportado por el proceso y de ambos tratamientos el porcentaje de reciclaje y el flujo de agua ingreso al proceso curtidora y también de ambos tratamientos el porcentaje de reciclaje y la carga másica de contaminantes aportado por el proceso.

Palabras Claves: *Recirculación del agua residual, costo reúso, proceso curtiembre.*

SUMMARY

The **objective**, of the research was to evaluate the recirculation of industrial wastewater and its influence on the cost of reusing the process. **Material and Methods**, the study was observational-prospective-longitudinal, explanatory level, experimental design applied research. **Results**, "the DS N ° 003-2002-PRODUCE standard, establishes the Maximum Permissible Limits and Reference Values for the industrial activity of tannery with a pH between 6-9, temperature 35 ° C"[1], Microsoft EXCEL was enabled, which allows feeding the prototype of the tanning process designed for the 8 replicas. For the general statistical hypothesis, the ANOVA of 2^3 , margin of error 2.0032, prototype: $X_1, X_3, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_2X_3$, standard deviation (σ) 18.3545, R-QUAD 85.28%. For the statistical hypothesis specifies (1) the ANOVA of 2^2 , margin of error 2.1788, prototype: X_1, X_2, X_1X_2 , standard deviation (σ) 27.0686, R-QUAD 67.65%. For the specific statistical hypothesis (2) the ANOVA of 2^2 , margin of error of 2.1788, prototype: X_2, X_3, X_2X_3 , standard deviation (σ) 16.7287, CUAD 97.28%. **Conclusions**, the cost of reuse of the process depends on the percentage of recycling of residual water from the treatment plant, of the mass load of contaminants provided by the process and of both treatments, the percentage of recycling and the flow of water entering the tannery process and also of both treatments, the percentage of recycling and the mass load of contaminants contributed by the process.

Key Words: *Wastewater recirculation, reuse cost, tannery process.*

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

Tamayo y Esquivel, en “el siglo XXI, exige mayor compromiso y con responsabilidad en la sostenibilidad de la calidad del ambiente que establece un requerimiento esencial para la salud humana y el desarrollo sostenible” [1]. A finales del siglo XVIII con la Revolución Industrial marca un punto de inflexión en la historia, modificando e influenciando todos los aspectos de la vida cotidiana de una u otra manera, esto ha permitido que han aumentado las demandas sobre los recursos hídricos en el planeta. En la actualidad se sostiene que el ambiente y el crecimiento económico es un producto social, es decir, el resultado de la acción humana sobre el medio natural. Esta realidad plantea, los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por Naciones Unidas que abordan los mayores retos de la humanidad desde una perspectiva global y transversal, con una visión a futuro hacia el año 2030. *Aguilar y Navarro*, sobre “los nuevos paradigmas están cambiando las nociones sobre qué son estos recursos y cómo deben utilizarse, de hecho, el aumento del uso del agua ha impulsado la búsqueda de fuentes alternativas como la desalinización del agua de mar y el reúso de aguas residuales tratadas” [2].

De acuerdo a la *UNESCO*, [3] “se estima que la población mundial presenta un crecimiento acelerado a tasas de 80 millones de personas/año, lo cual implica un aumento en el consumo de agua”. Según, *Buret at al.*, “se espera que la demanda mundial de agua continúe aumentando a un ritmo parecido hasta 2050, lo que representa un incremento del 20 al 30% por encima del nivel actual de uso del agua” [4]. En consecuencia, implica el crecimiento del volumen de agua residual generada y su nivel de contaminación en todo el mundo.

MINAM, “En el Perú, según el estudio de desempeño ambiental del Perú del año 2016, respecto a la situación de las aguas residuales industriales generada, se puede señalar que solo el 50 % del volumen total reciben un tipo de tratamiento previo a su vertimiento en un cuerpo receptor” [5] y cabe destacar que esto es insuficiente y las tecnologías existentes son relativamente costosas.

Paiadeh et al., “hoy en día, las aguas residuales industriales, especialmente de los parques industriales, juegan un papel vital en la gestión sostenible del agua: primero, porque es un contaminante del cuerpo de agua dulce y, segundo, sirve como un nuevo recurso hídrico”[6]. Según, *Haroon et al.*, “la descarga de aguas residuales industriales sin tratar en cuerpos de agua dulce puede causar efectos adversos graves en los ecosistemas y las comunidades”[7]. La reutilización de aguas residuales tratadas para diferentes propósitos, como objetivos municipales, industriales, paisajísticos y de riego, no solo mejora la calidad de los cuerpos de agua, sino que también reduce la demanda de agua dulce. En este sentido *Visvanathan y Asano*, “se han recomendado muchas técnicas y enfoques que pueden proporcionar aguas residuales adecuadamente tratadas para diferentes objetivos de reutilización como una solución sostenible para abordar los desafíos de la escasez de agua”[8].

1.2. Antecedentes de la investigación

1.2.1. Antecedentes a nivel internacional

Naghedi et al., los investigadores en su estudio científico de “creating functional group alternatives in integrated industrial wastewater recycling system: a case study of toos industrial park (Iran)” [9], “El reciclaje integrado de aguas residuales industriales se ha convertido en un tema importante en los últimos años, especialmente en los países en desarrollo, que se puede obtener al comprender tres aspectos del sistema”[9], continua, *Naghedi et al.*, “recolección, los procesos de tratamiento y el objetivo de reutilización, denominados conjuntamente ‘grupo funcional’”[9].

Según, *Sandín y Peters*, “En el mundo la industria de procesamiento en húmedo de textiles, es una de las industrias con mayor uso de agua y productos químicos, incluye procesos de teñido, acabado e impresión”[10]. Contribuye *Hussain y Wahab* en, “la utilización de más de 3600 tintes y 8000 productos químicos diferentes se informó en la literatura” [11]. Con el aporte científico de *Madhav*, “el procesamiento húmedo de textiles genera aguas residuales con una gran cantidad de

colorantes y productos químicos usados que pueden tener impactos negativos en el medio ambiente acuático y la vida”[12].

1.2.2. Antecedentes a nivel nacional

Según, *Del Castillo y Meseth*, [13] “explica que la escasez de aguas naturales aprovechables es cada vez mayor, debido al crecimiento demográfico, la urbanización y el cambio climático, la situación ha generado la necesidad del aprovechamiento de las aguas residuales tratadas a nivel nacional e internacional para la agricultura, áreas verdes, cultivos forestales, riego de caminos y vías de acceso, entre otros tipos de tratamiento de las aguas industriales, como es el caso de los procesos de reciclaje para el reúso de aguas residuales en la industria”.

1.2.3. Antecedentes a nivel local

Se ha revisado la bibliografía relacionada al tema de investigación y no se han encontrado estudios que tengan relación con la investigación.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Definición Curtiembre

Greenpeace, “en las curtiembres se realiza el curtido, proceso por el cual se transforma las pieles de los animales, provenientes de los frigoríficos, en cuero acabado”[14], “que luego es comercializado, tanto en el mercado interno como externo, donde se termina de dar valor al producto final, ya sea el caso de la industria automotriz, calzado, marroquinería, etc.”[14]

1.3.2. “Análisis de la situación de la industria curtiembre

Miller et al., En varias partes del mundo los cambios ambientales han sido dramáticos”[15]. Continúa *Miller et al.*, “Los cueros y los químicos de curtido son bienes que se transan en el mercado mundial, la única ventaja comparativa que un país puede ofrecer es mano de obra barata, daño ambiental y salud de sus ciudadanos”[15]. “A medida que la agencia estadounidense de protección ambiental (EPA) y cada uno de los estados desarrollaron e impusieron de manera estricta sus estándares para los

efluentes de los residuos de las curtiembres, determinando tres opciones:”[15],

- “Cumplir con los estándares en las plantas existentes
- Trasladar las operaciones en húmedo a nuevas plantas con controles de contaminación
- Cerrar”[15].

1.3.3. La contaminación ambiental generada por las curtiembres

Greenpeace, “La contaminación ambiental es un fenómeno que existe desde que se originó la tierra; pues las sustancias o elementos contaminantes se dispersan y transportan sobre y dentro de sus recursos naturales, modificando de esta manera sus características originales”[14].

“La industria del cuero es considerada uno de los sectores más contaminantes; pues en el proceso del curtido son necesarios alrededor de 500 kilos de productos químicos para el procesamiento de una tonelada de cuero crudo”[14]; “se estima que un 85% no se incorporan en el cuero acabado; así este se convierte en contaminante del medio ambiente: agua, suelo y aire”[14].

1.3.4. Estimación global de residuos y su impacto ambiental

Según, *Lazo*, “La cantidad de residuos que puede producirse en el proceso de curtido depende muchas veces de: procesos utilizados, tipo de cuero, insumos usados y medidas implementadas para prevenir o reducir la contaminación, entre otros”[16].

Efectos sobre cuerpos de agua

Además, *Lazo*, “Las aguas residuales cuando son descargadas directamente a un cuerpo de agua ocasionan efectos negativos en la vida acuática y en los usos posteriores de estas aguas, disminuye el valor de su uso como bebida o para fines agrícolas e industriales”[16].

También, *Lazo*, “Afecta la vida acuática, mueren los peces por disminución del oxígeno disuelto y el agua se convierte en no apta para el consumo”[16]. “Fundamentalmente y en forma resumida, los

componentes específicos que causan problemas en los cursos de agua son cromo, sulfuro, nitrógeno amoniacal, ácidos, carga orgánica, entre otros”[16].

Efectos sobre el alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales

Según, *Lazo*, “Los efluentes crudos de curtiembres, lanzados a una red de alcantarillado, provocan incrustaciones de carbonato de calcio y gran deposición de sólidos en las tuberías”[16]. Además, *Lazo*, “La presencia de sulfuros y sulfatos también acelera el deterioro de materiales de concreto o cemento. Si la carga contaminante presenta sustancias tóxicas como el cromo, es lanzada a una planta de tratamiento, puede interferir con el proceso biológico de la planta”[16].

Efectos sobre el suelo

Según, *Lazo*, “El suelo tiene cierta capacidad para neutralizar la carga contaminante recibida. Consecuentemente, la descarga de un efluente tratado puede ser beneficioso para la irrigación de un terreno agrícola”[16].

“Efectos sobre la calidad del aire.

Según, *Lazo*, Materiales particulados, gases tóxicos, COV’s y sulfuro de hidrógeno son las descargas gaseosas potenciales significativas. Los malos olores como consecuencia de inadecuadas o inexistentes prácticas de limpieza, también afectan la calidad del aire”[16].

1.3.5. Agua Residual Industrial

Ullah et al., “la toxicidad, persistencia y acumulación en el cuerpo humano y otros los organismos vivos causan efectos en la salud, por lo que son una fuente de creciente preocupación en muchos países” [17].

1.3.6. Costo de Reúso

Según, *Fuente*, “realizó una revisión de la literatura académica sobre el diseño y evaluación de tarifas relacionadas con los servicios de agua, una de las conclusiones fue que en las próximas décadas el diseño de sistemas tarifarios óptimos será cada vez más importante a la hora de buscar

mecanismos para financiar los servicios de agua”[18]. Además, *Méndez, et al.*, “en términos de industrias manufactureras en todo el mundo, la industria curtiembre es una de las industrias más antiguas y de mayor supervivencia que integra una cadena de procesos complejos para convertir materias primas como el curtido de las pieles en la limpieza, curtido, re-curtimiento y acabado” [19].

Mpofu et al., “a industria del cuero es un sector estratégicamente importante para el desarrollo socioeconómico de los países del tercer mundo que dominan la industria”[20]. Continúa *Mpofu et al.*, “los productos de cuero se encuentran entre los productos básicos más comercializados a nivel mundial. La industria evita la eliminación de pieles/pieles de la industria cárnica y láctea reciclándolas en cuero”[20].

1.3.7. “Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos”[21]

ANA, “En la gestión de los recursos hídricos, la calidad del agua es uno de los aspectos más importantes que se tiene en cuenta para los diferentes usos establecidos en el territorio nacional”[21]. Se busca conservar y proteger la calidad las aguas continentales y marinas de los efectos de las fuentes contaminantes y del cambio climático”[21], “con la finalidad de establecer un equilibrio del ecosistema acuático, considerándose a éste como indicador de la calidad óptima del recurso, beneficiándose al ambiente y a la salud pública”[21].

“Metodología de monitoreo

Antes de iniciar las actividades de monitoreo es necesario conocer al cuerpo de agua donde se desarrollará el monitoreo y conocer aspectos importantes que definan la calidad del recurso hídrico”[21].

“Esto ayudara a definir los parámetros a controlar, el número de puntos de monitoreo, la frecuencia de monitoreo y elaborar un plan de trabajo efectivo para el desarrollo del monitoreo, considerando el uso principal que tengan los recursos hídricos” [21], en estudio de acuerdo a la resolución Jefatural N°202-2010-AN, “que aprueba la clasificación de los cuerpos de agua superficial y marinos costeros”[21].

Aguas Residuales:

Los parámetros a seleccionar para la evaluación de aguas residuales dependerán de los Límites Máximos Permisibles (LMP) que haya establecido el sector ambiental competente. Si las aguas residuales son generadas por una determinada industria entonces debemos pensar en los posibles elementos, compuestos y sustancias que pudieran estar presentes en el efluente final, de manera que nos permita seleccionar los parámetros más relevantes que podrían causar el deterioro de la calidad en el cuerpo receptor (aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas marinas y suelos).

1.4. Formulación del problema

De Aquim et al., permiten formular la investigación que, “la reutilización de aguas residuales en el proceso de curtido, para preservar los recursos hídricos naturales a través de la aplicación de técnicas y procesos que reducen el impacto de los efluentes del proceso en la producción de cuero”[22], continúan *De Aquim et al.*, “que permiten minimizar el alto impacto del cromo en las aguas residuales de las curtiembres industriales”[22]. La investigación ha recibido una gran atención mundial en los últimos años y fue objeto de un estudio detallado de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

[...] la ONUDI evaluó las perspectivas mundiales de la industria del cuero y los productos de cuero en la próxima década y destacó la gran demanda de agua como una de las áreas de preocupación ambiental. En general, el consumo de agua ha sido un problema importante para la industria del cuero durante mucho tiempo y se han logrado grandes avances en las últimas tres décadas para controlar y reducir la cantidad de agua [...].[23].

Hu et al., “la reducción de aguas residuales en el proceso de curtiduría se puede realizar de acuerdo con tres pasos principales: la adopción de tecnologías con menos agua. Procesos se puede lograr a través de una recolección y tratamiento por separado de las aguas residuales ”[24]

1.4.1. Problema principal

¿De qué manera la recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020?.

1.4.2. Problemas específicos

P.E.1: ¿De qué manera la recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre influye significativamente en el valor de costo, Pisco, Ica, 2020?

P.E.2: ¿Como el reciclado del agua residual en la planta de tratamiento mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo principal

Evaluar que la recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

1.5.2. Objetivos específicos

O.E.1. Determinar que el reciclado del agua residual en la planta de tratamiento mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

O.E.2. Evaluar que la recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre influye significativamente en el valor de costo, Pisco, Ica, 2020.

1.6. Hipótesis de investigación

1.6.1. Hipótesis principal

La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

1.6.2. Hipótesis específicas

H.E.1. La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre influye significativamente en el valor de costo, Pisco, Ica, 2020.

H.E.2. El recicló del agua residual en la planta de tratamiento mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

1.7. Variables de investigación

1.7.1. Variable independiente

Agua Residual Industrial

1.7.2. Variable dependiente

Costo de Reúso

1.7.3. Variable interviniente

Proceso curtiembre

1.7.4. Operacionalización de variables

Tabla 1 Operacionalización de variables

VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES
VI: Recirculación del agua residual industrial	<i>Rodríguez et al.</i> , “Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial” [25]. <i>OEFA</i> , “Resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras”[26].	D_{I,1} : Reciclo del agua residual	I_{I,1,1} : Porcentaje de reciclo I_{I,1,2} : Flujo de agua ingreso a al proceso curtidora I_{I,1,3} : Carga másica contaminantes aportado por el proceso curtidora	% m ³ /h kg/h
VD: Costo de reúso	<i>Mpofu et al.</i> , “Sin embargo, la adopción de técnicas de producción más limpia en los países en desarrollo es tradicionalmente lenta”[20], ya que “los curtidores son reacios a adaptar sus procesos de curtido debido a la percepción de que estos pueden poner en peligro la calidad del cuero producido” [20].	D_{D,1} : Valor de costo	I_{D,1,1} : Porcentaje de contaminantes retiro del proceso de la planta tratamiento I_{D,1,1} : Porcentaje de contaminantes retiro del proceso de la planta de acondicionamiento I_{D,1,1} : Costo total	% % S/h

1.8. Justificación e importancia

1.8.1. Justificación

La finalidad del estudio será evaluar que la recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, en vista de que la derivación de la investigación, al poner en práctica la hipótesis estadística en virtud de la monitorización realizada en el sitio en el tiempo planificado con la organización de la industria curtidora, se procedió al empleo del Microsoft Excel, “registrándose el prototipo de costo de reúso del proceso, se accedió a los análisis respectivos para obtener los parámetros del estudio para obtener la simulación del costo de reúso del proceso” [27]. En la tesis propuesta se ha apresiado el Microsoft Excel que tiene mecanismos especiales, empleado un estilo lógico para la modelización del costo de reúso del procedimiento del líquido remanente en la industria curtiduría.

1.8.2. Importancia

Shahid et al., “la recuperación de agua incluye el procesamiento del agua obtenida de diferentes fuentes para generar agua nueva apropiada, como la reposición de aguas subterráneas, la agricultura, el riego de tierras, el suministro de agua potable, las instalaciones industriales y la restauración ambiental”[28]. El agua reciclada se puede aplicar desde diversas perspectivas para compartir la carga de las fuentes de agua dulce:

“[...] en muchas áreas del mundo, aún no se explora todo el potencial del uso de agua regenerada. Además, diferentes organismos nacionales e internacionales definieron diferentes pautas para el agua regenerada específicas para el uso particular”[28].

1.9. Marco conceptual

1.9.1. Gestión del Agua

“A la pregunta: ¿Qué estamos haciendo para atender los problemas y desafíos del problema del agua?”[29], “Las respuestas a los problemas del agua, como cualquier problema ambiental, incluyen tanto los instrumentos político-administrativos, económico-financieros, tecnológicos de intervención física, de educación y sensibilización pública, que ayudan a disminuir los grados de contaminación o el uso excesivo del recurso”[29].

1.9.2. Nueva Cultura del Agua

“El termino Nueva Cultura del Agua surge a mediados de los años noventa del siglo XX surge como un movimiento socio ambiental, este concepto poco a poco fue refiriéndose a toda forma diferente de tratar y abordar los temas relacionados con el manejo y gestión”[30]. “Sus actores son los movimientos ecologistas y ambientalistas de los años 70 y 80, en el Valle del Ebro, tomaron el recurso hídrico como bien básico de acción antrópica, y era vista como una expresión de las contradicciones del capitalismo industrial”[30].

“De este modo se concibió el agua como un activo `socialecológico`, y surge la necesidad de gestionar la demanda en lugar de la oferta, aplicando técnicas como análisis y evaluación beneficio-costos o el estudio y evaluación de la degradación ambiental”[30] y “la manera de visualizar la cuenca hidrográfica e hidrológica como una unidad de planificación territorial, intentando reducir y eliminar los trasvases de cuenca y las presas”[30].

1.9.3. Reúso de aguas servidas regeneradas

“Para reusar las aguas residuales tratadas que genere Siempre que se trate del mismo fin para el cual le fue otorgado dicho derecho. En este caso carece de objeto tramitar un pronunciamiento expreso de la Autoridad Nacional del Agua”[31].

1.9.4. Aguas Residuales

DISEPROSA, “Cabe indicar, que el agua residual, es aquella cuya característica original ha sido modificada por actividades humanas (domésticas, industriales e institucionales) y que, por su calidad, exigen una depuración previa”[32].

1.9.5. Saneamiento y Salud

Larios-Meño et al., “En Latino América y el Caribe, una de las dificultades sanitarios más álgidos es la descarga sin control de aguas negras sin depuración alguna, que impacta y contaminan las aguas

subterráneos y superficiales”[33].. “En muchos países las aguas residuales que son regeneradas no cuentan con adecuado tratamiento”[33].

1.9.6. Recirculación

Metcalf y Eddy, [34], “La recirculación de los microorganismos desde el sedimentador secundario al tanque de aireación, permite mantener una concentración de biomasa constante en el reactor. Valores de recirculación varían en función del caudal de entrada, desde una fracción de 0,25 a 1,25”.

1.9.7. Carga orgánica

Méndez et al, [19]“La Carga Orgánica (CO), se refiere a la cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema, representándose como la alimentación de DBO_5 por unidad de volumen de reactor, expresada como $(\text{kgDBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ”. *Ramalho*, explica que, “La carga orgánica varía con la operación de la planta, tanto en flujo, como en concentración de material orgánico. Típicamente, los valores de diseño son entre 0,3–1,6 $(\text{KgDBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ”[35].

1.9.8. Tiempo de retención hidráulico (TRH)

Metcalf y Eddy, [34], “Al tiempo de residencia del agua residual en el sistema, el cual debe ser suficiente para permitir un contacto adecuado entre la materia orgánica disuelta y los microorganismos”. *Ramalho*, [35]. “Los sistemas convencionales presentan TRH entre 3-10 h, mientras que los de aireación extendida de 12-36 h”

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1. Área de estudio

“El departamento de Ica es uno de los veinticuatro departamentos que forman la República del Perú”[36], “está ubicado en el centro oeste del país, limitando al norte con Lima, al este con Huancavelica y Ayacucho, al sur con Arequipa y al oeste con el Océano Pacífico”[36], “con 21 327 83 km² es el sexto departamento menos extenso y se fundó el 30 de enero de 1866, su territorio es casi por completo parte del desierto costero del Perú y conforma el llamado gran tablazo de Ica”[36]:

... con sus cinco provincias y es como sigue: Chincha, Pisco, Ica, Palpa y Nasca. La Provincia de Pisco tiene una superficie total de 3 978 19 km², donde; “destaca su amplia producción agroexportadora y empresas industriales de transformación de la materia prima, que determinan una región en pleno desarrollo industrial .[37].



Fuente: <http://www.publittours.com/nazca-paracas-ica/mapa-de-ica.html#>

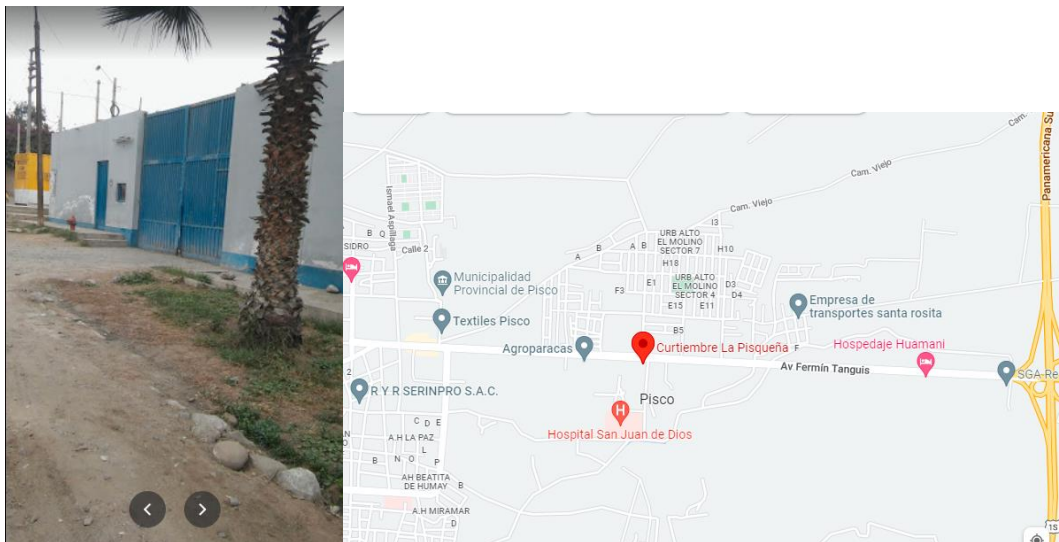
Figura 1. Departamento de Ica



Fuente: <https://andina.pe/agencia/noticia-sismo-40-grados-magnitud-causo-alarma-pisco-chincha-ica-y-canete-181638.aspx>

Fuente: <https://sites.google.com/site/regionicasanti/pisco>

Figura 2. Ubicación del distrito de Pisco en la Provincial de Pisco



Fuente: <https://ubicania.com/empresa/curtiembre-la-pisquena-sa-20104624104>

Fuente: <https://ubicania.com/empresa/curtiembre-la-pisquena-sa-20104624104>

Figura 3. Ubicación de la curtiduría distrito de Pisco

2.2. Puntos de monitoreo en el proceso de la calidad de agua residual

Se establecieron tres puntos de monitoreo en el proceso de recirculación del agua residual industrial con fines de costo de reúso del proceso en la empresa curtiduría, con las siguientes coordenadas UTM. El punto E-1 (8 483 851N - 371 848E), el punto E-2 (8 483755N – 371 748E) y el punto E-3 (8 483 762N – 371 843E), (Coordenadas UTM: Datum WGS84 Huso 18 Sur), la altitud media a 17 m.s.n.m. (Figura 4).

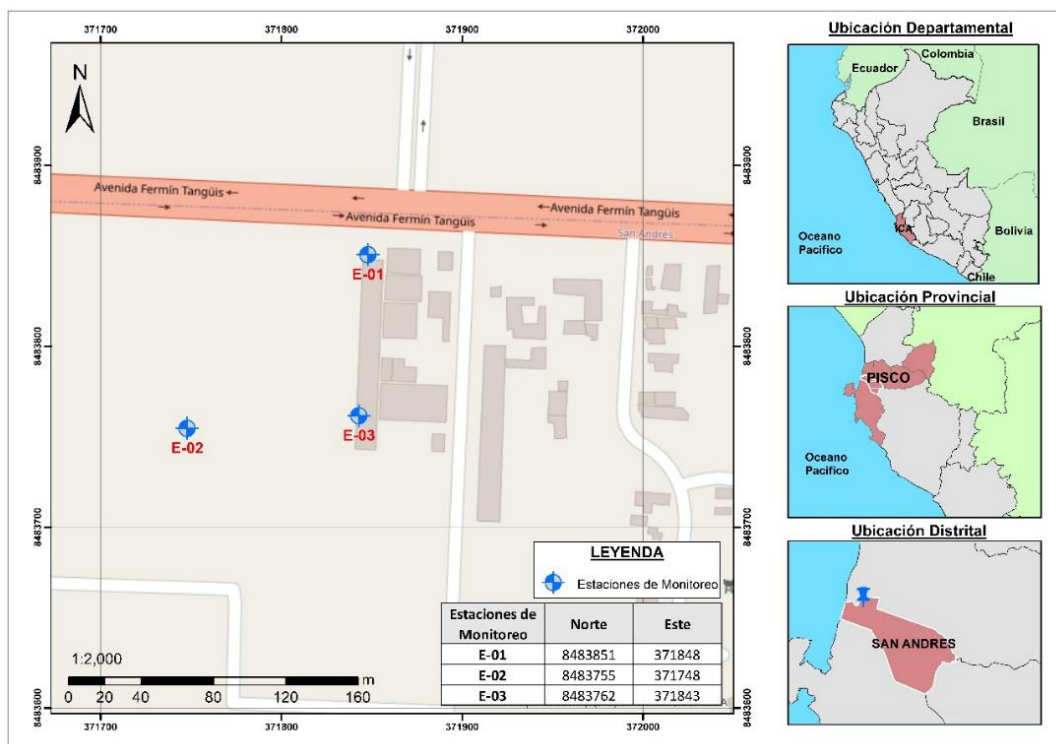


Figura 4. “Localización de los puntos de monitoreo en el proceso de recirculación del agua residual industrial - Cercado de la Provincia de Pisco, donde se localizaron los puntos para el monitoreo: E-01, E-02 y E-03” [37].

2.3. La Investigación

2.3.1. Tipo y nivel de la investigación

“**Tipo**, se realizó ocho pruebas en la empresa curtiduría, ubicado en el cercado de la Provincia de Pisco, Región de Ica. La investigación realizada fue de tipo experimental, con los siguientes criterios metodológicos considerados: observacional, prospectivo las pruebas fueron recogidos a propósito de la investigación y longitudinal, puesto que se aplicó conocimientos previos adquiridos de un aprendizaje teórico, además resolver problemas reales”[38].

“**Nivel** De nivel descriptivo-explicativo: descriptivo, Se identificó la estrategia necesaria en la recirculación del agua residual industrial en el costo de reúso del proceso, explicativo, confrontar las variables en estudio”[39].

“**Diseño**, Diseño experimental. Con Enfoque Cuantitativo, se determinó a través de la técnica de observación y el instrumento fue el registro del

documento de la empresa, para desarrollar el proceso de investigación” [38].

2.3.2. Población y muestra

Población: “Aguas residuales industriales proveniente de la planta de curtidora Pisco. [28].

Muestra: “El tamaño de la muestra está determinado de acuerdo al protocolo establecido”[28].

2.3.3. Marco legal

Decreto Supremo N°021-2009-VIVIENDA

“Reglamento donde se aprueba los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado, modificado mediante *Decreto Supremo N°001-2015-Vivienda*”[40]. “En el que se especifica en el Artículo 1° que los VMA: son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario”[40];

... su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces, así mismo en el Artículo 3° se define los VMA como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario.[40].

Decreto Supremo N°021-2009-Vivienda

“Al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales”[41].

Decreto supremo 003-2002-PRODUCE

“El presente *Decreto supremo 003-2002-PRODUCE*”[42], “es aplicable a todas las empresas nacionales o extranjeras, públicas o privadas con

instalaciones existentes o por implementar, que se dediquen en el país a las actividades industriales manufactureras de producción de cemento, cerveza, curtiembre y papel”[42].

El Artículo 5 del Decreto supremo 003-2002-PRODUCE

“Establece que los valores referenciales establecidos para el caso de las actividades industriales manufactureras de curtiembre y papel, serán evaluados con la información generada a través de informes de monitoreo”[42], a fin de determinar su idoneidad o necesidad de efectuar ajustes y darles posteriormente el carácter de Límites Máximos Permisibles. “En la revisión de los valores referenciales se tomará en cuenta la información proveniente de los estudios ambientales presentados ante el Ministerio de la Producción y de las correspondientes acciones de fiscalización realizadas”[42].

2.3.4. Técnica de recolección de datos

“En el cercado de la provincia de Pisco, se localizaron los puntos: E-01, E-02 y E-03, considerándose los siguientes parámetros.

Los siguientes datos:

- Concentración de agua de suministros (C_{abas}),
- Caudal de entrada al proceso (Q_{ep})”[43],
- “Concentración de entrada de agua al proceso (C_{ep}),
- Caudal de pérdidas de agua en el proceso (Q_{pp}),
- Carga de contaminantes aportado por el proceso (K_{pp})”[43],
- “Carga de contaminantes permitido en la descarga en la fuente (K_d) y
- Costo del agua de suministro ($C_{aguaabas}$)”[43].

El período de observación fue el 10 de noviembre, 12 de noviembre, 17 de noviembre, 19 de noviembre, 08 de diciembre, 10 de diciembre, 15 de diciembre y 17 de diciembre del 2021, en los ocho puntos seleccionados sea alimentado al programa de Simulación con Matlab (Anexo II), denominado el archivo con extensión Matlab, como curtiembre, con la finalidad de obtener los parámetros de estudio de recirculación del agua residual industrial, (ver tabla 2).

Las pruebas realizadas in situ, se accedió a los análisis respectivos para obtener los parámetros del estudio de investigación como se detallan en la (tabla 2), luego se alimentó al programa denominado *curtiembre* con extensión Matlab (Anexo II), y en el programa se desarrolló el algoritmo de costo total de reúso del proceso como lo describe la ecuación 1 y ver la (tabla 3), en respuesta de la obtención de los datos de costo total se elaboró los niveles y el tratamiento

Tabla 2. Valores de recirculación del agua residual industrial

Característica	Datos de recirculación del agua industrial promedio							
	10.11.2021	12.11.2021	17.11.2021	19.11.2021	08.12.2021	10.12.2021	15.12.2021	17.12.2021
r	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75
C _{abas}	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Q _{ep}	140	140	150	150	140	140	150	150
C _{ep}	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Q _{pp}	50	50	50	50	50	50	50	50
K _{pp}	50	50	50	50	60	60	60	60
K _d	15	15	15	15	15	15	15	15
C _{aguasabas}	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

2.3.5. Instrumentos de recolección de datos

Se utilizó un GPS (Garmin ETREX) para georreferenciar la zona, para levantar información de las coordenadas UTM, sistema: WGS-84, Zona: 18L para la ubicación geográfica de los puntos, además se utilizó un medidor de pH digital marca OAKTON, Modelo pH 310 para la determinación del potencial de hidrogeno para la determinación de los parámetros químicos de interés, se empleó un equipo multiparámetro HACH modelo HQ40d.

“Se realizó el monitoreo in situ, siguiendo los criterios establecidos en el protocolo de monitoreo de efluentes líquidos y emisiones atmosféricas, aprobado por Resolución Ministerial N°026-2000-ITINCI-DM”[44], “protocolo de vigilancia de los recursos hídricos DIGESA N°007-VI”[45], “el reglamento de estándares nacionales de calidad de agua Decreto Supremo N°004-2017-MINAN”[46] y “el Decreto Supremo N°003-PRODUCE, se refiere sobre límites máximos permisibles y valores referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel, (ANEXO I, Tabla I)”[47].

2.3.6. Técnicas de procesamiento de datos

Al evaluar, mediante la recirculación del agua residual en el costo de reúso del proceso en la planta curtiduría., se tomó en cuenta desde el suministro del agua al proceso, habiéndose considerado un rango estimado de 0.6 a 0.75 como porcentaje de reciclaje del agua residual de la planta de tratamiento, así como también, el porcentaje de carga de retiro en la planta de tratamiento y el porcentaje de carga de retiro en la descarga a la fuente (alcantarillado), como se observa en la (Figura 5).

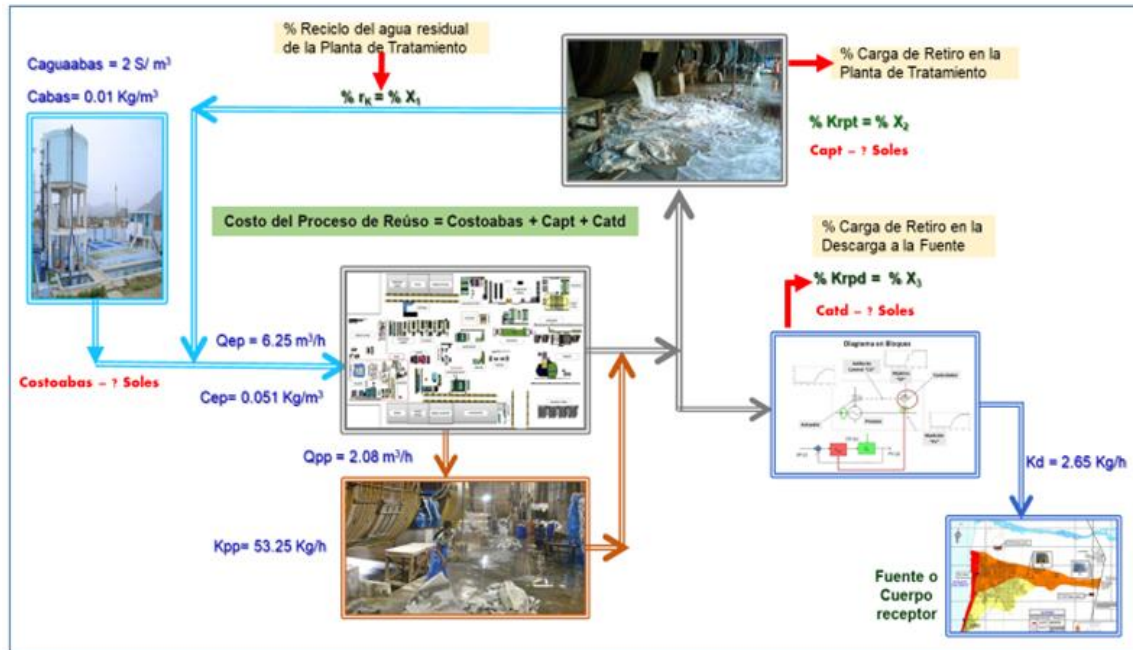


Figura 5. Diagrama de reciclo y la disposición del agua residual industrial tratada

2.3.7. Técnicas de procesamiento de datos

Prueba estadística: Hipótesis

a) Definición del sistema

El costo del proceso de reúso en la recirculación del agua residual industrial, permitieron determinar las variables del sistema:

Variables de entrada: Recirculación del agua residual industrial

- Porcentaje de reciclaje (%) (X₁)
- Flujo de agua ingreso a al proceso curtidora (m³/h) (X₂)
- Carga másica contaminantes aportado por el proceso (Kg/h) (X₃)

Variable de salida (tratamientos): Costo de reúso

- Porcentaje de contaminantes retiro del proceso de la planta tratamiento (Y₁)
- Porcentaje de contaminantes retiro del proceso de la planta de acondicionamiento (Y₂)
- Costo total (Y₃)

b) Elección de los niveles y tratamientos

“La elección de los niveles de los tratamientos está en base al diseño factorial 2^3 , como se señala en la (tabla 3).

Tabla 3. Niveles y Tratamientos”[48]

Factores			Factores		
Factor A	Factor B	Factor c	Valor r	Q _{ep}	K _{pp}
-	-	-	0.60	140	50
+	-	-	0.75	140	50
-	+	-	0.60	150	50
+	+	-	0.75	150	50
-	-	+	0.60	140	60
+	-	+	0.75	140	60
-	+	+	0.60	150	60
+	+	+	0.75	150	60

Valor r: Porcentaje de reciclado (%)

Q_{ep}: Flujo de agua ingreso a al proceso curtidora (m³/h)

K_{pp}: Carga másica contaminantes aportados por el proceso curtidora (Kg/h)

c) Formulación de hipótesis estadística

El sistema tal como fue definido, tiene una distancia de recirculación caracterizada por cuatro variables (tres tratamientos y el costo del proceso de reúso), en base a la ecuación 2, se propone el siguiente prototipo genérico de correlación eficaz:

$$Y = (X_1, X_2, X_3, X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3, X_1X_2X_3) \quad (\text{Ecuación 2})$$

La cual previamente debe expresar la variable dependiente como: Costo de reúso (Y) que depende de la variable independiente en base a sus indicadores que representan los factores como: “Recirculación del agua residual (X₁), Carga de retiro en la planta de tratamiento (X₂), y Carga de retiro en la descarga a la fuente (X₃)” [43]. Sin embargo, hay muchas interrogantes por resolver para que esta relación planteada quede completamente definida, tales como:

- ✓ ¿Qué tratamiento ha sido más influyente, X_1 , X_2 , o X_3 , en el costo de reúso?
- ✓ ¿Qué tratamiento ha sido menos influyente, X_1 , X_2 , ó X_3 , en el costo del proceso de reúso?
- ✓ ¿Las interacciones de los tratamientos son influyentes X_1X_2 , X_2X_3 , X_1X_3 o $X_1X_2X_3$, en el costo de reúso?
- ✓ ¿Qué interacciones de los tratamientos es más influyente X_1X_2 , X_2X_3 , X_1X_3 o $X_1X_2X_3$, en el costo de reúso?
- ✓ ¿Qué interacciones de los tratamientos es menos influyente X_1X_2 , X_2X_3 , X_1X_3 o $X_1X_2X_3$ en el costo de reúso?

Resolver esta problemática ha sido el propósito fundamental de la investigación. Para esto se formuló como consecuencia la suposición estadística en la tabla 4.

Tabla 4. La hipótesis estadística para investigar el grado de influencia de los tratamientos en el costo del proceso de recicl

Hipótesis	“Para la influencia directa de los tratamientos en el costo del proceso de reúso”[48]	“Para la influencia de la interacción de los tratamientos el costo del proceso de reúso” [48]
H_0	“Los efectos directos de los tratamientos en el costo del proceso de reúso no son significativos”	“Los efectos de interacción de los tratamientos en el costo del proceso de reúso no son significativos”
$H_1 = H_a$	“Los efectos directos de los tratamientos en el costo del proceso de reúso son significativos”	“Los efectos de interacción de los tratamientos en el costo del proceso de reúso son significativos”

“Ho : Hipótesis nula

H1 : Hipótesis Alternativa” [48]

2.3.8. Análisis e interpretación de los datos

Análisis de varianza

El Costo de reúso (Y), en el reúso de agua residual industrial como tratamientos. Así como los resultados del reúso de agua residual industrial se detallan finalmente en la (tabla 5).

Tabla 5. Costo de reúso

N° de Combinaciones Experimentales (Diseño Básico)	Tratamientos y Combinaciones	Factores		
		X ₁ (%)	X ₂ (Kg/)	X ₃ (Kg/h)
1	I	0.60	140	50
2	X ₁	0.75	140	50
3	X ₂	0.60	150	50
4	X ₁ X ₂	0.75	150	50
5	X ₃	0.60	140	60
6	X ₁ X ₃	0.75	140	60
7	X ₂ X ₃	0.60	150	60
8	X ₁ X ₂ X ₃	0.75	150	60

Análisis Estadístico

“El tratamiento estadístico de los resultados para la prueba de las hipótesis se hace efectivo por medio de un mecanismo constituido por las tres etapas siguientes:” [49].

- 1ro. - Elaboración del algoritmo de Yates para la determinación preliminar de los efectos directos y de interacción de los factores en la respuesta.
- 2do.- Análisis de varianza (ANOVA) para la determinación de la variabilidad de los resultados.
- 3ro. - “La prueba de hipótesis estadísticas para definir su aceptación o rechazo y, asimismo, para determinar el grado real de influencia de los tratamientos en el costo de proceso de reúso”[48].

III. RESULTADOS

3.1. La recirculación del agua residual industrial en el costo de reúso

Según el procedimiento, basado en el diseño por el algoritmo de Yates, de dos niveles y tres tratamientos, obteniéndose ocho tratamientos con los tres factores donde se considera en la (tabla 6), la notación de Yates, expresado en simbología de (- menos) y (+ mas), que para cada factor representa el valor más bajo que esta con signo (-) y al valor más alto que esta consigno (+) o también el valor más bajo que esta con signo y número (-1) y al valor más alto que esta con signo y número (+1). Es importante elaborar el ANOVA para resolver la hipótesis estadística principal: La recirculación del agua residual industrial en significativa con el costo de reúso en la planta curtidora.

Prueba estadística de hipótesis general

H_a: La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre **mejora significativamente** en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020

H₀: La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre **no mejora significativamente** en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020

Pasos a seguir para encontrar la significancia de la ANOVA F-test

1. “Selección del nivel y los factores: Diseño factorial 2^3
2. Selección de las variables: Estimación de los efectos
3. Selección del diseño experimental:
4. Realización del experimento
5. Análisis de los datos”[50].

Variable independiente: La recirculación del agua residual industrial

Porcentaje de reciclado (%) (X₁)

Flujo de agua de ingreso al proceso curtidora (m³/h) (X₂)

Carga másica de contaminantes aportado por el proceso (Kg/h) (X₃)

Variable dependiente: Costo de reúso

Costo de reúso (Y): Punto de muestro de datos, considerándose ocho replicas que se muestran en cada uno de los ocho diagramas del proceso curtidora desarrollado

en Excel y cada replica contiene los siguientes parámetros y es como sigue (“Tasa de reciclaje, carga de contaminantes a la planta de tratamiento de agua residual, carga de remoción de contaminante en la planta de tratamiento de agua residual, carga en el caudal para disposición a la fuente” [43], “carga de remisión de contaminante en la planta de tratamiento de descarga, costo de tratamiento de agua residual industrial, costo de tratamiento de agua residual de descarga en la fuente y costo de agua de suministro”[43]).

a) Selección del nivel y los factores

Fernández, “Diseño factorial 2^k , los diseños en los cuales cada uno de los factores cuenta con dos niveles, cuando se realiza un experimento con un número de factores 3 en el que cada uno de estos solo puede adoptar dos niveles”[50]. Según, *Fernández*, “estos niveles podrían ser cuantitativos o cualitativos y una réplica completa de tal diseño requiere que realizar 2^k combinaciones”[50].

Por lo tanto 2 representa el nivel y $k=3$ representa los factores o tratamientos: Diseño factorial 2^3 .

Tabla 6. Diseño 2^3 : Notación de Yates

Tratamientos	Factores			~	Tratamientos	Factores		
	Factor A	Factor B	Factor C			Factor A	Factor B	Factor C
[1]	-	-	-		“[1]	-1	-1	-1
X_1	+	-	-		X_1	1	-1	-1
X_2	-	+	-		X_2	-1	1	-1
X_1X_2	+	+	-		X_1X_2	1	1	-1
X_3	-	-	+		X_3	-1	-1	1
X_1X_3	+	-	+		X_1X_3	1	-1	1
X_2X_3	-	+	+		X_2X_3	-1	1	1
$X_1X_2X_3$	+	+	+		$X_1X_2X_3$	1	1	1”[50]

b) Selección de las variables: Estimación de los efectos

La variable independiente la *recirculación del agua residual industrial* en ella resalta tres indicadores o factores (X_1 , X_2 y X_3), que dan respuesta a la variable

dependiente el *costo de reúso*, en la (tabla 7), se obtiene “los efectos de los factores principales y los efectos de las interacciones”[50], para cada tratamiento, que va a permitir elaborar las ecuaciones estadísticas de cada uno de los efectos principales, como de cada uno de los efectos interactivos.

Tabla 7. Estimación de los efectos están en base a los tratamientos

Tratamientos	Efectos Principales			Efectos Interacciones			
	Factor A	Factor B	Factor C	AB	AC	BC	ABC
[1]	-	-	-	+	+	+	-
X ₁	+	-	-	-	-	+	+
X ₂	-	+	-	-	+	-	+
X ₁ X ₂	+	+	-	+	-	-	-
X ₃	-	-	+	+	-	-	+
X ₁ X ₃	+	-	+	-	+	-	-
X ₂ X ₃	-	+	+	-	-	+	-
X ₁ X ₂ X ₃	+	+	+	+	+	+	+

Efectos principales

$$A = \frac{1}{4n} \{X_1 + X_1X_2 + X_1X_3 + X_1X_2X_3 - X_2 - X_3 - X_2X_3 - (1)\}$$

$$B = \frac{1}{4n} \{X_2 + X_1X_3 + X_2X_3 + X_1X_2X_3 - X_1 - X_3 - X_1X_3 - (1)\}$$

$$C = \frac{1}{4n} \{X_3 + X_1X_3 + X_2X_2 + X_1X_2X_3 - X_1 - X_2 - X_1X_2 - (1)\}$$

Efectos interacciones

$$AB = \frac{1}{4n} \{(1) + X_2X_3 + X_3 + X_1X_2X_3 - X_1 - X_2 - X_1X_3 - X_2X_3\}$$

$$AC = \frac{1}{4n} \{(1) + X_2 + X_2X_3 + X_1X_2X_3 - X_1 - X_3 - X_1X_2 - X_2X_3\}$$

$$BC = \frac{1}{4n} \{(1) + X_1 + X_2X_3 + X_1X_2X_3 - X_2 - X_3 - X_1X_2 - X_1X_3\}$$

$$ABC = \frac{1}{4n} \{X_1 + X_2 + X_3 - X_1X_2X_3 - X_1X_2 - X_1X_3 - X_2X_3 - (1)\}$$

c) Selección del diseño experimental: Los factores con las combinaciones de tratamientos y las réplicas

En la (tabla 8), para llevar acabo la variable independiente de la recirculación del agua residual industrial con sus indicadores o tratamientos de tres factores como son: el Porcentaje de reciclado (%) (X_1), el flujo de agua ingreso a al proceso curtidora (m^3/h) (X_2) y la carga másica contaminantes aportado por el proceso (Kg/h) (X_3), que permita dar la respuesta de la variable dependiente de costo de reuso como (Y). Los valores de los factores con las combinaciones de tratamientos y los datos de campo consideradas para esta investigación donde se obtuvieron las réplicas consideradas en las fechas programada que nos permite saber si es significativo o no es significativo es estudio de investigación propuesto. “Como se observa en la (figura 6), Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica I, de fecha 10.11.2022”[43]. “También en la (figura 7), Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada”[43]. Replica II, de fecha 12.11.2022. los otros seis procedimientos considerados en el Excel o Replicas consideradas en la investigación se encuentran en el Anexo III: Replica III de fecha 17.11.2021, Replica IV de fecha 19.11.2021, Replica V de fecha 08 .12.2021, Replica VI de fecha 10.12.2021, Replica VII de fecha 15.12.2021 y Replica VIII de fecha 17.12.2021.

Tabla 8. Los factores con las combinaciones de tratamientos y las réplicas consideradas en las fechas programadas

Factores			Combinaciones de tratamientos	Replicas							
A	B	C		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
0.60	140	50	[1]	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75
0.75	140	50	X ₁	42.60	53.25	43.50	54.38	48.60	60.75	49.50	61.88
0.60	150	50	X ₂	22.16	32.60	21.60	32.25	28.16	40.10	27.60	39.75
0.75	150	50	X ₁ X ₂	28.40	17.75	29.00	18.13	32.40	20.25	33.00	20.63
0.60	140	60	X ₃	13.40	2.75	14.00	3.13	17.40	5.25	18.00	5.63
0.75	140	60	X ₁ X ₃	78.88	133.05	77.63	134.44	96.15	153.00	95.98	155.87
0.60	150	60	X ₂ X ₃	44.02	4.11	49.17	5.22	55.74	9.58	61.45	11.19
0.75	150	60	X ₁ X ₂ X ₃	134.40	84.00	144.00	90.00	134.00	84.00	144.00	90.00

Replica I: 10.11.2021

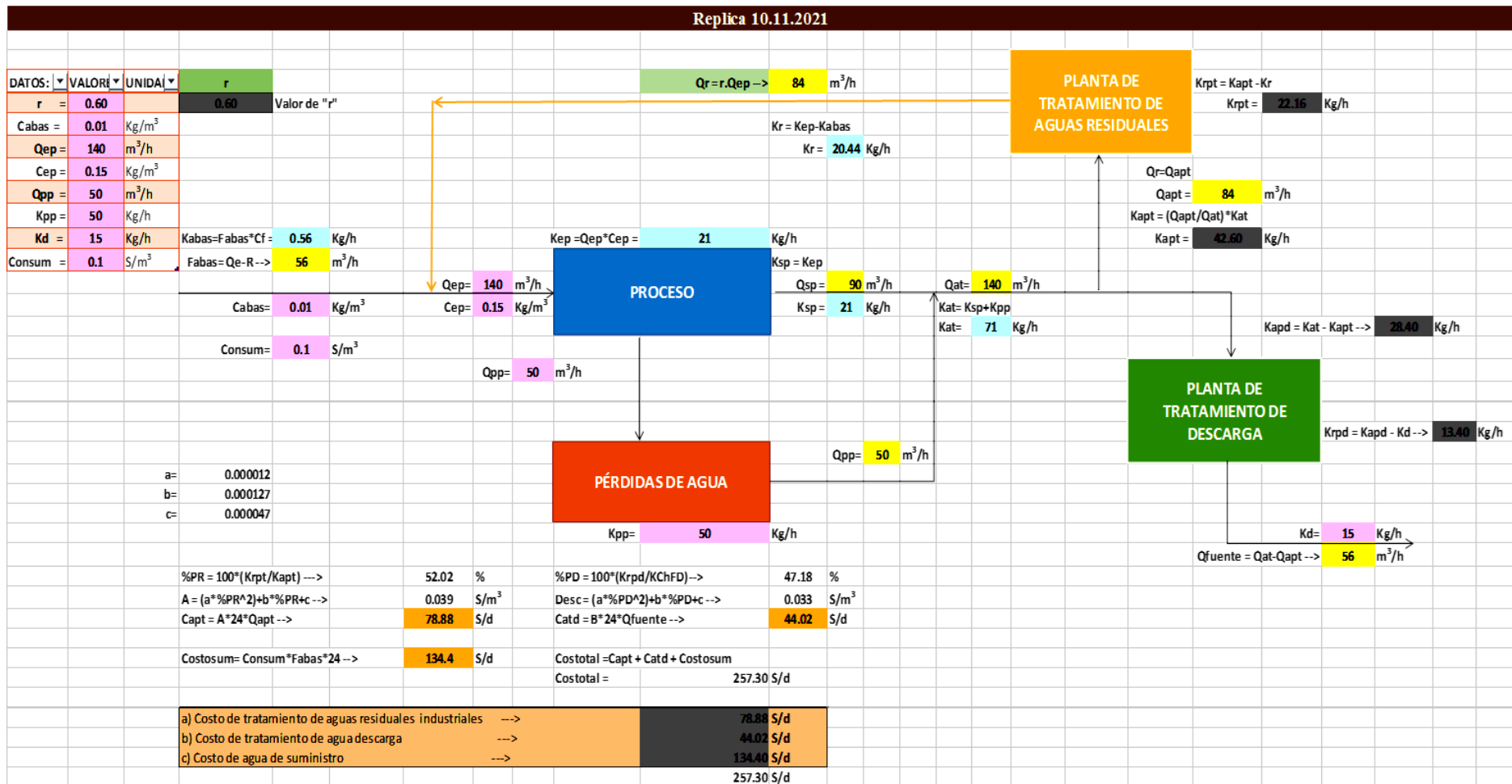


Figura 6. Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica I, de fecha 10.11.2022

Replica II: 12.11.2021

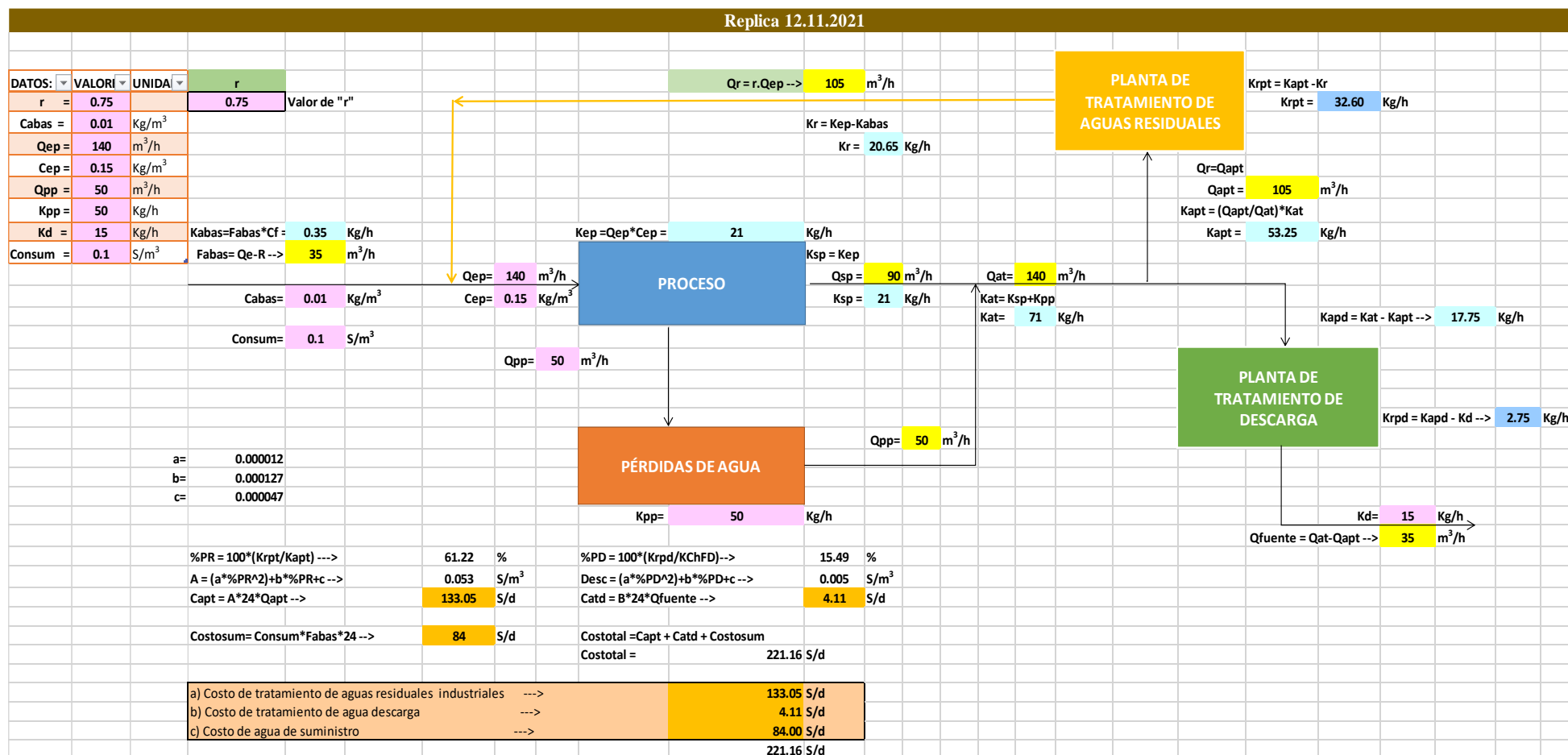


Figura 7. Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica II, de fecha 12.11.2022

d) **Realización del experimento: *Calculo del promedio en base al tratamiento con las réplicas***

Para tal efecto es importante calcular el promedio de todas las ocho replicas obtenidas en el estudio como se observa en la (tabla 9), encontrando se un promedio de $\bar{y} = 47.0794$.

Tabla 9. Promedio en base al tratamiento con las ocho réplicas

Tratamientos	Replicas								Promedio
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
[1]	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75	$\bar{y} =$ 47.0794
X ₁	42.60	53.25	43.50	54.38	48.60	60.75	49.50	61.88	
X ₂	22.16	32.60	21.60	32.25	28.16	40.10	27.60	39.75	
X ₁ X ₂	28.40	17.75	29.00	18.13	32.40	20.25	33.00	20.63	
X ₃	13.40	2.75	14.00	3.13	17.40	5.25	18.00	5.63	
X ₁ X ₃	78.88	133.05	77.63	134.44	96.15	153.00	95.98	155.87	
X ₂ X ₃	44.02	4.11	49.17	5.22	55.74	9.58	61.45	11.19	
X ₁ X ₂ X ₃	134.40	84.00	144.00	90.00	134.00	84.00	144.00	90.00	

Calculo de la suma total de cada tratamiento

En la (tabla 10), permite encontrar la suma de todos los tratamientos propuestos en la investigación. $[1] = 5.40$, $X_1 = 414.46$, $X_2 = 244.22$, $X_3 = 79.56$, $X_1X_2 = 199.56$, $X_1X_3 = 925.00$, $X_2X_3 = 240.48$ y $X_1X_2X_3 = 904.40$.

Tabla 10. Suma total de cada tratamiento considerando las ocho réplicas

Tratamientos	Replicas								=	Suma total de cada tratamiento
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
[1]	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75	=	5.40
X₁	42.60	53.25	43.50	54.38	48.60	60.75	49.50	61.88	=	414.46
X₂	22.16	32.60	21.60	32.25	28.16	40.10	27.60	39.75	=	244.22
X₁X₂	28.40	17.75	29.00	18.13	32.40	20.25	33.00	20.63	=	199.56
X₃	13.40	2.75	14.00	3.13	17.40	5.25	18.00	5.63	=	79.56
X₁X₃	78.88	133.05	77.63	134.44	96.15	153.00	95.98	155.87	=	925.00
X₂X₃	44.02	4.11	49.17	5.22	55.74	9.58	61.45	11.19	=	240.48
X₁X₂X₃	134.40	84.00	144.00	90.00	134.00	84.00	144.00	90.00	=	904.40

Calculo de la suma de cuadrado de los efectos

Partiendo de la (tabla 10), con la suma total de los tratamientos, se elaboró la suma de cuadrado para los efectos principales, como para la suma de los cuadrados para los efectos interactivos.

$$SS_A = \frac{1}{8n} [X_1 + X_1X_2 + X_1X_3 + X_1X_2X_3 - X_2 - X_3 - X_2X_3 - (1)]^2$$

$$SS_A = \frac{1}{8 * 3} [414.46 + 199.56 + 925.00 + 904.40 - 244.22 - 79.56 - 240.48 - 5.40]^2$$

$$SS_A = 54859.0084$$

$$SS_B = \frac{1}{8n} [X_2 + X_1X_2 + X_2X_3 + X_1X_2X_3 - X_1 - X_3 - X_1X_3 - (1)]^2$$

$$SS_B = \frac{1}{8 * 3} [244.22 + 199.56 + 240.48 + 904.40 - 414.46 - 79.56 - 925 - 5.4]^2$$

$$SS_B = 421.4809$$

$$SS_C = \frac{1}{8n} [X_3 + X_1X_3 + X_2X_3 + X_1X_2X_3 - X_1 - X_2 - X_1X_2 - (1)]^2$$

$$SS_C = \frac{1}{8 * 3} [79.56 + 925.00 + 240.48 + 904.40 - 414.46 - 244.22 - 199.56 - 5.4]^2$$

$$SS_C = 25832.5256$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{8n} [(1) + X_1X_2 + X_3 + X_1X_2X_3 - X_1 - X_2 - X_1X_3 - X_2X_3]^2$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{8 * 3} [5.40 + 199.56 + 79.56 + 904.40 - 414.46 - 244.22 - 925.00 - 240.48]^2$$

$$SS_{AB} = 6395.1540$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{8n} [(1) + X_2 + X_1X_3 + X_1X_2X_3 - X_1 - X_3 - X_1X_2 - X_2X_3]^2$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{8 * 3} [5.40 + 244.46 + 925.00 + 904.40 - 414.46 - 79.56 - 199.56 - 240.48]^2$$

$$SS_{AC} = 20483.3344$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{8n} [(1) + X_1 + X_2X_3 + X_1X_2X_3 - X_2 - X_3 - X_1X_2 - X_1X_3]^2$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{8 * 3} [5.40 + 414.46 + 240.48 + 904.40 - 244.22 - 79.56 - 199.56 - 925.00]^2$$

$$SS_{BC} = 211.7025$$

$$SS_{ABC} = \frac{1}{8n} [X_1 + X_2 + X_3 + X_1X_2X_3 - (1) - X_1X_2 - X_1X_3 - X_2X_3]^2$$

$$SS_{ABC} = \frac{1}{8 * 3} [414.46 + 244.22 + 79.56 + 904.40 - 5.40 - 199.56 - 925.00 - 240.48]^2$$

$$SS_{ABC} = 1157.7006$$

Calculo de la sumatoria de los cuadrados de los efectos totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n (y_{ijkl} - \bar{y})^2$$

Tabla 11. Calculo de la suma total de cada tratamiento

Tratamientos		Replicas							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
[1]	=	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.75
X ₁	=	42.60	53.25	43.50	54.38	48.60	60.75	49.50	61.88
X ₂	=	22.16	32.60	21.60	32.25	28.16	40.10	27.60	39.75
X ₁ X ₂	=	28.40	17.75	29.00	18.13	32.40	20.25	33.00	20.63
X ₃	=	13.40	2.75	14.00	3.13	17.40	5.25	18.00	5.63
X ₁ X ₃	=	78.88	133.05	77.63	134.44	96.15	153.00	95.98	155.87
X ₂ X ₃	=	44.02	4.11	49.17	5.22	55.74	9.58	61.45	11.19
X ₁ X ₂ X ₃	=	134.40	84.00	144.00	90.00	134.00	84.00	144.00	90.00

$\bar{y} =$

47.0794 (Promedio de todas las réplicas)

$$SS_T = ((I137-\$F\$145)^2+(J137-\$F\$145)^2+(K137-\$F\$145)^2+(L137-\$F\$145)^2+(M137-\$F\$145)^2+(N137-\$F\$145)^2+(O137-\$F\$145)^2+(P137-$$

$$\begin{aligned} & \$F\$145)^2+(I138-\$F\$145)^2+(J138-\$F\$145)^2+(K138-\$F\$145)^2+(L138- \\ & \$F\$145)^2+(M138-\$F\$145)^2+(N138-\$F\$145)^2+(O138-\$F\$145)^2+(P138- \\ & \$F\$145)^2+(I139-\$F\$145)^2+(J139-\$F\$145)^2+(K139-\$F\$145)^2+(L139- \\ & \$F\$145)^2+(M139-\$F\$145)^2+(N139-\$F\$145)^2+(O139-\$F\$145)^2+(P139- \\ & \$F\$145)^2+(I140-\$F\$145)^2+(J140-\$F\$145)^2+(K140-\$F\$145)^2+(L140- \\ & \$F\$145)^2+(M140-\$F\$145)^2+(N140-\$F\$145)^2+(O140-\$F\$145)^2+(P140- \\ & \$F\$145)^2+(I141-\$F\$145)^2+(J141+\$F\$145)^2+(K141-\$F\$145)^2+(L141- \\ & \$F\$145)^2+(M141-\$F\$145)^2+(N141-\$F\$145)^2+(O141-\$F\$145)^2+(P141- \\ & \$F\$145)^2+(I142-\$F\$145)^2+(J142-\$F\$145)^2+(K142-\$F\$145)^2+(L142- \\ & \$F\$145)^2+(M142-\$F\$145)^2+(N142-\$F\$145)^2+(O142-\$F\$145)^2+(P142- \\ & \$F\$145)^2+(I143-\$F\$145)^2+(J143-\$F\$145)^2+(K143-\$F\$145)^2+(L143- \\ & \$F\$145)^2+(M143-\$F\$145)^2+(N143-\$F\$145)^2+(O143-\$F\$145)^2+(P143- \\ & \$F\$145)^2+(I144-\$F\$145)^2+(J144-\$F\$145)^2+(K144-\$F\$145)^2+(L144- \\ & \$F\$145)^2+(M144-\$F\$145)^2+(N144-\$F\$145)^2+(O144-\$F\$145)^2+(P144- \\ & \$F\$145)^2)/(4) \end{aligned}$$

$$SS_T = 128136.5671$$

Calculo de la sumatoria de cuadrados del EFECTO ERROR

$$SS_{ERROR} = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{BC} + SS_{ABC})$$

$$SS_{ERROR} = 128136.5671 - (54859.0084 + 421.4809 + 25832.5256 + 6305.1540 + 20483.3344 + 211.7025 + 1157.7006)$$

Tabla 12. ANOVA Fc y F-Test

Fuente	F	GL	MS	Fc	F _{Test}
A	SS _A	1	MS _A	MS _A /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;H156;\$H\$163)
B	SS _B	1	MS _B	MS _B /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;H157;\$H\$163)
C	SS _C	1	MS _C	MS _C /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;H158;\$H\$163)
AB	SS _{AB}	1	MS _{AB}	MS _{AB} /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;H159;\$H\$163)
AC	SS _{AC}	1	MS _{AC}	MS _{AC} /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;H160;\$H\$163)
BC	SS _{BC}	1	MS _{BC}	MS _{BC} /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;H161;\$H\$163)
ABC	SS _{ABC}	1	MS _{ABC}	MS _{ABC} /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;H162;\$H\$163)
Error	SS _E	N-8	MS_E		
Total	SS _T	N-1			

e) Análisis de los datos: ANOVA F-Test y F_c

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el ANOVA F-test. “Se procedió a determinar los valores críticos de $F_{Test}(\Phi_1, \Phi_2)$ y $F_c(\Phi_1, \Phi_2)$, siguiendo el procedimiento de la (Tabla 11). En la (tabla 12) se muestran los resultados de la Prueba de hipótesis estadísticas”[50].

Tabla 13 Análisis ANOVA F-Test y Fc

Fuente	SS	GL	MS	F _C	F _T	p-value	Termino	Efecto Estándar	Margen de error
A	54859.0084	1	54859.0084	979.6252	4.0130	0.5231	X ₁	31.2990	2.0032
B	421.4809	1	421.4809	7.5264	4.0130	0.4411	X ₂	2.7434	2.0032
C	25832.5256	1	25832.5256	461.2951	4.0130	0.5209	X ₃	21.4778	2.0032
AB	6305.1540	1	6305.1540	112.5920	4.0130	0.5103	X ₁ X ₂	10.6109	2.0032
AC	20483.3344	1	20483.3344	365.7738	4.0130	0.5198	X ₁ X ₃	19.1252	2.0032
BC	211.7025	1	211.7025	3.7804	4.0130	0.3997	X ₂ X ₃	1.9443	2.0032
ABC	1157.7006	1	1157.7006	20.6732	4.0130	0.4767	X ₁ X ₂ X ₃	4.5468	2.0032
Error	18865.6606	56	336.8868						
Total	128136.5671	63	2033.9138						

σ (Desviación estándar)	18.3545	
R-CUAD	0.8528	85.28%
R-CUAD-AJS	0.8344	83.44%

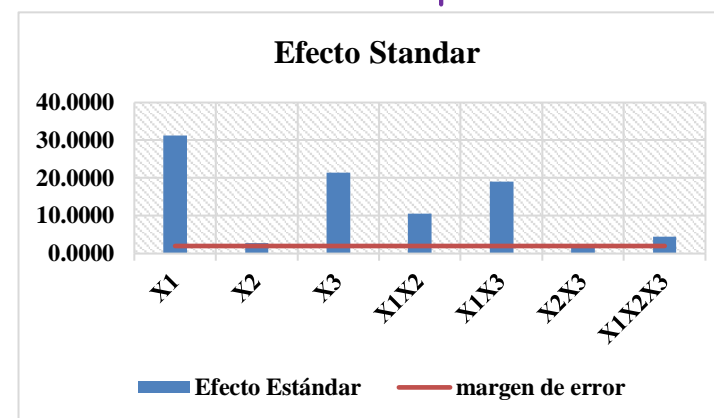


Figura 8. El efecto estándar permite ver si los factores son significativos

Donde:

n =	Número total de experimentos
s =	Desviación estándar
Fuente =	Tratamientos
MS =	Cuadrado Medio
SS =	Suma de Cuadrados
Gl =	Grados de Libertad
Fc =	F Calculado
Ft =	F de Tablas
p-value=	Probabilidad - valio
ME =	Margen de error

Regla de decisión: Para X_1 , F-Test (4.0130) < Fc (979.6552), para X_3 , F-Test (4.0130) < Fc (461.2951), para X_1X_2 , F-Test (4.0130) < Fc (112.5029), para X_1X_3 , F-Test (4.0130) < Fc (365.7732), para $X_1X_2 X_3$, F-Test (4.0130) < Fc (20.6732), para **P valor menor a 0.05**

Por lo tanto,

Se rechaza la H_0

Se acepta la H_a : Se puede decir que por lo menos hay algún factor o factores que contribuyen en la aceptación de la hipótesis alterna. La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre **mejora significativamente** en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

3.2. La recirculación del agua residual industrial y el valor de costo

Prueba estadística de hipótesis específica (1)

H_a : La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre **influye significativamente** en el valor de costo, Pisco, Ica, 2020.

H_0 : La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre **no influye significativamente** en el valor de costo, Pisco, Ica, 2020.

Pasos a seguir para encontrar la significancia de la ANOVA F-test

1. “Selección del nivel y los factores: Diseño factorial 2²

2. Selección de las variables: Estimación de los efectos
3. Selección del diseño experimental:
4. Realización del experimento
5. Análisis de los datos”[50].

Variable independiente: La recirculación del agua residual industrial

Porcentaje de reciclado (%) (X₁)

Flujo de agua de ingreso al proceso curtidora (m³/h) (X₂)

Dimensión dependiente: Valor de costo

Valor de costo (Y): Punto de muestro de datos, considerándose ocho replicas que se muestran en cada uno de los ocho diagramas del proceso curtidora desarrollado en Excel y cada replica contiene los siguientes parámetros y es como sigue (“Flujo de agua proveniente de la planta de tratamiento de agua residual, costo de tratamiento de agua residual industrial, costo de tratamiento de agua residual de descarga en la fuente y costo de agua de suministro”[43]).

a) Selección del nivel y los factores

Tabla 14 Diseño 2²: Notación de Yates

Tratamientos	Factores	
	Factor A	Factor B
[1]	-	-
X ₁	+	-
X ₂	-	+
X ₁ X ₂	+	+

b) Selección de las variables: Estimación de los efectos

La variable independiente es *la recirculación del agua residual industrial* en ella resalta dos indicadores o factores (X₁, y X₂), que dan respuesta a la dimensión dependiente el *valor de costo*, en la (tabla 15), se obtiene “los efectos de los factores principales y los efectos de las interacciones”[50], para

cada tratamiento, que va a permitir elaborar las ecuaciones estadísticas de cada uno de los efectos principales, como de cada uno de los efectos interactivos.

Tabla 15. Estimación de los efectos están en base a los tratamientos

Tratamientos	Efectos Principales		Efecto Interacción
	Factor A	Factor B	AB
[1]	-	-	+
X ₁	+	-	-
X ₂	-	+	-
X ₁ X ₂	+	+	+

c) Selección del diseño experimental: Los factores con las combinaciones de tratamientos y las réplicas

En la (tabla 16), para llevar a cabo la variable independiente de la recirculación del agua residual industrial con sus indicadores o tratamientos de tres factores como son: Porcentaje de reciclaje (%) (X₁) y el flujo de agua ingreso a al proceso curtidora (m³/h) (X₂), que permita dar la respuesta de la dimensión dependiente de *valor de costo*, como (Y).

Tabla 16. Los factores con las combinaciones de los tratamientos y las réplicas consideradas en las fechas programadas

Factores		Tratamiento	Replicas			
Reciclo	Flujo		I	II	III	IV
-	-	[1]	84.00	105.00	90.00	112.50
+	-	A	78.88	113.05	95.98	155.87
-	+	B	44.02	4.11	61.45	11.19
+	+	AB	134.40	84.00	144.00	90.00

d) **Realización del experimento: *Calculo del promedio en base al tratamiento con las réplicas***

Para tal efecto es importante calcular el promedio de todas las ocho replicas obtenidas en el estudio como se observa en la (tabla 17), encontrando se un promedio de $\bar{y} = 88.0281$.

Tabla 17. Calculo del promedio en base a las réplicas y la suma total de cada tratamiento

Tratamientos	Efecto Principales		Efecto Interacciones	Replicas				Suma Total de cada tratamiento
	Factor (X ₁)	Factor (X ₂)	Factor (X ₁ X ₂)	I	II	III	IV	
	Reciclo	Flujo	Reciclo/Flujo					
[1] =	-1	-1	1	84.00	105.00	90.00	112.50	391.50
A =	1	-1	-1	78.88	113.05	95.98	155.87	443.78
B =	-1	1	-1	44.02	4.11	61.45	11.19	120.77
AB =	1	1	1	134.40	84.00	144.00	90.00	452.40

Calculo de la Sumatoria de Cuadrados de los EFECTOS

$$SS_A = \frac{\{[X_1 + X_1X_2] - [(1) + X_2]\}^2}{4 * n}$$

$$SS_A = \frac{\{[443.78 + 452.40] - [391.50 + 120.77]\}^2}{4 * 4}$$

$$SS_A = 9211.6805$$

$$SS_B = \frac{\{[X_2 + X_1X_2] - [(1) + X_1]\}^2}{4 * n}$$

$$SS_B = \frac{\{[120.77 + 452.40] - [443.78 + 391.50]\}^2}{4 * 4}$$

$$SS_B = 4293.8593$$

$$SS_{AB} = \frac{\{[(1) + X_1X_2] - [X_1 + X_2]\}^2}{4 * n}$$

$$SS_{AB} = \frac{\{[391.50 + 452.40] - [443.68 + 120.77]\}^2}{4 * 4}$$

$$SS_{AB} = 4877.2764$$

Calculo de las Suma de Cuadrado TOTAL

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^4 (y_{ijk} - \bar{y})^2$$

Tabla 18. Calculo de la suma total de cada tratamiento

Tratamiento	Replicas			
	I	II	III	IV
[1]	= 84.0	105	90	112.5
SS_T = A	= 78.9	113.05	95.98	155.9
B	= 44.0	4.11	61.45	11.2
AB	= 134.4	84	144	90.0

$\bar{y} = 88.0281$ (Promedio de las réplicas)

$$SS_T = ((K119-H123)^2+(L119-H123)^2+(M119-H123)^2+(N119-H123)^2+(K120-H123)^2+(L120-H123)^2+(M120-H123)^2+(N120-H123)^2+(K121-H123)^2+(L121-H123)^2+(M121-H123)^2+(N121-H123)^2+(K122-H123)^2+(L122-H123)^2+(M122-H123)^2+(N122-H123)^2)$$

$$SS_T = 227175.3426$$

Calculo de la suma de cuadrados del ERROR

$$SS_{ERROR} = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_{AB})$$

$$SS_{ERROR} = 227175.3426 - (9211.6805 + 4293.8593 + 4877.2764)$$

$$SS_{ERROR} = 8792.5325$$

Tabla 19. ANOVA Fc y F-Test

Fuente	F	GL	MS	F _C	F _{Test}
A	SS _A	1	MS _A	MS _A /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;G190;\$G\$193)
B	SS _B	1	MS _B	MS _B /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;G191;\$G\$193)
AB	SS _{AB}	1	MS _{AB}	MS _{AB} /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;G192;\$G\$193)
Error	SS _E	N-8	MS_E		
Total	SS _T	N-1			

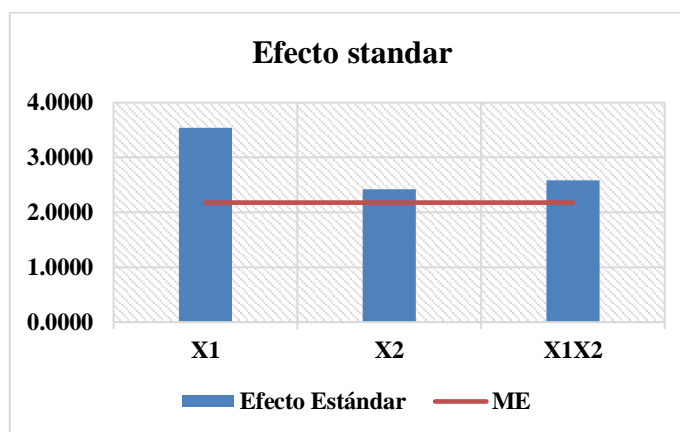
e) Análisis de los datos: ANOVA F-Test y Fc

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el ANOVA F-test. Se procedió a determinar los valores críticos de F_{Test} (Φ_1, Φ_2) y F_C (Φ_1, Φ_2), siguiendo el procedimiento de la (Tabla 19). En la (tabla 20) se muestran los resultados de la Prueba de hipótesis estadísticas (1).

Tabla 20. Análisis ANOVA F-Test y Fc

Fuente	SS	GI	MS	Fc	Ftest	p-value	Termino	Efecto Estándar	ME
A	9211.68051	1	9211.6805	12.5721	4.7472	0.5000	X ₁	3.5457	2.1788
B	4293.8533	1	4293.8533	5.8602	4.7472	0.4582	X ₂	2.4208	2.1788
AB	4877.2764	1	4877.2764	6.6565	4.7472	0.4682	X ₁ X ₂	2.5800	2.1788
Error	8792.53248	12	732.71104						
Total	27175.3426	15	1811.6895						

Grafica de efecto estándar



Desviación Estándar (σ)	27.0686	
R-CUAD	0.6765	67.65%
R-CUAD-AJS	0.5956	59.56%

Regla de decisión: para X_1 , F-Test (4.7472) < F_c (12.5721), para X_2 , F-Test (4.7472) < F_c (5.8602) y para X_1X_2 , F-Test (4.7472) < F_c (6.6565), para **P** valor menor a **0.05**.

Por lo tanto,

Se rechaza la H_0

Se acepta la H_a : Se puede decir que por lo menos hay un factor que contribuyen en la aceptación de la hipótesis alterna por lo que. La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre **influye significativamente** en el valor de costo, Pisco, Ica, 2020.

3.3. El reciclado del agua residual en la planta de tratamiento y el costo de reúso

Prueba estadística de hipótesis específica (2)

H_a : El reciclado del agua residual en la planta de tratamiento mediante el proceso curtiembre **mejora significativamente** en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

H_0 : El reciclado del agua residual en la planta de tratamiento mediante el proceso curtiembre **no mejora significativamente** en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

Pasos a seguir para encontrar la significancia de la ANOVA F-test

1. “Selección del nivel y los factores: Diseño factorial 2^2
2. Selección de las variables: Estimación de los efectos
3. Selección del diseño experimental:
4. Realización del experimento
5. Análisis de los datos”[50].

Dimensión independiente: El reciclado del agua residual

Flujo de agua de ingreso al proceso curtidora (m^3/h)

(X_2)

Carga másica de contaminantes aportado por el proceso (Kg/h) (X_3)

Dimensión efecto: Costo de reúso

Costo de reúso (Y): Punto de muestro de datos, considerándose ocho replicas que se muestran en cada uno de los ocho diagramas del proceso curtidora desarrollado en Excel y cada replica contiene los siguientes parámetros y es como sigue (“Flujo de agua proveniente de la planta de tratamiento de agua residual, porcentaje remisión de la planta de tratamiento, porcentaje de remisión de la planta de descarga en la fuente y costo total”[43]).

a) Selección del nivel y los factores

Tabla 21. Diseño 2²: Notación de Yates

Tratamientos	Factores	
	Factor B	Factor C
[1]	-	-
X_2	+	-
X_3	-	+
X_2X_3	+	+

b) Selección de las variables: Estimación de los efectos

“La dimensión independiente el *reciclo del agua residual en la planta de tratamiento*”[43] en ella resalta dos indicadores o factores (X_1 , y X_3), que dan respuesta a la variable dependiente el *costo de reúso*, en la (tabla 22), se obtiene “los efectos de los factores principales y los efectos de las interacciones”[50], para cada tratamiento, que va a permitir elaborar las ecuaciones estadísticas de cada uno de los efectos principales, como de cada uno de los efectos interactivos

Tabla 22. Estimación de los efectos están en base a los tratamientos

Tratamientos	Efectos Principales		Efecto Interacción
	Factor A	Factor B	AB
[1]	-	-	+
X ₁	+	-	-
X ₂	-	+	-
X ₁ X ₂	+	+	+

c) Selección del diseño experimental: Los factores con las combinaciones de tratamientos y las réplicas

En la (tabla 23), para llevar acabo la dimensión independiente de la recirculación del agua residual industrial con sus indicadores o tratamientos de dos factores como son: el flujo de agua de ingreso al proceso curtidora (m³/h) (X₁) y la carga másica de contaminantes aportado por el proceso (Kg/h) (X₃), que permita dar la respuesta de la variable dependiente costo de reúso como (Y).

Tabla 23. Los factores con las combinaciones de los tratamientos y las réplicas consideradas en las fechas programadas

Factores			Replicas			
Reciclo	Flujo	Tratamiento	I	II	III	IV
		-				
+	-	B	52.02	59.31	57.94	64.24
-	+	C	47.18	17.24	53.70	27.27
+	+	BC	257.30	229.66	286.29	257.07

d) Realización del experimento: *Calculo del promedio en base al tratamiento con las réplicas*

Para tal efecto es importante calcular el promedio de todas las ocho replicas obtenidas en el estudio como se observa en la (tabla 24), encontrando se un promedio de $\bar{y} = 88.0281$.

Tabla 24. Calculo del promedio en base a las réplicas y la suma total de cada tratamiento

Tratamientos	Efecto Principales		Efecto Interacciones		Replicas				Suma Total de cada tratamiento
	Factor (X ₂)	Factor (X ₃)	Factor (X ₂ X ₃)		I	II	III	IV	
	Flujo	Carga	Flujo/Flujo						
[1] =	-1	-1	1		84.00	112.50	84.00	112.50	393.00
B =	1	-1	-1		52.02	59.31	57.94	64.24	233.51
C =	-1	1	-1		47.18	17.24	53.70	27.27	145.39
BC =	1	1	1		257.30	229.66	286.29	257.07	1030.32

Calculo de la Sumatoria de Cuadrados de los EFECTOS

$$SS_B = \frac{\{[X_2 + X_2X_3] - [(1) + X_3]\}^2}{4 * n}$$

$$SS_B = \frac{\{[233.51 + 1030.32] - [393.00 + 145.39]\}^2}{4 * 4}$$

$$SS_B = 32891.4496$$

$$SS_C = \frac{\{[X_3 + X_2X_3] - [(1) + X_2]\}^2}{4 * n}$$

$$SS_C = \frac{\{[145.39 + 1030.32] - [393.00 + 233.51]\}^2}{4 * 4}$$

$$SS_C = 18851.29000$$

$$SS_{BC} = \frac{\{[(1) + X_2X_3] - [X_2 + X_3]\}^2}{4 * n}$$

$$SS_{BC} = \frac{\{[393.00 + 1030.32] - [233.51 + 145.39]\}^2}{4 * 4}$$

$$SS_{BC} = 68175.8210$$

Calculo de las Suma de Cuadrado TOTAL

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^4 (y_{ijk} - \bar{y})^2$$

Tabla 25. Calculo de la suma total de cada tratamiento

Tratamiento	Replicas			
	I	II	III	IV
[1]	= 84.0	= 112.50	= 84.00	= 112.50
SS_T = A	= 52.02	= 59.31	= 57.94	= 64.24
B	= 44.18	= 17.24	= 53.70	= 27.27
AB	= 257.30	= 229.66	= 257.07	= 257.07

$\bar{y} = 112.6388$ (Promedio de las réplicas)

$$SS_T = ((K119-H123)^2+(L119-H123)^2+(M119-H123)^2+(N119-H123)^2+(K120-H123)^2+(L120-H123)^2+(M120-H123)^2+(N120-H123)^2+(K121-H123)^2+(L121-H123)^2+(M121-H123)^2+(N121-H123)^2+(K122-H123)^2+(L122-H123)^2+(M122-H123)^2+(N122-H123)^2)$$

$$SS_T = 123276.7372$$

Calculo de la suma de cuadrados del ERROR

$$SS_{ERROR} = SS_T - (SS_B + SS_C + SS_{BC})$$

$$SS_{ERROR} = 123276.7372 - (32892.4496 + 18851.2900 + 68175.8210)$$

$$SS_{ERROR} = 3358.1765$$

Tabla 26. ANOVA Fc y F-Test

Fuente	F	GL	MS	F _C	F _{Test}
B	SS _A	1	MS _A	MS _A /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;G190;\$G\$193)
C	SS _B	1	MS _B	MS _B /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;G191;\$G\$193)
BC	SS _{AB}	1	MS _{AB}	MS _{AB} /MS _E	=DISTR.F.INV(0.05;G192;\$G\$193)
Error	SS _E	N-8	MS _E		
Total	SS _T	N-1			

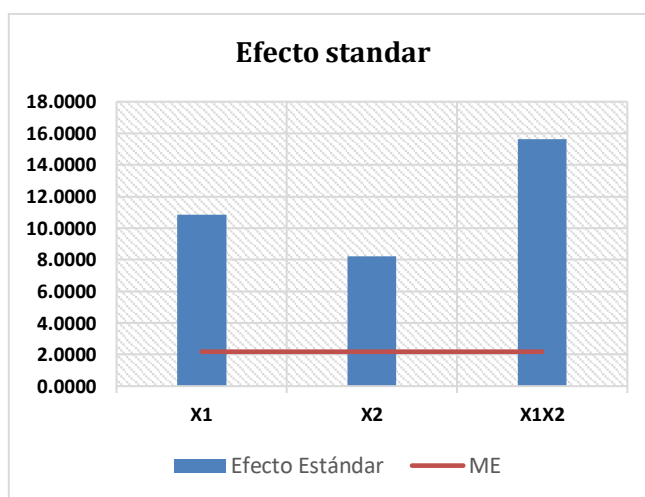
e) **Análisis de los datos: ANOVA F-Test y Fc**

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el ANOVA F-test. “Se procedió a determinar los valores críticos de F_{Test} (Φ_1 , Φ_2) y F_c (Φ_1 , Φ_2), siguiendo el procedimiento de la (Tabla 26). En la (tabla 27) se muestran los resultados de la Prueba de hipótesis estadísticas (2)”[50].

Tabla 27. Análisis ANOVA F-Test y Fc

Fuente	SS	GI	MS	Fc	Ftest	p-value	Termino	Efecto Estándar	ME
A	32891.4496	1	32891.4496	117.5332	4.7472	0.5465	X_2	10.8413	2.1788
B	18851.2900	1	18851.2900	67.3626	4.7472	0.5412	X_3	8.2075	2.1788
AB	68175.8210	1	68175.8210	243.6173	4.7472	0.5505	X_2X_3	15.6082	2.1788
Error	3358.1766	12	279.8480						
Total	123276.7372	15	8218.4491						

Grafica de efecto estándar



Desviación Estándar (σ)	16.7287	
R-CUAD	0.9728	97.28%
R-CUAD-AJS	0.9659	96.59%

Regla de decisión: para X_1 , $F\text{-Test} (4.7472) < F_c (117.5332)$, para X_2 , $F\text{-Test} (4.7472) < F_c (67.3626)$ y para X_1X_2 , $F\text{-Test} (4.7472) < F_c (243.6173)$, para **P** valor menor a **0.05**

Por lo tanto,

Se rechaza la H_0

Se acepta la H_a : Se puede decir que por lo menos hay un factor que contribuyen en la aceptación de la hipótesis alterna por lo que. El reciclado del agua residual en la planta de tratamiento mediante el proceso curtiembre **mejora significativamente** en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. La recirculación del agua residual industrial en el costo de reúso

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el S_i^2 y S_e^2 . Se procedió a determinar los valores críticos de $F_{Test}(\Phi_1, \Phi_2)$ y $F_c(\Phi_1, \Phi_2)$, en la (Tabla 28).

Tabla 28. Cuadro comparativo de F (Φ_1, Φ_2), al 95% de confianza

Grado de confianza (%)	$F_{Test}(\Phi_1, \Phi_2)$	$F_c(\Phi_1, \Phi_2)$	Identificación de la combinación	Grado de influencia del factor o interacción en la respuesta
95	4.0130	979.6252	X_1	Muy Influyente
		7.5264	X_2	No influyente
		461.2951	X_3	Muy influyente
		112.5920	X_1X_2	Muy influyente
		365.7738	X_1X_3	Muy influyente
		3.7804	X_2X_3	No influyente
		20.6732	$X_1X_2X_3$	Ligeramente influyente

Se afirma que la recirculación del agua residual industrial al considerar los indicadores o factores como muy influyentes para: el porcentaje de reciclado (X_1), la carga másica de contaminantes aportado por el proceso (X_3), para ambos en el porcentaje de reciclado y el flujo de agua ingreso al proceso curtidora ($X_1 X_2$), para ambos en el porcentaje de reciclado y la carga másica de contaminantes aportado por el proceso ($X_1 X_3$) y ligeramente influyente para los tres factores como el porcentaje de reciclado, el flujo de agua ingreso al proceso curtidora y la carga másica de contaminantes aportado por el proceso ($X_1X_2X_3$).

“Esto quiere decir que los resultados de la prueba de hipótesis al 95% de confianza, se concluye que el costo de reúso del proceso depende de la siguiente relación funcional”[50] de $f(X_1, X_3, X_1X_2, X_1X_3)$, donde las combinaciones de ($X_1 = 979.6252$, $X_3 = 461.2951$, $X_1X_2 = 112.5920$ y $X_1X_3 = 365.7738$), frente a lo mencionado se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a): La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre **mejora significativamente** en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

“Estos resultados son corroborados por quienes en su investigación concluyen que las funciones de respuesta para el porcentaje de mineralización desarrollados en las ecuaciones de reacciones de Fenton y foto-Fenton” [51], donde “aplicaron la prueba de Yates y el análisis de varianza (ANOVA), siendo significativos de 95% (valor con un margen de error de +/- 0.05), para ello, se realizaron estudios en una simulación de aguas residuales agroindustriales”[51], se utilizó el diseño estadístico de experimentos para “evaluar la influencia de la concentración de IMZ, Fe (II) y H₂O₂ en la eficiencia del proceso, el Fe (II) y H₂O₂ optimizados para la mineralización de 50 mg L⁻¹ IMZ fueron 21.5 y 127.5 mg L⁻¹, respectivamente” [51], se “estimó un costo operativo de 2.06 s/m³ para el tratamiento de 10 m³ de aguas residuales contaminadas con IMZ, esto nos permite argumentar con mayor criterio que el diseño factorial 2³ es una técnica estadística que permite desarrollar los efectos o tratamientos de la variable independiente”[51]. Así También, se refieren que el análisis de datos estadísticos de los resultados del diseño factorial, “se estimó el análisis de varianza (ANOVA) que le permitió determinar la significancia entre y dentro de los niveles bajo y alto de cada factor en $\alpha = 0.05$, con el fin de determinar todos los términos viables”[52], siendo su “aporte de los investigadores sobre los efectos principales y las de interacción, como el gráfico de Pareto”[52], además “considera el gráfico de probabilidad normal. Permitiendo en futuras investigaciones considerar como factores o variables de entrada: mediciones, variaciones, efectos directos y efectos de iteración en procesos fisicoquímicos, biológicos y sanitarios”[52].

En tal sentido, en base a lo referido anteriormente y al analizar los resultados se confirma que el flujo de agua ingreso al proceso curtidora (X₂), como el efluente crudo de la curtiembre, no genera impacto de contaminación alguno al ser lanzados a una red de alcantarillado. “Se menciona que la recirculación de las aguas residuales industriales, es un tema importante que debe ser considerado también en los países latinoamericanos, como en nuestra realidad nacional”[53], considerando la realidad plantea de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por Naciones Unidas que abordan los mayores retos de la humanidad desde una perspectiva global y transversal, con una visión a futuro hacia el año 2030. Es importante fortalecer el objetivo 6 de la ODS, de la calidad de agua y saneamiento, sobre la escasez de agua, los problemas de calidad del agua y el saneamiento

inadecuado trabajando por un uso racional y sostenible de este recurso de primera necesidad y afrontando los riesgos relacionados con su escasez.

4.2. La recirculación del agua residual industrial en el valor de costo

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el S_i^2 y S_e^2 . Se procedió a determinar los valores críticos de $F_{Test}(\Phi_1, \Phi_2)$ y $F_C(\Phi_1, \Phi_2)$, en la (Tabla 30).

Tabla 29 Cuadro comparativo de F (Φ_1, Φ_2), al 95% de confianza

Grado de confianza (%)	$F_{Test}(\Phi_1, \Phi_2)$	$F_C(\Phi_1, \Phi_2)$	Identificación de la combinación	Grado de influencia del factor o interacción en la respuesta
95	4.7472	117.5332	X_2	Muy Influyente
		67.3626	X_3	Influyente
		243.6173	X_2X_3	Muy influyente

Se afirma que la recirculación del agua residual industrial al considerar los indicadores o factores como muy influyentes para: el flujo de agua de ingreso al proceso curtidora (m^3/h) (X_2), la carga másica de contaminantes aportado por el proceso (Kg/h) (X_3), para ambos como el flujo de agua de ingreso al proceso curtidora y la carga másica de contaminantes aportado por el proceso ($X_2 X_3$).

“Esto quiere decir que los resultados de la prueba de hipótesis al 95% de confianza, se concluye que el costo de reúso del proceso depende de la siguiente relación funcional”[50] de $f(X_2, X_3, X_2X_3)$, donde las combinaciones de ($X_2 = 117.5332$, $X_3 = 67.3626$ y $X_2X_3 = 243.6173$), frente a lo mencionado se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a): El reciclo del agua residual en la planta de tratamiento mediante el proceso curtiembre **mejora significativamente** en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

4.3. El reciclo del agua residual en el costo de reúso

“Los datos obtenidos fueron analizados mediante el S_i^2 y S_e^2 . Se procedió a determinar los valores críticos de $F_{Test}(\Phi_1, \Phi_2)$ y $F_C(\Phi_1, \Phi_2)$ ”[50], en la (Tabla 29).

Tabla 30. Cuadro comparativo de F (Φ_1, Φ_2), al 95% de confianza

Grado de confianza (%)	$F_{Test}(\Phi_1, \Phi_2)$	$F_c(\Phi_1, \Phi_2)$	Identificación de la combinación	Grado de influencia del factor o interacción en la respuesta
95	4.7472	12.5721	X_1	Muy Influyente
		5.8602	X_2	Influyente
		6.6565	X_1X_2	Muy influyente

Se afirma que la recirculación del agua residual industrial al considerar los indicadores o factores como muy influyentes para: el porcentaje de reciclaje (X_1), Flujo de agua de ingreso al proceso curtidora (m^3/h) (X_2), para ambos en el porcentaje de reciclaje y el flujo de agua ingreso al proceso curtidora ($X_1 X_2$).

Esto quiere decir “que los resultados de la prueba de hipótesis al 95% de confianza, se concluye que el costo de reúso del proceso depende de la siguiente relación funcional”[50] de $f(X_1, X_2, X_1X_2)$, donde las combinaciones de ($X_1 = 12.5721, X_2 = 5.8602$ y $X_1X_2 = 6.6565$), frente a lo mencionado se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a): La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre **influye significativamente** en el valor de costo, Pisco, Ica, 2020.

V. CONCLUSIONES

La finalidad del estudio de investigación la investigación, fue evaluar que la recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, mediante la información detallada según el grado de significación del 95% con un intervalo de defecto de +/- 0.05, se evaluó el nivel de incidencia de los factores empleando el ANOVA en la recirculación del agua residual en el costo de reúso con el prototipo genérico de correlación eficaz: $X_1, X_2, X_3, X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3, X_1X_2X_3$. De tal manera que: las 8 réplicas representan el modelo significativo a obtener.

Replica	Costo de reúso S/d	% Reciclo	Flujo ingreso al proceso (m ³ /h)	Carga másica perdida en el proceso (kg/h)
1	257.30	0.60	140	50
2	221.16	0.75	149	50
3	457.19	0.60	150	50
4	229.66	0.75	150	50
5	286.29	0.60	140	60
6	246.58	0.75	140	60
7	301.43	0.60	150	60
8	257.07	0.75	150	60

1. Observándose la tabla 12, para una ANOVA de 2^3 quiere decir dos niveles con tres tratamientos. Lo que permite obtener una fuente de 8 factores con un margen de error de 2.0032, lo que permite elaborar el siguiente prototipo para la hipótesis estadística general: $X_1, X_2, X_3, X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3, X_1X_2X_3$. obteniéndose una desviación estándar (σ) de 18.3545, con un R-CUAD DE 85.28% lo que se puede decir que por lo menos hay algún factor o factores que contribuyen en la aceptación de la hipótesis alterna. La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.
2. Observándose la tabla 20, para una ANOVA de 2^2 quiere decir dos niveles con dos tratamientos. Lo que permite obtener una fuente de 8 factores con un margen de error de 2.1788, lo que permite elaborar el siguiente prototipo para la hipótesis estadística

general: X_1, X_2, X_1X_2 .obteniéndose una desviación estándar (σ) de 27.0686, con un R-CUAD DE 67.65% lo que se puede decir que por lo menos hay algún factor o factores que contribuyen en la aceptación de la hipótesis alterna. La recirculación del agua residual industrial mediante el proceso curtiembre influye significativamente en el valor de costo, Pisco, Ica, 2020.

3. Observándose la tabla 27, para una ANOVA de 2^2 quiere decir dos niveles con dos tratamientos. Lo que permite obtener una fuente de 8 factores con un margen de error de 2.1788, lo que permite elaborar el siguiente prototipo para la hipótesis estadística general: X_2, X_3, X_2X_3 .obteniéndose una desviación estándar (σ) de 16.7287, con un R-CUAD DE 97.28% lo que se puede decir que por lo menos hay algún factor o factores que contribuyen en la aceptación de la hipótesis alterna. El recicló del agua residual en la planta de tratamiento mediante el proceso curtiembre mejora significativamente en el costo de reúso, Pisco, Ica, 2020.

VI. RECOMENDACIONES

Quedarse con los puntos de referencia operativo a través de la posición propugnado, dicho dado al pH de 6.5 a 8.5, oxígenos disuelto más alto a 2 mg/l, siendo un dato muy significativo con el fin de que no se engrede microorganismo filamentoso sobrante.

Es importante encomendar haciendo uso de la información obtenida, asentando y graficado a lo largo de fase de estabilidad, con esta clase de agua residual, por lo que se alcanza confirmar con los indicadores de estabilidad del lodo (IVL y VUO).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. S. Tamayo y E. M. Esquivel, «El desarrollo Industrial y su Impacto en el Medio Ambiente», *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, vol. 52, n.º 3, pp. 357-363, 2014, [En línea]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v52n3/hig08314.pdf>.
- [2] O. Aguilar y B. Navarro, «EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LA COMUNIDAD DE LLAÑUCANCHA DEL DISTRITO DE ABANCAY, PROVINCIA DE ABANCAY 2017.», Universidad Tecnológica de los Andes, 2018.
- [3] UNESCO, «El agua en un mundo en constante cambio. El 3er Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo», 2016.
- [4] P. Burek *et al.*, «Water Futures and Solution Fast Track Initiative-Final Report», Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)., 2016.
- [5] MINAM, «Objetivos de Desarrollo Sostenible del Milenio e Indicadores. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Investigación e Información.» Lima - Perú, p. 56, 2016, [En línea]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/ODS-FINAL210716.pdf>.
- [6] F. Piadeh, M. R. A. Moghaddam, y S. Mardan, «Present situation of wastewater treatment in the Iranian industrial estates: Recycle and reuse as a solution for achieving goals of eco-industrial parks», *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 92, pp. 172-178, 2014, doi: 10.1016/j.resconrec.2014.06.004. 60
- [7] H. Haroon, A. Waseem, y Q. Mahmood, «Treatment and reuse of wastewater from beverage industry», *J. Chem. Soc. Pakistan*, vol. 35, n.º 1, p. 10 Pag, 2013, [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84874453718&origin=resultslist>.
- [8] C. Visvanathan y T. Asano, «The potential for industrial wastewater reuse», *Wastewater Recycl. Reuse Reclam*, vol. 1, p. 299e313, 2009, [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84899070228&origin=resultslist>.
- [9] R. Naghedi, M. R. Alavi Moghaddam, y F. Piadeh, «Creating functional group alternatives in integrated industrial wastewater recycling system: A case study of

- Toos Industrial Park (Iran)», *J. Clean. Prod.*, vol. 257, p. 120464, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120464.
- [10] G. Sandin y G. M. Peters, «Environmental impact of textile reuse and recycling – A review», *J. Clean. Prod.*, vol. 184, pp. 353-365, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.266.
- [11] T. Hussain y A. Wahab, «A critical review of the current water conservation practices in textile wet processing», *J. Clean. Prod.*, vol. 198, pp. 806-819, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.051.
- [12] S. Madhav, A. Ahamad, P. Singh, y P. K. Mishra, «A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods», *Environ. Qual. Manag.*, vol. 27, n.º 3, pp. 31-41 pag., 2018, doi: <https://doi.org/10.1002/tqem.21538>.
- [13] M. Del Castillo Gutiérrez y E. Meseth Macchiavello, «El Reuso De Aguas Residuales Tratadas En El Perú», *ResearchGate*, n.º December, p. 5, 2015.
- [14] Greenpeace, *Cueros tóxicos: Nuevas evidencias de contaminación de curtiembres en la Cuenca Matanza-Riachuelo*. Buenos Aires: Greenpeace Argentina, 2012.
- [15] S. Miller, A. Gagnet, y R. Worden, «Reporte Técnico para la Industria de Curtiembres en el Perú. Informe para el Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Comercio Internacional (MITINCI)», *MITINCI*. Informe para el Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Comercio Internacional (MITINCI, Lima - Perú, p. 10 Pag., 1999, [En línea]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/conam/conam.pdf>.
- [16] E. Lazo Cuentas, «Evaluación de la Contaminación Ambiental Generada por Efluentes Industriales en el Proceso Productivo de una Curtiembre de Mediana Capacidad del Parque Industrial de Rio Seco, Arequipa», Universidad Nacional de San Agustín Arequipa, 2017.
- [17] Z. Ullah, M. Azmi Bustam, Z. Man, y A. S. Khan, «Phosphonium-based ionic liquids and their application in separation of dye from aqueous solution», *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, n.º 3, pp. 1653-1659, 2016.
- [18] D. Fuente, «The design and evaluation of water tariffs: A systematic review», *Util. Policy*, vol. 61, n.º September, p. 100975, 2019, doi: 10.1016/j.jup.2019.100975.
- [19] N. R. Méndez, V. R. Mena, B. R. E. Castillo, y R. M. R. Sauri, «Evaluación de un reactor UASB para aguas porcinas inoculado con líquido ruminal Evaluation of a UASB reactor for swine wastewater inoculated with ruminal liquid», vol. 17, n.º 1,

- p. 16 Pag., 2013, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46729718004.pdf>.
- [20] A. B. Mpfu, W. M. Kaira, O. O. Oyekola, y P. J. Welz, «Anaerobic co-digestion of tannery effluents: Process optimisation for resource recovery, recycling and reuse in a circular bioeconomy», *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 158, p. Pages 547-559, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.027>.
- [21] ANA, *Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hidricos superficiales*. Lima - Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, 2016.
- [22] P. M. de Aquim, É. Hansen, y M. Gutterres, «Water reuse: An alternative to minimize the environmental impact on the leather industry», *J. Environ. Manage.*, vol. 230, n.º February 2018, pp. 456-463, 2019, doi: [10.1016/j.jenvman.2018.09.077](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.077).
- [23] ONUDI, «Future trends in the World Leather and Leather Products Industry and Trade». United Nations Industrial development Organization, Wien, Austria, 2010.
- [24] J. Hu, Z. Xiao, R. Zhou, W. Deng, M. Wang, y S. Ma, «Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model», *J. Clean. Prod.*, vol. 19, n.º 2-3, pp. 221-228, 2011, doi: [10.1016/j.jclepro.2010.09.018](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.018).
- [25] A. Rodríguez Fernández-Alba, P. Letón García, R. Rosal García, M. Dorado Valiño, S. Villar Fernández, y J. M. Sanz García, *Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*. España: Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME)., 2006.
- [26] OEFA, «Fiscalización ambiental en aguas residuales.», *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*. Lima-Perú, p. 36, 2014, [En línea]. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- [27] E. Ayesa Iturrate y M. A. Larrea Urcola, «Optimización del diseño, operación y control de las EDAR utilizando modelos matemáticos y herramientas de simulación», *Tecnol. del Agua*, vol. 25, n.º 266, pp. 74-79, 2005.
- [28] M. K. Shahid, A. Kashif, P. Pathak, Y. Choi, y R. P. Ranjan, «Chapter 3 - Water reclamation, recycle, and reuse», en *Clean Energy and Resource Recovery*, A. An, V. . Tyagi, M. Kumar, y Z. Cetecioglu, Eds. Chapter 3: Elsevier, 2022, pp. 39-50.
- [29] PNUMA, «Foro de Medio Ambiente en Colombia busca promover la agenda medioambiental de los ODS». Objetivos del Desarrollo Sostenible, Colombia, 2016, [En línea]. Disponible en:

- <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2016/03/pnuma-foro-de-medio-ambiente-en-colombia-busca-promover-la-agenda-medioambiental-de-los-ods/>.
- [30] F. VÁSQUEZ PERDOMO, «Tratamiento de aguas residuales, por sistema compacto de aireación extendida para el riego de áreas verdes en el distrito de Comas», Universidad Nacional Federico Villarreal, 2020.
- [31] H. Atencio Santiago, «Análisis de la Calidad del Agua para consumo localidad de San Antonio De Rancas , del Distrito De Simon Boloivar. Provincia y Region de Pasco.2018», Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, 2018.
- [32] DISEPROSA, «Planta de Tratamiento de Lodos de la Depuradora de San Adriá Del Besós», Madrid - España, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://diseprosa.com/proyectos/planta-de-tratamiento-de-lodos-de-la-depuradora-de-san-adria-del-besos/>.
- [33] J. F. Larios-Meño, C. Gonzalez-Taranco, y Y. Morales-Olivares, «LAS AGUAS RESIDUALES Y SUS CONSECUENCIAS EN EL PERÚ», *Rev. la Fac. Ing. la USIL*, vol. 2, n.º 2, p. 18 pag, 2015.
- [34] Metcalf y Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales. Volimen I: Tratamiento, Vertido y Reutilización*, Tercera Ed. España, 2016.
- [35] R. Ramalho, «Tratamiento de Aguas Residuales», Barcelona., 2003.
- [36] INEI, *Instituto Nacional de estadística e Informatica. Sistema ESTADISTICO nacional*. Oficina Departamental de Estadística e Informática de ICA, 2017.
- [37] INEI, «INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA», Ica, 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib14_96/libro.pdf.
- [38] R. Hernandez, C. Fernandez, y P. Baptista, *Metodología de la Investigacion*, Sexta Edic. Mexico: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736, 2014.
- [39] M. Tamayo y Tamayo, *El Proceso de la Investigación Científica. Incluye evaluación y Administración de Proyectos de Investigación*, Cuarta Edi. Mexico - Mexico, 2003.
- [40] N.-2015-V. Decreto Supremo, «Se modifican diversos artículos del Decreto Supremo N° 021-2009- VIVIENDA, que aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario así como de su Reglamento, aprobado med», *Normas*

- Legales*. Presidente de la Republica, Lima - Perú, p. 9 Pag., 2015, [En línea]. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ds_001-2015-vivienda.pdf.
- [41] Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, «Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario», *Diario El Peruano*. Diario el Peruano, Lima - Perú, p. 3 pag., 2009, [En línea]. Disponible en: http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2009_021.pdf.
- [42] N.-2002-P. Decreto Supremo, «Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel», *Decreto Supremo*. Presidente Constitucional de la Republica, Lima - Perú, p. 4 Pag., 2002.
- [43] S. Martinez y M. Rodriguez, *Tratamiento de aguas residuales con matla*. Mexico - Mexico: Reverte Ediciones S.A. de C.V., 2005.
- [44] RM_N°026-2000-ITINCI-DM, «Resolucion Ministerial N°026-2000-ITINCI-DM». p. 38 pag., 2002, [En línea]. Disponible en: https://www.legislacionambientalspda.org.pe/images/stories/normas/Pioner_2/IV.4.Industrial/4.Resoluciones_ministeriales/Resolucion_ministerial_026-2000-ITINCI-DM.doc.
- [45] DIGESA_007_VI, «Procedimientos Para la Vigilancia de los Recursos Hidricos ICOS - Seguimiento de la(s) Muestra(s) -». Ministerio de Salud DIGESA, Lima - Perú, p. 6 pag., 2002, [En línea]. Disponible en: https://www.legislacionambientalspda.org.pe/images/stories/normas/Pioner_2/IV.4.Industrial/4.Resoluciones_ministeriales/Resolucion_ministerial_026-2000-ITINCI-DM.doc.
- [46] Decreto_Supremo_No-004-MINAM, «Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA)», Lima - Perú, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>.
- [47] Republica del Peru, «Decreto Supremo No. 003-2017-MINAM», pp. 6-9, 2017.
- [48] H. Gutierrez Pulido y R. De La Vara Salazar, *Analisis y diseño de experimentos*. Mexico: Mc Graw Hill Interamericana, 2016.
- [49] EPA, «Agencia de Protección del Medio Ambiente», 2005.
- [50] S. Fernández Bao, *Diseño de Experimentos: Diseño Factorial. Memorias y Anexos*. España: Universitat Politecnica de Catalunya, 2020.

- [51] D. E. Santiago, O. González-Díaz, J. Araña, E. Pulido Melián, J. Pérez-Peña, y J. M. Doña-Rodríguez, «Factorial Experimental Design of Imazalil-Containing Wastewater to be Treated by Fenton-Based Processes», *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 353, pp. 240-250 pag., 2018, doi: 10.1016/j.jphotochem.2017.11.038.
- [52] R. M. Moghazy, A. Labena, y S. Husien, «Eco-friendly complementary biosorption process of methylene blue using micro-sized dried biosorbents of two macro-algal species (*Ulva fasciata* and *Sargassum dentifolium*): Full factorial design, equilibrium, and kinetic studies», *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 134, pp. 330-343, 2019, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.04.207.
- [53] R. Naghedi, M. R. Alavi Moghaddam, y F. Piadeh, «Creating Functional Group Alternatives in Integrated Industrial Wastewater Recycling System: A case Study of Toos Industrial Park (Iran)», *J. Clean. Prod.*, vol. 257, p. 15 Pag., 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120464.

ANEXO

ANEXO I

DECRETOS UPREMO N°003-2002-PRODUCE

“Tabla I

**Límite Máximo Permissible de Efluentes Para Alcantarillado de las Actividades De
Cemento, Cerveza, Papel y Curtiembre”[1]**

Parámetros	Cemento		Cerveza		Papel		Curtiembre		
	En Curso	Nueva	En Curso	Nueva	En Curso	Nueva	En Curso	Nueva	
“pH	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9		6-9	
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	
Solidos Suspendidos Tot(mg/l)	100	50	500	350	1000	500		500	
Aceites y Grasas (mg/l)			20	15	100	50	100	50	
DBO ₅ (mg/l)			1000	500		500		500	
DQO (mg/l)			1500	1000		1000		1500	
Sulfuros (mg/l)									3
Cromo VI (mg/l)									0,4
Cromo total (mg/l)									2
N-NH ₄ (mg/l)									30
Coliformes fecales NMP/100ml”[1].									*
									*

** “En el caso del Subsector Curtiembre, no se ha fijado valores para el parámetro Coliformes fecales, dado que la data recopilada no era representativa, ni confiable. Asimismo, no ha sido posible identificar data a nivel nacional, ni en los países analizados sobre LMP específicos para este parámetro en curtiembres” [1].*

Tabla II
“Resultado de Monitoreo Efluente”[1]

Parámetro	EF-03 (N:8483762, E:371843)	LMP	Unidad
“pH	7,69	6-9	“Unidad
Temperatura	30,0	35	°C
Sólidos Suspendidos Totales	71,86	500	mg/L
Aceites y Grasas	16,1	50	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	369,50	500	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1432,0	1500	mg/L
Sulfuros	31	3	mg/L
Cromo VI	<0,007	0,4	mg/L
Cromo total	0,0004	2	mg/L
			mg/L”[1]
N-NH ₄ ” [1]	27,1	30	

ANEXO II

Replicas

Replica III: 17.11.2021

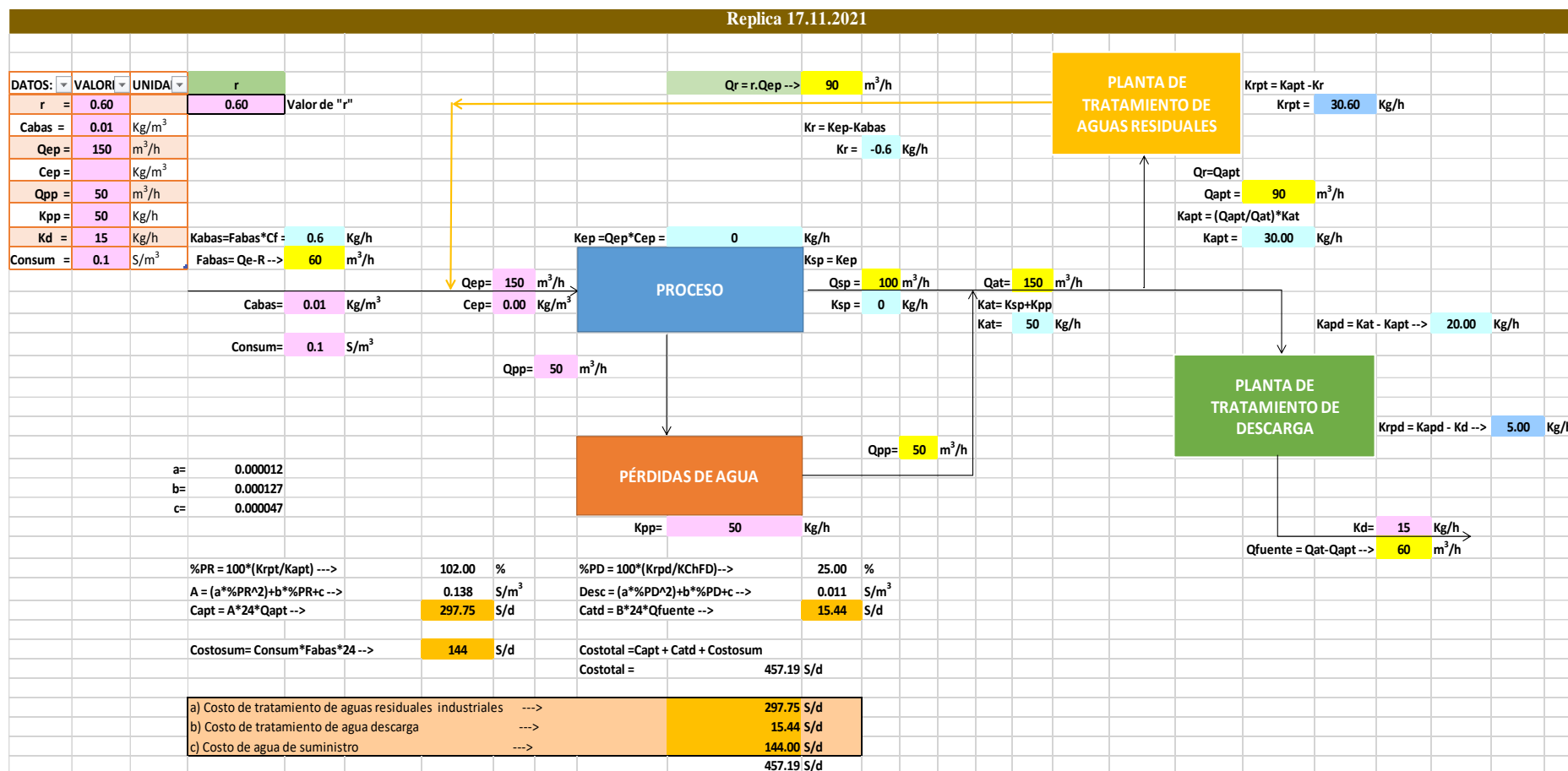


Figura I. Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica III, de fecha 17.11.2021

Replica IV: 19.11.2021

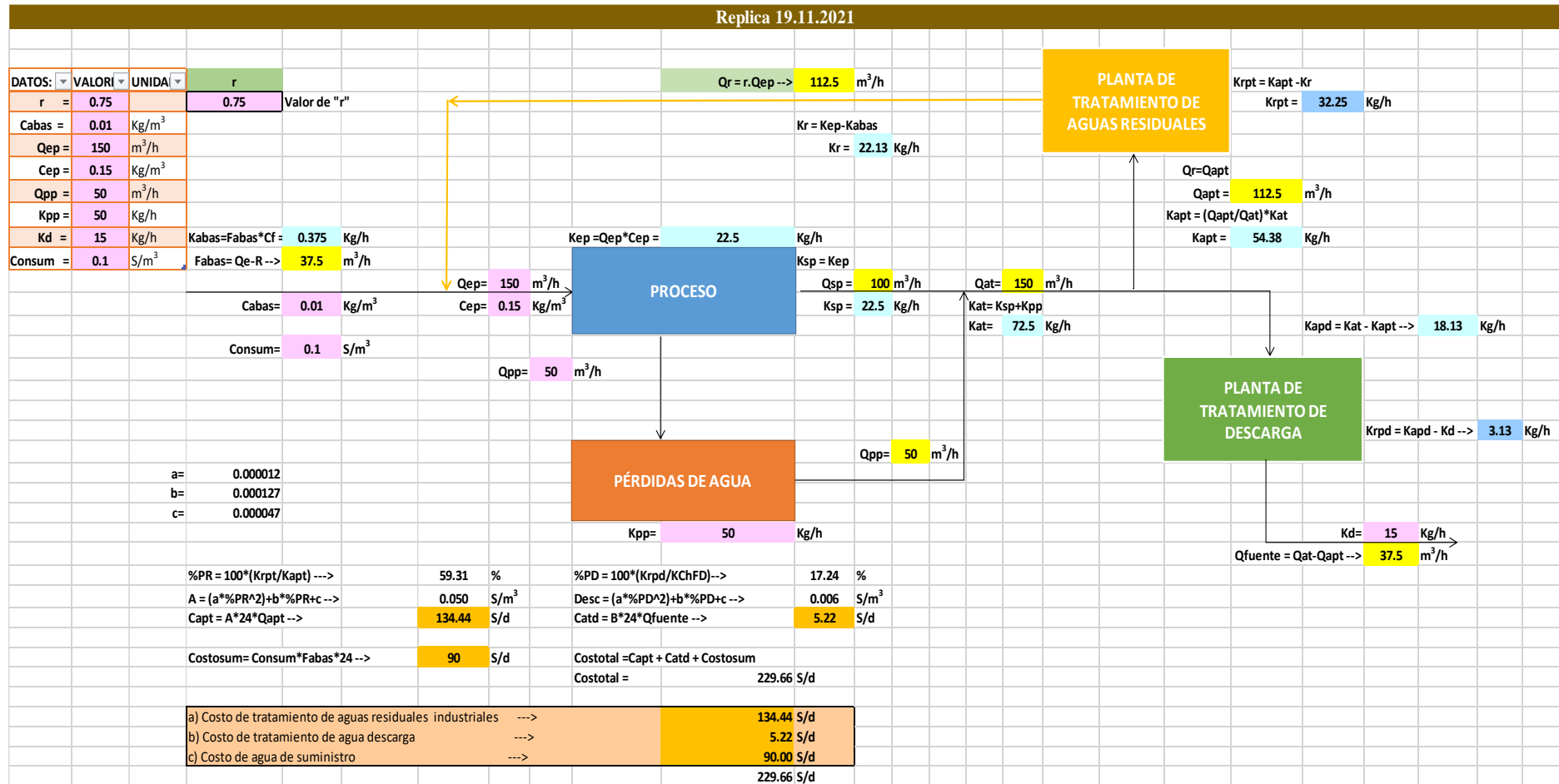


Figura II. Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica IV, de fecha 19.11.2021

Replica V: 08.12.2021

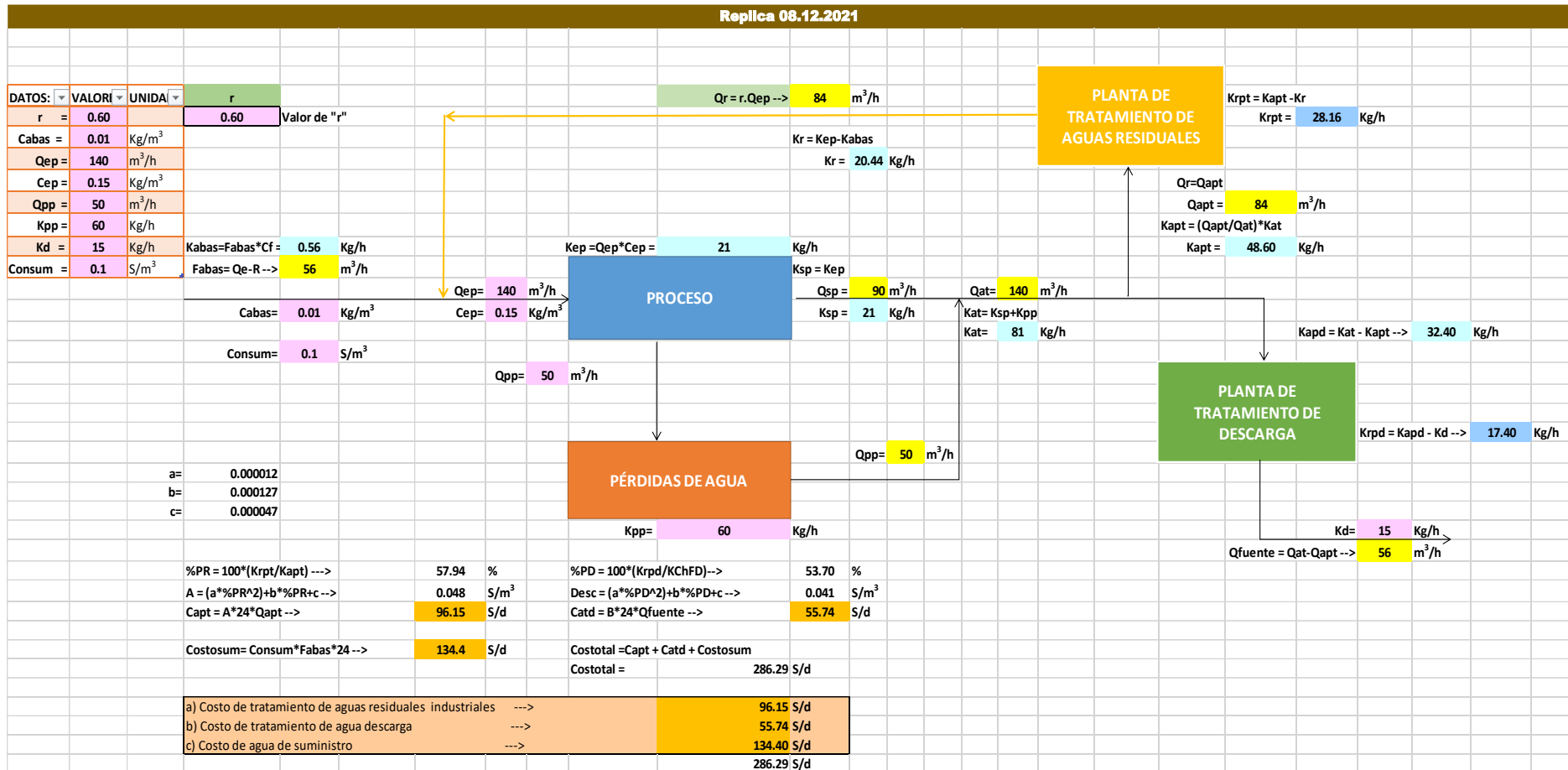


Figura III. Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica V, de fecha 08.12.2021

Replica VII: 15.12.2021

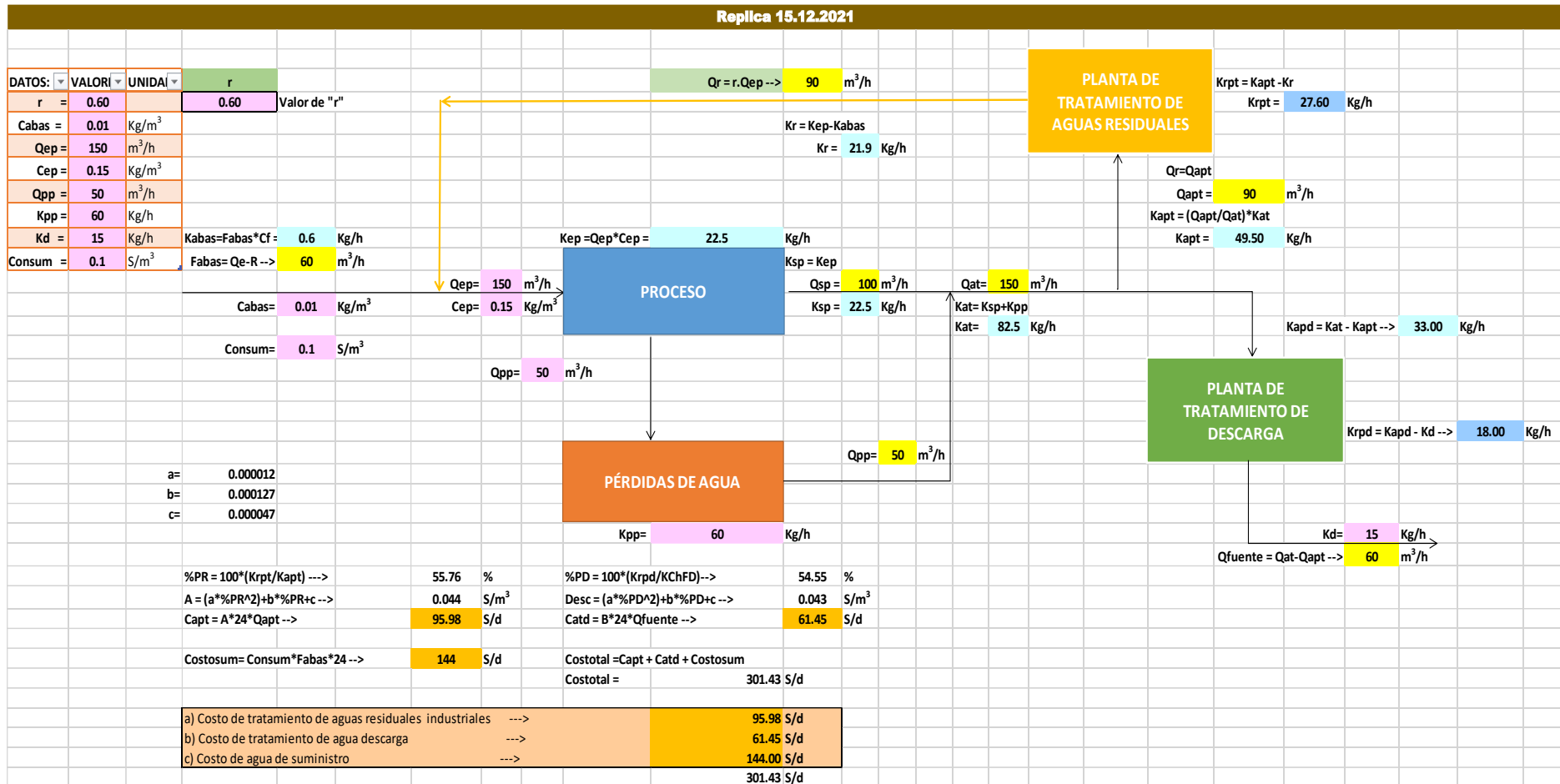


Figura V. Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica VII, de fecha 15.12.2021

Replica VIII: 17.12.2021

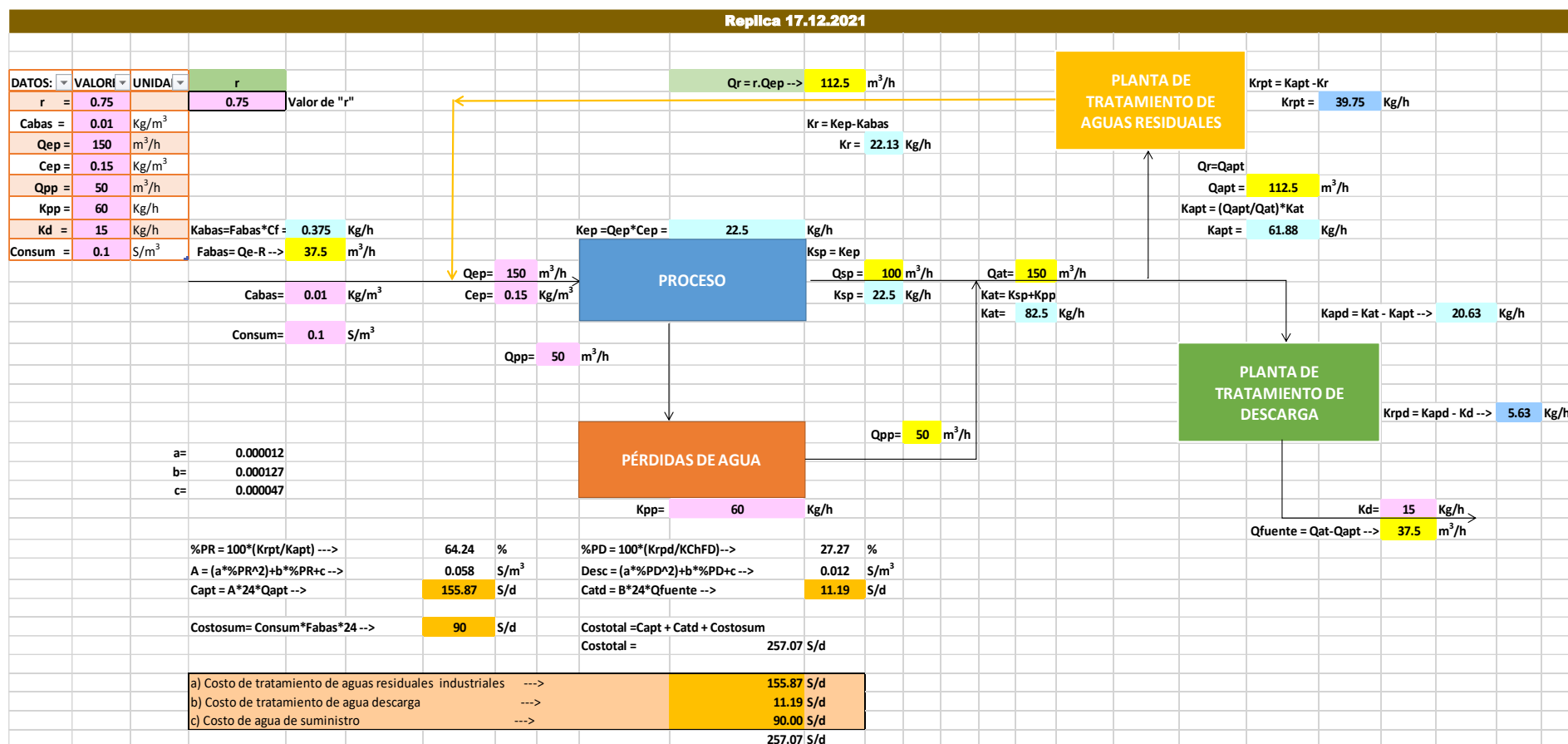


Figura VI. Diagrama del proceso de la planta curtidora y la disposición del agua residual industrial tratada. Replica VIII, de fecha 17.12.2021