



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS**

**Efecto de la dosis de hipoclorito de calcio y pH en la tendencia de taponamiento  
de los goteros para riego de caña de azúcar en agrícola de Sullana – Piura.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA**

Bach. Alejandría Gil Andrea Brunella

**ASESOR**

Dr. César Augusto Monteza Arbulú - ORCID 0000-0003-2052-6707

**LAMBAYEQUE -PERU  
2024**

**Efecto de la dosis de hipoclorito de calcio y pH en la tendencia de taponamiento de los goteros para riego de caña de azúcar en agrícola de Sullana – Piura.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA QUÍMICA**

**JURADO EVALUADOR DE TESIS**



---

**Dr. Ivan Pedro Coronado Zuloeta**  
**Presidente**



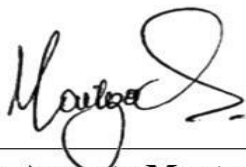
---

**Dr. Luis Antonio Pozo Suclupe**  
**Secretario**



---

**Dr. James Jenner Guerrero Braco**  
**Vocal**



---

**Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú**  
**Asesor**



127



### ACTA DE SUSTENTACIÓN - 2024

Siendo las 12:30 m del día miércoles 12 de junio del 2024, se reunieron en la sala de sustentación de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias los miembros del jurado evaluador de la Tesis Titulada: ***"Efecto de la dosis de hipoclorito de calcio y PH en la tendencia de taponamiento de los goteros para riego de caña de azúcar en agrícola de Sullana -Piura."***; designados con Res. N°431-2023-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 28 de diciembre del 2023 y aprobada con Res. N°435-2023-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 29 de diciembre del 2023, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformados por los siguientes docentes:

- Dr. Ivan Pedro Coronado Zuloeta – Presidente
- Dr. Luis Antonio Pozo Suclupe – Secretario
- Dr. James Jenner Guerrero Braco – Vocal.

La tesis fue asesorada por el Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu, nombrado por Res. N°306-2023-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 26 de octubre del 2023. El acto de sustentación es autorizado con Res. N°293-2024-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 05 de junio del 2024.

La Tesis fue presentada y sustentada por la Bachiller: **ALEJANDRIA GIL ANDREA BRUNELLA de la escuela profesional de Ingeniera Química**; y tuvo una duración de 30... minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el calificativo de 18 (Dieciocho) en la escala vigesimal, mención Muy Buena.

Por lo que quedan APTO(A)(s) para obtener el Título Profesional de INGENIERA QUIMICA de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13:40, se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Firmas

Presidente

Dr. IVAN PEDRO CORONADO ZULOETA

Secretario

Dr. LUIS ANTONIO POZO SUCLUPE

Vocal

Dr. JAMES JENNER GUERRERO BRACO

Asesor

Dr. CESAR AUGUSTO MONTEZA ARBULU

## **CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD**

Yo Dr. César Augusto Monteza Arbulú, usuario revisor de la Tesis titulada:  
*"Efecto de la dosis de hipoclorito de calcio y pH en la tendencia de taponamiento de los goteros para riego de caña de azúcar en agrícola de Sullana - Piura"*

Cuyo autor es:

1.- **Alejandria Gil Andrea Brunella**; identificada con documento de identidad: 72779310; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático Turnitin, ha arrojado un porcentaje de similitud 12%, verificables en el Resumen del Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos,

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 28 de febrero del 2024



.....  
Firma (Asesor)

Nombres y Apellidos: César Augusto Monteza Arbulú

DNI 16681280

Se Adjunta:

*Resumen de Reporte automatizado de similitudes*

*Recibo digital*





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: CESAR AUGUSTO MONTEZA ARBULU  
Título del ejercicio: REVISION ASESORADOS  
Título de la entrega: informe final  
Nombre del archivo: rme\_final\_de\_Investigaci\_n\_-\_Andrea\_Brunella\_Alejandria\_Gil...  
Tamaño del archivo: 1.46M  
Total páginas: 70  
Total de palabras: 14,763  
Total de caracteres: 73,493  
Fecha de entrega: 28-feb.-2024 06:21p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2271931393



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

"EFECTO DE LA DOSIS DE HIPOCLORITO DE CALCIO Y PH EN LA  
TENDENCIA DE TAPONAMIENTO DE LOS GOTEROS PARA RIEGO DE CAÑA DE  
AZÚCAR EN AGRÍCOLA DE SULLANA - PIURA"

Para optar el título profesional de:  
Ingeniería Química

Autor:  
Bach. Alejandra Gil Andrea Brunella

Asesor:  
Dr. Cesar Monteza Arbulu

LAMBAYEQUE - PERU  
2024

Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú  
Asesor

# informe final

## INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	2%
	Trabajo del estudiante	
2	creativecommons.org	1%
	Fuente de Internet	
3	www2.inia.cl	1%
	Fuente de Internet	
4	docplayer.com.br	1%
	Fuente de Internet	
5	kipdf.com	1%
	Fuente de Internet	
6	1library.co	1%
	Fuente de Internet	
7	www.netafim.com.mx	1%
	Fuente de Internet	
8	eol.org	1%
	Fuente de Internet	
9	Submitted to Universidad Catolica de Oriente	<1%
	Trabajo del estudiante	

  
Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú  
Asesor

10	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://hannainst.com.mx">hannainst.com.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://www.buenastareas.com">www.buenastareas.com</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://infoagro.com">infoagro.com</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://www.sumiowater.com">www.sumiowater.com</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://search.bvsalud.org">search.bvsalud.org</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://www.elriego.com">www.elriego.com</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://vdocuments.es">vdocuments.es</a> Fuente de Internet	<1 %



22	<a href="http://www.carbotecnia.info">www.carbotecnia.info</a> Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
24	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Adolfo Ibáñez Trabajo del estudiante	<1 %
26	<a href="http://de4c5c35-fbd0-43ed-9209-3956a377ed2e.filesusr.com">de4c5c35-fbd0-43ed-9209-3956a377ed2e.filesusr.com</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://www.idbinvest.org">www.idbinvest.org</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://www.aeet.org">www.aeet.org</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://www.imta.gob.mx">www.imta.gob.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1 %



Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú  
Asesor



33	repositorioslatinoamericanos.uchile.cl	<1 %
	Fuente de Internet	
34	www.dentaid.es	<1 %
	Fuente de Internet	
35	idoc.pub	<1 %
	Fuente de Internet	
36	lookformedical.com	<1 %
	Fuente de Internet	
37	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	<1 %
	Trabajo del estudiante	
38	backend.aprende.sep.gob.mx	<1 %
	Fuente de Internet	



Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú  
Asesor

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

## **DEDICATORIA**

*A mis queridos padres Franco y Diulmer que siempre me han brindado su amor y apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos trazados. Ellos son el motor que me han impulsado siempre a perseguir mis metas. También quiero dedicar a mis hermanos Gianfranco, Giusseppe y Adriano, quienes han crecido a mi lado y me dan su apoyo siempre.*

*A mis abuelos Carlos y Andrea que fueron mis segundos padres, siempre recordaré todas sus enseñanzas que contribuyeron en mi formación personal. Son ángeles que guían mi camino.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por ayudarme a terminar este proyecto, gracias por darme el valor y la fuerza cada día, por estar a mi lado en cada momento de mi vida, por guiar mis pasos.*

*A mis padres, me encuentro profundamente agradecida con ellos por su dedicación y esfuerzo constante para asegurarme una educación. Este logro es de ustedes también.*

*A mi asesor Dr. César Augusto Monteza Arbulú por guiarme de la mejor manera en el desarrollo de mi tesis, por todo el tiempo que me brindo por su constante orientación, revisión desde el inicio al culmino de mi investigación.*

*A mi mejor amigo Juan Alberto de toda la vida, por haberme brindado todo su apoyo, ánimo y soporte.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>18</b>
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>19</b>
<b>II. DISEÑO TEORICO</b>	<b>21</b>
<b>2.1. Antecedentes</b>	<b>21</b>
<b>2.2. Bases teóricas</b>	<b>23</b>
2.2.1. Fuentes de agua usada para riego	23
2.2.2. Taponamiento en sistemas de riego	24
2.2.2.1. Origen Físico.	26
2.2.2.2. Origen Químico.	26
2.2.2.3. Origen Biológico.	28
2.2.2.4. Origen de Fertirriego.	32
2.2.3. Control de Origen Químico	33
2.2.3.1. Acidificación del agua	33
2.2.4. Control de Origen Biológico.	34
2.2.5. Hipoclorito de calcio	37
2.2.6. Índice de Langelier	37
2.2.7. Crecimiento biológico	41
2.2.7.1. Chlorophyta	42

2.2.7.2. Cynophyta	42
2.2.7.3. Diatomeas	43
2.2.7.4. Euglenophyta	44
2.2.7.5. Pyrrophyta	44
2.2.7.6. Copépodos	45
2.2.7.7. Ostrácodos	45
2.2.8. Indicador de pH	46
2.2.9. Operacionalización de variables	47
<b>III. DISEÑO METODOLOGICO</b>	<b>47</b>
<b>3.1. Diseño de contrastación de hipótesis</b>	<b>47</b>
<b>3.2. Población y muestra</b>	<b>48</b>
3.2.1. Población	48
3.2.2. Muestra	48
3.3.1. Materiales y equipos	49
3.3.2. Técnicas	49
3.3.2.1. Técnicas químicas	49
3.3.2.2. Técnica biológica	53
3.3.3. Metodología	54
3.3.3.1. Recolección de muestras	54
3.3.3.2. Análisis de los resultados	55

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>61</b>
<b>4.1. Resultados de los parámetros de pH y el Índice de Langelier</b>	<b>61</b>
4.1.1. Periodo de estiaje en donde se aplicó ácido sulfúrico	61
4.1.2. Periodo de lluvias no se aplicó ácido sulfúrico	63
4.1.3. Periodo luego de lluvias se retomó la aplicación de ácido sulfúrico	65
4.1.4. Periodo sin aplicación de ácido sulfúrico	66
<b>4.2. Resultados de la dosis de hipoclorito de calcio y el crecimiento biológico.</b>	<b>68</b>
4.2.1. Periodo de verano	68
4.2.2. Periodo de otoño	71
4.2.3. Periodo de invierno	73
<b>4.3. Discusión</b>	<b>76</b>
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>78</b>
5.1. Conclusiones	78
5.2. Recomendaciones	80
<b>VI. REFERENCIAS</b>	<b>81</b>
<b>VII. ANEXOS</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recomendación de calidad de agua para riego .....	25
Tabla 2. Objetivo de la cloración en el sistema de riego .....	37
Tabla 3. Escala del Índice de Langelier .....	38
Tabla 4. Factores para el cálculo del Índice de Langelier.....	40
Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos de las muestras recolectadas .....	56
Tabla 6. Parámetros de la muestra del Rio Chira.....	59
Tabla 7. Parámetros de la muestra del final de agua.....	60
Tabla 8. Resultados de los parámetros en el periodo de estiaje en donde se aplicó ácido sulfúrico .....	61
Tabla 9. Correlación entre el pH y el Índice de Langelier en la primera etapa .....	62
Tabla 10. Resultados de los parámetros en el periodo de lluvias no se aplicó ácido sulfúrico .....	63
Tabla 11. Correlación entre el pH y el Índice de Langelier en la segunda etapa.....	64
Tabla 12. Resultados de los parámetros en el periodo de luego de lluvias se retomó la aplicación de ácido sulfúrico. ....	65
Tabla 13. Correlación entre el pH y el Índice de Langelier en la tercera etapa .....	66
Tabla 14. Resultados de los parámetros en el periodo sin aplicación de ácido sulfúrico .	66
Tabla 15. Correlación entre el pH y el Índice de Langelier en la cuarta etapa .....	68
Tabla 16. Resultados de los parámetros en el periodo de verano .....	68
Tabla 17. Correlación entre la dosis de hipoclorito de calcio y el crecimiento biológico en el periodo de verano.....	70
Tabla 18. Resultados de los parámetros en el periodo de otoño.....	71



Tabla 19. Correlación entre la dosis de hipoclorito de calcio y el crecimiento biológico en el periodo de otoño.....	73
Tabla 20. Resultados de los parámetros en el periodo de invierno.....	73
Tabla 21. Correlación entre la dosis de hipoclorito de calcio y el crecimiento biológico en el periodo de invierno .....	75

### **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Gotero obstruido por incrustación química .....	28
Figura 2 Formación de algas en depósitos de agua de riego al aire libre .....	31
Figura 3 Gotero obstruido por depósitos biológicos.....	32
Figura 4 Acido hipocloroso disponible en función del pH del agua.....	35

## RESUMEN

En la investigación se estudió el efecto de la dosis de hipoclorito de calcio y pH en la disminución del taponamiento de los goteros en las líneas de riego para caña de azúcar en la agrícola ubicada en Sullana – Piura del sistema tecnificado que ocurre usualmente por depósitos de origen biológico y químico provocado por el crecimiento de algas e incrustaciones por carbonatos de calcio debido a que se tiene altos niveles de dureza, alcalinidad en el Rio Chira, se buscó determinar el efecto del rango de la dosis de hipoclorito de calcio y pH a través de la determinación del crecimiento biológico y Índice de Langelier respectivamente se estimaron rangos de dosis buscando mejorar la calidad de agua, Se evaluó el parámetro de pH por 4 periodos, periodo de estiaje con aplicación de ácido sulfúrico, periodo de lluvias sin ácido sulfúrico, periodo luego de lluvias con aplicación de ácido sulfúrico se trabajó en estos periodos con un rango de pH de 7.2 a 7.4 obteniéndose un ÍSL promedio menor a 0.5 el cual indica que se tiene una baja tendencia de formar incrustación, el último periodo sin aplicación de ácido sulfúrico se tuvo un pH promedio de 7.85 obteniéndose un ISL promedio de 1.02, se demostró que existe una fuerte correlación entre el pH y el Índice de Langelier. Los rangos de dosis de hipoclorito de calcio son fluctuantes debido a que el crecimiento biológico tiene variaciones significativas entre las estaciones y a lo largo del día, se logró tener en promedio valores menores a 20 000 org/L en finales de manguera con dosis que iban de 0.07 a 1.8ppm. El método que se utilizó es el coeficiente de correlación de Pearson el cual permite medir la correlación de variables cuantitativas con una escala mínima de intervalo.

**Palabras claves:** taponamiento de goteros, incrustación, crecimiento biológico, Índice de Langelier

## ABSTRACT

In the research it was studied. the effect of the dose of calcium hypochlorite and pH on the reduction of the clogging of the drippers in the irrigation lines for sugar cane in the agricultural plant located in Sullana - Piura of the technical system that usually occurs due to deposits of biological and chemical origin caused due to the growth of algae and incrustations due to calcium carbonates because there are high levels of hardness and alkalinity in the Chira River, we sought to determine the effect of the range of the dose of calcium hypochlorite and pH through the determination of growth biological and Langelier Index respectively, dose ranges were estimated seeking to improve water quality. The pH parameter was evaluated for 4 periods, dry period with application of sulfuric acid, period of rains without sulfuric acid, period after rains with application of sulfuric acid was worked in these periods with a pH range of 7.2 to 7.4, obtaining an average ÍSL less than 0.5 which indicates that there is a low tendency to form scale, the last period without application of sulfuric acid had an average pH of 7.85, obtaining an average LSI of 1.02, it was demonstrated that there is a strong correlation between pH and the Langelier Index. The dose ranges of calcium hypochlorite are fluctuating because biological growth has significant variations between the seasons and throughout the day, it was possible to have average values lower than 20,000 org/L at the end of the hose with doses ranging from 0.07 to 1.8ppm. The method used is the Pearson correlation coefficient which allows measuring the correlation of quantitative variables with a minimum interval scale.

**Keywords:** dripper clogging, incrustation, biological growth, Langelier Index

## **I. INTRODUCCION**

El agua es el recurso más valioso para la producción agrícola y es el recurso más ineficientemente utilizado con enormes pérdidas desde la extracción, el almacenamiento y la distribución de riego. Esta ineficiencia simplemente desperdicia enormes cantidades de agua que deberían ayudar a aumentar los rendimientos agrícolas. Todo esto hace que cualquier tecnificación en el tema de riego sea muy rentable, ya que el uso responsable de este recurso nos dará excelentes resultados. (Axayacatl, 2021)

Los goteros no solo son un excelente medio de riego, también son muy efectivos para aplicar fertilizantes, insecticidas, fungicidas, hormonas y organismos benéficos directamente en la zona de las raíces.

Un sistema de riego por goteo consta de muchos elementos, tales como: bombas, filtros, medidores, tuberías principales, válvulas, tuberías auxiliares, mangueras, pero al final el agua sale por los goteros, y estos son los elementos más propensos a obstruirse. (Guy, 2021)

Los goteros que transportan el agua para riego presentan en general inconvenientes con la incrustación, depósitos y crecimiento biológico. Los problemas derivados de la corrosión son mínimos y/o prácticamente inexistente debido a que la composición del más del 95% del material del sistema de regadío es plástico (GRP y PVC).

Los problemas generados del agua derivan en taponamiento y obstrucción de los goteros en el sistema de regadío. También derivan en mayor pérdida de carga del sistema de bombeo debido a menor diámetro de las tuberías y mayor rugosidad en sus superficies por los depósitos formados, conllevando a mayor consumo eléctrico del sistema de bombeo para mantener el flujo de agua que llega al cultivo.

La falta total de control de agua ocasionaría una interrupción de riego al cultivo, generando pérdidas grandes de dinero y teniendo que invertir otras cantidades elevadas para recuperar el buen desempeño del sistema. Por ello se hace necesario tener un seguimiento exhaustivo y control en la calidad de agua para riego.

Según lo expuesto anteriormente, en la presente investigación se plantea el siguiente problema ¿Cuál es el efecto de la dosis de hipoclorito de calcio y pH en la disminución de la tendencia de taponamiento de los goteros en las líneas de riego para caña de azúcar?

Este estudio propone como objetivo general: determinar el efecto del de la dosis de hipoclorito de calcio y pH en la variación de la tendencia de taponamiento de los goteros en las líneas de riego para caña de azúcar a través de la determinación del crecimiento biológico y índice de Langelier. Así como también se propone como objetivos específicos: determinar el efecto de la dosis de hipoclorito de calcio en el control de la tendencia de taponamiento de los goteros en las líneas de agua de riego para caña de azúcar; determinar el efecto del parámetro de pH en el control de la tendencia de taponamiento de los goteros en las líneas de agua de riego para caña de azúcar.

## II. DISEÑO TEORICO

### 2.1. Antecedentes

- (Kellner & de Souza Oliveira, 2022) en la investigación denominada “La agresividad del agua y la posibilidad de cambiar la calidad para el consumo humano”, En este trabajo se expusieron muestras de tubos de cobre a agua cruda y potable, en las cuales se utilizó hipoclorito de sodio como desinfectante. Las muestras de agua fueron clasificadas como “moderadamente corrosivas” (Índice de Saturación de Langelier = -3.2). Las muestras de tubos de cobre se sumergieron en agua durante 1 mes, 1 semana y 1 día, manteniendo la tasa de exposición del tubo en agua a  $0,5205 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2}$ . Después del tiempo de exposición se identificaron concentraciones de  $1,006 \pm 0,025 \text{ mgCu.L}^{-1}$  a  $1,614 \pm 0,051 \text{ mgCu.L}^{-1}$  en las muestras con agua cruda y de  $1,073 \pm 0,034 \text{ mgCu/L}$  a  $1,979 \pm 0,222 \text{ mgCu/L}$  en las muestras con agua potable. Las concentraciones de cobre en las muestras de agua cruda y potable mostraron diferencias estadísticas ( $p > 0.005$ ). La velocidad de corrosión de la tubería de cobre osciló entre  $0,0225 \text{ cm/año}$  y  $0,0012 \text{ cm/año}$  dependiendo del tiempo de exposición de las muestras de agua. No se identificaron diferencias estadísticas en la velocidad de corrosión cuando las muestras se sometieron a agua cruda y agua potable ( $p < 0,005$ ). Los resultados demostraron que las aguas agresivamente corrosivas pueden causar la corrosión de las tuberías de cobre, alterando su calidad.
- (Pauta Novillo & Quezada Sisalima, 2017) en la investigación denominada “Determinación de la tendencia corrosiva e incrustante del agua potable distribuida en la ciudad de Azogues” este trabajo se buscó estudiar la tendencia corrosiva o

incrustante del agua potable distribuida por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental en la ciudad de Azogues, que establecer medidas preventivas y/o correctivas relacionadas con su estabilidad química, se realizaron los resultados experimentales durante los seis meses de Julio a Diciembre del 2017, en donde se hallaron los tres índices de estabilidad química, los resultados fueron: Índice de Langelier en un rango de -0.64 a -1.91; Índice de Ryznar entre 8.95 a 10.86; mientras que el Índice de Larson-Skold estuvo entre 0.29 y 1.26 es decir que el Índice de Langelier existe corrosión fuerte; Índice de Ryznar indica una corrosión muy severa; mientras que según el Índice de Larson-Skold existe una corrosión significativa.

- (Ribeiro, da S Airoidi, S Paterniani, & M. da Silva, 2005) en el estudio denominado “Variación de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua en un sistema de riego localizado”, en este trabajo se buscó estudiar una fuente de agua superficial utilizada en un sistema de riego por goteo. Se analizaron durante el año los principales parámetros físicos, químicos y biológicos del agua de riego que ocasionaron problemas de obstrucción en emisores: pH, turbidez, sólidos en suspensión, sólidos disueltos, EC, dureza, índice de Langelier, algas y bacterias, con el fin de dar una orientación cuantitativa del riesgo de obstrucción de goteros en sistemas de riego por goteo. Se recolectaron muestras de agua de la línea principal de riego, en un punto ubicado antes del sistema inyector de fertilizante. Se evaluó la calidad del agua en las cuatro estaciones del año. En general, se dice que la calidad del agua utilizada para el riego del sistema de goteo varió durante las diferentes estaciones del año, y el riesgo potencial de obstrucción de los goteros fue



solo moderado o alto en relación con los parámetros químicos (hierro, sulfuros y pH), Todos los demás parámetros analizados resultaron en valores que no presentaron riesgo de obstrucción a los emisores de riego.

## **2.2. Bases teóricas**

### ***2.2.1. Fuentes de agua usada para riego***

Debido a la necesidad de grandes cantidades de agua, las fuentes de agua usadas para regadío provienen de fuentes naturales que puede ser superficiales como ríos, canales, lagos y/o de fuentes subterráneas (agua de pozos).

Las aguas superficiales presentarán de por sí alto contenido de sedimentos, el cual variará de acuerdo con la temporada climática. En temporadas de lluvias estas cargarán con mayor contenido de sedimentos, mientras que en temporada seca el agua tendrá menos contenido. Esto implica tener estrategias de control distintas para cada temporada, ya que caso contrario los sistemas de irrigación y principalmente los goteros podrían obturarse por estos sedimentos.

También las aguas superficiales llegan a presentar alto contenido de materia orgánica y microorganismos ocurriendo problemas de algas, microorganismos, protozoos y/o hongos pueden formarse dentro del sistema de riego generando biofilms y finalmente obstruyendo el sistema de regadío. Una estrategia adecuada de desinfección y control de microorganismos es fundamental para evitar estos problemas de obturación.

Las aguas subterráneas presentan mayormente inconvenientes de incrustación debido a que estas por infiltración en el subsuelo presentan concentraciones

elevadas de sales e incluso elementos que pueden ser dañinos para el crecimiento de cultivos. En casos extremos (con elevado contenido de sales).

Ambas fuentes de agua llegan a generar problemas de depósitos de calcio ya que presentan normalmente contenido de alcalinidad y dureza.

Un factor adicional que considerar es la contaminación de impurezas por otra actividad agrícola, industrial y/o municipal. Si existen actividades intensivas anteriores al punto de captación de agua esta contendrá contaminantes provenientes de dichas actividades, aportando contenido de sales, sedimentos microorganismos y/o modificando propiedades fisicoquímicas que conlleven aumentar los problemas de incrustación y depósitos.

### ***2.2.2. Taponamiento en sistemas de riego***

El taponamiento en los sistemas de riego por la formación de depósitos e incrustaciones al no ser controlados llegan a generar atoramientos significativos en la red de distribución, llegando a atorar los emisores y reduciendo el flujo de agua. Es por ello que realizar un adecuado control de la calidad de agua es importante para evitar dichos atoramientos que como consecuencia se tenga pérdida de cultivo, significando pérdidas económicas.

En líneas generales existen recomendaciones de parámetros fisicoquímicos para que se minimice la formación de depósitos e incrustaciones en sistemas de riego como se muestran en la Tabla N°1, De encontrarse parámetros en rango denominados severos, se recomienda tomar acciones.

**Tabla 1***Recomendación de calidad de agua para riego*

<b>Problema</b>	<b>Baja</b>	<b>Intermedia</b>	<b>Severa</b>
Físico			
Sólidos Suspendidos (ppm)	< 50	50 – 100	> 100
Químico			
pH	< 7.0	7.0 – 7.5	> 7.5
Sólidos Disueltos (ppm)	< 500	500 – 2000	> 2000
Manganeso (ppm Mn)	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Hierro (ppm Fe)	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Sulfuro de Hidrógeno (ppm H <sub>2</sub> S)	< 0.5	0.5 – 2.0	> 2.0
Dureza (ppm CaCO <sub>3</sub> )	< 150	150 - 300	> 300
<b>Biológico</b>			
Bacteria (población – UFC/ml)	< 10000	10000 - 50000	> 50000
Algas (Org/L)*	< 10000	10000 - 20000	> 20000

*Nota:* La tabla muestra las recomendaciones de parámetros fisicoquímicos - biológicos (Nakayama & Bucks, 1986)

\*El rango del conteo de algas se determinó mediante los resultados del monitoreo constante de la carga biológica manejando valores bajos para evitar el riesgo de taponamiento.

La bibliografía explica las fuentes de generación de depósitos e incrustaciones en sistemas de riego es amplia y subdividen estos debido al origen. Los cuales pueden ser cuatro:

- Origen Físico
- Origen Químico
- Origen Biológico
- Origen de Fertirriego

#### **2.2.2.1. Origen Físico.**

Los depósitos de origen físico provienen de todo tipo de partículas especialmente arena, limo y sólidos en suspensión que son de gran tamaño como para pasar en las aberturas de los emisores. Para atenuar y combatir el taponamiento como medida preventiva se debe contar con un sistema de filtrado eficiente y en algunos tratamientos del agua como la clarificación con coagulantes, decantadores e hidrociclón. (Reche, 1993)

Según la tabla N°1 cuando los sólidos suspendidos superan el nivel de 50 ppm es probable que suceda obstrucciones, si superan valores por encima de 100 ppm las obstrucciones serán severas, como acción inmediata se debería parar el riego para evitar complicaciones. Cuando el taponamiento se ha producido parcialmente o total existen procedimientos de alta presión con agua y aire.

#### **2.2.2.2. Origen Químico.**

El origen químico de los depósitos proviene de los minerales y contaminantes disueltos en el agua usado para regar los cultivos suelen encontrarse como carbonato de calcio, sulfuros de hierro y de manganeso o metales hidróxidos que pueden acumularse. Este tipo de depósito originado por la interacción entre las moléculas disueltas en el agua bajo determinadas condiciones de temperatura, pH y concentraciones son llamadas “incrustaciones”. Es común encontrar incrustaciones en los sistemas de riego originados por la precipitación elementos químicos como calcio, magnesio, hierro y/o manganeso. El agua que contiene concentraciones

significativas de estos elementos presenta valores altos de dureza y alcalinidad, así como un elevado pH por lo cual será más propensa en generar taponamiento de los emisores. El carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es el compuesto más encontrado en la formación de incrustaciones debido a que sus componentes formadores (Calcio y Carbonatos) se encuentran en la mayoría de las fuentes de agua. Estos llegan a formar generar depósitos cuando aumenta temperatura y pH la acumulación se forma gradualmente. Se producen sobre todo en aquellos puntos donde el agua queda en reposo entre un riego y el próximo, o en la salida de los goteros, donde la concentración de sales aumenta como consecuencia de la evaporación. (Reche, 1993)

El Hierro y Manganese son moléculas también comunes en el uso de agua de regadío y pueden precipitar dentro de las líneas de regadío, si dentro de estas ocurren cambios en la química de agua como un incremento de oxígeno disuelto como pH. Estas condiciones generan que el manganeso y hierro formen óxidos que se adhieran a las tuberías y emisores generando el taponamiento.

Este efecto es más común verlo cuando se usan fuentes subterráneas de agua, ya que tienen bajo oxígeno disuelto y por ende mayor concentración de hierro y manganeso disueltos, y cuando esta es bombeada del subsuelo hacia la atmósfera para el regadío, se incrementa la concentración de oxígeno disuelto generando los óxidos respectivos de cada elemento, acumulándose y depositándose en el sistema y emisores.

Cabe señalar que la forma soluble de Hierro y Manganese es cuando cada uno tiene un estado de oxidación de +2 ( $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Mn}^{+2}$ ) y, posteriormente, en contacto con oxígeno y condiciones elevadas de pH cambian a formas oxidadas como  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y  $\text{MnO}_2$ .

Lo goteros de riego obstruidos por incrustaciones que se forman por origen químico pueden visualizarse de la siguiente manera como se puede observar en la Figura 1.

### **Figura 1**

*Gotero obstruido por incrustación química*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

#### **2.2.2.3. Origen Biológico.**

Los depósitos de origen biológico son los que más complicaciones generan en un sistema de regadío debido a que estos se originan de algas, bacterias y materia orgánica que ingresan al sistema. Las algas son muy comunes cuando el agua pasa por depósitos al aire libre donde las algas tienden a crecer. Las algas pueden ser tan pequeñas que pueden pasar a

través del filtro. Esta condición también puede fomentar el crecimiento bacteriano en las tuberías y los emisores, agravando aún más el problema.

Un síntoma típico del crecimiento de algas o bacterias es la formación de una matriz gelatinosa y pegajosa en las tuberías y el agua (depósitos principalmente al aire libre). Cabe destacar que las algas son capaces de sobrevivir en estas condiciones gracias a nutrientes como el dióxido de carbono, el nitrógeno y el fósforo. Las algas suelen tener una temporada de crecimiento más o menos definida dependiendo de las condiciones ambientales. En primavera, la proliferación de algas suele producirse debido a las temperaturas más altas, la mayor radiación y la disponibilidad de nutrientes. Por el contrario, en invierno, cuando las condiciones son diferentes (bajas temperaturas y falta de luz), los problemas de algas suelen ser menores (Fertilab).

Lo antes mencionado resulta en acumulación de limo biológico. Este limo puede combinarse con partículas minerales y generar agregados que llegan a atorar los emisores. Algunas bacterias pueden generar precipitación de hierro, manganeso y azufre como parte de su actividad metabólica y generar obturación en las líneas cuando su población es elevada. Adicional a ello, las algas pueden ser transportadas al sistema de irrigación desde las fuentes de agua y generar condiciones que puede generar la formación de agregados.

Los depósitos de origen biológico son comunes cuando se usa como fuente agua con alta actividad biológica (como fuentes superficiales: ríos y



lagos) con concentraciones considerables de hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno.

El hierro soluble ( $\text{Fe}^{+2}$ ) son la fuente de energía para ciertas bacterias precipitadores de hierro. Estas bacterias se adhieren a las superficies y oxidar el hierro soluble a su forma insoluble férrica ( $\text{Fe}^{+3}$ ), generando, durante el proceso, limos que generan agregados llamados Ocre, los cuales se pueden combinar con otra materia (generalmente sedimentos) dentro las tuberías y generar la obstrucción de los emisores.

En un mismo mecanismo suceden los depósitos biológicos de manganeso, así como de aluminio. Aunque este último requiere de condiciones poco comunes como fuentes de agua ácidas (pH menor a 7.0) y concentraciones considerables de sulfatos.

Es importante tener en resaltar una vez más que el iniciador de todos estos tipos de depósitos biológicos es el crecimiento descontrolado de las algas y bacterias que pasan al sistema de regadío, por lo que si estos son controlados antes de su ingreso el resto de los inconvenientes consecuentes serán minorizados.

## **Figura 2**

*Formación de algas en depósitos de agua de riego al aire libre*



*Nota.* La figura muestra la formación visible de algas y macroalgas en un reservorio, se puede observar que la coloración del agua es verde típico de un gran crecimiento de algas. Fuente (Fertilab)

Lo goteros de riego obstruidos por depósitos de origen biológico pueden visualizarse de la siguiente manera como se puede observar en la Figura 3 que el gotero presenta coloración verde.

### **Figura 3**

*Gotero obstruido por depósitos biológicos*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

#### **2.2.2.4. Origen de Fertirriego.**

El fertirriego es la aplicación de nutrientes (fertilizantes) para las plantas a través del sistema de irrigación mediante un sistema de inyección.

Los fertilizantes pueden generar atoramamiento de los sistemas debido a su insolubilidad dependiendo de los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH), incompatibilidad entre fertilizantes, reacciones químicas como hidrólisis, disociación, oxidación que finalmente llevan a la precipitación de estos.

Es recomendado revisar la compatibilidad de los fertilizantes, seguir las recomendaciones del proveedor y realizar una prueba de campo llamado “Prueba de Jarra”.

En esta investigación se buscará atenuar los depósitos originados por el origen químico y el biológico mediante controles descritos a continuación.

### **2.2.3. Control de Origen Químico**

En la tabla N°1 se puede observar también los rangos ideales de parámetros químicos como la dureza, hierro, manganeso y pH, los cuales influyen en la formación de incrustaciones. Al tener concentraciones de moderadas a severas de estos 04 parámetros se favorecerá la precipitación.

#### **2.2.3.1. Acidificación del agua**

La adición de ácido al agua de riego tiene como finalidad evitar la formación de precipitados de carbonato de calcio y óxidos de fierro dentro del sistema de riego. La aplicación de ácidos al agua para prevenir el taponamiento, la acidificación del agua no tiene ningún efecto sobre el control de algas u otros tipos de materia de origen orgánico.

Manteniendo un pH a menos de 7.5 permitirá una reducción significativa de la precipitación de los carbonatos. Para este fin se pueden usar ácidos como el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico y/o ácido fosfórico. Estos pueden ser inyectados del mismo modo que los fertilizantes, sin embargo, se debe tener la precaución del caso al ser manipulados. La cantidad de ácido a usar va a depender de cuan alcalina (la capacidad buffer) es la fuente de agua y de la concentración del ácido, esto se puede evaluar en pruebas de laboratorio mediante titulaciones.

Para llevar un monitoreo de la tendencia incrustante del agua por la dureza (calcio y magnesio) podemos usar el Índice de Langelier. Este es un número adimensional que se calcula a partir de las concentraciones de calcio, carbonatos, sólidos disueltos, pH y temperatura y que, de acuerdo

con el resultado determina la tendencia incrustante del agua al compararlo con escala predeterminada como se indica en la Tabla N°3.

De acuerdo con lo observado en la Tabla 3 el rango de control para evitar tendencia de incrustación severa es controlar un Índice de Langelier entre 0.0 a 0.5 (estable y baja tendencia de formar incrustación). El único parámetro práctico de control a modificar es el pH, el cual, como se mencionó anteriormente, con la aplicación de ácido se puede modificar. Normalmente un control de pH de 7.0 a 7.5 conseguirá un Langelier dentro de rango, a su vez que apoyará a una aplicación efectiva de cloro.

En caso se busque limpiar el sistema de incrustaciones ya formadas, se recomienda usar un pH menor a 7.0 para disolverlas y retirarlas del sistema con un flushing posterior.

#### **2.2.4. Control de Origen Biológico.**

##### **2.2.4.1. Desinfección con cloro.**

Para el control biológico se requiere de eliminar microorganismos (algas y bacterias) de la fuente de agua, ello es logrado con la inyección de cloro como método común de control. Debido a que las bacterias pueden crecer en los filtros, la inyección de cloro se debe ejecutar antes de esta.

El agente que realmente se usa para la desinfección es el ácido hipocloroso, pero este no se comercializa como tal ya que es un subproducto de una reacción química entre la fuente de cloro (cloro en forma de gas, hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio) y el agua dando como consecuencia las siguientes reacciones.



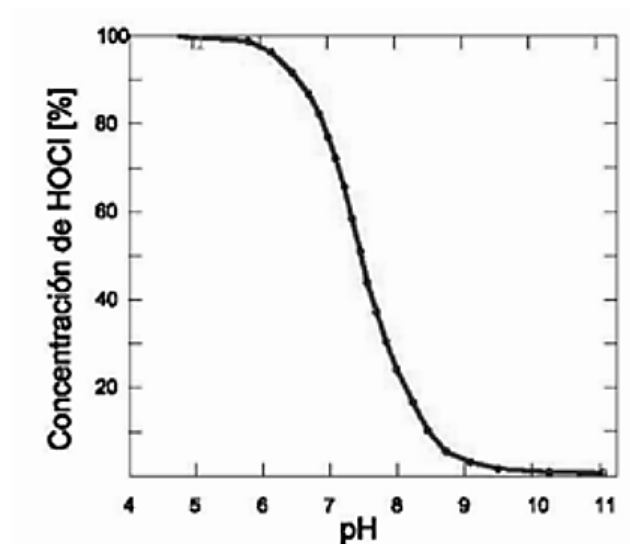
El ácido hipocloroso es un excelente biocida ya que reacciona químicamente con el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), con iones amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y grupos aminas ( $\text{NH}_2$ ), componentes de la materia orgánica. (Martínez Barrera, 2001)

Tanto la utilización de hipoclorito de sodio como de calcio, produce la liberación del ion hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) en el medio, por lo tanto, la reacción provoca un aumento del pH.

Debido a que la inyección de cloro es ineficiente a pH mayores a 7.5.

#### Figura 4

*Acido hipocloroso disponible en función del pH del agua.*



*Nota.* La figura muestra la eficiencia de la cloración frente al pH del agua.

Fuente: (Nakayama & Bucks, 1986)

Según este gráfico, se puede indicar que a un pH de 7.5 solo el 50% del cloro aplicado funciona correctamente como desinfectante, por dicho motivo es recomendable la acidificación del agua para disminuir el pH cuando el agua es alcalina y así mejorar la eficiencia de la dosificación.

Según (Liotta, Carrión, Ciancaglini, & Olguín, 2015) indican que la cloración es el tratamiento más efectivo y menos costoso para el control de algas en el sistema de riego el cual debe ser introducido en el sistema antes de filtro.

El cloro es un fuerte oxidante muy útil para los siguientes usos:

- Prevenir el taponamiento y sedimentación de sustancias orgánicas.
- Destruir y descomponer las algas, las bacterias del azufre y las de hierro así como el limo bacterial en el sistema.
- Mejorar la eficiencia de los sistemas de filtrado cuando se reduce el retrolavado.
- Limpiar el sistema de sedimentos orgánicos.

En el manual de mantenimiento de los equipos de riego recomiendan tres métodos:

Método continuo: a baja concentración es el más recomendado.

Método intermitente: a alta concentración.

Método del shock: concentraciones muy elevadas (>50 ppm)

La concentración más baja se encontrará siempre en el punto mas alejado del punto de inyección debido a que el cloro se va consumiendo con el tiempo porque va reaccionando con todo tipo de microorganismos.

El objetivo de la cloración es tener una concentración de cloro residual en el punto mas alejado del sistema, Liotta propone la siguiente las siguientes concentraciones de cloro (ppm).

**Tabla 2**

*Objetivo de la cloración en el sistema de riego*

Objetivo de la cloración	Método de aplicación	Concentración requerida (ppm)	
		Cabecera del sistema	Final del sistema
Prevenir sedimentación	Cloración continua	3 - 5	0.5 - 1
	Cloración intermitente	10	1 - 2
Limpieza del sistema	Cloración continua	5 - 10	1 - 2
	Cloración intermitente	15 - 50	4 - 5

Nota: Datos tomados del manual de mantenimiento de los equipos de riego por goteo Fuente: (Liotta, Carrión, Ciancaglini, & Olguín, 2015)

#### **2.2.5. Hipoclorito de calcio**

El hipoclorito de calcio es un insumo químico cuya formula es  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  tiene un aspecto de sólido blanco que se solubiliza en contacto con el agua liberando oxígeno y cloro siendo este el principio activo importante, es un desinfectante ampliamente usado como alguicida, bactericida, blanqueador en este caso es usado como alguicida para el control biológico de la fuente de agua. Este es el insumo químico aplicado diariamente en el agua del reservorio evaluado en esta investigación.

#### **2.2.6. Índice de Langelier**

Es un número adimensional que nos permite conocer la calidad del agua y da razón sobre el carácter incrustante o corrosivo del agua el cual se fundamenta a partir de equilibrios del anhídrido carbónico, bicarbonato-



carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total en el agua (Qualitat, s.f.)

**Tabla 3**

*Escala del Índice de Langelier*

<b>Índice de Langelier</b>	<b>Tendencia del agua</b>
Mayor a 3.0	Severa tendencia de formar incrustación
<2.0 ; 3.0>	Tendencia media de formar incrustación
<1.0 ; 2.0>	Moderada tendencia de formar incrustación
<0.5 ; 1.0>	Moderada tendencia de formar incrustación
<0.0 ; 0.5>	Baja tendencia de formar incrustación
0.0	Agua estable (no incrustante ni corrosiva)
<-0.5 ; 0.0>	Ligera tendencia corrosiva
<-0.5 ; - 1.0>	Ligera tendencia corrosiva
<-1.0 ; -2.0>	Ligera tendencia corrosiva
<-2.0 ; -3.0>	Tendencia media corrosiva
<-3.0 ; -4.0>	Tendencia media corrosiva
Menor a -4.0	Muy fuerte tendencia corrosiva

*Nota: La tabla muestra la interpretación de la tendencia del agua con respecto al índice de Langelier (Tavanpour, Noshadi, & Tavanpour2, 2016)*

Es un parámetro muy importante que nos permite conocer la tendencia corrosiva o incrustante en las redes de distribución de agua y de esa manera poder tomar acción para atenuar dicha tendencia. La aplicación del ácido al agua de riego tiene como objetivo bajar el pH a un nivel tal que el riesgo de formación de precipitados sea mínimo.

La ecuación desarrollada por Langelier es la siguiente:

$$\text{pH} = (\text{pK}_2 - \text{pK}_s) + \text{pCa} + \text{pAlk. Ecuación N}^\circ 1$$

El lado izquierdo de la ecuación representa el pH al cual el agua con un contenido de calcio y una alcalinidad determinados está en equilibrio con el carbonato de calcio. Los términos  $K_2$  y  $K_s$  simbolizan la segunda constante de disociación y la constante del producto de solubilidad del carbonato de calcio, respectivamente. Estos términos son funciones de la temperatura y el contenido mineral total. Sus valores para cualquier condición dada se pueden calcular a partir de las constantes termodinámicas conocidas. Tanto el término de calcio como el de alcalinidad son los logaritmos negativos de sus respectivas concentraciones. El contenido de calcio es molar, mientras que la alcalinidad es una concentración equivalente. Es decir, es la equivalencia titulable de base alcalina por litro. (Scale Guard, 2023)

La diferencia algebraica entre el pH real de una muestra de agua y sus pH calculados se llama índice de saturación de carbonato de calcio. Por lo tanto, el índice de saturación es igual a pH menos pH.

$$\text{ISL} = \text{pH}_{\text{agua}} - \text{pH}_s \quad \text{Ecuación N}^\circ 2$$

Donde:

ISL = Índice de saturación de Langelier

$\text{pH}_{\text{agua}}$  = pH del agua de riego

$\text{pH}_s$  = pH de saturación del agua en equilibrio con la fase sólida del carbonato de calcio, este valor dependiente de los cationes y aniones presentes en el agua de riego.

$$\text{pH}_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \text{ Ecuación N}^\circ 3$$

Donde:

$$A = (\text{Log}_{10} [\text{TDS}] - 1) / 10$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (^\circ\text{C} + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log}_{10} [\text{Ca}^{2+} \text{ como } \text{CaCO}_3] - 0.4$$

$$D = \text{Log}_{10} [\text{alcalinidad como } \text{CaCO}_3]$$

De manera practica se puede calcular los valores de A, B.C y D mediante la siguiente tabla donde tenemos los factores de acuerdo con rangos de los parámetros fisicoquímicos como la conductividad, temperatura, dureza cálcica y alcalinidad.

**Tabla 4.**

*Factores para el cálculo del Índice de Langelier*

Parámetros fisicoquímicos	Parámetro	MÍNIMO	MÁXIMO	FACTOR
<b>k</b> (us/cm)	<b>A</b>	0	340	0.1
	<b>A</b>	341	1360	0.16
	<b>A</b>	1361	20000	0.21
<b>T</b> (°C)	<b>B</b>	0	21.1	2.1
	<b>B</b>	21.2	26.6	2
	<b>B</b>	26.7	31.1	1.9
	<b>B</b>	31.2	36.6	1.8
	<b>B</b>	36.7	43.3	1.7
	<b>B</b>	43.4	50	1.6
	<b>B</b>	50.1	55.5	1.5
	<b>B</b>	55.6	63.3	1.4
	<b>B</b>	63.4	71.1	1.3
<b>Dureza Cálcica</b> (ppm CaCO3)	<b>C</b>	0	13	0.7
	<b>C</b>	14	17	0.8
	<b>C</b>	18	22	0.9
	<b>C</b>	23	27	1
	<b>C</b>	28	34	1.1
	<b>C</b>	35	43	1.2
	<b>C</b>	44	55	1.3
	<b>C</b>	56	69	1.4
	<b>C</b>	70	87	1.5
	<b>C</b>	88	110	1.6

	C	111	138	1.7
	C	139	174	1.8
	C	175	220	1.9
	C	221	270	2
	C	271	340	2.1
	C	341	430	2.2
	C	431	550	2.3
	C	551	690	2.4
	C	691	870	2.5
	C	871	1000	2.6
<b>Alcalinidad Total (ppm CaCO<sub>3</sub>)</b>	D	0	13	1.1
	D	14	17	1.2
	D	18	22	1.3
	D	23	27	1.4
	D	28	34	1.5
	D	35	44	1.6
	D	45	55	1.7
	D	56	69	1.8
	D	70	88	1.9
	D	89	110	2
	D	111	139	2.1
	D	140	176	2.2
	D	177	220	2.3
	D	221	270	2.4
	D	271	350	2.5
	D	351	440	2.6
	D	441	550	2.7
	D	551	690	2.8
	D	691	880	2.9
	D	881	1000	3

*Nota: La tabla muestra los factores de las variables que intervienen en el cálculo del pH de saturación para el cálculo del Índice de Langelier.*

### **2.2.7. Crecimiento biológico**

El agua para riego suele presentar alto contenido de materia orgánica y biológica debido a la característica del agua de ser “fuente de vida” y presentar un medio adecuado para que esta se desarrolle. Por dicho motivo ocurre el crecimiento de algas, microorganismos, protozoos y/o hongos pueden formarse dentro del sistema de riego generando biofilms y

finalmente obstruyendo el sistema de regadío. Una estrategia adecuada es la desinfección con alguicidas siendo el más conocido el hipoclorito de calcio para el control biológico.

Nos centraremos en el crecimiento biológico de las algas en el agua que llegan en la fuente natural, debido a que la cantidad de bacterias se encuentra en un nivel mínimo  $< 10000$  UFC/ml, con respecto a las algas las especies encontradas comúnmente, formando parte del fitoplancton:

#### **2.2.7.1. Chlorophyta**

Es una división de algas verdes que contienen clorofila y almacenan alimentos en forma de almidón en sus plastidios. Hay muchas especies diferentes pertenecientes a Chlorophyta; algunos son unicelulares, otros son multicelulares.

Las estructuras del genoma de Chlorophyta son todas diferentes. Sin embargo, existen algunas características comunes entre las especies. Chlorophyta existe en hábitats de agua dulce, marinos y terrestres. Las condiciones para la supervivencia incluyen luz, carbono, nutrientes esenciales, calidad del agua, temperatura y exposición a las mareas. (Wehr & Sheath, 2003) Se describirán los géneros más encontrados de la división Chlorophyta en el Anexo N°1

#### **2.2.7.2. Cynophyta**

Conocidas comúnmente como algas verde-azuladas por su color verde-azulado (a veces rojizo, pardo o negro). Se caracterizan por que son

procariotas (sin núcleo verdadero), autótrofos constituidos por elementos idénticos aislados (unicelulares) o en cenobios filamentosos, planos o globulares

Existen en medios húmedos o acuáticos presentando una gran adaptabilidad, ocupan medios húmedos y acuáticos muy variados, incluyendo fuentes termales, aguas frías, saladas, dulces y sobrecargadas de sales, su tamaño es entre 1  $\mu\text{m}$  hasta varios micrómetros. (Tormo Molina, s.f.). Se describirán los géneros más encontrados de la división Cynophyta en el Anexo N°2

#### **2.2.7.3.Diatomeas**

Son un grupo de algas unicelulares que constituyen uno de los tipos de fitoplancton más comunes. Actualmente existen aproximadamente unas 20.000 especies que son importantes productoras y se encuentran en la base de la cadena alimentaria.

Muchas diatomeas son unicelulares, aunque algunas de ellas coexisten en forma de filamentos o cadenas celulares. Una característica especial de este tipo de algas es que está rodeada por una pared unicelular formada por sílice opalina (dióxido de silicio hidratado) llamada frústula. Estas frústulas muestran una amplia variedad en su forma, pero generalmente constan de dos partes asimétricas con una división entre ellas, característica que da nombre al grupo. (George Mann, Round, & M. Crawford, 2007)

Se describirán los géneros más encontrados de la división Diatomeas en el Anexo N°3.

#### **2.2.7.4.Euglenophyta**

Es uno de los grupos de protistas flagelados más conocidos. Muchas especies de euglenoideos tienen cloroplastos que producen energía mediante la fotosíntesis. Existen en lagos y ríos donde el agua está contaminada con materia orgánica, y otros sólo pueden vivir en agua cristalizada. Las plantas de Euglena son generalmente más grandes que el tamaño promedio de otras algas unicelulares, superando a menudo las 100 micras. (Investigación, s.f.) Se describirán los géneros más encontrados de la división Euglenophyta en el Anexo N°4.

#### **2.2.7.5.Pyrrophyta**

Denominadas como algas pardo-amarillentas. Son organismos eucariotas, generalmente son células unicelulares con paredes celulares formado por Celulosa en placa poligonal y 2 flagelos desiguales.

Son autótrofos cuyas células contienen una gran cantidad de cromatóforos que contienen pigmentos. La fotosíntesis es de color rojo brillante o amarillento. ellos forman fitoplancton marino, después de las diatomeas, son los productores primarios más importantes. (Fuentes, E.Carreras, & J.Lovey, 2005)

Obtuvieron la mayor riqueza. Se formó en océanos cálidos, el desarrollo a gran escala se produce en aguas frías. Pocas especies crecen en agua dulce, aunque pueden representar hasta el 50% de los cuerpos de agua dulce. Se describirán los géneros más encontrados de la división Pyrrophyta en el Anexo N°5.

Formando parte del zooplancton:

#### **2.2.7.6. Copépodos**

Son un grupo de pequeños crustáceos que se encuentran extendidos por toda la Tierra y pertenecen principalmente al grupo del zooplancton, aunque también se pueden encontrar especies semiterrestres. Los copépodos parásitos varían en tamaño de 1 mm a 5 mm, aunque algunas especies alcanzan los 20 mm o más. Algunas especies están adaptadas a casi todo tipo de ambientes acuáticos (agua dulce, agua salobre, agua salobre, aguas antárticas, etc.). Además de poder colonizar innumerables nichos ecológicos en todo el mundo, también se les considera los artrópodos más extendidos.

#### **2.2.7.7. Ostrácodos**

Son un grupo de crustáceos muy pequeños, normalmente de muy pequeño tamaño (entre 0,1 y 2 mm), que se caracterizan por tener el cuerpo protegido por caparazones que, según la especie, pueden ser blandos o estar muy impregnados de carbonato de calcio. La mayoría de las especies se reproducen sexualmente, pero algunos grupos de ostrácodos se reproducen partenogenéticamente, es decir, la hembra es capaz de producir óvulos fértiles sin fertilización masculina y solo produce descendencia femenina idénticos a la progenitora. Esta forma de reproducción permite a los ostrácodos colonizar rápidamente nuevos ambientes acuáticos. Son ovíparos, ponen huevos muy resistentes a la desecación y al frío y pueden sobrevivir a periodos inadecuados para la incubación. Los ostrácodos han



colonizado todos los ambientes acuáticos, incluidos el marino y el de agua dulce, pero cada especie está controlada por diferentes factores químicos, físicos y biológicos en el sustrato y las aguas circundantes.

#### **2.2.8. *Indicador de pH***

El pH es un parámetro que nos indica el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución. El contenido de bicarbonatos es uno de los principales factores en el taponamiento de los emisores debido a que se forma en la salida del gotero en forma de carbonato de calcio, de magnesio o de sodio comúnmente llamado “sarro”, por ende, es importante reducir el nivel de los bicarbonatos una forma eficaz es aplicando ácidos. El ácido libera iones de hidrogeno ( $H^+$ ) que se conectan la carga negativa del bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) para formar ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ) inestable, que se separa en dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y agua ( $H_2O$ ) (Guy, 2021). El parámetro de pH debe ser frecuentemente monitoreado para mantener un rango adecuado y de esa forma tener un valor de Índice de Langelier aceptable que permita atenuar la tendencia incrustante del agua.

### 2.2.9. Operacionalización de variables

OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE				
VARIABLES INDEPENDIENTES: Parámetros de operación				
Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Escala de Medición
Dosis de hipoclorito de calcio	El hipoclorito de calcio es un insumo químico que es usado como agente alguicida.	-	Concentración óptima	Razón
pH	Es un valor de una escala que permite conocer el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia	-	pH óptimo	Intervalo
VARIABLE DEPENDIENTE: Taponamiento de los goteros				
Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Escala de Medición
Taponamiento	Es la obstrucción de los goteros que son los emisores de riego, esto a causa principalmente de la calidad química y biológica del agua	-	Crecimiento biológico	Razón
		-	Índice de Langelier	Intervalo

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

## III. DISEÑO METODOLOGICO

### 3.1.Diseño de contrastación de hipótesis

La investigación será de tipo aplicada, la cual se caracteriza por ser proyectos que permiten adquirir nuevos conocimientos dirigido a objetivos prácticos específicos. Este tipo de investigación considera el conocimiento existente y su indagación, con la finalidad de solucionar problemas específicos. Los resultados de la investigación aplicada están destinados principalmente a ser válidos para

posibles aplicaciones en productos, operaciones, métodos o sistemas. (OCDE, 2018)

El diseño de la investigación es descriptiva correlacional, pues busca determinar si existe relación entre la dosis de hipoclorito de calcio y el pH en la tendencia de taponamiento de los goteros en las líneas de agua de riego para caña de azúcar en agrícola en Sullana – Piura. Para eso se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson el cual es una metodología estadística que se utilizará para medir la correlación de variables cuantitativas antes mencionadas con una escala mínima de intervalo, donde un valor menor que 0 indicaría una correlación negativa es decir, a medida que aumenta el valor de una variable disminuirá el valor de la otra variable, cuando el valor es mayor a 0 indicaría una correlación positiva es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, también incrementara el valor de la otra variable y cuando el valor es 0 no habría correlación entre las variables.

### **3.2.Población y muestra**

#### **3.2.1. Población**

Agua captada del Rio Chira para uso de riego de la agrícola ubicada en Sullana – Piura.

#### **3.2.2. Muestra**

200 L de agua captada en los puntos de muestreo fuente natural y final de manguera para el monitoreo del crecimiento biológico y Índice de Langelier en el agua de riego de la agrícola ubicada en Sullana – Piura.

### **3.3. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales**

#### **3.3.1. *Materiales y equipos***

- Kit de alcalinidad HI3812.
- Kit de dureza HI3812.
- Medidor portátil de PH/CE/TDS/SAL.
- Multiparámetro HACH.
- Recipientes de 2L.
- Cooler.
- Microscopio Carl Zeiss.
- Cámara de Neubauer.
- Red de plancton de 20  $\mu\text{m}$ .
- Mallas de 20  $\mu\text{m}$ .
- Micropipeta automática.
- Vasos de precipitados de 50 ml.
- Agua destilada.
- Píseta.
- Pipetas Pasteur graduada de 3 ml.

#### **3.3.2. *Técnicas***

##### **3.3.2.1. Técnicas químicas**

Son técnicas que nos permite conocer los parámetros fisicoquímicos del agua utilizada para riego.

### **a) Análisis de dureza**

Se hizo uso del Kit de Prueba de Dureza Total (HI3812) es un Test para determinar la dureza, como mg/L (ppm) de carbonato de calcio el método utilizado es por una titulación de EDTA (Ácido etilendiaminotetraacético).

Esta prueba de dureza del agua determina la capacidad del agua para precipitar las especies iónicas que causan la precipitación en su mayoría de los iones de calcio y el magnesio, por lo tanto, la dureza del agua es en efecto una medida cuantitativa de estos iones en la muestra de agua (Hanna Instruments, s.f.)

El procedimiento de este análisis de dureza es el siguiente:

Alto rango: 0 a 300 mg/L  $\text{CaCO}_3$

- Retirar tapa de frasco pequeño.
- Enjuagar con agua destilada y con agua de la muestra.
- Colocar 5 ml de muestra y colocar la tapa
- A través del orificio de la tapa colocar 5 gotas de la solución Hardness Buffer y mezclar.
- A través del orificio agregar una gota de la solución Calmagite Solution y mezclar.
- Si la solución cambia a un color rojo violeta.
- Llenar la jeringa con EDTA SOLUTION (HI3812-0) hasta 0.
- Agregar solución hasta que cambie a color morado.
- Una vez cambiado a color morado agregar una gota adicional, y dejar de agregar.
- Mover por 15 segundos, hasta que la solución cambie a color azul.

- Leer consumo y multiplicarlo por 300.
- Si el resultado es menor que 300, pasamos a medir en bajo rango.

Bajo rango:

- Rango: 0 a 30 mg/L  $\text{CaCO}_3$
- Retirar la tapa de frasco grande.
- Enjuagar con agua destilada y agua de muestra.
- Colocar 50 ml de muestra y colocar la tapa.
- Continuar con el anterior procedimiento.
- Leer consumo y multiplicarlo por 30, para obtener resultados en ppm o mg/L  $\text{CaCO}_3$ .

#### **b) Analisis de alcalinidad**

Se hizo uso del Kit HI3811 es una prueba química para determinar la alcalinidad por titulación con ácido hidrociorídrico. La alcalinidad es la capacidad cuantitativa de una muestra de agua para neutralizar un ácido a un pH determinado. Esta medición es muy importante para determinar las características corrosivas del agua debido principalmente a los iones de hidróxido, carbonato y bicarbonato. (Hanna instruments, s.f.).

El procedimiento de este análisis de alcalinidad parcial es el siguiente:

- Retirar tapa de frasco pequeño.
- Enjuagar con agua destilada con agua de muestra.
- Colocar 5 ml de muestra y colocar la tapa.
- A través del orificio de la tapa colocar una gota del indicador Fenolftaleína y mezclar.

- Si no hay color, significa que la alcalinidad parcial es 0.
- Si la muestra se vuelve rosada o rojo, colocar solución Acid Titrant Solution (HI3811-0).
- Llenar la jeringa con Acid Titrant Solution (HI3811-0) hasta 0.
- Colocar gota a gota hasta que la solución sea incolora.
- Leer el consumo y multiplicarlo por 300.
- Si el resultado nos arroja menos de 100ppm o 100 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , pasamos a medir en bajo rango.

Bajo rango:

- Retirar la tapa del frasco grande.
- Enjuagar con agua destilada y con agua de muestra.
- Colocar 15 ml de muestra.
- Continuar con el anterior procedimiento.
- Leer el consumo y multiplicarlo por 100.

El procedimiento de este análisis de alcalinidad total es el siguiente:

- Retirar tapa de frasco pequeño.
- Enjuagar con agua destilada y con agua de muestra.
- Colocar 5 ml de muestra y colocar la tapa.
- A través del orificio de la tapa colocar una gota del indicador Bromophenol Blue y mezclar.
- Si pinta de color amarillo significa que no hay alcalinidad.
- Si la solución toma un color verde o azul, colocar solución Acid Titrant Solution (HI3811-0).

- Llenar la jeringa con Acid Titrant Solution (HI3811-0) hasta 0.
- Colocar gota a gota, mezclando hasta que tome un color amarillo.
- Leer el consumo y multiplicarlo por 300.
- Si el resultado nos arroja menos de 100ppm o 100 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , pasamos a medir en bajo rango.

Bajo rango:

- Retirar la tapa del frasco grande.
- Enjuagar con agua destilada y con agua de muestra.
- Colocar 15 ml de muestra.
- Continuar con el anterior procedimiento.
- Leer el consumo y multiplicarlo por 100.

#### **c) Medición de parámetros fisicoquímicos**

Se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad, temperatura necesarios para determinar el índice de Langelier y dar un seguimiento a la calidad de agua, se utilizó para medir los parámetros in situ el medidor portátil Oakton de PH/CE/TDS/SAL y en el laboratorio se utilizó el multiparámetro Hach.

### **3.3.2.2. Técnica biológica**

#### **a) Conteo de algas**

Se realiza el conteo de algas mediante la cámara de recuento Neubauer, siendo este un instrumento de precisión hecho de vidrio óptico especial para el microscopio. Se utilizará para contar células u otras partículas en suspensiones bajo el microscopio mediante cuadrantes. En este caso se utiliza para contar las diferentes familias de algas



de acuerdo con su morfología y características visuales de las muestras de agua son medidas en org/L.

El procedimiento para realizar el conteo de algas se realiza de la siguiente manera:

- Se procede a filtrar cada muestra de 1L usando la red de fitoplancton previamente lavada con agua destilada por ambos lados.
- Recolectar la muestra filtrada en un vaso de precipitación de 50 ml.
- Se filtra la muestra usando pequeños tubos de pvc con red de fitoplancton en uno de los extremos.
- Con una pipeta pasterur se toma parte del sedimento 1 ml que quedó dentro el tubo filtrante.
- Colocar una gota de lo recolectado en la parte central de la cámara de Neubauer evitando que ingresen burbujas de aire y colocar lámina cubreobjetos.
- Se realiza el conteo e identificación de fitoplancton al microscopio.

### ***3.3.3. Metodología***

#### **3.3.3.1. Recolección de muestras**

Se recolectaron a lo largo de los meses de enero a agosto del año 2023 un total de 126 muestras correspondiente a 63 días en donde se tomaron cuidadosamente muestras de agua de la fuente natural y el agua tratada para riego en final de manguera del reservorio 1 del fundo perteneciente a la empresa agrícola.

El procedimiento para la recolección de muestras es el siguiente:

- 1) Se tomaron muestras de la fuente natural en este caso es el Rio Chira en recipientes de 1.5 L se realizó un triple enjuaje al recipiente de la muestra para tener un resultado más confiable se evita todo tipo de contaminación mediante el uso de

guantes de latex se procedió a rotular las muestras y almacenarlas inmediatamente en un cooler para evitar la exposición al sol.

- 2) Se tomaron muestras de finales de manguera en diferentes puntos de las hectáreas en recipientes de 1.5 L, se purga por 10 minutos y se realiza un triple enjuague al recipiente de la muestra para tener un resultado más confiable se evita todo tipo de contaminación mediante el uso de guantes de látex se procedió a rotular las muestras y almacenarlas inmediatamente en un cooler para evitar la exposición al sol.
- 3) Se trasladan inmediatamente al laboratorio de calidad del agua de la empresa agrícola para realizar los análisis biológicos y fisicoquímicos.

#### **3.3.3.2. Análisis de los resultados**

Debido a que la fuente natural este año en la región Piura presento grandes cambios debido a fenómenos atmosféricos como las fuertes lluvias, cambios de la fuente por periodo de estiaje, estaciones por dicho motivo se evaluará las muestras por periodos especificados a continuación.

Para el análisis de los parámetros de pH y Índice de Langelier, se estudiaron los siguientes periodos:

- 1<sup>er</sup> Periodo: Periodo de estiaje en donde se aplicó ácido sulfúrico
- 2<sup>do</sup> Periodo: Periodo de lluvias no se aplicó ácido sulfúrico
- 3<sup>er</sup> Periodo: Periodo luego de lluvias se retomó la aplicación de ácido sulfúrico
- 4<sup>to</sup> Periodo: Periodo sin aplicación de ácido sulfúrico

Para el análisis de la dosis de hipoclorito de calcio y el crecimiento biológico se estudiaron los siguientes periodos:

- Periodo de verano.
- Periodo de otoño.
- Periodo de invierno.

Se evaluaron las muestras, midiendo los parámetros fisicoquímicos necesarios para el cálculo del Índice de Langelier.

**Tabla 5**

*Parámetros fisicoquímicos de las muestras recolectadas*

Fecha de muestreo	Punto de muestreo	Periodo	pH	Temp (°C)	Conduct (µS/cm)	Dureza (mg/l- CaCO <sub>3</sub> )	Dureza cálcica (mg/l- CaCO <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	Alcalinidad Parcial (mg/l- CaCO <sub>3</sub> )	Alcalinidad Total (mg/l- CaCO <sub>3</sub> )
16/01/2023	Río Chira	1°	7.90	25.3	2600	645	516	0	297
16/01/2023	Final - Agua	1°	7.39	24.6	2560	708	566.4	0	234
24/01/2023	Río Chira	1°	7.99	25.9	1769	525	420	0	267
24/01/2023	Final - Agua	1°	7.17	26.1	1996	552	441.6	0	216
30/01/2023	Río Chira	1°	8.14	27.5	1110	288	230.4	0	213
30/01/2023	Final - Agua	1°	7.32	27.8	1322	315	252	0	153
31/01/2023	Río Chira	1°	7.95	27.6	1013	270	216	0	195
31/01/2023	Final - Agua	1°	6.77	27	1122	234	187.2	0	135
06/02/2023	Río Chira	1°	7.79	26.9	880	258	206.4	0	222
06/02/2023	Final - Agua	1°	7.54	27.9	935	246	196.8	0	198
07/02/2023	Río Chira	1°	7.75	27.4	941	294	235.2	0	222
07/02/2023	Final - Agua	1°	6.99	31.4	1011	306	244.8	0	186
13/02/2023	Río Chira	1°	7.75	26.8	1452	414	331.2	0	240
13/02/2023	Final - Agua	1°	7.22	32.8	1482	408	326.4	0	198
14/02/2023	Río Chira	1°	7.74	21.5	1616	438	350.4	0	246
14/02/2023	Final - Agua	1°	7.17	27.1	1540	414	331.2	0	201
20/02/2023	Río Chira	1°	7.84	27.4	1590	480	384	0	288
20/02/2023	Final - Agua	1°	7.37	29.6	1873	420	336	0	228
21/02/2023	Río Chira	1°	8.14	28.9	1768	438	350.4	0	300
21/02/2023	Final - Agua	1°	7.42	28.9	1823	432	345.6	0	240
28/02/2023	Río Chira	1°	7.59	28.5	1919	438	350.4	0	288
28/02/2023	Final - Agua	1°	7.26	33	1865	384	307.2	0	222
03/03/2023	Río Chira	1°	7.77	28.9	2050	462	369.6	0	282
03/03/2023	Final - Agua	1°	7.6	30.1	1992	456	364.8	0	246
06/03/2023	Río Chira	1°	7.77	28.9	2050	504	403.2	0	288
06/03/2023	Final - Agua	1°	7.26	29.9	2190	486	388.8	0	246
13/03/2023	Río Chira	1°	7.58	29.4	794	183	146.4	0	168
13/03/2023	Final - Agua	1°	7.26	27.9	489	150	120	0	138

15/03/2023	Río Chira	1°	7.56	27.1	305	150	120	0	108
15/03/2023	Final - Agua	1°	7.5	31.8	355	120	96	0	114
18/03/2023	Río Chira	2°	7.51	27.5	829	270	216	0	180
18/03/2023	Final - Agua	2°	7.81	27.9	1295	228	182.4	0	150
20/03/2023	Río Chira	2°	7.67	27.4	538	162	129.6	0	150
20/03/2023	Final - Agua	2°	7.95	27.9	688	210	168	0	168
27/03/2023	Río Chira	2°	7.1	27.4	335	132	105.6	0	144
27/03/2023	Final - Agua	2°	7.7	29.2	1036	138	110.4	0	120
30/03/2023	Río Chira	2°	7.21	27.2	396	150	120	0	150
30/03/2023	Final - Agua	2°	7.39	29	409	126	100.8	0	120
31/03/2023	Río Chira	2°	7.45	27.8	400	138	110.4	0	120
31/03/2023	Final - Agua	2°	7.54	27.9	398	144	115.2	0	126
10/04/2023	Río Chira	2°	7.45	27.2	460	390	312	0	198
10/04/2023	Final - Agua	2°	7.48	28.6	768	282	225.6	0	150
14/04/2023	Río Chira	2°	7.49	27.2	523	156	124.8	0	150
14/04/2023	Final - Agua	2°	7.7	27.6	534	192	153.6	0	150
17/04/2023	Río Chira	2°	7.18	27	365	144	115.2	0	138
17/04/2023	Final - Agua	2°	7.19	27.4	428	126	100.8	0	138
18/04/2023	Río Chira	2°	7.21	26.7	420	150	120	0	138
18/04/2023	Final - Agua	2°	7.13	28.9	1825	132	105.6	0	120
21/04/2023	Río Chira	2°	7.38	26.9	514	168	134.4	0	162
21/04/2023	Final - Agua	2°	7.52	28.7	505	168	134.4	0	156
24/04/2023	Río Chira	2°	7.45	26.3	443	180	144	0	186
24/04/2023	Final - Agua	2°	7.55	28.2	498	156	124.8	0	180
25/04/2023	Río Chira	2°	7.55	27.8	464	162	129.6	0	162
25/04/2023	Final - Agua	2°	6.79	29.6	529	162	129.6	0	168
28/04/2023	Río Chira	2°	7.36	27.7	500	132	105.6	0	162
28/04/2023	Final - Agua	2°	7.03	31	561	162	129.6	0	162
02/05/2023	Río Chira	2°	7.2	28.5	754	198	158.4	0	192
02/05/2023	Final - Agua	2°	7.4	28.3	560	198	158.4	0	192
08/05/2023	Río Chira	2°	7.57	27.5	1473	450	360	0	270
08/05/2023	Final - Agua	2°	7.71	30.1	1537	522	417.6	0	300
09/05/2023	Río Chira	2°	7.56	27.6	1621	372	297.6	0	288
09/05/2023	Final - Agua	2°	7.7	29.1	1708	432	345.6	0	312
15/05/2023	Río Chira	2°	7.6	27	1585	474	379.2	0	312
15/05/2023	Final - Agua	2°	7.28	29	1461	438	350.4	0	294
17/05/2023	Río Chira	2°	8.52	28.2	1681	468	374.4	0	312
17/05/2023	Final - Agua	2°	7.8	26.5	1761	426	340.8	0	276
22/05/2023	Río Chira	2°	7.8	29.4	701	258	206.4	0	240
22/05/2023	Final - Agua	2°	8.06	28.4	1114	378	302.4	0	294
23/05/2023	Río Chira	2°	7.75	28.6	743	252	201.6	0	258
23/05/2023	Final - Agua	2°	7.85	29.3	818	270	216	0	300
29/05/2023	Río Chira	3°	7.61	28.3	785	276	220.8	0	294
29/05/2023	Final - Agua	3°	7.21	23.9	761	294	235.2	0	240
30/05/2023	Río Chira	3°	7.49	28.1	849	270	216	0	270

30/05/2023	Final - Agua	3°	7.24	29.1	847	258	206.4	0	282
05/06/2023	Río Chira	3°	7.54	27.8	827	318	254.4	0	210
05/06/2023	Final - Agua	3°	7.69	30.2	878	312	249.6	0	198
06/06/2023	Río Chira	3°	7.54	27.8	827	360	288	0	210
06/06/2023	Final - Agua	3°	7.45	26.3	1024	330	264	0	234
13/06/2023	Río Chira	3°	7.73	27.3	988	354	283.2	0	228
13/06/2023	Final - Agua	3°	7.67	26	1033	402	321.6	0	204
15/06/2023	Río Chira	3°	7.59	28.6	1107	390	312	0	246
15/06/2023	Final - Agua	3°	7.43	29.8	1092	396	316.8	0	174
19/06/2023	Río Chira	3°	7.61	28	780	258	206.4	0	210
19/06/2023	Final - Agua	3°	7.44	29.3	735	252	201.6	0	174
20/06/2023	Río Chira	3°	7.67	27.1	1075	378	302.4	0	240
20/06/2023	Final - Agua	3°	7.21	28.4	969	288	230.4	0	210
26/06/2023	Río Chira	3°	7.48	27.5	1022	348	278.4	0	198
26/06/2023	Final - Agua	3°	7.35	25.4	1137	360	288	0	210
28/06/2023	Río Chira	3°	7.83	27.2	1237	534	427.2	0	270
28/06/2023	Final - Agua	3°	7.33	25.6	1391	408	326.4	0	216
03/07/2023	Río Chira	4°	7.81	26.5	1208	444	355.2	0	294
03/07/2023	Final - Agua	4°	7.42	27	684	402	321.6	0	300
06/07/2023	Río Chira	4°	8.04	26.6	1008	372	297.6	0	306
06/07/2023	Final - Agua	4°	7.87	26.1	1093	312	249.6	0	300
10/07/2023	Río Chira	4°	7.76	26.3	1456	360	288	0	252
10/07/2023	Final - Agua	4°	7.73	26.8	1336	348	278.4	0	270
14/07/2023	Río Chira	4°	8.07	27.8	1297	366	292.8	0	282
14/07/2023	Final - Agua	4°	8.11	26.8	1231	378	302.4	0	300
17/07/2023	Río Chira	4°	7.79	26.6	1369	492	393.6	0	288
17/07/2023	Final - Agua	4°	7.93	27	1402	516	412.8	0	294
19/07/2023	Río Chira	4°	8.12	27.4	1461	480	384	0	330
19/07/2023	Final - Agua	4°	7.89	27.8	1624	420	336	0	294
24/07/2023	Río Chira	4°	7.68	27	1069	288	230.4	0	282
24/07/2023	Final - Agua	4°	7.94	27.4	1029	306	244.8	0	264
27/07/2023	Río Chira	4°	7.64	25.3	1000	360	288	0	288
27/07/2023	Final - Agua	4°	7.53	25.4	1121	318	254.4	0	270
31/07/2023	Río Chira	4°	7.91	27.4	1558	462	369.6	0	306
31/07/2023	Final - Agua	4°	7.85	25	1499	390	312	0	330
03/08/2023	Río Chira	4°	7.79	25.2	1970	468	374.4	0	330
03/08/2023	Final - Agua	4°	7.78	25.1	1727	336	268.8	0	300
05/08/2023	Río Chira	4°	7.83	25.7	1672	468	374.4	0	330
05/08/2023	Final - Agua	4°	7.74	25.4	1570	336	268.8	0	300
07/08/2023	Río Chira	4°	7.8	27.4	1510	432	345.6	0	324
07/08/2023	Final - Agua	4°	8.05	27.2	1515	420	336	0	390
10/08/2023	Río Chira	4°	7.78	25.1	1581	420	336	0	216
10/08/2023	Final - Agua	4°	7.76	25	1479	456	364.8	0	246
14/08/2023	Río Chira	4°	7.59	27.3	1417	426	340.8	0	270
14/08/2023	Final - Agua	4°	7.68	26.7	1569	468	374.4	0	276

21/08/2023	Río Chira	4°	7.89	27.9	1728	486	388.8	0	246
21/08/2023	Final - Agua	4°	8.03	28.4	1710	480	384	0	282
25/08/2023	Río Chira	4°	7.77	27.4	1939	534	427.2	0	264
25/08/2023	Final - Agua	4°	8.02	27.6	1816	540	432	0	282
28/08/2023	Río Chira	4°	7.84	27.1	1837	510	408	0	282
28/08/2023	Final - Agua	4°	7.92	28.7	1782	516	412.8	0	288
31/08/2023	Río Chira	4°	7.78	26.5	2100	582	465.6	0	306
31/08/2023	Final - Agua	4°	7.96	27.4	2010	570	456	0	300

*Nota:* Elaboración propia.

Para el cálculo del Índice de Langelier, se tomará como ejemplo los parámetros evaluados el 16 de enero del 2023 de la Tabla N°4.

En la parte teórica se explicaron las fórmulas y tablas para el cálculo del Índice de Langelier.

El Índice de Langelier se calcula con las siguientes formulas:

$$ISL = pH_{\text{agua}} - pH_s \quad \dots \text{Ecuación (1)}$$

El pH de saturación se calcula con la siguiente formula:

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \dots \text{Ecuación (2)}$$

En la Tabla N°3 encontramos los factores de acuerdo con el rango donde se encuentren los parámetros.

- La muestra del Rio Chira tuvo los siguientes parámetros:

**Tabla 6**

*Parámetros de la muestra del Rio Chira*

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Variable</b>	<b>Factor respectivo</b>
Conductividad	2600	uS/cm	A	0.21
Temperatura	25.3	°C	B	2
Dureza Cálrica	516	ppm CaCO <sub>3</sub>	C	2.3
Alcalinidad Total	297	ppm CaCO <sub>3</sub>	D	2.5
pH	7.9			

*Nota:* Elaboración propia.

Introduciendo esos factores en la Ecuación N°2:

$$\text{pH}_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$\text{pH}_s = (9.3 + 0.21 + 2) - (2.3 + 2.5)$$

$$\text{pH}_s = 6.71$$

El pH agua es 7.9 entonces el ISL se calcula con la Ecuación N°1.

$$\text{ISL} = \text{pH}_{\text{agua}} - \text{pH}_s$$

$$\text{ISL} = 7.9 - 6.81$$

$$\text{ISL} = 1.19$$

- La muestra del Final de agua tuvo los siguientes parámetros:

**Tabla 7**

*Parámetros de la muestra del final de agua*

Parámetros	Valor	Unidades	Variable	Factor respectivo
Conductividad	2560	uS/cm	A	0.21
Temperatura	24.6	°C	B	2
Dureza Cálcica	566.4	ppm CaCO <sub>3</sub>	C	2.4
Alcalinidad Total	234	ppm CaCO <sub>3</sub>	D	2.4
pH	7.39			

Nota: Elaboración propia.

Introduciendo esos factores en la Ecuación N°2:

$$\text{pH}_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$\text{pH}_s = (9.3 + 0.21 + 2) - (2.4 + 2.4)$$

$$\text{pH}_s = 6.71$$

El pH agua es 7.9 entonces el ISL se calcula con la Ecuación N°1.

$$\text{ISL} = \text{pH}_{\text{agua}} - \text{pH}_s$$

$$\text{ISL} = 7.93 - 6.71$$

$$\text{ISL} = 0.68$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados de los parámetros de pH y el Índice de Langelier

#### 4.1.1. Periodo de estiaje en donde se aplicó ácido sulfúrico

**Tabla 8**

*Resultados de los parámetros en el periodo de estiaje en donde se aplicó ácido sulfúrico*

Fecha	Punto de muestreo	pH	Índice de Langelier
16/01/2023	Río Chira	7.90	1.19
16/01/2023	Final - Agua	7.39	0.68
24/01/2023	Río Chira	7.99	1.08
24/01/2023	Final - Agua	7.17	0.26
30/01/2023	Río Chira	8.14	1.08
30/01/2023	Final - Agua	7.32	0.16
31/01/2023	Río Chira	7.95	0.79
31/01/2023	Final - Agua	6.77	-0.59
06/02/2023	Río Chira	7.79	0.73
06/02/2023	Final - Agua	7.54	0.38
07/02/2023	Río Chira	7.75	0.79
07/02/2023	Final - Agua	6.99	0.03
13/02/2023	Río Chira	7.75	0.84
13/02/2023	Final - Agua	7.22	0.31
14/02/2023	Río Chira	7.74	0.83
14/02/2023	Final - Agua	7.17	0.16
20/02/2023	Río Chira	7.84	1.13
20/02/2023	Final - Agua	7.37	0.46
21/02/2023	Río Chira	8.14	1.43
21/02/2023	Final - Agua	7.42	0.61
28/02/2023	Río Chira	7.59	0.88
28/02/2023	Final - Agua	7.26	0.45
03/03/2023	Río Chira	7.77	1.06
03/03/2023	Final - Agua	7.6	0.79
06/03/2023	Río Chira	7.77	1.06
06/03/2023	Final - Agua	7.26	0.45
13/03/2023	Río Chira	7.58	0.22
13/03/2023	Final - Agua	7.26	-0.3
15/03/2023	Río Chira	7.56	-0.04
15/03/2023	Final - Agua	7.5	-0.06

*Nota:* Elaboración propia.



En esta época de estiaje la fuente natural presenta el nivel mínimo debido a la escasez de agua también presento altas temperaturas, por ende, existió contaminación de impurezas por otra actividad agrícola, industrial y/o municipal, debido a la existencia de actividades intensivas anteriores al punto de captación de agua esta tuvo contaminantes provenientes de dichas actividades, aportando contenido de sales, sedimentos, microorganismos y/o modificando propiedades fisicoquímicas, volviéndose el agua de la fuente con mayor tendencia al taponamiento de los goteros de riego.

**Tabla 9**

*Correlación entre el pH y el Índice de Langelier en la primera etapa*

		<b>pH</b>	<b>Índice de Langelier</b>
<b>pH</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	,849**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		,000
	<b>N</b>	30	30
<b>Índice de Langelier</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	,849**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	,000	
	<b>N</b>	30	30

\*\*. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Nota:* Elaboración propia.

El valor del estadístico r de Pearson es de 0.849, además esta correlación es muy significativa. Por lo que se puede afirmar con un 99% de confianza, que en el ámbito de estudio hay una correlación positiva muy alta entre la variable pH y el Índice de Langelier, porque el valor del Sig (bilateral) es de 0.000, encontrándose por debajo del 0.01 requerido. Por lo que se concluye que existe una relación positiva o directa esto quiere decir que al incremento del valor de pH el índice de Langelier también presenta un aumento.

#### 4.1.2. Periodo de lluvias no se aplicó ácido sulfúrico

**Tabla 10**

*Resultados de los parámetros en el periodo de lluvias no se aplicó ácido sulfúrico*

Fecha	Punto de muestreo	pH	Índice de Langelier
18/03/2023	Río Chira	7.51	0.35
18/03/2023	Final - Agua	7.81	0.55
20/03/2023	Río Chira	7.67	0.21
20/03/2023	Final - Agua	7.95	0.59
27/03/2023	Río Chira	7.1	-0.4
27/03/2023	Final - Agua	7.7	0.04
30/03/2023	Río Chira	7.21	-0.25
30/03/2023	Final - Agua	7.39	-0.27
31/03/2023	Río Chira	7.45	-0.21
31/03/2023	Final - Agua	7.54	-0.02
10/04/2023	Río Chira	7.45	0.49
10/04/2023	Final - Agua	7.48	0.32
14/04/2023	Río Chira	7.49	0.03
14/04/2023	Final - Agua	7.7	0.34
17/04/2023	Río Chira	7.18	-0.38
17/04/2023	Final - Agua	7.19	-0.47
18/04/2023	Río Chira	7.21	-0.35
18/04/2023	Final - Agua	7.13	-0.58
21/04/2023	Río Chira	7.38	-0.08
21/04/2023	Final - Agua	7.52	0.06
24/04/2023	Río Chira	7.45	0.09
24/04/2023	Final - Agua	7.55	0.19
25/04/2023	Río Chira	7.55	0.09
25/04/2023	Final - Agua	6.79	-0.67
28/04/2023	Río Chira	7.36	-0.2
28/04/2023	Final - Agua	7.03	-0.43
02/05/2023	Río Chira	7.2	-0.06
02/05/2023	Final - Agua	7.4	0.14
08/05/2023	Río Chira	7.57	0.76
08/05/2023	Final - Agua	7.71	1
09/05/2023	Río Chira	7.56	0.75
09/05/2023	Final - Agua	7.7	0.99
15/05/2023	Río Chira	7.6	0.89
15/05/2023	Final - Agua	7.28	0.57
17/05/2023	Río Chira	8.52	1.81
17/05/2023	Final - Agua	7.8	0.89

22/05/2023	Río Chira	7.8	0.74
22/05/2023	Final - Agua	8.06	1.3
23/05/2023	Río Chira	7.75	0.69
23/05/2023	Final - Agua	7.85	0.89

*Nota:* Elaboración propia.

Durante el periodo de lluvias la calidad del agua cambio completamente por la dilución y el incremento de caudal, los valores de parámetros fisicoquímicos como el pH, dureza, alcalinidad entre otros bajo por ende el Índice de Langelier se mantenía bajo incluso llegaba a valores negativos, se tomó la decisión de no aplicar ácido sulfúrico por este periodo porque se cumplía con el rango optimo del índice.

**Tabla 11**

*Correlación entre el pH y el Índice de Langelier en la segunda etapa*

		pH	Índice de Langelier
pH	Correlación de Pearson	1	,871**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	40	40
Índice de Langelier	Correlación de Pearson	,871**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	40	40

\*\*. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Nota:* Elaboración propia.

El valor del estadístico r de Pearson es de 0.871, además esta correlación es muy significativa. Por lo que se puede afirmar con un 99% de confianza, que en el ámbito de estudio hay una correlación positiva muy alta entre la variable pH y el Índice de Langelier, porque el valor del Sig (bilateral) es de 0.000, encontrándose por debajo del 0.01 requerido. Por lo que se concluye que existe una relación positiva o directa esto quiere decir que al incremento del valor de pH el índice de Langelier también presenta un aumento.

#### **4.1.3. Periodo luego de lluvias se retomó la aplicación de ácido sulfúrico**

**Tabla 12**

*Resultados de los parámetros en el periodo de luego de lluvias se retomó la aplicación de ácido sulfúrico.*

<b>Fecha</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>pH</b>	<b>Índice de Langelier</b>
29/05/2023	Río Chira	7.61	0.65
29/05/2023	Final - Agua	7.21	0.15
30/05/2023	Río Chira	7.49	0.43
30/05/2023	Final - Agua	7.24	0.28
05/06/2023	Río Chira	7.54	0.48
05/06/2023	Final - Agua	7.69	0.63
06/06/2023	Río Chira	7.54	0.58
06/06/2023	Final - Agua	7.45	0.39
13/06/2023	Río Chira	7.73	0.87
13/06/2023	Final - Agua	7.67	0.61
15/06/2023	Río Chira	7.59	0.73
15/06/2023	Final - Agua	7.43	0.37
19/06/2023	Río Chira	7.61	0.45
19/06/2023	Final - Agua	7.44	0.18
20/06/2023	Río Chira	7.67	0.81
20/06/2023	Final - Agua	7.21	0.15
26/06/2023	Río Chira	7.48	0.52
26/06/2023	Final - Agua	7.35	0.29
28/06/2023	Río Chira	7.83	1.07
28/06/2023	Final - Agua	7.33	0.22

*Nota:* Elaboración propia.

Luego del periodo de lluvias el pH del agua de la fuente empezó a variar y a tornarse alcalina incrementándose el índice de Langelier por dicho motivo se decidió aplicar ácido sulfúrico.

**Tabla 13***Correlación entre el pH y el Índice de Langelier en la tercera etapa*

		pH	Índice de Langelier
<b>pH</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	,916**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		,000
	<b>N</b>	20	20
<b>Índice de Langelier</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	,916**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	,000	
	<b>N</b>	20	20

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Nota:* Elaboración propia.

El valor del estadístico r de Pearson es de 0.916, además esta correlación es muy significativa. Por lo que se puede afirmar con un 99% de confianza, que en el ámbito de estudio hay una correlación positiva muy alta entre la variable pH y el Índice de Langelier, porque el valor del Sig (bilateral) es de 0.000, encontrándose por debajo del 0.01 requerido. Por lo que se concluye que existe una relación positiva o directa esto quiere decir que al incremento del valor de pH el índice de Langelier también presenta un aumento.

#### **4.1.4. Periodo sin aplicación de ácido sulfúrico**

**Tabla 14***Resultados de los parámetros en el periodo sin aplicación de ácido sulfúrico*

Fecha	Punto de muestreo	pH	Índice de Langelier
03/07/2023	Río Chira	7.81	1.05
03/07/2023	Final - Agua	7.42	0.66
06/07/2023	Río Chira	8.04	1.18
06/07/2023	Final - Agua	7.87	0.91
10/07/2023	Río Chira	7.76	0.75

10/07/2023	Final - Agua	7.73	0.87
14/07/2023	Río Chira	8.07	1.31
14/07/2023	Final - Agua	8.11	1.35
17/07/2023	Río Chira	7.79	0.98
17/07/2023	Final - Agua	7.93	1.22
19/07/2023	Río Chira	8.12	1.41
19/07/2023	Final - Agua	7.89	1.08
24/07/2023	Río Chira	7.68	0.82
24/07/2023	Final - Agua	7.94	0.98
27/07/2023	Río Chira	7.64	0.78
27/07/2023	Final - Agua	7.53	0.47
31/07/2023	Río Chira	7.91	1.2
31/07/2023	Final - Agua	7.85	0.94
03/08/2023	Río Chira	7.79	0.98
03/08/2023	Final - Agua	7.78	0.77
05/08/2023	Río Chira	7.83	1.02
05/08/2023	Final - Agua	7.74	0.73
07/08/2023	Río Chira	7.8	1.09
07/08/2023	Final - Agua	8.05	1.34
10/08/2023	Río Chira	7.78	0.67
10/08/2023	Final - Agua	7.76	0.85
14/08/2023	Río Chira	7.59	0.68
14/08/2023	Final - Agua	7.68	0.97
21/08/2023	Río Chira	7.89	1.08
21/08/2023	Final - Agua	8.03	1.32
25/08/2023	Río Chira	7.77	0.96
25/08/2023	Final - Agua	8.02	1.41
28/08/2023	Río Chira	7.84	1.13
28/08/2023	Final - Agua	7.92	1.21
31/08/2023	Río Chira	7.78	1.07
31/08/2023	Final - Agua	7.96	1.35

*Nota:* Elaboración propia.

En este periodo se evaluaron los parámetros sin efecto de la aplicación del ácido sulfúrico, se evaluó la acumulación de incrustaciones en las tuberías de riego en campo mediante cupones de monitoreo en donde se evidencio que la tasa de crecimiento de los depósitos de incrustación es lenta, durante el periodo de evaluación no se evidencio presencia de carbonatos en la superficie, pero si hubo presencia de biofilm en la superficie del cupón.

**Tabla 15***Correlación entre el pH y el Índice de Langelier en la cuarta etapa*

		pH	Índice de Langelier
pH	Correlación de Pearson	1	,883**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	36	36
Índice de Langelier	Correlación de Pearson	,883**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	36	36

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Nota:* Elaboración propia.

El valor del estadístico r de Pearson es de 0.883, además esta correlación es muy significativa. Por lo que se puede afirmar con un 99% de confianza, que en el ámbito de estudio hay una correlación positiva muy alta entre la variable pH y el Índice de Langelier, porque el valor del Sig (bilateral) es de 0.000, encontrándose por debajo del 0.01 requerido. Por lo que se concluye que existe una relación positiva o directa esto quiere decir que al incremento del valor de pH el índice de Langelier también presenta un aumento.

#### **4.2.Resultados de la dosis de hipoclorito de calcio y el crecimiento biológico.**

##### **4.2.1. Periodo de verano**

**Tabla 16***Resultados de los parámetros en el periodo de verano*

Fecha	Punto de muestreo	Dosis de Hipoclorito de calcio (mg/L)	Crecimiento biológico (Org/L)
16/01/2023	Río Chira		1,000
16/01/2023	Final - Agua	0.9	24,000
24/01/2023	Río Chira		1,000
24/01/2023	Final - Agua	1.2	12,000

30/01/2023	Río Chira		20000
30/01/2023	Final - Agua	1.3	21000
31/01/2023	Río Chira		13000
31/01/2023	Final - Agua	1.3	15000
06/02/2023	Río Chira		2000
06/02/2023	Final - Agua	1.6	11000
07/02/2023	Río Chira		2000
07/02/2023	Final - Agua	1.6	6000
13/02/2023	Río Chira		2000
13/02/2023	Final - Agua	1.4	9000
14/02/2023	Río Chira		0
14/02/2023	Final - Agua	1.4	2000
20/02/2023	Río Chira		0
20/02/2023	Final - Agua	0.8	4000
21/02/2023	Río Chira		5000
21/02/2023	Final - Agua	0.8	8000
28/02/2023	Río Chira		1000
28/02/2023	Final - Agua	0.4	6000
03/03/2023	Río Chira		2000
03/03/2023	Final - Agua	0.3	4000
06/03/2023	Río Chira		1000
06/03/2023	Final - Agua	0.3	8000
13/03/2023	Río Chira		15000
13/03/2023	Final - Agua	0.15	26000
15/03/2023	Río Chira		75000
15/03/2023	Final - Agua	0.15	36000
18/03/2023	Río Chira		13,000
18/03/2023	Final - Agua	0.3	5,000
20/03/2023	Río Chira		11,000
20/03/2023	Final - Agua	0.25	13,000

*Nota:* Elaboración propia.

En el periodo de verano tuvo una temperatura promedio de 26.5 °C alcanzando como temperatura máxima de 34.3°C en este periodo al agua le ocurre gradualmente la estratificación debido a que las masas de agua con diferentes propiedades: salinidad, oxigenación, densidad, temperatura, forman capas que actúan como barreras para la mezcla del agua, los nutrientes se hunden hasta el



fondo del cuerpo de agua quedan atrapados mayormente en la capa más pesada, incapaz de levantarse. (Miller, 2004)

A medida que continúa el verano, el agua de la superficie agota los nutrientes, lo que impide el crecimiento de algas, plantas y animales que dependen de estos nutrientes para alimentarse. Además, en el mes de marzo del 2023 ocurrieron lluvias lo que produjo que el agua de la fuente se mezcle y el parámetro de turbidez se incrementó lo que provocó que se forme en el agua una capa de solidos suspendidos que obstaculizo el ingreso de luz solar por ende las algas no se proliferan con facilidad durante este periodo de lluvias.

**Tabla 17**

*Correlación entre la dosis de hipoclorito de calcio y el crecimiento biológico en el periodo de verano*

		Dosis de Hipoclorito de calcio (Mg/L)	Crecimiento biológico (Org/L)
Dosis de Hipoclorito de calcio (Mg/L)	Correlación de	1	-,002
	Pearson		
	Sig. (bilateral)		,990
	N	34	34
Crecimiento biológico (Org/L)	Correlación de	-,002	1
	Pearson		
	Sig. (bilateral)	,990	
	N	34	34

*Nota:* Elaboración propia.

El valor del estadístico r de Pearson es de -0.002, indica que hay una relación inversa pero el nivel de significancia es mayor a 0.05 lo que indica que no existe relación entre las variables.

#### 4.2.2. Periodo de otoño

**Tabla 18**

*Resultados de los parámetros en el periodo de otoño*

Fecha	Punto de muestreo	Dosis de Hipoclorito de calcio (mg/L)	Crecimiento biológico (Org/L)
27/03/2023	Río Chira		46000
27/03/2023	Final - Agua	0.25	19000
30/03/2023	Río Chira		17000
30/03/2023	Final - Agua	0.35	15000
31/03/2023	Río Chira		17000
31/03/2023	Final - Agua	0.35	4000
10/04/2023	Río Chira		12000
10/04/2023	Final - Agua	0.4	15000
14/04/2023	Río Chira		10000
14/04/2023	Final - Agua	0.25	6000
17/04/2023	Río Chira		15000
17/04/2023	Final - Agua	0.2	18000
18/04/2023	Río Chira		28000
18/04/2023	Final - Agua	0.2	15000
21/04/2023	Río Chira		2000
21/04/2023	Final - Agua	0.2	2000
24/04/2023	Río Chira		46000
24/04/2023	Final - Agua	0.2	23000
25/04/2023	Río Chira		27000
25/04/2023	Final - Agua	0.3	21000
28/04/2023	Río Chira		8000
28/04/2023	Final - Agua	0.3	5000
2/05/2023	Río Chira		16000
2/05/2023	Final - Agua	0.3	7000
8/05/2023	Río Chira		34000
8/05/2023	Final - Agua	0.3	20000
9/05/2023	Río Chira		14,000
9/05/2023	Final - Agua	0.4	7,000
15/05/2023	Río Chira		19,000
15/05/2023	Final - Agua	0.35	21,000
17/05/2023	Río Chira		7000
17/05/2023	Final - Agua	0.4	8000
22/05/2023	Río Chira		69000
22/05/2023	Final - Agua	0.4	24000
23/05/2023	Río Chira		156000
23/05/2023	Final - Agua	0.4	54000
29/05/2023	Río Chira		17000

29/05/2023	Final - Agua	0.6	32000
30/05/2023	Río Chira		17000
30/05/2023	Final - Agua	1	15000
5/06/2023	Río Chira		118000
5/06/2023	Final - Agua	1	44000
6/06/2023	Río Chira		35000
6/06/2023	Final - Agua	0.8	19000
13/06/2023	Río Chira		22000
13/06/2023	Final - Agua	0.7	9000
15/06/2023	Río Chira		120000
15/06/2023	Final - Agua	0.7	21000
19/06/2023	Río Chira		427000
19/06/2023	Final - Agua	1	22000
20/06/2023	Río Chira		51000
20/06/2023	Final - Agua	1.5	11000

*Nota:* Elaboración propia.

En el periodo de otoño tuvo un comportamiento con respecto a la temperatura relativamente similar al verano teniendo una temperatura promedio de 25.6°C con una temperatura máxima de 32.2°C, la superficie del agua se enfrió ligeramente, llegando a ser más densa y se hundió hasta el fondo, permitiendo finalmente la mezcla en la columna de agua. El agua que antes estaba en el fondo es impulsada hacia arriba, trayendo consigo el suministro de nutrientes que se acumuló en el fondo del lago durante el verano. Esta gran cantidad de fósforo, nitrógeno y materia orgánica puede estimular una floración tardía de algas en la superficie. (Blount, 2016)

Pero en el mes de abril continuaran las lluvias, por ello la proliferación de algas fue relativamente menor al inicio del periodo de otoño.

**Tabla 19**

*Correlación entre la dosis de hipoclorito de calcio y el crecimiento biológico en el periodo de otoño*

		<b>Dosis de Hipoclorito de calcio (Mg/L)</b>	<b>Crecimiento biológico (Org/L)</b>
<b>Dosis de Hipoclorito de calcio (Mg/L)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	-,186
	<b>Sig. (bilateral)</b>		,187
	<b>N</b>	52	52
<b>Crecimiento biológico (Org/L)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	-,186	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	,187	
	<b>N</b>	52	52

*Nota:* Elaboración propia.

El valor del estadístico r de Pearson es de -0.186, indica que hay una relación inversa pero el nivel de significancia es mayor a 0.05 lo que indica que no existe relación entre las variables.

#### **4.2.3. Periodo de invierno**

**Tabla 20**

*Resultados de los parámetros en el periodo de invierno*

<b>Fecha</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Dosis de Hipoclorito de calcio (mg/L)</b>	<b>Crecimiento biológico (Org/L)</b>
26/06/2023	Río Chira		38000
26/06/2023	Final - Agua	1.6	22000
28/06/2023	Río Chira		10000
28/06/2023	Final - Agua	1.8	3000
3/07/2023	Río Chira		30000
3/07/2023	Final - Agua	0.5	23000
6/07/2023	Río Chira		275000
6/07/2023	Final - Agua	0.7	17000
10/07/2023	Río Chira		51000
10/07/2023	Final - Agua	1	2000
14/07/2023	Río Chira		38000
14/07/2023	Final - Agua	1	32000
17/07/2023	Río Chira		22000

17/07/2023	Final - Agua	1	11000
19/07/2023	Río Chira		24000
19/07/2023	Final - Agua	1	8000
24/07/2023	Río Chira		108000
24/07/2023	Final - Agua	1.2	77000
27/07/2023	Río Chira		52000
27/07/2023	Final - Agua	1.2	35000
31/07/2023	Río Chira		10000
31/07/2023	Final - Agua	1.2	2000
3/08/2023	Río Chira		6000
3/08/2023	Final - Agua	0.5	3000
5/08/2023	Río Chira		2000
5/08/2023	Final - Agua	0.2	1000
7/08/2023	Río Chira		3,000
7/08/2023	Final - Agua	0.2	5,000
10/08/2023	Río Chira		3,000
10/08/2023	Final - Agua	0.1	1,000
14/08/2023	Río Chira		1000
14/08/2023	Final - Agua	0.1	2000
21/08/2023	Río Chira		1000
21/08/2023	Final - Agua	0.1	2000
25/08/2023	Río Chira		0
25/08/2023	Final - Agua	0.07	3000
28/08/2023	Río Chira		1000
28/08/2023	Final - Agua	0.07	12000
31/08/2023	Río Chira		3000
31/08/2023	Final - Agua	0.07	16000

*Nota:* Elaboración propia.

En el periodo de invierno se tuvo una temperatura promedio de 23.6°C pero se llegó a una temperatura máxima de 32.2°C debido a que la ciudad de Piura presenta una elevada temperatura constante y no existe tanto margen entre las estaciones, la temperatura disminuyo gradualmente por ende los problemas de algas tienden a ser un poco menores.

**Tabla 21**

*Correlación entre la dosis de hipoclorito de calcio y el crecimiento biológico en el periodo de invierno*

		<b>Dosis de Hipoclorito de calcio (Mg/L)</b>	<b>Crecimiento biológico (Org/L)</b>
<b>Dosis de Hipoclorito de calcio (Mg/L)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	-,069
	<b>Sig. (bilateral)</b>		,671
	<b>N</b>	40	40
<b>Crecimiento biológico (Org/L)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	-,069	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	,671	
	<b>N</b>	40	40

*Nota:* Elaboración propia.

El valor del estadístico r de Pearson es de -0.069, indica que hay una relación inversa pero el nivel de significancia es mayor a 0.05 lo que indica que no existe relación entre las variables.

### 4.3.Discusión

De acuerdo con la información recolectada con respecto a las dosis de aplicación de hipoclorito de calcio de manera intermitente tuvo como valor máximo 1.8 ppm y el valor mínimo de 0.07 ppm de acuerdo con los resultados del crecimiento biológico en el agua manteniendo valores menores a 20000 org/L en los finales de manguera, la calidad de agua es muy variable durante las etapas incluso durante el día también presenta cambios por el incremento de temperatura lo cual favorece a la proliferación de algas pero manteniendo este límite se logró disminuir el riesgo taponamiento por origen biológico, la dosis aplicada fue menor a la recomendada por el Manual de mantenimiento de equipos de riego por goteo de (Liotta, Carrión, Ciancaglini, & Olguín, 2015) la cual recomienda utilizar una dosis de 10 ppm en la cabecera del sistema teniendo un método intermitente de cloración para prevenir el taponamiento de crecimiento biológico no solo de algas sino de bacterias, sustancia orgánicas y todo el limo biológico que se puede acumular en los goteros. Pero esto a su vez involucra un elevado costo de uso de insumos químicos para la cloración del sistema no siendo viable económicamente para las empresas agrícolas. La literatura considera que la cloración es el método más eficaz para controlar el taponamiento de los goteros sin embargo no se han establecido los mecanismos de control de manera clara hasta ahora, por ello esta investigación propone mantener una dosis que permita tener un control biológico menor a 20000 org/L. En la investigación de (Ribeiro, da S Airoidi, S Paterniani, & M. da Silva, 2005) indica que la concentración de algas presenta altos coeficientes de variación durante cada estación del año, además de variaciones significativas entre estaciones. El cambio

dinámico en la población de algas puede representar un riesgo para el sistema si no hay un tratamiento eficiente del agua de riego, por ello es importante que el tratamiento de cloración sea constante y dinámico con respecto a los resultados del crecimiento biológico.

El cálculo y el seguimiento al Índice de Langelier es fundamental para la estimación de la necesidad de ácido para regular el pH en un rango que permita tener un Índice de Langelier cercano al equilibrio o una mínima tendencia a la incrustación la cual permita prevenir taponamientos de los goteros por origen químico como lo indico (Suarez, 1999) en su estudio “Obturaciones-Utilización de aguas depuradas en riego localizado y mantenimiento de los mismos”, debido a que la fuente de agua de la investigación presenta niveles elevados de dureza, alcalinidad y pH. En la investigación se demostró la fuerte correlación que existe entre el pH y el Índice de Langelier.



## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Para la determinación del efecto del parámetro de pH en el control de la tendencia de taponamiento de los goteros en las líneas de agua de riego para caña de azúcar, se organizó los resultados por 4 periodos, en el primer periodo denominado el periodo de estiaje con aplicación de ácido sulfúrico el cual modificaba el parámetro se tuvo un rango de pH 7.2 a 7.4 en agua de final de manguera obteniéndose un Índice de Langelier promedio de 0.24 siendo menor de 0.5 el cual nos permite decir que se tiene una baja tendencia de formar incrustación, el segundo periodo de lluvias donde no se aplicó ácido sulfúrico se tuvo un pH promedio de 7.53 en agua de final de manguera obteniéndose un Índice de Langelier promedio de 0.27 menor al límite, el tercer periodo denominado periodo luego de lluvias en donde se retomó la aplicación de ácido sulfúrico se trabajó en un rango de pH de 7.2 a 7.4 en agua de final de manguera el cual permitió obtener un Índice de Langelier promedio de 0.33 menor al límite, por último el periodo denominado periodo sin aplicación de ácido sulfúrico se tuvo pH promedio de 7.85 en agua de final de manguera obteniéndose un Índice de Langelier promedio de 1.02 el cual indica una moderada tendencia a formar incrustación, se demostró que existe una fuerte correlación que existe entre el pH y el Índice de Langelier.
- Para la determinación del efecto de la dosis del hipoclorito de calcio en el control de la tendencia de taponamiento de los goteros en las líneas de agua de riego para caña de azúcar, se organizó los resultados por estaciones, en el periodo de

verano se tuvo una dosis promedio en los meses de enero y febrero de 1.17 y 1.14 ppm respectivamente, el mes de marzo tuvo una dosis promedio de 0.24 ppm logrando reducir en promedio el crecimiento biológico a un 12 353 org/L promedio menor a 20000 org/L en finales de manguera, en el periodo de otoño se tuvo una dosis promedio en los meses de marzo, abril, mayo y junio de 0.32, 0.26, 0.46 y 0.95 ppm alcanzando reducir en promedio el crecimiento biológico a 17577 org/L, en el periodo de invierno se tuvo una dosis promedio en los meses de junio, julio y agosto de 1.7, 0.98, 0.16 ppm logrando reducir en promedio 13850 org/L estos resultados nos indica que la población de algas es muy variable tiende a tener valores dispersos que hacen que la relación no sea lineal por ello la correlación de Pearson nos indica que no existe relación entre variables.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda que el monitoreo del crecimiento biológico en el agua sea más frecuente, debido a que a lo largo del día se suelen tener incrementos de la carga biológica debido a diversos factores externos como una mayor temperatura, pH, conductividad, etc.
- Se recomienda que el monitoreo de los parámetros de dureza y alcalinidad se evalúa con una mayor frecuencia, para evaluar el rango de pH a trabajar todo esto para tener un Índice de Langelier con una baja tendencia a la incrustación.
- Se recomienda estudiar el valor del crecimiento biológico y la dosis de hipoclorito de calcio mediante otro método estadístico que permita tener un mayor nivel de confianza.
- Se recomienda tener un sistema de cloración continua que nos permita garantizar una dosificación uniforme y constante.

## VI. REFERENCIAS

- Axayacatl, O. (22 de 10 de 2021). *Netafim*. Obtenido de Netafim: <https://www.netafim.com.mx/blog/Beneficios-de-la-tecnificacion-del-riego-en-la-agricultura/>
- Benalcázar Murillo, D. E. (08 de Septiembre de 2022). Estudio de la calidad del agua en los puntos de suministro al usuario en el campus de la Universidad de Alicante. *Estudio de la calidad del agua en los puntos de suministro al usuario en el campus de la Universidad de Alicante*. España, Alicante, España.
- Blount, S. (05 de Septiembre de 2016). *NEEF*. Obtenido de NEEF: <https://www.neefusa.org/es/story/climate-change/floraciones-de-las-algas-en-el-otono>
- Fertilab. (s.f.). *Fertilab*. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de Fertilab: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El-Problema-de-Algas-en-los-Sistemas-de-Riego-por-Goteo.pdf>
- Fuentes, E., E.Carreras, M., & J.Lovey, R. (2005). *Botanica Agrícola Taxonómica*. Córdoba: Brujas. Obtenido de <https://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/botaxo/wp-content/uploads/sites/14/2023/08/La-Diversidad-del-Reino-Vegetal-Bot%C3%A1nica-Agr%C3%ADcola-Taxon%C3%B3mica-1.pdf>
- George Mann, D., Round, F., & M. Crawford, R. (2007). *Diatoms Biology and Morphology of the Genera*. Estados Unidos: Cambridge University Press.
- Guy, B. (13 de 08 de 2021). *Netafim*. Obtenido de Netafim: <https://www.netafim.com.mx/blog/causas-y-remedios-taponamiento-goteros/>

Hanna instruments. (s.f.). *Hanna instruments*. Obtenido de Hanna instruments:  
<https://hannainst.com.mx/productos/linea/analisis-de-agua/kit-de-prueba-quimica-para-alcalinidad/>

Hanna Instruments. (s.f.). *Hanna Instruments*. Obtenido de Hanna Instruments:  
<https://hannainst.com.mx/productos/linea/analisis-de-agua/kit-quimico-de-pruebas-para-dureza-total-2/>

Investigación, U. G. (Ed.). (s.f.). *Biodiversidad y Taxonomía de Plantas Criptógamas*. Recuperado el 9 de Octubre de 2023, de Biodiversidad y Taxonomía de Plantas Criptógamas:  
[http://criptogamas.bioucm.es/plantas\\_criptogamas/materiales/algas/euglenophyta.html#:~:text=Los%20organismos%20conocidos%20como%20Euglen%C3%B3fitas,filogen%C3%A9ticamente%20relacionas%20con%20las%20Clor%C3%B3fitas.](http://criptogamas.bioucm.es/plantas_criptogamas/materiales/algas/euglenophyta.html#:~:text=Los%20organismos%20conocidos%20como%20Euglen%C3%B3fitas,filogen%C3%A9ticamente%20relacionas%20con%20las%20Clor%C3%B3fitas.)

Kellner, E., & de Souza Oliveira, F. E. (junio de 2022). La agresividad del agua y la posibilidad de cambiar la calidad para el consumo humano. *SciELO*(27), 159-168. doi:10.1590/s1413-415220200372

Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguín, A. (2015). Mantenimiento de los equipos de riego por goteo. Buenos Aires: PROSAP.

Martínez Barrera, L. F. (2001). *Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado*. Chile: Boletín INIA.

Miller, C. B. (2004). *Biological oceanography*. Blackwell Publishing.

Nakayama, F., & Bucks, D. (1986). *Trickle Irrigation for Crop Production Design, Operation and Management*. Países Bajos: Elsevier.

OCDE. (2018). Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental. En OCDE. España: Fundación

Española para la Ciencia y la Tecnología.

doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264310681-es>

Pauta Novillo, A. D., & Quezada Sisalima, D. A. (2017). Determinación de la tendencia corrosiva e incrustante del agua potable distribuido en la ciudad de Azogues. *Determinación de la tendencia corrosiva e incrustante del agua potable distribuido en la ciudad de Azogues*. Cuenca, Ecuador.

Qualitat, B. (s.f.). *Bilanz Qualitat*. Recuperado el 19 de Mayo de 2023, de Bilanz Qualitat: <https://bilanzqualitat.es/langelier.html>

Reche, M. J. (1993). *Limpieza y mantenimiento de las instalaciones de riego por goteo*. Madrid: Ministerio de agricultura pesca y alimentación.

Ribeiro, T. A., da S Airoidi, R., S Paterniani, J., & M. da Silva, M. J. (25 de Febrero de 2005). Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. doi:10.1590/S1415-43662005000300001

Scale Guard. (12 de 11 de 2023). *Scale Guard*. Obtenido de Scale Guard: <https://scaleguard.in/langelier.php>

Suarez, D. (1999). Obturaciones-Utilización de aguas depuradas en riego localizado y mantenimiento de los mismos. En J. L. Ojeda (Ed.). Canarias: Consejería de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Canarias.

Tavanpour, N., Noshadi, M., & Tavanpour2, N. (29 de Febrero de 2016). Scale Formation and Corrosion of Drinking Water Pipes: A Case. *Canadian Center of Science and Education*, 1-12. doi:10.5539/mas.v10n3p166

Tormo Molina, R. (s.f.). *Lecciones hipertextuales de botánica*. Recuperado el 7 de 10 de 2023, de



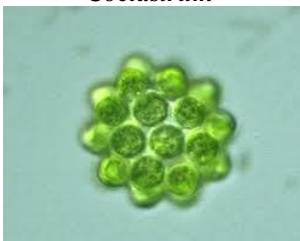

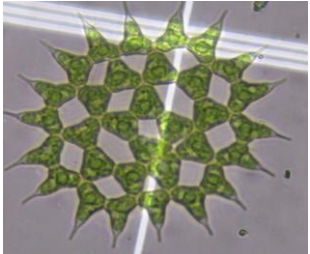
Lecciones hipertextuales de botánica: <https://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/ibc99/botanica/botanica/cyanophy.htm>

Wehr, J., & Sheath, R. (2003). INTRODUCTION TO FRESHWATER ALGAE. 1-9.

doi:<https://doi.org/10.1016/B978-012741550-5/50002-7>

## VII. ANEXOS

### ANEXO N°1: Chlorophyta

<p><i>Chlorella</i></p> 	<p><b>Características:</b> Células redondas, con membrana muy fina y cloroplasto acampanado; gran vacuola excéntrica. Células siempre aisladas. Formación de esporas entre 4-16 dentro de la célula madre. En todo tipo de aguas.</p> <p><b>Especies:</b> Vulgaris</p>
<p><i>Chlorococcum</i></p> 	<p><b>Características:</b> Células esféricas o ligeramente ovaladas, aisladas o en grupos irregulares. Cloroplasto casi en forma de esfera hueca. Se encuentran en agua estancada o tierra húmeda.</p> <p><b>Especies:</b> Infusum, multinucleatum</p>
<p><i>Coelastrum</i></p> 	<p><b>Características:</b> Células esféricas, unidas por finas superficies gelatinosas en colonias de 8 hasta de 128 células. Colonias globosas huecas o esféricas. Se encuentran en agua estancada.</p> <p><b>Especies:</b> Microporum, sphaericum, cambricum, cubicum, reticulatum.</p>
<p><i>Pandorina</i></p> 	<p><b>Características:</b> Colonia casi esférica, formada por 16 células., ocasionalmente por 8 o por 32. Células abovadas, en la parte central de una masa gelatinosa, con 2 flagelos. Cloroplastos grandes en forma de taza. Frecuentemente se encuentran en aguas estancadas o de corriente lenta.</p> <p><b>Especies:</b> Morum</p>
<p><i>Pediastrum</i></p> 	<p><b>Características:</b> Células marginales alargadas en forma triangular; colonias de 8 – 32 células; células de tamaño muy diverso. Frecuente en pequeñas acumulaciones de agua.</p> <p><b>Especies:</b> Sturmii, simplex, clathratum, integrum, boryanum, angulosum, kawraiskyi, tetras, dúplex, gracillimum, biradiatum, selenaea, bidentatum, selenaea.</p>



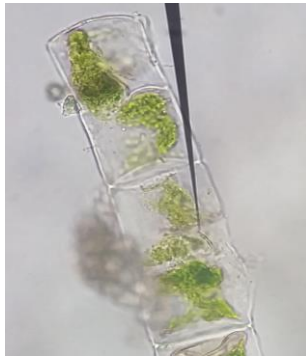
***Scenedesmus***



**Características:** Colonias de 4, 8 o 12 células. Células centrales alargadas, sin apéndice. Células terminales abombadas en el centro, con 2 o más espinas dirigidas hacia el exterior y curvadas hacia arriba. Se encuentran en aguas  $\beta$ -mesosaprobias II.

**Especies:** Obliquus, aculus, securiformis, acuminatus, ecornis, bijugatus, etc

***Zygnema***



**Características:** Células de resistencia de membrana gruesa estratificada de color pardo claro. Se encuentran en suelos húmedos, charcos, lagos.

**Especies:** Stellinum, commune, lelospermum, pectinatum, sterile, ericetorum.

***Selenastrum***



**Características:** Células falciformes delgadas, con los extremos a menudo uno hacia el otro. Colonias de 4 a 8 células. Se encuentra en estanques y aguas  $\beta$ -mesosaprobias.

**Especies:** bibraianum, gracile.

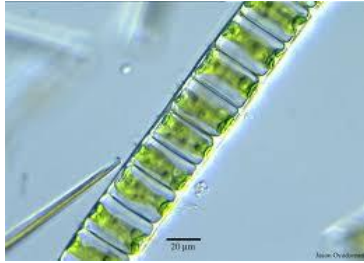
***Ankistrodesmus***



**Características:** Células por lo general solitarias, alargadas, rara vez ligeramente curvadas. Extremos alargados, filamentosos, muy agudos. Se le encuentra en aguas  $\beta$ -mesosaprobias II.

**Especies:** falcatus, acicularis, stipitatus, pfitzeril, angustus, spirilliformis, spiralis.

***Ulothrix***



**Características:** Filamentos de una sola hilera, no ramificados. Paredes celulares finas.

**Especies:** Subtilissima, variabilis, tenuissima, moniliformis, zonata.

***Cladophora***



**Características:** Filamentos ramificados en haces. Cada célula posee numerosos núcleos y una gran vacuola central. Se encuentran en ríos y lagos limpios.

**Especies:** Glomerata, crispata, fracta.

***Closterium***



**Características:** Membrana lisa, incolora, hinchada en la parte central interna. En las vacuolas terminales se observan cristales alargadas de yeso. Cloroplastos: en el interior del fragmento central, grande y cónico, existen vacuolas.

**Especies:** Pronum, leibleinii, ehrenbergil, monilliferum, lunula, acerosum, striolatum, kutzingii.

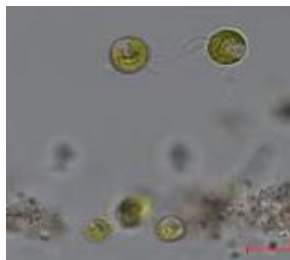
***Dictyosphaerium***



**Características:** Colonias esféricas con células esféricas que son mantenidas agrupadas por cordones gelatinosos. Son frecuentes en aguas estancadas.

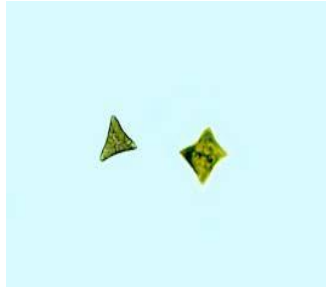
**Especies:** pulchellum, ehrenbergianum, reniforme.

***Dictyosphaerium chlorelloides***



**Características:** Son algas esféricas de pequeño a mediano tamaño y de color verde, se las encuentra cerca una de otra formando colonias. Pueden ser confundidos con Chlorococcum o Chlorellas, pero a estos géneros se los encuentra de manera aislada y a Dictyosphaerium chlorelloides forma colonias de células ni tan agrupadas ni tan alejadas.

***Tetraedron***



**Características:** Son aplanadas, con membrana lisa y vértices sin espinas. Bordes laterales tan solo ligeramente curvados hacia adentro. Puede ser triangular, cuadrangular, forma de estrella.

**Especies:** muticum, trigonum, minimum, arthrodesmiforme, schmidlei, caudatum.

***Schroederia***



**Características:** Células curvadas con largas sedas en ambos extremos.

**Especies:** spiralis, setigera

***Staurostrum***

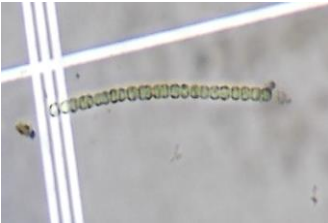
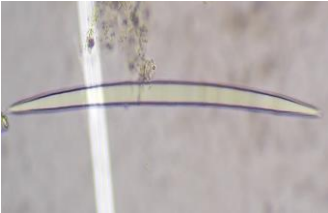

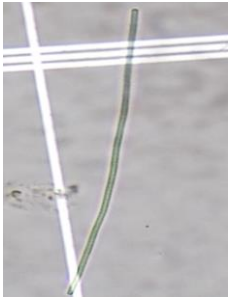



**Características:** Es una alga estrellada y espinosa y siempre es alga de equilibrios y simetría como toda la familia de désmidos que incluye lunas, estrellas y gemas llenas de vida, como *Cloterium* y *Cosmarium*.

**Especies:** gracile, laeve

Fuente: Información recolectada del Laboratorio de Calidad de Agua.

## ANEXO N°2 : Cynophyta

<p><b>Anabaena</b></p> 	<p><b>Características:</b> Filamentos rectos, células cilíndricas redondeadas, estranguladas en el centro. Interior de la célula incoloro, borde periférico de color verde azulado. Se encuentra generalmente sobre fango en putrefacción.</p> <p><b>Especies:</b> constricta, augstumalls, affinis, solitaria, circinalis, flos-aquae, spiroides, cylindrica, sphaerica.</p>
<p><b>Dactylococcopsis</b></p> 	<p><b>Características:</b> Células rectas, fusiformes alargadas, con extremos apuntados, pálidas; aisladas o en masas en una amplia envoltura gelatinosa apenas perceptible. Se encuentra en aguas estancadas.</p> <p><b>Especies:</b> raphidioides, acicularis, fasciculares.</p>
<p><b>Merismopedia</b></p> 	<p><b>Características:</b> Colonias tabulares formadas por una sola capa de células. Células de color verde azulado intenso, densamente dispuestas. Se encuentran en charcos y estanques.</p> <p><b>Especies:</b> elegans, glauca.</p>
<p><b>Phormidium</b></p> 	<p><b>Características:</b> Talos negruzcos, azul acero o verde azulado, finos, débilmente curvados, no estrangulados, sólidos. Se encuentra en aguas estancadas y corrientes.</p> <p>Se pueden encontrar talos largos, así como también pedazos muy pequeños.</p> <p>En caso de encontrarse un conglomerado de <i>Phormidium</i>, se debe contar como un organismo.</p> <p><b>Especies:</b> foveolarum, retzii, inundatum, autumnale, uncinatum, papyraceum.</p>
<p><b>Calothrix</b></p> 	<p><b>Características:</b> Talos pardos o verde azulados, formados por filamentos erectos (tricomas). Tricomas por lo general no ramificados, con células engrosadas en la base, y originados a partir de un heterociste semiesférico. Se encuentra en charcas, estanques, lagos.</p> <p><b>Especies:</b> braunii, parietina</p>

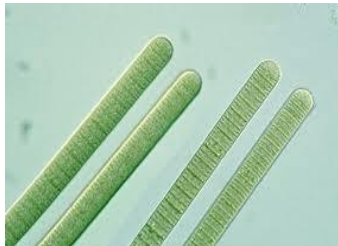
***Rivularia***



**Características:** Talos jóvenes semiesféricos, talos viejos extendidos. Con inclusión de partículas calcáreas. Tricomas ramificados, con células terminales muy largas.

**Especies:** biasolettiana, haematites.

***Oscillatoria***



**Características:** Talos de color verde negruzco a pardo, libres o sésiles. Filamentos rectos, no estrangulados en las paredes laterales, finamente granulosas.

**Especies:** princeps, limosa, brevis, chalybea, rubescens, lacustris, tenuis, agardhii, formosa, splendida, geminata, chlorina, lauterbornii, pútrida, redeckeii, limnetica.

***Gomphosphaeria***



**Características:** Células cónicas u ovaladas, de color verde azulado a oliváceo oscuro, amarillas hacia el final del período vegetativo. Durante las divisiones, las células se hallan a menudo dispuestas en forma de corazón. Las envolturas de las células se continúan a modo de pedúnculos gelatinosos hacia el centro de la colonia.

Plancton de aguas eutróficas, también aguas saladas.

**Especies:** lacustris, aponina, naegellana.





***Chroococcus***



**Características:** Células solitarias; tras la división permanecen unidas como máximo cuatro células durante un cierto tiempo, rodeadas por envolturas estratificadas. Células esféricas. Células hijas semiesféricas en el interior de las envolturas. De color verde azulado intenso o pardusco, a veces amarillento.

**Especies:** turgidus, limneticus.

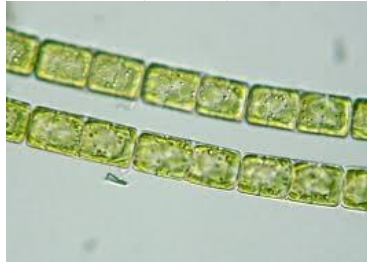
### ANEXO N°3: Diatomeas

<p><i>Biddulphia</i></p> 	<p><b>Características:</b> Diatomea marina con las valvas divididas transversalmente por tabiques y con la superficie ondulada.</p> <p><b>Especies:</b></p>
<p><i>Cocconeis</i></p> 	<p><b>Características:</b> Células aisladas, en forma de pequeños escudos pardos. Monorráfida: valva con rafe curvada hacia el substrato; valva sin rafe muy abombada. Algunas especies son difíciles de distinguir por su valva sin rafe casi plana. Se encuentra en todo tipo de aguas, incluso marinas.</p> <p><b>Especies:</b> Pediculus, placentula.</p>
<p><i>Cyclotella</i></p> 	<p><b>Características:</b> Células redondas vistas por encima, siempre solitarias. Bordes ondulados dentados hacia la parte interna. Zona marginal de las valvas con estrías radiales, zona central lisa, como máximo con algunos puntos oscuros. Cloroplastos en forma de pequeñas plaquitas debajo de las valvas. Se encuentra en aguas estancadas y corrientes.</p> <p><b>Especies:</b> kutzingiana, comta.</p>
<p><i>Gyrosigma</i></p> 	<p><b>Características:</b> Valvas débilmente curvadas en forma de “S”, con punteaduras extremadamente finas. Los poros se distribuyen en hileras longitudinales paralelas al eje y en hileras transversales perpendiculares a la línea media. Se encuentra en todo tipo de aguas.</p> <p><b>Especies:</b> Attenuatum</p>



### *Melosira*

(*Varians*)



(*Granulata*)



**Características:** Cadenas largas, rígidas, formadas por células cilíndricas. Superficies terminales de las valvas con un punteado irregular, en los bordes con coronas de pequeños dientes. Superficie del manto con poros.

Cadenas de células en forma de tambor. Los cloroplastos son pequeñas plaquitas de color pardo o amarillento.

**Especies:** Granulata, varians.

### *Navicula*



**Características:** Estrias transversales de la zona media de las valvas radiales, en sentido opuesto en los polos. Aguas estancadas, eutróficas.

**Especies:** cryptocephala, gracilis, radiosa, pupula.

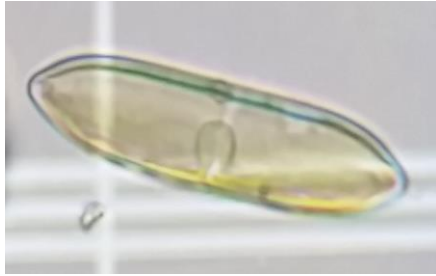
### *Nitzschia*



**Características:** Cara pleural con extremos redondeados y parte central estrangulada. Rafe sobre una quilla a lo largo del borde ventral, borde de la quilla algo ondulado en el centro. Frecuente en todo tipo de aguas.

**Especies:** Angustata, linearis, dissipata, amphibia, fonticola, paea, acicularis, sigmoidea.

***Pinnularia***



**Características:** Rafe ondulada. Costillas transversales gruesas, con un ancho poro cada una. Los poros atraviesan las costillas como estructuras longitudinales.

**Especies:** mesolepta, gibba, viridis.

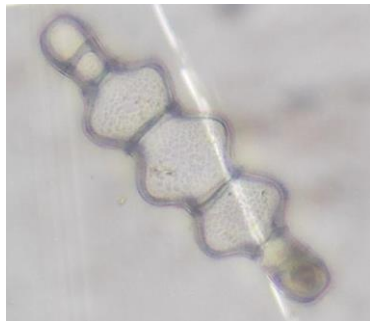
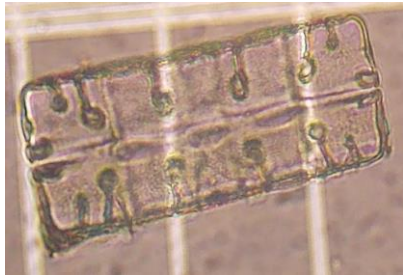
***Stauroneis***



**Características:** Valvas lanceoladas, con extremos abultados. Estrías transversales radicales, finamente punteadas. Nódulo central dilatado hacia los bordes de las valvas. Se encuentra en orillas de todo tipo de aguas.

**Especies:** Anceps

***Terpsinoe***



**Características:** Visto por encima, tiene forma rectangular y presenta estrías bien marcadas y gruesas que se extienden desde el borde hacia el interior, terminando en una pequeña circunferencia.

Visto en posición lateral, tiene forma de rodillo. Los bordes son ondulados y estrías transversales bien marcadas y distantes una de otra a lo largo del cuerpo del alga.



### *Surirella*



**Características:** En visión pleural es cuneiforme, vista por encima ovada con un polo anchamente redondeado y el otro más apuntado. Paredes con estrías transversales punteadas.

**Especies:** biseriata, angustata, splendida, ovata.

### *Synedra*



**Características:** Es una de las diatomeas más frecuentes y variables. Estas algas por lo general son de gran longitud y fácilmente se pueden confundir con el género Tabellaria, cuyo tamaño es 1/3 más pequeño que Synedra.

Para contabilizar las Synedras, estas deben presentar cloroplastos en su interior.

**Especies:** Vaucheriae, capitata, ulna, acus.

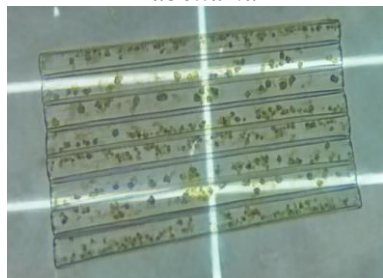
### *Fragilaria*



**Características:** Células dilatadas en el centro (vistas por la cara pleural); forman cintas curvadas y retorcidas. Valvas muy estrechas, algo dilatadas en el centro. Cuando se encuentran en grupos, la parte terminal de un segmento no tiene contacto con el extremo terminal de otro segmento.

**Especies:** Crotonensis, capucina, construens.



### *Tabellaria*



**Características:** Células unidas mediante masas gelatinosas, formándose cadenas en zig-zag o pequeñas estrellas. En visión lateral, son células rectangulares alargadas.

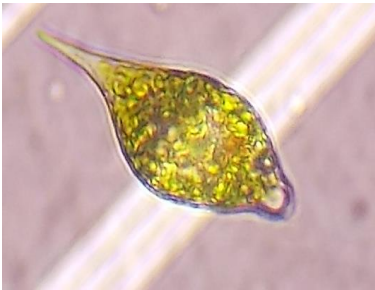
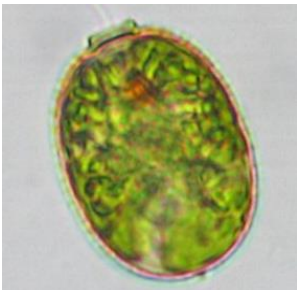
Se pueden confundir con Synedras, pero estas son 1/3 más pequeñas que las Synedras


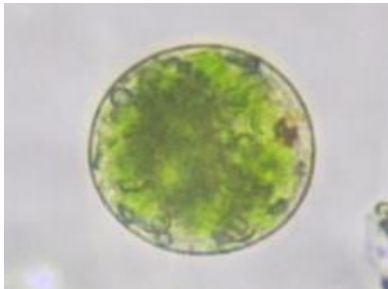
**Especies:** fenestrata, flocculosa

<p style="text-align: center;"><b><i>Amphora</i></b></p> 	<p><b>Características:</b> Una cara pleural muy estrecha, la otra ancha y abombada; por ellos, las superficies de las valvas se cortan en ángulo agudo. Los rafes de la pared de la valva ventral con líneas transversales. Se encuentra libre en el detritus o sobre sustratos sólidos.</p> <p><b>Especies:</b> Ovalis</p>
<p style="text-align: center;"><b><i>Cymbella</i></b></p> 	<p><b>Características:</b> Células sobre pedúnculos gelatinosos. Asimétricas. Costillas transversales gruesas. Frecuente en orillas.</p> <p><b>Especies:</b> Prostata, ventricosa, lanceolata, helvetica.</p>

Fuente: Información recolectada del Laboratorio de Calidad de Agua.

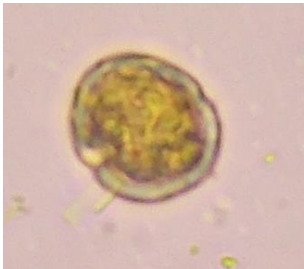

#### ANEXO N°4: Euglenophyta

<p style="text-align: center;"><b><i>Phacus</i></b></p> 	<p><b>Características:</b> Células aplanadas, totalmente rígidas; con una espina terminal en el extremo posterior del cuerpo. Mancha ocular de color rojo claro, grande. Numerosos cloroplastos en forma de placas.</p> <p><b>Especies:</b> longicauda, pleuronectes, etc.</p>
<p style="text-align: center;"><b><i>Trachelomonas</i></b></p> 	<p><b>Características:</b> Caparazón de contorno ovalado, revestido con cortas espinas densamente y regularmente dispuestas. Presenta un collar alrededor del orificio del flagelo.</p> <p><b>Especies:</b> volvocina, oblonga, euchlora, hispida, armata, caudata.</p>

<p style="text-align: center;"><b><i>Euglena</i></b></p> 	<p><b>Características:</b> Células fusiformes, flagelo de igual longitud que el cuerpo. Cloroplastos en forma de cintas.</p> <p><b>Especies:</b> pisciformis, terrícola, viridis, sanguínea, variabilis, intermedia, ehrenbergi, acus, oxyuris, tripteris, spirogyra, deses, gracilis.</p>
<p style="text-align: center;"><b><i>Lepocinclis</i></b></p> 	<p><b>Características:</b> Celulas redondas de contorno liso. Cloroplastos en forma de placas y presenta una mancha ocular de color rojo claro, grande (stigma).</p> <p><b>Especies:</b> marssonii, ovum, salina, caudata, fusiformis, playfairiana, steinii, teres, fusca, spirogyroides.</p>

Fuente: Información recolectada del Laboratorio de Calidad de Agua.

## ANEXO N°5: Pyrrophyta

<p style="text-align: center;"><b><i>Glenodinium</i></b></p> 	<p><b>Características:</b> Células casi esféricas, sin cloroplastos. El surco transversal separa una mitad anterior mayor de una mitad posterior menor. Membrana celular lisa y resistente.</p> <p><b>Especies:</b> pulvisculus, edax, uliginosum, cinctum.</p>
<p style="text-align: center;"><b><i>Peridinium</i></b></p> 	<p><b>Características:</b> Células esféricas u ovadas, de sección arriñonada. Las placas de celulosa de la teca erizadas de cortas varillas. Surco transversal profundo y ancho, atravesando en ángulo recto por el surco longitudinal.</p> <p><b>Especies:</b> tabulatum, umbonatum, cinctum</p>

Fuente: Información recolectada del Laboratorio de Calidad de Agua.

## ANEXO N°6

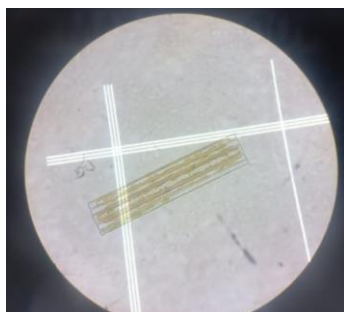
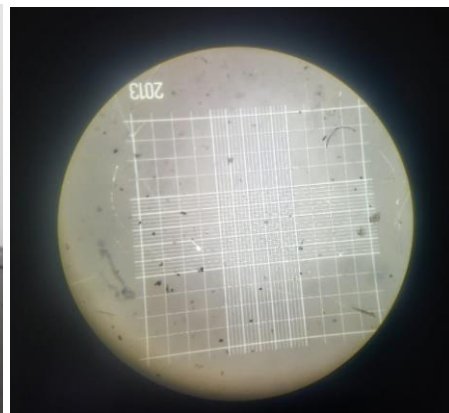
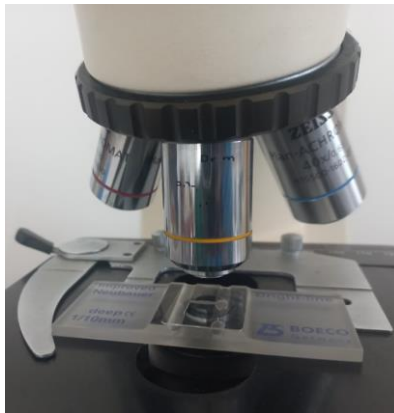
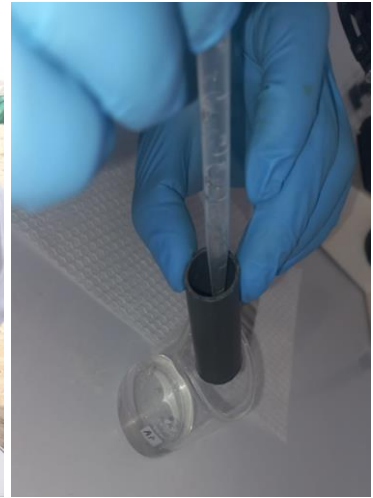
### 6.1. Fotografías de recolección de muestras de agua de riego y medición de pH in situ



### 6.2. Técnica biológica para el conteo de algas







### 6.3. Técnica química para la determinación de la dureza.



#### 6.4. Técnica química para la determinación de la alcalinidad.

