

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE PREVENCIÓN DE  
RIESGOS**

**“Año de la Universalización de la Salud”**

**“CONSUMO DE CLORO POR EL NITRÓGENO AMONIAICAL PRESENTE EN EL AGUA  
SINTÉTICA”**

**Autor:**

**Bach. Leiva Burga, Gilmer Iván**

**Bach. Robles Lezma, Merly Maricela**

**Asesor:**

**Mg. Ing. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez**

**Cajamarca \_ septiembre 2020**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE PREVENCIÓN DE  
RIESGOS**

**“Año de la Universalización de la Salud”**

**“CONSUMO DE CLORO POR EL NITRÓGENO AMONICAL PRESENTE EN EL AGUA  
SINTÉTICA”**

**Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el  
Título profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos**

**Autor:**

**Bach. Leiva Burga, Gilmer Iván**

**Bach. Robles Lezma, Merly Maricela**

**Asesor:**

**Mg. Ing. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez**

**Cajamarca \_septiembre 2020**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE PREVENCIÓN DE**  
**RIESGOS**  
**APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL**  
**CONSUMO DEL CLORO POR EL NITRÓGENO AMONIAICAL PRESENTE EN EL**  
**AGUA SINTÉTICA**

**Presidente** \_\_\_\_\_

**Secretario** \_\_\_\_\_

**Vocal** \_\_\_\_\_

**Asesor** \_\_\_\_\_

**COPIRIGHT© 2020 BY**  
**LEIVA BURGA, GILMER IVÁN**  
**ROBLES LEZMA, MERLY MARICELA**  
**Todos los derechos reservados**

**A:**

A mis padres por ser las guías en el sendero de cada acto que realizo hoy, mañana y siempre, a mis hermanos por inculcarme buenos valores, así mismo motivarme para salir adelante y cumplir con todas mis metas trazadas

*Merly Maricela Robles Lezma*

A mis padres por ser el soporte de mi vida y la razón de mi existencia, agradecerles por su apoyo incondicional, así mismo a mis hermanos por su apoyo incondicional por brindarme buenos valores y darme ánimos para seguir luchando por mis sueños

*Gilmer Iván Leiva Burga*

## AGRADECIMIENTO

- Le agradezco a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.
- A nuestros padres por apoyarnos en todo momento, por los valores que nos inculcaron desde muy niños, por habernos dado la oportunidad de tener educación, y enseñarnos que a pesar de las adversidades que te presenta la vida luchar por nuestros sueños.
- A nuestro asesor Mg.Ing. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez por aceptar ser nuestro asesor, por el aporte de sus conocimientos transmitidos durante nuestro proyecto investigación, así mismo por su paciencia y ser un buen docente de admirar.
- A la “Universidad privada Antonio Guillermo Urrelo” y a todos nuestros docentes de la facultad de ingeniería Ambiental y de Prevención de Riesgos, que son ellos los que nos empapan de aprendizaje y enseñan a valorar los estudios y de esa manera superarse cada día como profesionales para el futuro de la sociedad.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito determinar el consumo del cloro a consecuencia de nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) presente en el efluente de una piscigranja denominada Porcón \_ Cajamarca, pues el problema de interés es el efecto de la cloración en aguas con presencia de nitrógeno amoniacal, ya que, se desconoce los efectos de la reacción de tal proceso.

Para ello se identificó el punto de descarga con mayor concentración de nitrógeno amoniacal del efluente de la piscigranja Porcon – Cajamarca, para luego recolectar una muestra de 40 litros de agua útil para los ensayos de consumo de cloro. En laboratorio, se analizó la concentración de nitrógeno amoniacal y se elaboró los ensayos. El resultado de la concentración de nitrógeno amoniacal fue bajo, es por ello que, se añadió cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{CL}$ ) para obtener las siguientes concentraciones: 4, 8, 12 mg/l (muestras sintéticas). Posteriormente, se añadió hipoclorito de sodio (lejía comercial) a cada concentración según la relación estequiométrica y luego se dejó agitar por 30 minutos a una revolución de 100 RPM. Finalmente, se midió los siguientes parámetros: cloro inicial, cloro libre residual, cloro total, conductividad eléctrica, pH y temperatura.

Los datos se analizaron con dos herramientas: la gráfica de determinación de “Break Point” del consumo de cloro y el análisis de varianza (ANOVA) para conocer la variabilidad de los resultados; los resultados dieron que la relación de consumo es de 7.2 con un coeficiente de variación de 11.2% finalmente, nuestro estudio confirma que el nitrógeno amoniacal presente en aguas naturales reacciona y consume cloro en el proceso de cloración de un sistema de tratamiento de agua potable.

Palabras claves: cloruro de amonio, muestra sintética, cloro libre residual, break Point

## **ABSTRAC**

The purpose of this research work is to determine the consumption of chlorine as a consequence of ammonia nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) present in the effluent of a fish farm called Porcón \_ Cajamarca, since the problem of interest is the effect of chlorination in waters with the presence of ammoniacal nitrogen, since the effects of the reaction of such a process are unknown.

For this, the discharge point with the highest concentration of ammonia nitrogen from the effluent of the Porcon-Cajamarca fish farm was identified, and then a sample of 40 liters of useful water was collected for the chlorine consumption tests. In the laboratory, the ammonia nitrogen concentration was analyzed, and the tests were carried out. The result of the ammonia nitrogen concentration was low, hence, ammonium chloride ( $\text{NH}_4\text{CL}$ ) was added to obtain the following concentrations: 4, 8, 12 mg/l (synthetic samples). Subsequently, sodium hypochlorite (commercial bleach) was added to each concentration according to the stoichiometric ratio and then it was left to stir for 30 minutes at a revolution of 100 RPM. Finally, if you measured the following parameters: residual free chlorine, total chlorine, electrical conductivity, pH and temperature.

The data were analyzed with two tools: the graph for determining the “Break Point” of chlorine consumption and the analysis of variance (ANOVA) to know the variability of the results; The results showed that the consumption ratio is 7.2 with a coefficient of variation of 11.2%. Finally, our study confirms that the ammoniacal nitrogen present in natural waters reacts and consumes chlorine in the coloration process of a drinking water treatment system.

Key words: ammonium chloride, synthetic sample, residual free chlorine, break poin



## TABLA DE CONTENIDO

### ÍNDICE

DEDICATORIA: .....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRAC .....	iv
ÍNDICE .....	v
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1 1. Planteamiento del problema.....	1
1.1 Planteamiento del problema de investigación .....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Justificación de la investigación.....	2
1.4 Objetivos de la investigación.....	3
1.4.1 Objetivo general .....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	4
2 2. Teorías que sustentan la investigación.....	4
2.1 Antecedentes teóricos.....	4
2.2 Marco histórico.....	10

2.3	Marco teórico.....	12
2.3.1	Ciclo del nitrógeno .....	12
2.3.2	Amoniacó .....	20
2.3.3	Ion amonio.....	20
2.3.4	Nitrógeno orgánico.....	21
2.3.5	Amoniacó .....	21
2.3.6	Nitrito .....	25
2.3.7	Nitrato.....	25
2.3.8	Problemas ambientales por compuestos nitrogenados en el agua.....	26
2.3.9	Toxicidad de las formas de nitrógeno y efectos en la salud humana. ....	26
2.3.10	Ácido nítrico.....	28
2.3.11	Fabricación del cloro: historia .....	29
2.3.12	Tricloruro de nitrógeno en cloro líquido: ocurrencia, formación y significación	
	31	
2.3.13	Disolución e hidrólisis del cloro.....	32
2.3.14	Cloro .....	33
2.4	Definición de términos básicos.....	44
2.4.1	Nitrógeno amoniacal .....	44
2.4.2	Nitrógeno.....	44

2.4.3	Cloro.....	45
2.4.4	Hipoclorito de Sodio .....	45
2.4.5	Ensayo “Test de Jarras” .....	45
2.5	Hipótesis .....	46
2.5.1	Operacionalización de las variables .....	46
CAPITULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....		48
3	3. Tipo de investigación.....	48
3.1	Investigación experimental.....	48
3.2	Diseño de investigación.....	49
3.2.1	Diseño experimental verdadero.....	49
3.3	Área de investigación. ....	49
3.4	Unidad de análisis.....	50
3.5	Universo.....	50
3.6	Muestra .....	50
3.7	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	51
3.7.1	Técnicas de investigación.....	51
3.7.2	Procedimiento experimental.....	52
3.8	Instrumentos .....	59
3.8.1	Instrumentos de laboratorio.....	59

3.8.2	Instrumentos de campo.....	59
3.8.3	Reactivos e insumos .....	60
3.8.4	Materiales .....	60
3.8.5	Instrumentos de gabinete.....	60
3.9	Técnicas de análisis de datos (estadísticas) .....	62
3.9.1	Método estadístico.....	62
3.9.2	Técnicas para el procedimiento.....	62
3.9.3	Aspectos éticos de la investigación.....	64
4	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	64
4.1	Especificaciones de factores y niveles.....	64
4.2	Datos obtenidos de pruebas .....	65
4.3	Análisis e interpretación de resultados .....	66
4.3.1	Presentación de resultados .....	66
4.3.2	Resultados de las pruebas de laboratorio .....	69
4.3.3	Análisis y discusión de los resultados .....	70
4.3.4	Discusión de los resultados de la tabla 12.....	73
4.3.5	Análisis de los resultados de pH: Los valores de pH son medidos para analizar las condiciones en las cuales se desarrollaron los experimentos, los resultados estadísticos de variabilidad entre cada una de las pruebas se realizaron usando el ANOVA de un factor, lo cual se muestra en la <i>figura 25</i> : .....	76



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE PREVENCIÓN DE  
RIESGOS

5	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
5.1.	Conclusiones .....	82
5.2.	Recomendaciones.....	83
	Trabajos citados .....	84
6	ANEXOS .....	90
	Anexo A .....	90
	Anexo B .....	96

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Operacionalización de variables de investigación .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 2: Coordenadas del punto de extracción de la muestra .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 3: Concentración de nitrógeno amoniacal de 0.76 NH<sub>3</sub>-N/L .....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 4: Adición de hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones para agua con 04 mg NH<sub>3</sub>-N/L de concentración de nitrógeno amoniacal .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 5: Adición de hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones para agua con 08 mg NH<sub>3</sub>-N/L de concentración de nitrógeno amoniacal .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 6: Adición de hipoclorito de sodio a diferentes .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 7: Matriz del diseño experimental .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 8: Especificaciones de factores y niveles .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 9: datos de las pruebas experimentales.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 10: Pesos de preparación de amoníaco .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 11: Presentación de resultados.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 12: Consumo de cloro en función al break point .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 13: Resultados de la prueba t-Student.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 14: ANOVA de un solo factor de pH vs. N-NH<sub>4</sub> (mg/L) .....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 15: Efecto del pH sobre la relación de Cl<sub>2</sub>: N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> .....</i>	<i>78</i>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Ciclo del nitrógeno .....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2: Fase de fijación .....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3: Fase de nitrificación o mineralización.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4: Fase de asimilación .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5: Fase de Amonificación .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6: Fase de inmovilización .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7: Fase de Desnitrificación .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 8: Molécula de ion amonio.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9: Formación de amonio a partir del amoniaco.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10: Diagrama De Dosificación Del Cloro En El Agua.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 11: Destrucción de cloro por compuestos reductores .....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 12: Formación de cloraminas, mediante la reacción.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13: Destrucción de cloraminas y compuestos orgánicos de cloro.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 14: Formación de cloro y presencia de compuestos.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 15: Dosificación del cloro presente en el agua.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 16: Ubicación del punto de extracción de la muestra .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 17: Esquema general de set de pruebas experimentales (test de jarras).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 18: consumo de cloro en la desinfección de agua.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 19: Determinación de break point para 0.76mg/l de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 20: Determinación del Break Point para 4.76 mg/L de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 21: Determinación del Break Point para 8.76 mg/L de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 22: Determinación del Break Point para 12.76 mg/L de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 23: Curva del break point .....</i>	<i>73</i>
<i>figura 24: grafica de datos para la correlación de Spearman .....</i>	<i>79</i>

*Figura 26: tesistas recogiendo muestras de la descarga del agua de la piscigranja “Porcón” \_ Cajamarca ..... 90*

*Figura 27: tesistas haciendo toma de muestras de agua de la descarga de la piscigranja “Porcón” \_Cajamarca..... 90*

*Figura 28: Fotografía de tesista pesando sal de cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>Cl) para acondicionar a la muestra de la  
descarga del agua de la piscigranja, para incrementar la concentración del nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>)..... 91*

*Figura 29: tesista midiendo agua de descarga de la piscigranja para añadir sal de cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>Cl)..... 91*

*Figura 30: Tesistas añadiendo hipoclorito de sodio (NaClO) a la muestra acondicionada con cloruro de amonio  
(NH<sub>4</sub>Cl)..... 92*

*Figura 31: fotografía del equipo de agitación mecánico “test de Jarras” con las muestras..... 92*

*Figura 32: Tesistas midiendo temperatura, pH y conductividad eléctrica con el equipo Multiparametro ..... 93*

*Figura 33: Tesistas antes de realizar las mediciones de las muestras ..... 93*

*Figura 34: Fotografía Equipo durante la medición de cloro libre y cloro total ..... 94*



## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1. Planteamiento del problema**

#### **1.1 Planteamiento del problema de investigación**

Las personas a través de diferentes acciones que realizan durante su existencia han ido creando niveles de contaminación mayores en los distintos sistemas naturales, sin tener en consideración que los contaminantes actúan en el ambiente y cuanto pueden influenciar en la calidad del medio ambiente.

Las descargas de aguas residuales y domésticas incrementan las concentraciones de nitrógeno amoniacal en las aguas superficiales y subterráneas afectando la calidad de las mismas. En condiciones normales la fuente de nitrógeno amoniacal en aguas superficiales proviene de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza (Gonzales, 2013, p. 12).

Es uno de los componentes momentáneos en el agua debido a que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve intervenido por la actividad biológica, en ambos casos el nitrógeno amoniacal se origina de la degradación de nitrógeno orgánico y, este a su vez, por acción bacteriana se va oxidando gradualmente a nitritos y posteriormente a nitratos (Gonzales, 2013, p. 12).

Los aportes adicionales de nitrógeno amoniacal que alteran las concentraciones normales de este nutriente, implican una alteración perjudicial del medio al cual son vertidos, provocando entre otras consecuencias, la disminución de niveles de oxígeno disuelto de los ríos, el cual es consumido en los procesos de degradación bacteriana de nitrógeno amoniacal, provocando un ambiente anóxico, desencadenándose así una serie de reacciones químicas y microbianas que dan como resultado la disminución de la calidad de agua, muerte de especies que habitan en el sitio, entre otras consecuencias (Gonzales, 2013, p. 12).

Según, Cárdenas Calvachi y Sánchez Ortiz, las actividades antrópicas generan niveles cada vez mayores de contaminación, de los contaminantes que con mayor frecuencia se ha pretendido de remover del agua son: los sólidos por su rápido efecto sobre la apariencia del líquido, la materia orgánica (MO) por el alto consumo de oxígeno necesario para su estabilización y los microorganismos por la posible transmisión de enfermedades (2013, p.73).

Los anteriores nutrientes como el nitrógeno y el fósforo generan importantes impactos sobre los cuerpos de agua ya que pueden incidir en la estabilidad de los ecosistemas acuáticos, la eutrofización y la incorporación de niveles tóxicos que pueden afectar a las comunidades biológicas y a la salud humana, inclusive en bajas concentraciones (2013, p.73).

Los compuestos nitrogenados cobran relevancia, no solo porque el nitrógeno es un elemento principal en las funciones metabólicas de los seres vivos, sino por su cantidad de medios como el aire, suelo y agua dada la compleja química del nitrógeno, que puede tomar diferentes estados de oxidación (desde -3 a +5), y por tanto formar parte de una gran variedad de compuestos siendo los más comunes el  $\text{HN}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  (2013, p.73).

## 1.2 Formulación del problema

¿Cuánto y cómo influye la presencia del nitrógeno amoniacal en el consumo del cloro?

## 1.3 Justificación de la investigación

La razón por la cual se lleva a cabo esta investigación es para informar y aportar conocimiento acerca del consumo de cloro por el nitrógeno amoniacal presente en el agua, y como es que afecta directa o indirectamente a los diferentes cuerpos de agua. Así mismo llevar a cabo una serie de pruebas realizadas en laboratorio y verificar si está cumpliendo con los estándares de calidad, además que contribuirá a que los seres

humanos obtén por tomar una mayor importancia al recurso agua y puedan contribuir a una mejora de calidad y cantidad.

Otra de las razones es que cada vez el agua es más escasa debido a diversos factores tales como la sequía y contaminación ambiental, factores que no solo afectan la cantidad, sino también la calidad. Estos acontecimientos unidos a otros aspectos hacen imprescindible el tratamiento de las aguas para ser utilizada de forma adecuada tanto como para el uso industrial como para el uso potable.

#### **1.4 Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1 Objetivo general**

-Determinar el consumo del cloro por la presencia del nitrógeno amoniacal en el agua.

##### **1.4.2 Objetivos específicos**

-Determinar el consumo de cloro a diferentes concentraciones de nitrógeno amoniacal.

-Determinar la relación del consumo de cloro respecto al nitrógeno amoniacal.

-Evaluar el cambio de condiciones de pH y el efecto sobre la relación de consumo de cloro con el nitrógeno amoniacal.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2. Teorías que sustentan la investigación**

#### **2.1 Antecedentes teóricos**

Se logró obtener algunos estudios que han sido realizados anteriormente los cuales son similares a nuestra investigación, por lo que nos servirá como base para nuestra investigación, así también para una posterior discusión y comparación de resultados.

Sánchez Rojas, describe en su investigación titulada “eficiencia de remoción de nitrógeno en un sistema unifamiliar de tanque séptico más filtro percolador”, donde realizaron el análisis de eficiencia de remoción de nitrógeno de un sistema unifamiliar de tanque séptico con filtro percolador del agua residual que proviene de una vivienda unifamiliar, que se llevó a cabo en el límite derecho del río grande a 50 metros de distancia del viaducto Chacapampa del barrio Chacapampa distrito y provincia de Celendín, de la región Cajamarca, antes de la investigación realizaron un estudio de las propiedades físicas de la infraestructura del sistema de tratamiento que cuenta con un caudal de 0.240 m<sup>3</sup>/día, para seis residentes, que se estima para una tasa de crecimiento de 1.8%, con un periodo de 10 años. Los parámetros a considerar son: nitritos, nitrógeno amoniacal, y nitratos del agua residual, por motivo del problema está asociado a la presencia de nitrógeno en las aguas residuales, puesto que el nitrógeno produce consecuencias negativas, como la reducción de oxígeno disuelto en aguas receptoras que llegan a ser muy tóxicas para la vida acuática, los análisis fueron realizados por INDECOPI, laboratorio acreditado en (SAG)” servicios analíticos generales, se consideró tres puntos a monitorear denominados: (ATS) afluente del tanque séptico, (ETS) efluente del tanque séptico, y (EFP) efluente del filtro percolador, los resultados han sido comparados con los (LMP) límites máximos permisibles nacionales e internacionales ya que las aguas del río grande son aprovechadas para irrigar los cultivos en el caserío de Pallac. Los investigadores llegaron a la conclusión de que el sistema de tratamiento tiene un efluente rico en nitrógeno amoniacal, con inexistencia de nitritos y nitratos, debido a que no hay

presencia de oxígeno disuelto para el proceso biológico de nitrificación (Sanchez Rojas, 2016, p.7).

Paredes, en su estudio titulado “fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas”, fundaron el conocimiento de biofertilización donde nos muestran que: la forma de distribuir a las plantas cierto tipo de nutriente que ellas requieren para su desarrollo a través de un método biológico donde interfieren distintos microorganismos, en la actualidad existen diversos tratamientos para alcanzar la biofertilización. La inoculación de leguminosas con bacteria endosimbióticas fijadoras de nitrógeno atmosférico son microorganismos de género, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, que realizan una sociedad simbiótica con la planta por intermedio de la formación de nódulos, y la inoculación de gramíneas con bacteria diazótrofes fijadoras de nitrógeno atmosférico, estos microorganismos de género *Azospirillum*, *Azotobacter*, no tienen una vinculación simbiótica si no que su accionar se produce entorno del área de las raíces (rizosfera), generando sustancias promotoras del desarrollo radicular (fitohormonas), ya que estas asociaciones permiten la sustentabilidad de los sistemas agrícolas cultivados (Paredes, 2013, p.5).

En este trabajo de investigación llegaron a la conclusión que la erosión del suelo es una de las debilidades que tiene la producción por el uso excesivo, falta de rotación de cultivos o por el factor climático que nos hace utilizar los biofertilizantes, para mejorar el producto de las cosechas y mantener la calidad del suelo, de la misma forma podemos decir que los biofertilizantes son productos con base a los microorganismos benéficos (hongos y bacterias), que están enlazados a las plantas y apoyan a su proceso natural de nutrición, de tal manera que regeneran el suelo (2013, p.5).

Según, (Siles Fernandez E. , Monforte Garrido, Estrany Coda, Carreras Comas y Oliver Pujol, 2008, p.22) en su investigación titulada: “Eliminación de nitrógeno amoniacal en aguas residuales”, llevaron a cabo un experimento basado en la reacción de hidrólisis enzimática de la urea asociada a una reacción de reducción, en el presente

trabajo se ha decidido saturar el medio de reacción de oxígeno disuelto, con el fin de aumentar su capacidad oxidante del medio y así provocar la inhibición de la reacción de descomposición de la urea, evitando de forma indirecta la presencia de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en el agua residual. Para provocar la saturación de oxígeno disuelto en el líquido ensayado, la técnica más sencilla es forzar su borboteo en el seno de la disolución, como emplear oxígeno, pero es muy caro y haría inviable la aplicación de este tratamiento a escala industrial, es por ello que se ha decidido borbotear aire de un compresor eléctrico.

Mencionan que cada experimento se ha preparado tomando una muestra de 25ml de micción diluida al 10% en agua (que es una concentración similar al del circuito real) en matraces Erlenmeyer de 500ml. La toma de muestra para el análisis de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) se ha realizado cinco veces en cada experimento primero en el instante de inicio y a continuación cada 24 horas durante cinco días. Se ha trabajado con estos tiempos para tener una información lo suficientemente amplia de la evolución del proceso. En cada muestreo se separan 25ml de disolución del medio ensayado y se mide el pH con papel indicador universal, y a continuación el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) con un electrodo selectivo especialmente diseñado para medir la concentración de amoníaco (2008, p.22).

La medida de la concentración de amonio requiere que junto al electrodo selectivo de amonio se utilice también un electrodo de referencia, que debe estar lleno de solución de sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  0,9 M es la regulación de la fuerza iónica del medio. El electrodo selectivo de amonio actúa por medida de potencial de electrodo formado por la interacción entre la concentración  $\text{OH}^-$  de la muestra y la concentración interna de iones de hidroxilo. El electrodo se puede utilizar con concentraciones del rango comprendido entre 0.02 y 1.800ppm de concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). El rango de temperaturas de medida es entre 0 y 50 °C y el rango de pH es entre 4 y 7. Para calibrar el electrodo de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) se preparó algunos patrones con los cuales se pueda comparar los resultados para obtener conclusiones (2008, p.23).

Los patrones se realizaron mediante soluciones de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , de 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm de  $\text{NH}_4^+$  equivalente, con estos mismos se ha confeccionado la recta de calibrado siguiendo las mismas condiciones de preparación y medida, la recta del calibrado del electrodo selectivo de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) que es obtenida con tres series de medidas de la concentración de amonio en los patrones dispuestos y preparados, cuyas concentraciones son de ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ , de 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm de  $\text{NH}_4^+$ ) (2008, p.23).

La relación entre el potencial medido por el electrodo y la concentración de amonio sigue una función exponencial, pero si se trabaja con el logaritmo de la concentración, en ese caso la relación es lineal, se puede apreciar como la correlación es muy cercana a la unidad, por lo que se han aceptado los resultados de la operación de calibrado del electrodo. El calibrado del electrodo selectivo de  $\text{NH}_4^+$  ha permitido realizar muy rápidamente cada una de las medidas para el seguimiento de la dinámica del proceso de formación de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en las aguas residuales y del efecto del tratamiento para su eliminación (2008, p.24).

Luego se hizo el seguimiento del proceso de formación de amonio sin tratamiento donde en la primera fase de la descomposición de la urea, según los procesos indicados (...) se han realizado 4 series de experimentos, duplicando los ensayos a 25 °C y a 30 °C, en los que no se ha aplicado ningún tratamiento, para no limitar la formación de amonio. Se podrá observar el incremento de la concentración de amonio en las muestras que se van tomando diariamente. Así mismo, también puede verse claramente como la concentración de amonio formado es mayor en los experimentos realizados a 30°C respecto a los realizados a 25 °C. Esto es coherente con el hecho de que, dentro de un rango de temperaturas inferiores a unos 70-80 °C, las reacciones enzimáticas se producen con mayor velocidad al aumentar la temperatura del medio, y como se ha indicado, el amonio es producto de una reacción de hidrólisis enzimática. Seguimos con el proceso con tratamiento por aireación, en la segunda fase del trabajo se ha hecho borbotear aire procedente del compresor a todos los medios experimentados, con el fin

de inhibir la hidrólisis enzimática de la urea por efecto del oxígeno como oxidante o aplicando aire comprimido a las muestras” (2008, p.24).

Aquí también se han realizado cuatro series de experimentos, dos series a cada una de las temperaturas ensayadas. Los resultados obtenidos durante los cinco días que ha durado el experimento. Puede verse como la concentración del  $\text{NH}_4^+$  ha descendido paulatinamente con el paso de los días, incluso por debajo del valor inicial. Este hecho es muy relevante y demuestra que la aplicación de aire al medio ha sido eficaz como tratamiento inhibitorio de la reacción de descomposición de la urea, correspondiente a la segunda muestra de una de las series realizadas a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , pero al ser un caso aislado se deduce que puede eliminarse del resto de resultados, y que es debido a un factor aleatorio (2008, p.24).

También es destacable que en esta serie de experimentos no se observan diferencias muy aplicables de concentración de amonio entre las muestras de los experimentos realizados a  $30\text{ }^\circ\text{C}$  respecto a los realizados a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , lo que indica que la oxigenación del medio es el factor que controla la velocidad del proceso de inhibición de la reacción que forma el amonio durante todas las series de experimentos se ha podido comprobar como el pH del medio no varía sensiblemente con el paso de los días, lo que indica que las reacciones que tienen lugar no afectan excesivamente a la concentración del  $\text{H}_3\text{O}^+$  en el medio (2008, p.25).

Los autores concluyen que los resultados obtenidos son satisfactorios por cuanto se ha conseguido el objetivo perseguido: evitar la formación del amoniaco en los medios experimentados que han simulado la composición de las aguas residuales sanitarias. De alguna forma, se puede considerar que los resultados incluso han superado las expectativas, ya que se ha conseguido no solo eliminar el amonio que se forma por la degradación de la urea, sino la reducción de amonio que había inicialmente, manteniéndose estable el pH. Ahora bien, precisamente la reducción tan notable de la concentración de amonio hace considerar que puede existir más de un mecanismo por



el que disminuye la concentración del amonio de la disolución, como puede ser el arrastre físico en un fenómeno de desorción. De coexistir ambos mecanismos, no se puede discernir directamente a partir de los resultados obtenidos, la contribución de cada uno en la eliminación o la “no formación” de  $\text{NH}_4^+$  en el efluente residual. Puede profundizarse más en este estudio si se programa un futuro trabajo en el que se compare el efecto del borboteo del aire en las disoluciones con respecto al del borboteo de un gas inerte, como por ejemplo el nitrógeno puro. También será conveniente cuantificar mediante un caudalímetro para gases la cantidad de aire u otro gas que se hace pasar por las disoluciones durante cada experimento. De cualquier forma, lo que es innegable es la eficiencia del tratamiento utilizado en la eliminación de las aguas residuales de un contaminante toxico como es el amoniaco esto permite considerar al menos técnicamente la posibilidad de aplicar este tratamiento a un caso práctico a escala industrial (2008, p.115).

Según (Peña Cotrino & Quijano Prieto, 2010, p.15), en su investigación titulada “Modelación de nitrógeno en la cuenca alta del rio Siecha para construir el desarrollo de transformación de nitrógeno”, para realizar la investigación de comportamiento del nitrógeno en la cuenca mediante la modelización de los parámetros empleados, durante la modelación se ha tenido en cuenta las propiedades socioeconómicas, morfológicas y climatológicas de la zona donde se llevó a cabo los análisis de laboratorio y campo, se realizaron las muestras de suelo, agua y sedimento por el tiempo de cuatro meses en cinco puntos establecidos según la representatividad ubicada dentro de la cuenca, los parámetros a tener en cuenta, nitratos el ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), nitrógeno e iones como nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y los parámetros determinantes de las reacciones que se realizaron durante el ciclo del nitrógeno.

A partir de las variaciones de concentración de nitrógeno orgánico (1300 a 21000ppm), nitratos (0.001 a 0.25ppm) y nitrógeno amoniacal (0.35 a 50 ppm), se puede inferir que los compuestos nitrogenados se comportan de manera dinámica en el espacio y en el tiempo en la cuenca alta del rio Siecha donde variables como la

topografía, el uso del suelo y el clima condicionan los resultados de la modelación y participan como factores determinantes en el desarrollo del ciclo del nitrógeno. En las concentraciones de nitrógeno amoniacal y nitratos en sedimentos que han sido obtenidas durante la modelación, se llegó a la conclusión que en las lagunas ya mencionadas se encontraron concentraciones en ppm de 5 a 80 y de 12 a 90, se presenta condiciones reductoras y favorece a la desnitrificación sobre la nitrificación produciendo una mayor concentración de amonio que de nitratos, cada vez que aumenta la profundidad (2010, p.16).

La mayor concentración de nutrientes nitrogenados durante el estudio se obtuvo en la laguna de Guasca con un valor máximo de 21000ppm de nitrógeno orgánico, se comparó las concentraciones de la parte alta de la cuenca en relación de la parte baja, podemos decir que a medida que desciende durante la trayectoria de la cuenca existe factores que influyen en el comportamiento del nitrógeno (2010, p.18).

Los datos que han sido obtenidos durante la investigación han sido validados satisfactoriamente y comparados a través de graficas numéricas teóricas y numéricas de tal modo que los coeficientes de la modelación lineal tienen un valor entre 0.52 y 0.98 por lo que concluimos que la modelación de manera dinámica del nitrógeno en la cuenca se ha obtenido una aproximación representativa del escenario real (2010, p.85).

## **2.2 Marco histórico**

Según Haber, quien desarrollo: “la síntesis del amoniaco, la cual permitió producir fertilizantes y explosivos a partir del amoniaco, haciendo así posible su uso práctico en diversas industrias, entre ellas la agricultura” (Haber F. , 1918, p.35).

La síntesis del amoniaco a alta presión a partir de los elementos que lo componen, hidrogeno y nitrógeno es un proceso que acabaría conociéndose como de haber- Bosch y la trascendencia de esta aportación se entiende si tomamos en cuenta que casi la

mitad de la población mundial no podría alimentarse sin esta síntesis, ni tampoco hubiera sido posible la producción masiva de alimentos “revolución verde” la cual permitió alimentar el enorme desarrollo demográfico de la segunda mitad del siglo XX, así como permitir a la humanidad renunciar paulatinamente la agricultura extensiva para dejar paso a la agricultura intensiva en todo el mundo (1918, p.35).

Las plantas no pueden asimilar el nitrógeno tal como se encuentra en la atmosfera y solo lo hacen si este se incorpora previamente a moléculas con el amoniaco, el nitrato o la urea. A finales del siglo XIX estaban agotándose los nitratos minerales y los depósitos de guano sudamericanos, preciadas fuentes de nitrógeno para la agricultura y la obtención de amoniaco sintético permitió superar ese bloque insalvable para el desarrollo de la población humana (1918, p.37).

“El proceso de obtención de amoniaco consiste en una reacción directa entre el nitrógeno y el hidrogeno gaseoso  $3\text{H}_2 (\text{g}) + \text{N}_2 (\text{g}) \leftrightarrow 2\text{NH}_3 (\text{g}) + \text{calor}$ , es una reacción exotérmica por lo que el exceso de calor no favorece la formación de amoniaco” (Jurado Juarez, 2015, p.18).

De acuerdo a Juárez, la velocidad de la que se forma el amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) a temperatura ambiente es casi nula, la solución de Haber fue utilizar un catalizador y aumentar la presión ya que esto favorece a la formación del producto, los estudios de mecanismos de reacción indican que la velocidad de reacción es la ruptura de la molécula de nitrógeno y la coordinación a la superficie del catalizador (2015, p.21).

## 2.3 Marco teórico

### 2.3.1 Ciclo del nitrógeno

“El nitrógeno se halla en distintas formas y se llevan a cabo una serie de procesos químicos en los que el nitrógeno es tomado del aire y es modificado para posteriormente ser devuelto a la atmósfera” (Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América A.C, 2017, p.1).

De acuerdo al centro de Información y Comunicación Ambiental Del Norte De América A.C, el nitrógeno es el elemento que se encuentra en forma libre (estado gaseoso) y en mayor abundancia en la atmosfera (78%). Se coloca entre los principales elementos biogeoquímicos; sin embargo, es tan estable que apenas se combina con otros elementos y por tanto difícil que los organismos asimilen, que primero necesitan desdoblarlo y emplearlo en la síntesis de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos (ADN Y ARN) y en otras moléculas fundamentales para su metabolismo. Por lo tanto, teniendo en cuenta es fácil notar su importancia en la vida de cientos de organismos como nos puede ilustrar en la *figura 1* (2017, p.1).

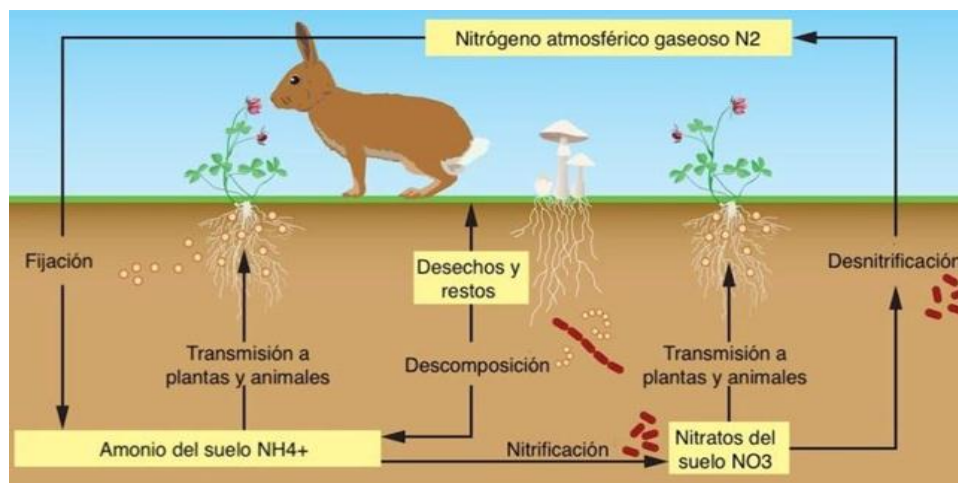


Figura 1: Ciclo del nitrógeno

Fuente: (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte de América A.C, 2017, p.1)

#### 2.3.1.1 Fases del ciclo del nitrógeno

### 2.3.1.1.1 Fijación

Según Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América A.C, menciona que “la fijación biológica del nitrógeno consiste en la incorporación de nitrógeno atmosférico, a las plantas, gracias a algunos microorganismos como principalmente bacterias y cianobacterias que se encuentran presentes en el suelo y en ambientes acuáticos”, “esta fijación se da por medio de la conversión de nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ), en amonio ( $NH_4^+$ ) o nitratos ( $NO_3^-$ ). Estos organismos usan la enzima nitrogenada para su descomposición como nos muestra en la *figura 2*” (2017, p.2).



Figura 2: Fase de fijación

Fuente: (Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América A.C, 2017, p.2)

#### 2.3.1.1.2 *Nitrificación o mineralización*

El Centro de Información y Comunicación Ambiental del Centro de América A.C, menciona que existen dos formas de nitrógeno que son asimilables por las plantas, el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Las raíces pueden adsorber ambas formas, aunque pocas especies prefieren adsorber nitratos antes que amonio. El amonio es convertido a nitrato gracias a los microorganismos por medio de nitrificación. La modificación de amonio  $\text{NH}_4^+$  a nitrato  $\text{NO}_3^-$  depende de la temperatura del suelo. La transformación, es decir, la conversión se da más rápida cuando la temperatura esta arriba de los  $10\text{ }^\circ\text{C}$  y el pH esta entre los 5.5 – 6.5; así mismo, ese proceso se ve completado entre dos a cuatro semanas (2017, p.2).

Esta fase es realizada en dos pasos por diferentes bacterias: primero las bacterias del suelo Nitrosomonas y Nitrococcus que convierten al amonio a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), luego a otra bacteria del suelo, Nitrobacter, oxida el nitrito en nitrato. La nitrificación les entrega energía a las bacterias como nos hace referencia en la *figura 3* (2017, p.2).



Figura 3: Fase de nitrificación o mineralización  
 Fuente: (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte de America A.C, 2017, p.2)

### 2.3.1.1.3 Asimilación

(Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América A.C), la asimilación ocurre cuando las plantas absorben a través de sus raíces, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), elementos formados por la fijación de nitrógeno o por la nitrificación. Luego estas moléculas son incorporadas tanto a las proteínas, como a los ácidos nucleicos de las plantas. Cuando los animales consumen los tejidos de las plantas, también asimilan nitrógeno y lo convierten en compuestos animales como se observa en la *figura 4* (2017, p.3).

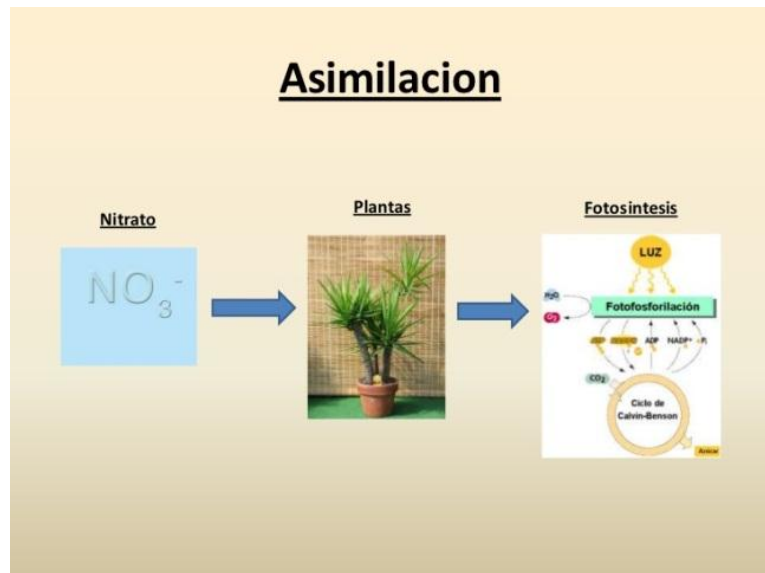


Figura 4: Fase de asimilación  
 Fuente: (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte de America A.C, 2017, p.3)

#### 2.3.1.1.4 Amonificación

El Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América A.C menciona que, los compuestos proteicos y otros compuestos similares, que son los constituidos en mayor medida de la materia nitrogenada aportada al suelo, son de poco valor para las plantas cuando se añaden de manera directa. Así, cuando los organismos producen desechos que contienen nitrógeno como la orina (urea), los desechos de las aves (ácido úrico) estos son descompuestos por bacterias presentes en el suelo y en el agua, liberando el nitrógeno al medio, bajo la forma de amoníaco (NH<sub>3</sub>) (2017, p.3).

En este nuevo proceso de integración de nitrógeno al ciclo, las bacterias fijadoras llevan a cabo la digestión enzimática, por lo que el amonio se degrada a compuestos aminados,



como proteosas, peptonas y al final, en aminoácidos. Es por esta razón que el proceso se llama amonificación o amonización (2017, p.3).

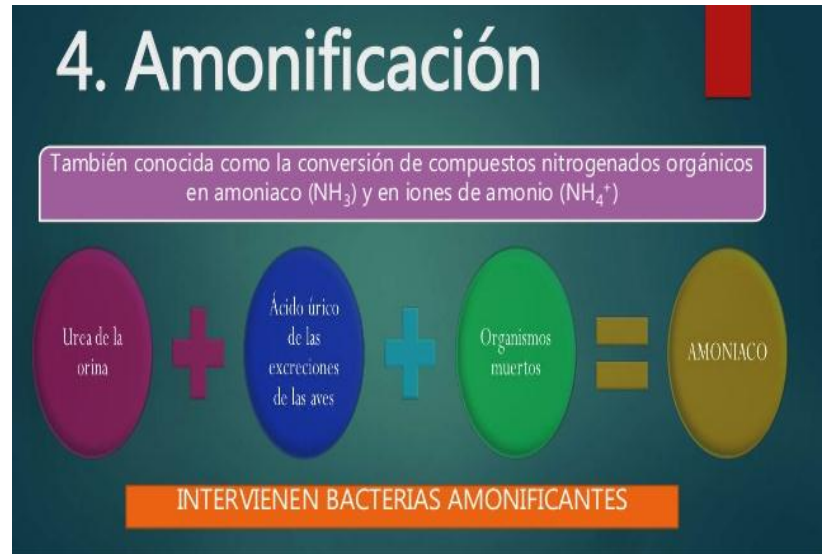


Figura 5: Fase de Amonificación

Fuente: (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte de América A.C, 2017, p.3).

#### 2.3.1.1.5 Inmovilización

En esta fase del ciclo aquello que no es inorgánico se le incorpora el nitrógeno formando un nitrógeno orgánico, siendo lo contrario de la nitrificación. Por lo que las plantas no lo absorben porque no hay descomposición previa y no lo pueden usar, como se muestra en la *figura 6* (Arana, 2015, p.138).

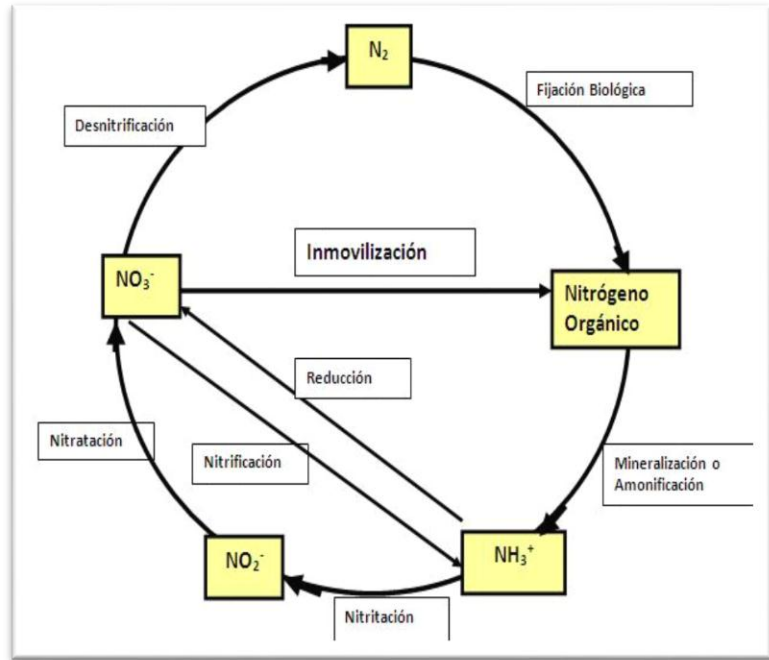


Figura 6: Fase de inmovilización  
 Fuente: (Arana, 2015, p.138)

*2.3.1.1.6 Desnitrificación*

Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América A.C, la reducción de los nitratos ( $NO_3^-$ ) a nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ), y amonio ( $NH_4^+$ ) a amoniaco ( $NH_3$ ); se llama Desnitrificación y es llevado a cabo por las bacterias desnitrificadoras que reviertan la acción de las fijadoras de nitrógeno, regresando el nitrógeno a la atmosfera en forma gaseosa. Este proceso ocasiona una pérdida de nitrógeno para el ecosistema, ocurre donde existe un exceso de materia orgánica y las condiciones son anaerobias, además de que hay poca disponibilidad de agua y un alto pH, uniendo a los escurrimientos de los fertilizantes al suelo (2017, p.4).

Como se observa en la *figura 7*, “el fenómeno de la Desnitrificación se debe, a que, en condiciones de mucha humedad en el suelo, la falta de oxígeno obliga a ciertos microorganismos a emplear nitrato en vez de oxígeno en su respiración” (2017, p.4).

El nitrógeno amoniacal se considera todo el nitrógeno existente en solución como amoniaco o como ion amonio, dependiendo del pH de la solución (Grupo de Estudio Técnico Ambiental de DIGESA), el cual se produce por descomposición de la urea, compuesto siempre presente en las aguas residuales sanitarias, por hidrolisis enzimática, esta descomposición da como productos  $\text{HN}_3$  (amoniacado disuelto) y  $\text{NH}_4^+$  (ion amonio) (2017, p.4).

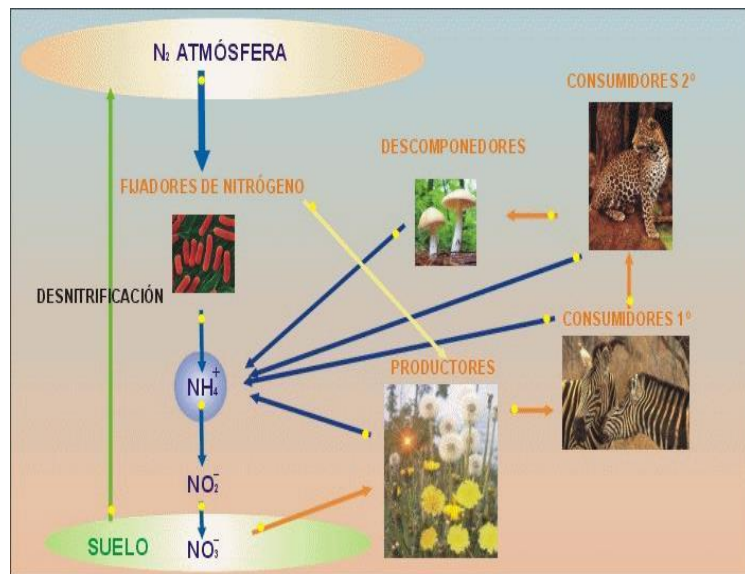


Figura 7: Fase de Desnitrificación  
 Fuente: (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte de América A.C, 2017, p.4)

### 2.3.2 Amoniaco

(Marin & Correa, 2010, p.37), Mencionan que la forma toxica del nitrógeno amoniacal es la no ionizada ( $\text{NH}_3$ ), la forma iónica ( $\text{NH}_4^+$ ) no es toxica. Por lo tanto, a pH bajo una concentración alta de nitrógeno amoniacal total puede ser toxica, puesto que solo una sola una pequeña porción del total estará presente como  $\text{NH}_4^+$ . La hidrolisis es rápida, por lo que la urea raramente está presente en aguas residuales que no sean recientes.

El amoniaco está en equilibrio con el anión amonio, en función del pH de la solución, de acuerdo con la ecuación.  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ , a niveles pH superiores a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, mientras que a valores de pH inferiores a 7 el  $\text{NH}_4^+$  es predominante. El nitrógeno amoniacal es entonces el resultado de la hidrolisis de la urea, según la ecuación química, así como de otras sustancias proteínicas presentes en el agua residual sanitaria.  $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$ ” (2010, p.37).

La hidrolisis de la urea se ve favorecido por un pH alcalino, entre 8.2 y 9, además origina un aumento de pH del medio. Como se ha indicado, el proceso es rápido y produce una cantidad excesiva de amoniaco, que sobre pasa los requerimientos de los microorganismos para la síntesis proteica, con la consecuente pérdida de nitrógeno en el medio y posible peligro de toxicidad (2010, p.38).

### 2.3.3 Ion amonio

El amonio es un ion cargado positivamente cuya fórmula química es  $\text{NH}_4^+$ , procede de la disolución en agua del amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) que compone una base frágil y que reacciona con los protones ( $\text{H}^+$ ) asistentes en el agua, que son ácidos de Bronsted, para formar iones amonio que establecen un ácido débil, dado que el amonio es una base débil (Angel, 2014, p.7).

“El ion amonio presenta la típica reacción de hidrólisis  $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4\text{OH} + \text{H}^+$  por lo que las disoluciones de una sal amónica van a presentar siempre pH ácido” (Kent, s,f).

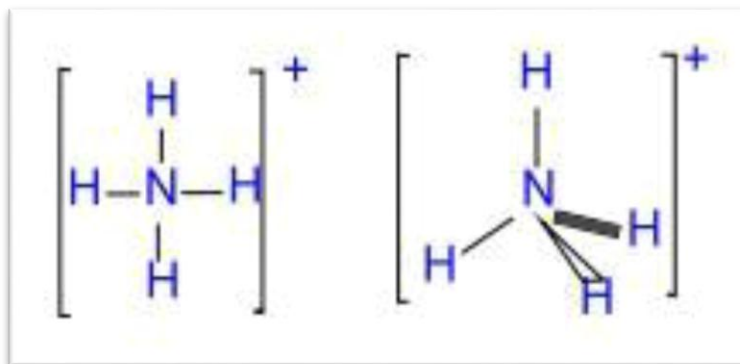


Figura 8: Molécula de ion amonio  
 Fuente: (Kent, s,f)

### 2.3.4 Nitrógeno orgánico

Microlab Industrial indica que, al inicio se descarga un agua residual cruda o desechos orgánicos sólidos, el nitrógeno está presente en moléculas orgánicas como son las proteínas, los ácidos nucleicos o metabolitos finales como el ácido úrico y la urea. De tal forma se denomina nitrógeno orgánico, aunque no tiene un efecto químico característico, como la materia orgánica está sujeta al consumo por parte de microorganismos, los cuales eventualmente procesarán y transformarán el nitrógeno presente en amoniaco (2017, p.11).

### 2.3.5 Amoniaco

Microlab Industrial describe que el nitrógeno presente en forma de amoniaco se denomina nitrógeno amoniacal cuya característica particular es que su comportamiento depende del pH. A pH ácido permanece disuelto en el agua como ion amonio mientras a pH alcalino se convierte en gas amoniaco el cual es susceptible de volatilizarse al ambiente. El gas amoniaco es sumamente irritante y potencialmente mortal en concentraciones elevadas; la vida acuática no es más entusiasta a él y muere

fácilmente si su nivel aumenta; afortunadamente hay mecanismos biológicos que lo pueden asimilar o transformar antes que pueda llegar a acumularse (2017, p.12).

“El amoniaco es un compuesto químico cuya molécula está compuesta por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H) y cuya fórmula química es  $NH_3$ ” (Kent, s,f).

#### 2.3.5.1 Propiedades fisicoquímicas del amoniaco

- Gas incoloro en condiciones normales
  - Temperatura de solidificación  $-77,7\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - Temperatura normal de ebullición  $-33,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - Calor latente de vaporización a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$   $302\text{ kcal/kg}$
  - Presión de vapor a  $0^{\circ}\text{C}$   $4,1\text{ atm}$
  - Temperatura critica  $132,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - Presión critica  $113\text{ atm}$
  - Densidad del gas ( $0^{\circ}\text{C}$  y  $1\text{ atm}$ )  $0,7714\text{ g/l}$
- (2017, p.17).

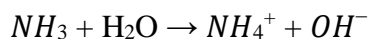
#### 2.3.5.2 Características básicas del amoniaco

“La base es toda sustancia capaz de captar la especie  $H^+$ , por ello el amoniaco se va a comportar como una base, captando protones y dando lugar a la formación del ion amonio” (Brönsted, 2010, p.36).

“ $NH_3 + H^+ \rightarrow NH_4^+$  Al igual que cualquier base reacciona con los ácidos para formar sales (reacción de neutralización)  $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$ ” (2010, p.37).

“Este carácter puede explicarse mediante la teoría de Lewis, el átomo de nitrógeno tiene dos electrones sin compartir que pueden ser cedidos

a otros compuestos, explicándose la formación del ion amonio. En disolución acuosa, el amoniaco, libera iones OH<sup>-</sup> (2010, p.38).



“El valor de la constante de equilibrio nos indica que se trata de una base débil.”

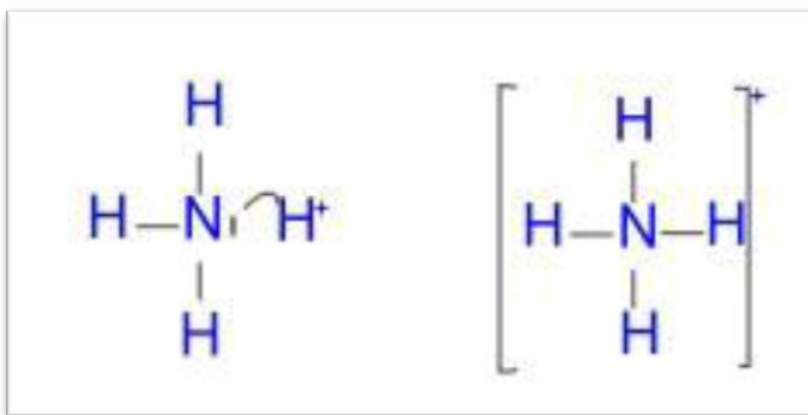


Figura 9: Formación de amonio a partir del amoniaco

Fuente: (Kent, s,f).

### 2.3.5.3 Obtención del amoniaco

“El proceso más importante para la obtener amoniaco a nivel industrial es el método Haber-Bosch (reacción de nitrógeno e hidrógeno gaseoso para producir amoníaco) en el que esta sustancia se obtiene a partir de sus elementos como nitrógeno e hidrógeno” (Kent, s,f).



“Este proceso constituye un equilibrio químico al que industrialmente exigen condiciones de máximo rendimiento y máxima velocidad, de

forma que resulte económicamente rentable. Por ello, vamos a estudiar, aplicando Principio de Le Chatelier”, los factores que afectan a este equilibrio son: (Kent, s,f).

#### **2.3.5.4 Temperatura**

kent, la formación del amoniaco es un proceso exotérmico, lo que implica que para desplazar el equilibrio hacia la formación del amoniaco habrá que disminuir la temperatura. Sin embargo, una disminución de temperatura hace que disminuya la velocidad de reacción (a temperatura ambiente que es muy lenta) y, por tanto, el proceso no sea rentable desde el punto de vista económico (Kent, s,f).

#### **2.3.5.5 Presión**

Kent, en el Principio de Ley Chatelier, menciona que a medida que la presión aumenta el equilibrio se desplaza hacia la derecha, aumentando el rendimiento de amoniaco. El inconveniente es que no se puede trabajar a presiones elevadas, ya que es posible que la instalación en que se lleva a cabo el proceso no resista (Kent, s,f).

#### **2.3.5.6 Catalizadores**

“La presencia de un catalizador acelera la velocidad de reacción, lo que favorece el proceso desde el punto de vista económico. En la síntesis del amoniaco se emplea un catalizador formado por hierro con bajo contenido en óxido metálico”. Industrialmente, para obtener el máximo rendimiento con las mejores condiciones económicas, en la obtención del amoniaco se sigue el proceso Haber, haciendo pasar una mezcla de nitrógeno e hidrógeno a través de un catalizador (hierro/óxido de hierro) a temperatura de 500 °C y una presión de 1000 atm. El rendimiento obtenido en estas condiciones está comprendido entre el 40% y el 50%.



Después de la reacción se enfrían los gases para que se licue el amoníaco y los gases residuales se hacen volver a la cámara de reacción (Kent, s,f).

### **2.3.6 Nitrito**

Microlab Industrial menciona que, el nitrito es la forma de nitrógeno que resulta de la oxidación biológica del nitrógeno amoniacal. Este proceso, denominado nitrificación es llevado a cabo por un grupo de bacterias llamadas (Nitrosomonas), cuyo crecimiento y metabolismo es relativamente lento, por lo que una alteración súbita de las condiciones de operación de un ecosistema o una planta tratadora que afecte a estas bacterias ocasiona un pico en la concentración del nitrógeno amoniacal. Irónicamente, el nitrito en sí es una especie química cuya toxicidad aguda es incluso peor que la del amoníaco, pero no se volatiliza y se oxida rápidamente a nitrato por acción microbológica (2017, p.13).

### **2.3.7 Nitrato**

De acuerdo a Microlab Industrial, el nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno y a diferencia de las formas anteriores es mucho menos tóxico, por lo que puede acumularse y descargarse fácilmente sin alterar los ecosistemas o la salud pública. De aquí, hay dos paraderos finales: el primero es su asimilación por plantas y algas, que pueden tomar tanto amoníaco como nitrato del ambiente y de manera que ingresa nuevamente a la cadena trófica, el segundo es que sea transformado nuevamente en gas nitrógeno que regresa a la atmósfera: las bacterias llamadas desnitrificantes pueden reducirlo a nitrito y luego metabolizarlo a gas nitrógeno, aunque para ello requieren condiciones anaerobias (2017, p.14).

### **2.3.8 Problemas ambientales por compuestos nitrogenados en el agua**

“Las consecuencias de la presencia de Compuesto Nitrogenado (CN) en agua son diversas y hacen que su posterior uso se vea restringido” ( Cárdenas Calvachi & Sánchez ortiz , 2013, p.21).

“Los Compuestos Nitrogenados presentes en aguas residuales no solo comprometen la calidad de líquido en la zona de vertimiento sino a toda su cuenca hidrográfica y la región donde vierte sus aguas” (2013, p.21).

Cárdenas Calvachi y Sánchez Ortiz, los tres principales problemas ambientales generados por la presencia de compuestos de nitrógeno en el sistema acuático son: el aumento de la acidez, el desarrollo de eutrofización y el aumento de las concentraciones hasta niveles tóxicos tanto en aguas superficiales como subterráneas, que limitan su uso principalmente como fuentes de agua para consumo humano o en acuicultura, donde la acumulación de Nitrógeno orgánico suele impedir la operación exitosa de sistemas de reusó (2013, p.78).

### **2.3.9 Toxicidad de las formas de nitrógeno y efectos en la salud humana.**

#### **2.3.9.1 Toxicidad para especies acuáticas.**

Cárdenas Calvachi y Sánchez Ortiz “Los compuestos nitrogenados pueden alcanzar en el agua niveles tóxicos que alteren la capacidad de los animales para sobrevivir, crecer y reproducirse, en algunos casos su presencia se debe al vertimiento directo, aunque también puede darse por deposición atmosférica” (2013, p.78).

Estos niveles pueden presentarse en fuentes naturales contaminadas como ríos, lagos, embalses o en sistemas de cultivo intensivo de organismos acuáticos, donde la calidad del agua se convierte en un

factor limitante, dada la acumulación de sustancias tóxicas principalmente debido a alimentos no consumidos y heces, la suma de amonio ionizado y no ionizado, el nitrito y el nitrato se denomina nitrógeno inorgánico, y su presencia especialmente del amonio y del nitrito, tiene reconocidos efectos tóxicos sobre especies acuáticas (2013, p.79).

Cárdenas Calvachi y Sánchez Ortiz, la forma no ionizada amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), es más tóxica para los organismos acuáticos debido a varios factores: las membranas branquiales de los peces son relativamente permeables al  $\text{NH}_3$  mas no al  $\text{NH}_4^+$ , tiene una elevada solubilidad en lípidos lo que facilita su paso a través de las membranas biológicas causando daños en las superficies respiratorias. Diversos autores han realizado estudios para identificar los efectos producidos en peces por diferentes concentraciones de amoniaco y formular recomendaciones sobre concentraciones máximas de nitrógeno amoniaco total para diversas especies en exposiciones de corta y larga duración con el fin de evitar los efectos producidos por la toxicidad del amoniaco (2013, p.80).

Cárdenas Calvachi y Sánchez Ortiz, el nitrito se encuentra presente como ion nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) o como ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ); la concentración de cada uno de ellos depende del pH del agua de manera directa para el ion y de manera inversa para el ácido, ambos compuestos son extremadamente tóxicos, pero en la naturaleza el ion es más común. La toxicidad puede ser reducida con la adición de cloruros y de otras sustancias menos efectivas como el bicarbonato y el calcio, los efectos toxicológicos en exposiciones prolongadas que disminuyen la respuesta inmunológica de los organismos acuáticos induciendo a patologías que pueden conducir a la muerte de las especies, en organismos marinos

reduce la habilidad de osmorregulación manifestándose en inhibición de los ciclos reproductivos (2013, p.81).

“El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es el producto final de la nitrificación, muy nocivo en los humanos y relativamente inofensivo para los peces y otros organismos acuáticos cultivados, debido principalmente a su limitada absorción a través de las branquias” (2013, p.83).

### 2.3.10 Ácido nítrico

Cárdenas Calvachi y Sánchez Ortiz, el ácido nítrico es un líquido viscoso, incoloro e inoloro, llega a descomponerse lentamente a través de la luz, adoptando una coloración amarilla por el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) que se produce en la reacción, y en el aire despide humos blancos, su punto de fusión es de  $-43^\circ\text{C}$  y su punto de ebullición es  $83^\circ\text{C}$  pero a esa temperatura se acentúa su descomposición, es soluble en el agua a cualquier cantidad, su densidad es 1.5 g/ml a distintas impurezas lo colorean de amarillo- marrón (2013, p.84).

El ácido nítrico también conocido como:

- Ácido trioxonitrico.
- Espíritu de sal.
- Agua fuerte.
- Nitrato de hidrogeno.
- Trioxonitrico de hidrogeno.

#### 2.3.10.1 Usos del ácido nítrico

-Como la parte integral de la fabricación de explosivos, el ácido nítrico también se puede utilizar para la fabricación de componentes de trinitrolueno (TNT), nitroglicerina, algodón y pólvora (nitrocelulosa).

- Como fertilizante agrícola, para la fabricación de nitratos los cuales se utilizan como abonos fertilizantes en los campos, promueven el crecimiento de las plantas, los abonos nitrogenados más importantes son el nitrato sódico ( $\text{NaNO}_3$ ) y el nitrato potásico ( $\text{KNO}_3$ ).
- También se puede utilizar como un agente oxidante en la producción de algunos combustibles sólidos para la propulsión de cohetes (2013, p.86).
- Usos industriales del ácido nítrico, comprenden la fabricación de nitrocompuestos que se utilizan en la fabricación de muchos colorantes artificiales y nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), requerido este en grandes cantidades por la industria fotográfica (2013, p.87).

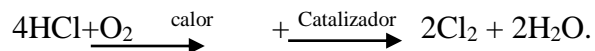
### **2.3.11 Fabricación del cloro: historia**

De 1805 a 1888, el gas cloro de Scheele siguió siendo una curiosidad de laboratorio muy peligroso hasta que empezó a producirse a escala comercial. Esto sucedió cuando Kneitsch descubrió en 1888 que el cloro seco no agredía al hierro o al acero, lo que hizo viable envasar el cloro como líquido bajo presión (Black & Veatch Corporation , 2010, p.24).

Hasta entonces, el cloro se había utilizado como un blanqueador en forma de solución. En 1785, Berthollet preparo esta solución disolviendo gas en agua y agregando a una solución de potasa caustica, esto lo hizo en una planta química en Javel, por lo tanto, la solución se conocía como agua Javelle. James Watt, el inventor, logró conseguir una licencia para la fabricación de agua Javelle y la llevo a Escocia para Charles Tennant. En 1789, Tennant produjo otro líquido blanqueador llamado leche de cal clorada, un año más tarde mejoro convirtiéndolo en un compuesto seco conocido como polvo blanqueador (2010, p.24).

Para producir el cloro se utilizó un método llamado calentamiento de Berthollet con cloruro de sodio, manganeso y ácido sulfúrico en alambiques de plomo. Al mismo tiempo, el cloro también se estaba produciendo en una escala limitada por el proceso de Weldon, quien empleo la reacción descubierta por Scheele, quien hizo reaccionar ácido clorhídrico con dióxido de manganeso. Este método recibió un enorme ímpetu cuando Gossage invento las torres de Coque para la absorción de residuos de ácido clorhídrico (2010, p.24).

El ácido clorhídrico barato producido a partir de estas torres se utilizó en el proceso de Weldon, sin embargo, este proceso se volvió casi obsoleto en 1868 después de que Henry Deacon y Ferdinand Hurter autorizo un proceso para producir cloro mediante la descomposición del ácido clorhídrico con oxígeno atmosférico en presencia de un catalizador, en este proceso se calienta una mezcla de ácido clorhídrico y aire aproximadamente el 70 % del cloruro de hidrogeno que se convierte en cloro al mezclarse con aire y el vapor, después el gas se condensa y el vapor absorbe el cloruro de hidrogeno, formando un ácido muriático muy fuerte mezclado con gas cloruro de hidrogeno. Esta mixtura se pasa primero a través de un calentador a una temperatura de aproximadamente 430 °C, después a través de un descomponedor que consta de una cámara revestida de ladrillo o piedra pómez impregnada con catalizador de cloruro cúprico, y finalmente se lava primero con agua y luego con ácido sulfúrico, la mezcla restante de nitrógeno y oxigeno contiene un 10% de cloro gaseoso que se puede utilizar en la fabricación de líquidos o lejía en polvo, el cloruro de hidrogeno restante se recicla a través del proceso. Considerando la cantidad de cloro producido, la planta es extremadamente voluminosa (2010, p.24).



Esta reacción es reversible e incompleta. La velocidad de reacción se vuelve satisfactoria mediante la adición de calor y el catalizador. El cloruro de hidrogeno utilizado en el proceso de reacción fue un subproducto del proceso de refresco

LeBlanc, con la llegada del amoniaco sódico Solvay, el proceso de LeBlanc cayó en un fuerte declive, causando el abandono del proceso de Deacon en favor de los métodos electrolíticos emergentes (2010, p.25,26).

### **2.3.12 Tricloruro de nitrógeno en cloro líquido: ocurrencia, formación y significación**

El tricloruro de nitrógeno ( $\text{NCl}_3$ ) fue observado en 1811 por la acción del cloro sobre una solución de cloruro de amonio. En el laboratorio este compuesto es un aceite amarillo con un olor acre parecido al cloro, prácticamente insoluble en agua, pero fácilmente soluble en la mayoría de los disolventes orgánicos. Se ha comprobado que una gota de aceite explota violentamente cuando se toca con una pluma mojada en trementina (Black & Veatch Corporation , 2010, p.28).

El tricloruro de nitrógeno se forma durante la producción de cloro cuando el nitrógeno amoniacal está presente en la salmuera que alimenta a las celdas electrolíticas. Es soluble hasta 7,3 mg/l en cloro líquido, pero no es soluble en agua o en el ácido sulfúrico concentrado que se utiliza en la producción de cloro para eliminar la humedad. Una vez que se forma el  $\text{NCl}_3$  en las celdas electrolíticas, pasara con el cloro gaseoso a través de los enfriadores, depuradores y bombas selladas con ácido, y se condensara con el cloro líquido. El riesgo de explosión es mayor cuando se agota el cloro líquido en el recipiente y solo queda vapor de cloro permanente. El  $\text{NCl}_3$  se concentra en la capa de cloro líquido junto a la fase de vapor. En cuanto se agota el cloro liquido la concentración de  $\text{NCl}_3$  sigue incrementando en la interfaz vapor-liquido (2010, p.29).

#### **2.3.12.1 Prevención de la formación de tricloruro de nitrógeno en cloro líquido**

Un método eficaz para tratar el tricloruro de nitrógeno ( $\text{NCl}_3$ ) es eliminar todo el nitrógeno amoniacal del agua utilizada para preparar la

solución de salmuera, esto se puede hacer usando cloración de punto de ruptura seguida de aireación del agua. Un segundo método es descomponer el tricloruro de nitrógeno formado durante la electrolisis por irradiar el gas de cloro que sale de las células con luz ultravioleta en el espectro de 3600-4400 antes de que el cloro entre en los depuradores. Como es dificultoso controlar la eficacia de la eliminación del tricloruro de nitrógeno ( $\text{NCl}_3$ ) por rayos ultravioleta (UV), es más eficiente y confiable para usar cloración de punto de ruptura, seguida de aireación. Sin embargo, el método UV se ha utilizado con éxito para eliminar las pequeñas cantidades de tricloruro de nitrógeno ( $\text{NCl}_3$ ) formadas cuando el agua cruda contiene trazas de concentraciones de amoníaco (2010, p.45).

### **2.3.13 Disolución e hidrólisis del cloro**

Empleando un equipo de cloración de alimentación de gas convencional, el gas de cloro se puede disolver en una corriente secundaria de agua, formando una solución de cloro concentrado que luego se puede canalizar al punto de aplicación o se puede disolver directamente en la corriente del proceso utilizando un clorador de alimentación directa de gas (Black & Veatch Corporation , 2010, p.77).

El cloro también puede disolverse en una solución caustica, en un proceso especialmente controlado, para producir una solución concentrada de hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ) que luego se puede dosificar en la corriente del proceso, así mismo utilizar para producir formas sólidas de cloro- hipoclorito de calcio y cal clorada. El cloro gaseoso es de alto riesgo y corrosivo, por lo que debe estar disuelto siempre en el agua y no se debe permitir escapar de vuelta a la atmosfera en concentraciones que representan una amenaza para la salud humana y medio ambiente como también al equipo, materiales e instalaciones utilizados en el tratamiento. La relación de



equilibrio entre el cloro disuelto y gaseoso puede describirse, utilizando la ley de Henry, de la siguiente forma:

$$P_{Cl_2} = K_H [Cl_2 (aq)]$$

Dónde:  $P_{Cl_2}$  = presión parcial de  $Cl_2$  en atmosferas (atm)

$K_H$  = constante de Henry (atm-l/mol) and,

$[Cl_2 (aq)]$  = concentración de  $Cl_2$  en moles por litro

“El valor de  $K_H$  varia con la temperatura y fuerza iónica del agua, también puede ser influenciado por la presencia de otros componentes presentes en el agua como sales o ácidos” (2010, p.111).

### 2.3.14 Cloro

De acuerdo al Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, el cloro se obtiene principalmente mediante electrolisis de la salmuera y se utiliza en la fabricación de plásticos, productos químicos orgánicos e inorgánicos, y como desinfectante, además se libera al utilizar soluciones de hipoclorito de sodio para decoloración y blanqueo, tratamiento de aguas y desinfección (2007,s.p).

El cloro utilizado solo o en forma de hipoclorito sódico actúa como un doble potente desinfectante, añadido al agua destruye rápidamente las bacterias y otros microbios que ésta pueda contener, lo que garantiza su potabilidad y ayuda a eliminar sabores y olores. El cloro, como tal o en forma de hipoclorito sódico, es el desinfectante del agua más utilizado en el mundo por su efectividad, su bajo costo y fácil uso (2007,s.p).

#### 2.3.14.1 Reacciones del cloro en el agua

“El cloro en el agua es un agente químico muy activo, es decir si se agrega una pequeña cantidad al agua, reaccionará con las sustancias

disueltas o suspendidas en ella” (Sancho Arroyo & Pablo Aranda , 2010, p.7).

De acuerdo con Sancho Arroyo y Pablo Aranda “*el cloro reacciona rápidamente con el ácido sulfhídrico, también con el manganeso, el fierro y los nitritos*”, “Si se agrega la cantidad suficiente de cloro para que reaccione con estos compuestos, llamados compuestos reductores, entonces, un poco más de cloro que se agregue, reaccionará con cualquier sustancia orgánica presente, para producir compuestos orgánicos de cloro, los cuales tienen poca o ninguna acción desinfectante y además pueden causar sabores y olores, entonces si se agrega cloro en cantidad suficiente para que reaccione con todas las sustancias reductoras como la materia orgánica y el amoníaco, un poco más de cloro que se agregue quedará como cloro residual libre, disponible, el cual es un agente desinfectante muy activo (2010, p.9).

“La cantidad de sustancias reductoras, materia orgánica y amoníaco varía para cada agua, cambia con el tiempo, depende del abastecimiento de agua, también varía la cantidad de cloro que debe agregarse para su desinfección” (2010, p.9).

La cantidad de cloro que consumen las sustancias reductoras y la materia orgánica se conoce como demanda de cloro que reacciona con agua, un átomo es oxidado a  $\text{Cl}^{(+)}$  y el otro es reducido a  $\text{Cl}^{(-)}$  esto es:  
 $\text{Cl}_2 (\text{ac}) + \text{H}_2\text{O} - \text{HOCl} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$  (Asociación Española De Abastecimiento De Agua y Saneamiento , 1984, p.8).

La gráfica que observamos se denomina “Curva de Demanda de Cloro, y representa lo que le ocurre al cloro que se añade a un agua que contiene una cierta cantidad de sustancias inorgánicas reductoras, como

amoníaco y sustancias orgánicas con las que reacciona” Seguidamente conoceremos lo que ocurre en cada uno de los sectores de la curva (1984, p.12).

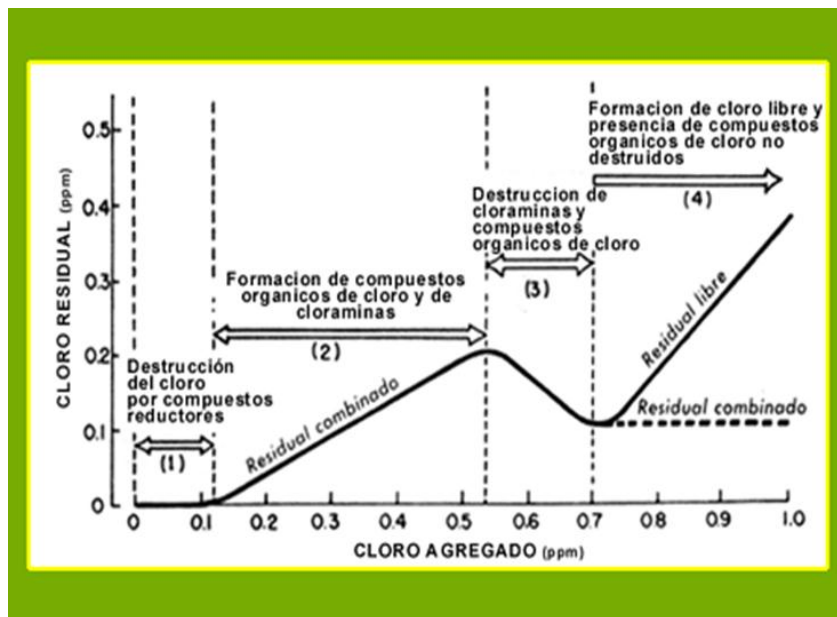
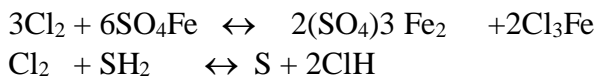


Figura 10: Diagrama De Dosificación Del Cloro En El Agua  
 Fuente: (Asociacion Española De Abastecimiento De Agua y Saneamiento , 1984, p.12)

En el sector 1 de la figura 11 se explica, el gasto de cloro atribuible a la oxidación de sustancias inorgánicas efectivamente, el cloro que se agrega al agua reacciona rápidamente con las sustancias inorgánicas reducidas, fundamentalmente con los compuestos reducidos de hierro, manganeso, azufre y los nitritos, perdiendo su capacidad germicida (1984, p.13).



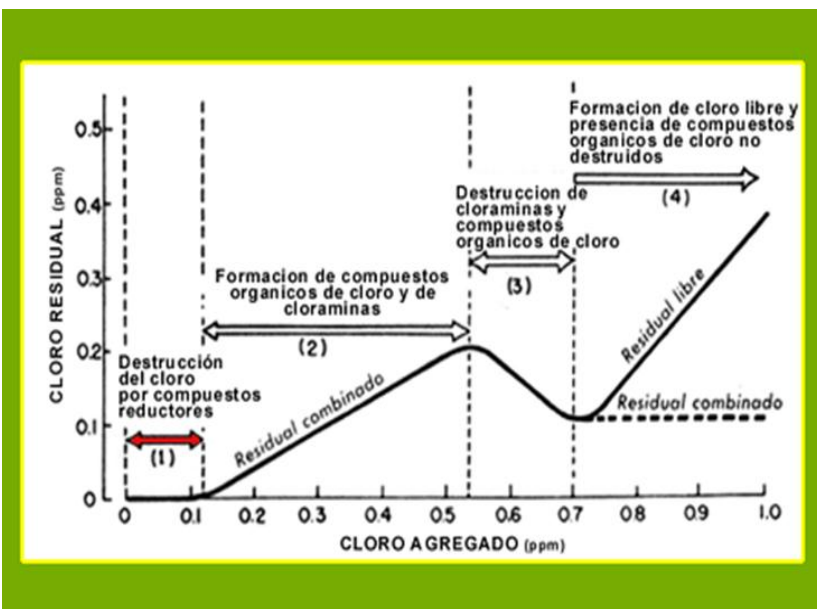
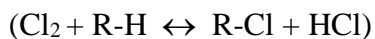


Figura 11: Destrucción de cloro por compuestos reductores  
 Fuente: (Asociación Española De Abastecimiento De Agua y Saneamiento , 1984, p.13)

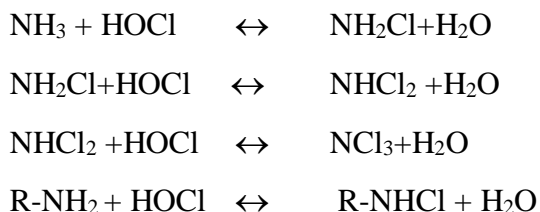
### 2.3.14.1.1 Formación de compuestos orgánicos de cloro

Dentro de la formación de compuestos orgánicos del cloro, en el sector 2 de la figura 12 se observa que se produce dos tipos de reacciones:



“Este proceso de oxidación en el que el cloro es reducido a cloruro, se forman así compuestos sin acción desinfectante que en algunos casos generan en el agua olores y sabores” (1984, p.15).

2.3.14.1.2 *Formación de cloraminas, mediante reacción del cloro con amoníaco y compuestos orgánicos de nitrógeno.*



La Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento mencionan que, las cloraminas tienen poder desinfectante y que, “*El cloro en este tramo de la curva se determina como cloro residual combinado (CRC)*”. Las cloraminas pueden hidrolizarse por reacciones inversas a las que las producen, constituyendo así una reserva de ácido hipocloroso que puede irse liberando lentamente. Cuando el cloro está en mucha mayor proporción que el amoníaco, además puede ocasionar su oxidación total, no dando lugar a la formación de cloro combinado (cloraminas), sino de nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y cloruros (Cl<sup>-</sup>) (1984, p.16).

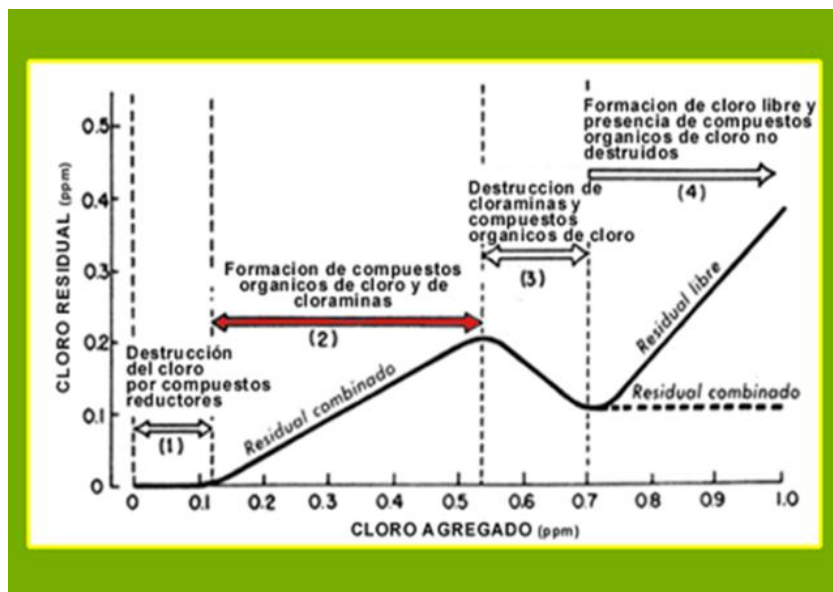


Figura 12: Formación de cloraminas, mediante la reacción del cloro con amoníaco y compuestos orgánicos de nitrógeno  
 Fuente: (Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento , 1984, p.16)

En la figura 13 en el sector de la curva 3, la Asociación Española De Abastecimiento De Agua y Saneamiento , menciona que a medida que va aumentando el aporte de ácido hipocloroso, se produce la oxidación completa de los compuestos organoclorados y de las cloraminas que previamente se han formado, produciéndose nitrógeno gaseoso, óxido nitroso ( $N_2O$ ), agua y la reducción del cloro (libre o combinado) a cloruro, por lo que ya no es detectable en el agua como cloro residual combinado (CRC ) y éste disminuye hasta un mínimo de la curva que se denomina punto de ruptura o punto de quiebre, la cantidad de cloro que se necesita para llegar al punto mínimo de la curva (Punto de Ruptura) se denomina demanda de cloro (1984, p.17).

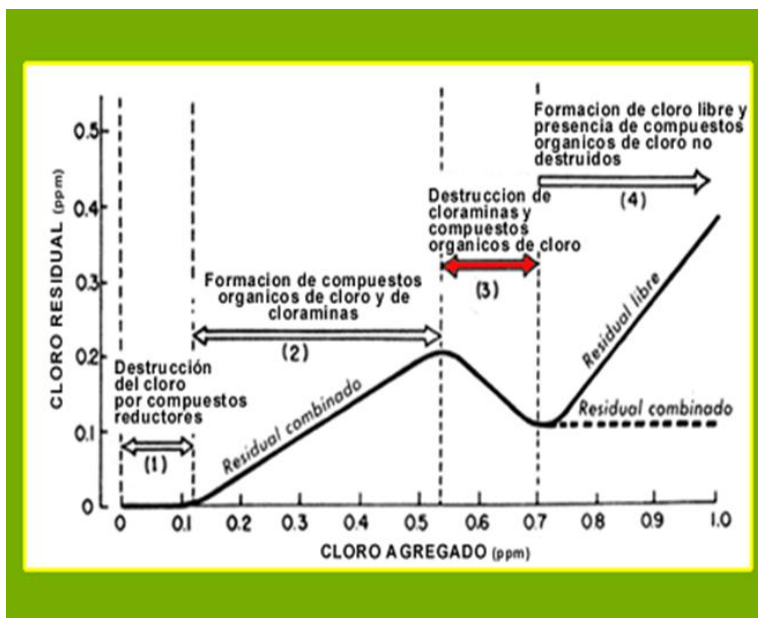


Figura 13: Destrucción de cloraminas y compuestos orgánicos de cloro  
 Fuente: (Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, 1984, p.17)

En la figura 14 en el sector 4 muestra, el aumento del cloro residual en el agua y empieza a formarse cloro residual libre (CRL), es decir cloro residual disponible, lo que significa que se han completado las reacciones de oxidación de las sustancias orgánicas y el cloro sobrante, al no tener materias orgánicas con las que combinarse queda libre, sin embargo, puede observarse que la curva no llega a alcanzar el eje de abscisas, debido a que queda una parte de materia orgánica clorada que no ha sido totalmente oxidada (1984, p.18).

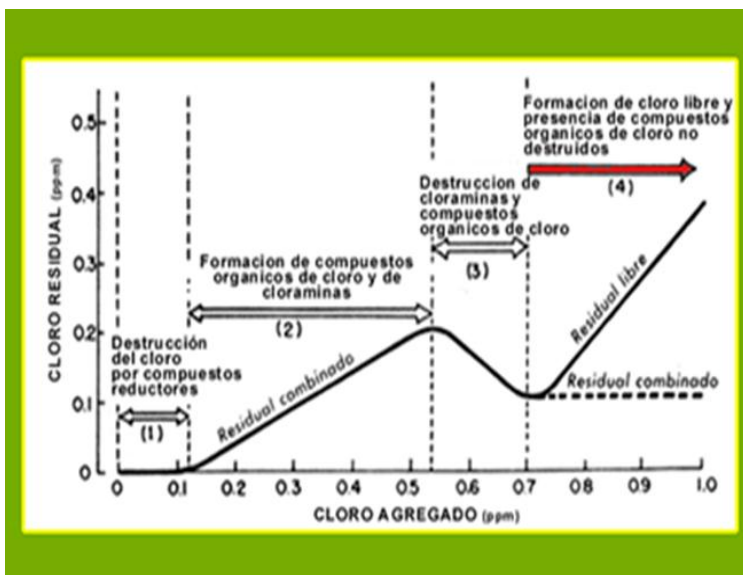


Figura 14: Formación de cloro y presencia de compuestos orgánicos de cloro no destruido  
 Fuente: (Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento , 1984, p.18)

Según la Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, lo mencionado anteriormente ocurre frecuentemente en las aguas naturales y se debe a la presencia de compuestos orgánicos cuya oxidación completa requiere mayor tiempo de contacto con el cloro. Esta oxidación se completará durante el almacenamiento gracias al cloro residual libre que debe quedar en el agua para este propósito y para evitar cualquier contaminación posterior al tratamiento. La cloración del agua no debe hacerse hasta alcanzar el punto de ruptura, sino que es necesario añadir más cloro para que siempre contenga una cierta cantidad de cloro libre residual (1984, p.20).



“Esta cantidad de cloro residual que tiene que quedar en el agua depende del pH y está recogido en la Legislación española en la Lista positiva de aditivos para aguas de consumo público” (1984, p.20).

#### **2.3.14.2 Reacción del cloro con el amoníaco**

Según Sancho Arroyo y Pablo Aranda, las reacciones del cloro con amoníaco y nitrógeno orgánico son bastante diferentes de aquellas del cloro con otros compuestos orgánicos e inorgánicos. El cloro reacciona con amoníaco para producir una serie de compuestos clorados llamados cloraminas ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{NHCl}_2$ ,  $\text{NCl}_3$ ) y eventualmente oxida al amoníaco hasta gas nitrógeno o a alguna variedad de productos libres de cloro que contienen nitrógeno (2010, p.16).

Por ejemplo: “Hidracina ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ), hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) Óxido de nitrógeno ( $\text{NO}$ ), Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Tetraóxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )” (2010, p.16).

#### **2.3.14.3 Dosificación del cloro presente en el agua**

De acuerdo a Ramírez, la demanda de cloro es el resultado de diversas reacciones en que el cloro se consume por acción de diversos constituyentes del agua y por descomposición. Cuando el cloro se mezcla con el agua se forma ion hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) y ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ), los cuales corresponden al cloro libre disponible y son quienes realizan en mayor medida la desinfección y oxidación en el agua, ya que son mucho más potentes como desinfectantes que las cloraminas que son compuestos formados por la reacción entre el cloro y el amoníaco (2016,s.p).

Cuando se añade cloro al agua, las sustancias fácilmente oxidables tales como  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $H_2S$  y la materia orgánica reacciona con el cloro reduciendo la mayor parte del ion cloruro (etapa A). Tras satisfacer esta demanda inmediata, el cloro continuará reaccionando con el amoníaco para formar cloraminas (etapa B). En el caso de relaciones molares de cloro a amoníaco menor que 1, se formarán monocloramina y dicloramina. La distribución de estas dos formas viene dictada por sus velocidades de formación, que son independientes del pH y de la temperatura. En la (etapa C) algunas de las cloraminas se convierten en tricloruro de nitrógeno, mientras que las cloraminas restantes se oxidarán a óxido de nitroso y nitrógeno ( $N_2$ ), reduciéndose el cloro a ion cloruro. Con la adición continuada de cloro, todas las cloraminas se oxidarán en el break point (2016,s.p).

"La adición de cloro más allá del break point dará como resultado un aumento directamente proporcional del cloro libre disponible (hipoclorito sin reaccionar)" (2016,s.p).

La razón principal para añadir cloro suficiente hasta obtener cloro residual libre, es que la desinfección se logrará con toda seguridad (Etapa D). Al final de todas las reacciones que se presentan al agregar cloro al agua (con exceso de cloro) quedan cloro residual libre y cloro residual combinado (cloraminas) y la suma de ambos corresponde al cloro residual o cloro total (2016,s.p).

Ramírez menciona, que la demanda de cloro no es más que la diferencia entre la dosis aplicada al agua y el valor del cloro residual". "Una vez obtenido el punto de quiebre se sigue adicionando cloro hasta que el cloro residual registre un valor de 1,3 mg/L. (dato recomendado, sin embargo, se debe confrontar con los residuales que garanticen a final

de red un cloro residual libre superior a 0,3 mg/L). Una vez obtenido el cloro libre residual deseado, se revisa en la curva que dosis se necesitó para lograr el cloro residual y este valor será la dosis que se debe adicionar al agua para garantizar que este adecuadamente desinfectada (2016,s.p).

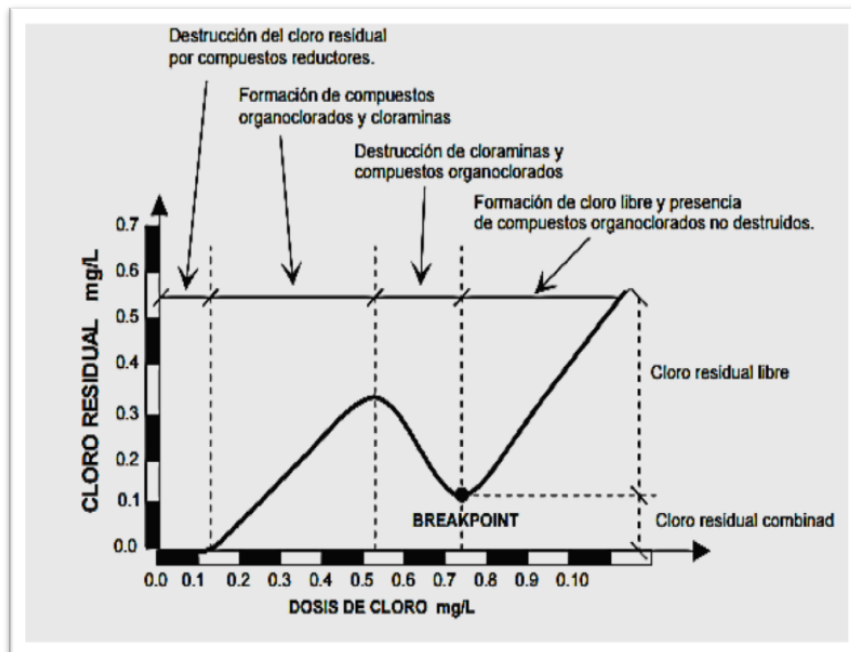


Figura 15: Dosificación del cloro presente en el agua  
 Fuente: (Ramirez , 2016,s.p)

#### 2.3.14.4 Efectos fisiológicos de la exposición al gas cloro

Irritante potencial para los ojos, piel, membranas mucosas y el sistema respiratorio. El impacto de la exposición al cloro pende tanto de la concentración como del tiempo, es decir a medida que aumenta la duración de la exposición o la concentración, el afectado puede volverse aprensivo e inquieto acompañado de tos, irritación de garganta, estornudos y salivación excesiva incluso en dosis altas se puede llegar al vomito asociado a la dificultad para respirar, en otros casos la dificultad para respirar puede progresar hasta llegar a la muerte por asfixia (Kay Kozyra, 2006, p.26).

#### **2.3.14.5 Efectos no respiratorios de la exposición al cloro gaseoso**

El cloro gaseoso se absorbe en agua para formar tanto cloruro de hidrogeno (HCl) como ácido hipocloroso (HOCl), este se puede disolver en el cuerpo, la humedad es decir la transpiración puede formar ácidos a 3500 ppm (mg/l) de cloro en el aire. El pH de la humedad en la piel seria de aproximadamente 4, un pH de 4 es comparable al agua carbonatada, si bien puede producirse una sensación de ardor e irritación de la piel debido a tal exposición, una revisión de la literatura no ha proporcionado datos humanos fijos para determinar la concentración del cloro necesaria para producir tales efectos. En el caso de los ojos la irritación al exponerse al cloro gaseoso comienza a ocurrir entre 1 a 10 ppm (2006, p.52).

### **2.4 Definición de términos básicos**

#### **2.4.1 Nitrógeno amoniacal**

“El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua puesto que es parte del ciclo del nitrógeno, se ve influido por la actividad biológica, además se presenta en agua debido a una descomposición incompleta de la materia orgánica” (Ordoñez & Ullauri, 2011, p.70).

“Es un compuesto gaseoso, de típico olor desagradable, soluble en agua, se produce en la naturaleza por la acción de las bacterias de la putrefacción sobre la materia orgánica del suelo” (kent, s.f).

#### **2.4.2 Nitrógeno**

“El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como también de las paredes celulares, clorofila en los vegetales” (Sardiñas Peña & Pérez Cabrera, 2004).

### 2.4.3 Cloro

El cloro en condiciones normales de presión y temperatura es de (1.033 kg/cm<sup>2</sup>) y (0°C) un gas verde, 2.5 veces más pesado que el aire. Se obtiene en forma gaseosa desintegrado por electrolisis el cloruro de sodio (NaCl) en sodio y cloro, el cual se comprime a 1.74 at y se enfría a -4 o -18 °C hasta licuarlo, el cloro es un gas poderoso oxidante y potente germicida (Christman, 2008, s.p).

### 2.4.4 Hipoclorito de Sodio

Se puede preparar en forma anhidro, con una pureza superior al 90%, pero se altera con facilidad al cabo de pocos días, en ocasiones con fuerza explosiva. el Hipoclorito de Sodio se encuentra en solución acuosa, conformando el 5% de la solución como NaOCl, y el agua constituye el restante 95%, en general es un agente oxidante y fuerte (Ortega, Sam, & Licea, 2018, p.23).

### 2.4.5 Ensayo “Test de Jarras”

Para el diseño de un proceso de coagulación-floculación es necesario llevar a cabo la prueba de jarras, comúnmente denominada ensayo “jar-test”, con la finalidad de determinar el tipo de coagulante óptimo, la dosis óptima de coagulante, el pH óptimo para el tratamiento, el tiempo de retención y la velocidad de agitación óptima que asegure una buena mezcla en el proceso de coagulación y un buen contacto entre las partículas en el proceso de floculación (Vicedo, 2013, p.27).

El equipo de “jar-test” se compone de 6 ejes giratorios con una paleta en la base de cada eje, las cuales serán las responsables de agitar la muestra. Dichos ejes están conectados a un motor eléctrico que los hace girar simultáneamente” (Vicedo, 2013, p.27).

Las interferencias al método y que pueden dificultar la determinación de las condiciones óptimas del ensayo son:

- Cambios en la temperatura del agua:
- Intercambio gaseoso
- Período transcurrido entre la toma de muestras y el ensayo

## **2.5 Hipótesis**

Si existe nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), entonces aumenta el consumo de cloro en el proceso de desinfección de la potabilización del agua.

### **2.5.1 Operacionalización de las variables**

#### **2.5.1.1 Variable independiente (V: I):**

Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )

#### **2.5.1.2 Variable dependiente (V: D)**

Consumo de cloro

2.5.1.2.1 *Definición operacional de las variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
V.I Nitrógeno amoniacal	Componente transitorio en el agua que forma parte del ciclo del nitrógeno y que es influido por la actividad biológica resultante de una descomposición incompleta de la materia orgánica	Concentración del nitrógeno amoniacal en mg/l	Instrumentos de laboratorio (instrumentos de campo)
V.D Consumo de cloro	Desinfectante eficaz y económico para el tratamiento y potabilización de agua	Concentración de cloro libre residual	Instrumento de laboratorio (método colorimétrico)

Tabla 1: Operacionalización de variables de investigación

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

### 3. Tipo de investigación

#### 3.1 Investigación experimental

La presente investigación es experimental debido a que el investigador manipula una o más variables de estudio para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas.

Es decir, la investigación experimental consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Con el fin de describir de qué modo o que causa produce una situación o acontecimiento particular, Montgomery define literalmente al experimento como "... una prueba o ensayo", en la que es posible manipular deliberadamente una o más variables independientes para observar los cambios en la variable dependiente en una situación o contexto estrictamente controlado por el investigador (Montgomery, 1993, p.98).

Lo que se realizó es manipular la variable independiente (nitrógeno amoniacal en relación a la variable dependiente (consumo de cloro), para descubrir lo planteado en el objetivo principal que es "determinar el consumo del cloro por la presencia del nitrógeno amoniacal en el agua", y así conseguir datos que respalden nuestras decisiones en la investigación, el tiempo o la falta de este influye mucho para establecer la relación causa efecto entre las dos variables, lo que hicimos es usar tres elementos importantes de una investigación como el control, la manipulación y observación durante el proceso de toma de datos, así mismo las mediciones se realizaron de forma exacta para no perjudicar el proceso de pruebas.



### 3.2 Diseño de investigación

#### 3.2.1 Diseño experimental verdadero

De acuerdo con Salkind, para que en investigación sea un experimento verdadero, se requiere que haya una manipulación intencional de una o más variables independientes, que se realice asignación aleatoria de los sujetos participantes de la investigación a cada uno de los grupos (experimental y de control), y que ejerza un riguroso control de las variables objeto de medición y sobre las variables que puedan tener algún impacto en los resultados del experimento (1998, p.41).

### 3.3 Área de investigación.

Nuestra investigación está situada en la Piscigranja “Porcón” ubicado en el departamento de Cajamarca provincia de Cajamarca y distrito de Cajamarca.

PUNTO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
PUNTO DE EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA	7,70323168	78,6330481	3126 MSNM

Tabla 2: Coordenadas del punto de extracción de la muestra

Fuente: elaboración propia.



Figura 16: Ubicación del punto de extracción de la muestra

Fuente: Google Earth

### 3.4 Unidad de análisis

Agua de descarga de piscigranja “Porcón”.

### 3.5 Universo

Granja Porcón \_Cajamarca.

### 3.6 Muestra

Agua de descarga de piscigranja “Porcón”.

### **3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.7.1 Técnicas de investigación**

##### **3.7.1.1 Muestreo**

“Muestreo es la técnica empleada para la selección de elementos (unidad de análisis o de investigación) representativos de una población de estudio que conformarán una muestra y que será utilizada para hacer inferencias (generalización) a la población de estudio” (Espinoza, 2016, p.22).

Según Otzen & Manterola, dice que una muestra puede ser obtenida de dos tipos: probabilística y no probabilística. Las técnicas de muestreo probabilísticas, permiten conocer la probabilidad que cada individuo a estudio tiene que ser incluido en la muestra a través de una selección al azar. En cambio, en las técnicas de muestreo de tipo no probabilística, la selección de los sujetos de estudio dependerá de ciertas características, criterios que él investigador considere en ese momento (2017, p.10).

Para llevar a cabo el muestreo de esta investigación se utilizó la técnica de muestreo no probabilístico (muestreo por juicio o discrecional), la cual se tomó como principal criterio la presencia de nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) en la descargas del agua de la piscigranja “Porcon”, luego de tener seleccionado el punto de la muestra procedimos a la recolección de la muestra obteniendo 40 Litros de agua de la descarga de la piscigranja “Porcon”, la cual fueron acondicionadas para llevar al laboratorio donde se realizaría las pruebas.

### **3.7.1.2 Medición**

Según Garza, la medición es el proceso de observación de personas, objetos entre otros aspectos de la realidad, que busca el sentido de las cosas. Para lograr esto es necesario medir y cuantificar los aspectos de interés científico. Señalan la importancia de la medición, la cual consideran, como una teoría auxiliar que establece la relación entre indicadores y constructos, parte de la base, que la medición tiene la misma importancia para la investigación científica que la teoría fundamental o sustantiva, mediante la cual se busca explicar los fenómenos, por medio de la especificación de las relaciones de unos conceptos, con otros (2009, p.17).

Esta técnica de investigación será aplicada en los distintos parámetros que son implicados como cloro inicial, cloro libre residual, cloro total residual, cloro combinado, temperatura, pH, conductividad.

## **3.7.2 Procedimiento experimental**

### **3.7.2.1 Acondicionamiento de la muestra en laboratorio**

Primeramente, convertimos el agua de descarga de la piscigranja a un agua sintética, añadiendo diferentes concentraciones de sal de cloruro de amonio, así mismo acondicionamos los equipos para la realización de pruebas pre-experimentales y experimentales, como el test de jarras, el multiparámetro y el kit colorimétrico para medición de cloro, así mismo se midió las concentraciones de nitrógeno amoniacal, la cantidad de cloro, como también la cantidad de agua y número de pruebas. Para la realización de las pruebas pre-experimentales y las pruebas experimentales, se acondiciono al test de jarras a una agitación constante de 100 RPM con un tiempo de 30 minutos.

### 3.7.2.2 Caracterización de las pruebas pre-experimentales

Para realizar las muestras que se obtuvo de las descargas de agua de la piscigranja “Porcon” se ha tenido en cuenta los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica y temperatura, estos parámetros han sido determinados con equipos de laboratorio donde fueron realizadas las pruebas. Para determinar la concentración de nitrógeno amoniacal de agua directamente extraído de la piscigranja se envió a analizar en un laboratorio acreditado (SGS), donde se realizó el ensayo correspondiente para determinar la concentración de nitrógeno amoniacal del agua, dicho laboratorio utilizó el método de electrodo selectivo de amoníaco (EW-APHA4500NH3D-XC) para su determinación.

Al obtener los resultados de la muestra extraída de la piscigranja, arrojé un resultado de concentración muy bajo de nitrógeno amoniacal (0.76 mg/L), lo cual dificultaba evidenciar este compuesto. Ante ello se optó por la adición de la sal de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) a la muestra, logrando aumentar la concentración de nitrógeno amoniacal para la realización de las correspondientes pruebas. Los datos que han sido obtenidos en las pruebas están registrados en un formato diseñado según su finalidad.

### 3.7.2.2.1 Realización de las pruebas

Para realizar las pruebas experimentales hemos hecho uso de los sistemas que fueron acondicionados en laboratorio (test de Jarras). Las pruebas se acondicionaron en 4 baldes cada uno con 5l de agua, de los 4 baldes el primero es sin adición de sal de cloruro de amonio, la adición de esta sal es para el segundo tercero y cuarto balde respectivamente.

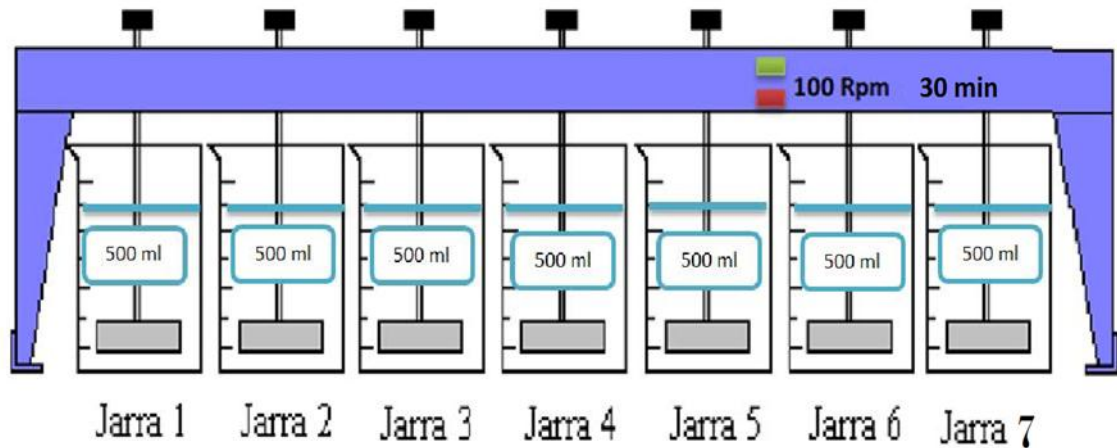


Figura 17: Esquema general de set de pruebas experimentales (test de jarras)  
 Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2.2.2 Primer set de pruebas para 0.76 mg NH<sub>3</sub>-N/L

Para realizar esta prueba se utilizó el agua directamente de descarga de la piscigranja “Porcon”, es decir sin adición de sal de cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>Cl), así mismo colocamos 500 ml en 7 vasos precipitados el cual se colocó al equipo de test de jarras, luego se fue adicionando diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio NaClO, (lejía comercial), para después dejar

borbotear por 30 minutos a 100 revoluciones por minutos (RPM), finalmente medir los siguientes parámetros: cloro libre residual, cloro total residual, cloro combinado, temperatura, pH, conductividad.

N° VASO	CANTIDAD DE AGUA CON CLORURO DE AMONIO (0.00)	CANTIDAD DE HIPOCLORITO DE SODIO
1	500 ml	0.25 µl
2	500 ml	0.50 µl
3	500 ml	100 µl
4	500 ml	125µl
5	500 ml	150 µl
6	500 ml	200 µl
7	500 ml	250 µl

Tabla 3: Concentración de nitrógeno amoniacal de 0.76 NH<sub>3</sub>-N/L

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2.2.3 Segundo set de pruebas para 04 mg NH<sub>3</sub>- N/L

Para acondicionar el agua de la descarga de la piscigranja “Porcón” a 04 ppm se adiciono una concentración 0.0766 g de sal de cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>Cl) en un balde con la cantidad de 5 litros de agua el cual es agitado hasta disolverse, así mismo se coloca 500 ml a 7 vasos precipitados para así añadir hipoclorito de sodio NaClO, (lejía comercial) y colocar al equipo de test de jarras durante 30 minutos a 100 RPM para luego realizar

la medición de: cloro libre residual, cloro total residual, cloro combinado, temperatura, pH, conductividad.

N° VASO	CANTIDAD DE AGUA CON CLORURO DE AMONIO (0,0766g)	CANTIDAD DE HIPOCLORITO DE SODIO
1	500 ml	100 µl
2	500 ml	200 µl
3	500 ml	300 µl
4	500 ml	400 µl
5	500 ml	500 µl
6	500 ml	600 µl
7	500 ml	700 µl

Tabla 4: Adición de hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones para agua con 04 mg NH<sub>3</sub>-N/L de concentración de nitrógeno amoniacal

Fuente: Elaboración propia

#### 3.7.2.2.4 Tercer set de pruebas para 08 mg NH<sub>3</sub>-N/L

Para acondicionar el agua de la descarga de la piscigranja “Porcón” a 08 ppm se acondicionó una concentración de 0.1531 g de sal de cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>Cl) en un balde con la cantidad de 5 litros de agua, la cual es agitada hasta disolverse, así mismo se coloca 500 ml a 7 vasos precipitados para así añadir hipoclorito de sodio (lejía comercial), y colocar al equipo de test de jarras durante 30 minutos a 100 RPM para luego realizar la



medición de: cloro libre residual, cloro total residual, cloro combinado, temperatura, pH, conductividad.

N° VASO	CANTIDAD DE AGUA CON CLORURO DE AMONIO (0.1531 g)	CANTIDAD DE HIPOCLORITO DE SODIO
1	500 ml	150 µl
2	500 ml	300 µl
3	500 ml	450 µl
4	500 ml	600 µl
5	500 ml	750 µl
6	500 ml	900 µl
7	500 ml	1000 µl

Tabla 5: Adición de hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones para agua con 08 mg NH<sub>3</sub>-N/L de concentración de nitrógeno amoniacal.

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.7.2.2.5 Cuarto set de pruebas para 12 mg NH<sub>3</sub>-N/L

Para acondicionar el agua de la descarga de la piscigranja “Porcón” a 12ppm se acondiciono una concentración de 0.2297 g de cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>Cl) a un balde con la cantidad de 5 litros de agua la cual es agitado hasta disolverse así mismo se colocó 500 ml a 7 vasos precipitados para así añadir hipoclorito de sodio (lejía comercial) y colocar al equipo de test de jarras durante 30

minutos a 100 RPM para luego realizar la medición de:  
 cloro libre residual, cloro total residual, cloro combinado,  
 temperatura, pH, conductividad.

N° VASO	CANTIDAD DE AGUA CON CLORURO DE AMONIO (0.2297 g)	CANTIDAD DE HIPOCLORITO DE SODIO
1	500 ml	100 µl
2	500 ml	200 µl
3	500 ml	400 µl
4	500 ml	600 µl
5	500 ml	800 µl
6	500 ml	1000 µl
7	500 ml	1200 µl

Tabla 6: Adición de hipoclorito de sodio a diferentes  
 Concentraciones para agua con 12mg NH<sub>3</sub>-N/L de  
 Concentración de nitrógeno amoniacal

Fuente: Elaboración propia

### **3.7.2.3 Caracterización de pruebas experimentales**

Para realizar la caracterización de las pruebas experimentales se tuvo en cuenta: la concentración de nitrógeno amoniacal, adición de cloro, pH, conductividad eléctrica y temperatura. Además, que se midió cloro libre residual, cloro total residual y cloro combinado, estos parámetros han sido determinados mediante equipos de laboratorio donde se realizaron las pruebas

## **3.8 Instrumentos**

### **3.8.1 Instrumentos de laboratorio**

- Multiparámetro
- Jar-test
- Balanza analítica
- Vaso de precipitado (500 ml)
- Cronómetro
- Pipeta electrónica
- Probeta
- Kit de muestreo de agua
- Kit para medición de cloro

### **3.8.2 Instrumentos de campo**

- Libreta de apuntes
- Cámara fotográfica
- Bolígrafos
- Recipientes para toma de muestra
- Equipo de protección personal (EPP)
- Gps

### **3.8.3 Reactivos e insumos**

- Hipoclorito de sodio
- Sal de cloruro de amonio
- Dpd de cloro para la medición de cloro residual y cloro total

### **3.8.4 Materiales**

- Agua de descarga de piscigranja
- Agua ultra pura
- Papel tissue
- Papel toalla
- Balde de 20L aproximadamente

### **3.8.5 Instrumentos de gabinete**

- Computadora
- Libros
- Impresora
- Memoria USB
- Papel Bond A4
- Lapiceros
- Libreta de apuntes

N°	Muestra	Adición de cloro volumen (uL)	Cloro inicial (mg/L)	Cloro Libre Residual (mg/L)	Cloro Total Residual (mg/L)	Cloro combinado (mg/L)	pH	Conductividad eléctrica	Temperatura
1	P5NH3-00-CL25								
2	P5NH3-00-CL50								
3	P5NH3-00-CL100								
4	P5NH3-00-CL125								
5	P5NH3-00-CL150								
6	P5NH3-00-CL200								
7	P5NH3-00-CL250								
8	P5NH3-04-CL100								
9	P5NH3-04-CL200								
10	P5NH3-04-CL300								
11	P5NH3-04-CL400								
12	P5NH3-04-CL500								
13	P5NH3-04-CL600								
14	P5NH3-04-CL700								
15	P5NH3-08-CL150								
16	P5NH3-08-CL300								
17	P5NH3-08-CL450								
18	P5NH3-08-CL600								
19	P5NH3-08-CL750								
20	P5NH3-08-CL900								
21	P5NH3-08-CL1000								
22	P5NH3-12-CL100								
23	P5NH3-12-CL200								
24	P5NH3-12-CL400								
25	P5NH3-12-CL600								
26	P5NH3-12-CL800								
27	P5NH3-12-CL1000								
28	P5NH3-12-CL1200								

Tabla 7: Matriz del diseño experimental

Fuente: Elaboración propia

### **3.9 Técnicas de análisis de datos (estadísticas)**

#### **3.9.1 Método estadístico**

De acuerdo con Meléndez, el método estadístico cumple una función relevante en una investigación, ya que contribuyen a determinar la muestra de sujetos a estudiar, tabular los datos empíricos obtenidos y establecer las generalizaciones apropiadas a partir de ellos. En las ciencias sociales, naturales y técnicas no basta con la realización de las mediciones, sino que se hace necesaria la aplicación de diferentes procedimientos que permiten revelar las tendencias, regularidades y las relaciones en el fenómeno objeto de estudio, los métodos estadísticos más importantes son: los descriptivos e inferenciales (2006, p.14).

La estadística descriptiva permite organizar y clasificar los indicadores cuantitativos obtenidos en la medición, revelándose a través de ellos las propiedades, relaciones y tendencias del fenómeno, ya que en muchas ocasiones no se perciben de manera inmediata. Las formas más frecuentes de organizar la información son, mediante tablas de distribución de frecuencias, gráficos, y las medidas de tendencia central como: la mediana, la media, la moda, desviación estándar y otros. La estadística inferencial se emplea en la interpretación y valoración cuantitativa de las magnitudes del fenómeno que se estudia, en este caso se determinan las regularidades y las relaciones cuantitativas entre propiedades sobre la base del cálculo de la probabilidad de ocurrencia. Las técnicas más aplicadas son: prueba de T-Student, prueba de Chi cuadrado, el análisis factorial, la correlación, regresión lineal, anova y otros (Meléndez, 2006, p.15).

#### **3.9.2 Técnicas para el procedimiento**

La identificación de los resultados ha sido en gabinete con el objetivo de analizar y observar la concentración óptima, el tiempo óptimo y la velocidad de agitación para determinar el break point (punto de quiebre). La ubicación del área de muestreo se ah referenciado mediante una fuente de internet (Google Earth), y para

el procesamiento de datos utilizamos el programa estadístico Minitab, con el método de ANOVA, t-student y correlación de Pearson y de spearman.

### **3.9.2.1 Análisis de varianza (ANOVA)**

El análisis de la varianza (ANOVA) es una potente herramienta estadística de gran utilidad tanto en la industria para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos. Los ejemplos de aplicación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso (Boqué & Maroto, 1997).

### **3.9.2.2 Distribución T-Student.**

En probabilidad y estadística, la distribución T-Student es una distribución de probabilidad que surge del problema de apreciar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeña, aparece de manera natural al realizar la prueba T-Student para la determinación de las diferencias entre dos medias muestrales y para la construcción del intervalo de confianza para la diferencia entre las medias de dos poblaciones cuando se desconoce la desviación típica de una población y esta debe ser estimada a partir de los datos de una muestra (Boqué & Maroto, 1997).

### **3.9.2.3 Correlacion de Spearman**

Este coeficiente es una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos. Existen dos métodos para calcular el coeficiente de correlación de los rangos: uno, señalado por Spearman y otro, por Kendall. El r de Spearman llamado también rho de Spearman es más fácil de calcular que el de Kendall. Dentro de los métodos no paramétricos se encuentra el

análisis de Correlación de Spearman, el cual pretende examinar la dirección y magnitud de la asociación entre dos variables cuantitativas, es decir la intensidad de la relación entre las variables, en cualquier tipo de asociación, no necesariamente lineal. Asimismo, permite identificar si, al aumentar el valor de una variable, aumenta o disminuye el valor de la otra variable, y ofrece un coeficiente de correlación, que cuantifica el grado de asociación entre dos variables numéricas (Martinez Ortega & Tuya Pendas, 2009).

### 3.9.3 Aspectos éticos de la investigación

Como testistas la realización de esta tesis se llevó a cabo de manera responsable, honesta, y con el propósito de que sea de beneficio para la sociedad y sobre todo en el estudio del agua, por lo cual todo será realizado con veracidad y sin alteración de datos o resultados, y con ello lograr llegar al objetivo que nos hemos trazado al inicio del desarrollo de esta investigación.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Especificaciones de factores y niveles

Factor	Unidades	Niveles						
		1	2	3	4	5	6	7
Velocidad de Agitación	RPM	100	100	100	100	100	100	100
Tiempo	Min	30	30	30	30	30	30	30
Concentración de cloruro de amonio	Mg/L	0.76	04	08	12			
Concentración de hipoclorito de sodio	μL							

Tabla 8: Especificaciones de factores y niveles

Fuente: Elaboración propia



#### 4.2 Datos obtenidos de pruebas

N°	Muestra N-NH <sub>4</sub> mg/L	Velocidad de agitación (RPM)	Concentración de (NH <sub>4</sub> Cl)	Cloro inicial mg/l	Cloro Libre residual mg/l	Cloro Total residual mg/l	Cloro combinado	pH	Conductividad Eléctrica	Temperatura
2	P5NH3-00-CL025	100	0.76 g	2.31	1.47	2.32	0.85	6.94	117	21.1°C
3	P5NH3-00-CL050	100	0.76 g	4.63	1.72	3.08	1.36	6.88	118	22.1°C
4	P5NH3-00-CL100	100	0.76 g	9.26	3.76	4.56	0.8	6.86	121	22.8 °C
5	P5NH3-00-CL125	100	0.76 g	11.57	2.82	5.6	2.78	6.84	130	22.0 °C
6	P5NH3-00-CL150	100	0.76 g	13.89	1.02	4.52	3.5	6.85	140	22.5 °C
7	P5NH3-00-CL200	100	0.76 g	18.52	1.32	1.44	0.12	6.85	148	23.0 °C
8	P5NH3-00-CL250	100	0.76 g	23.15	2.82	4.16	1.34	7.04	161	20.9 °C
10	P5NH3-04-CL100	100	4.76 g	9.26	1.12	2.08	0.96	7.20	134	22.2 °C
11	P5NH3-04-CL200	100	4.76 g	18.52	1.46	4.24	2.78	7.25	140	22.6 °C
12	P5NH3-04-CL300	100	4.76 g	27.78	2.46	7.32	4.86	7.29	142	21.6 °C
13	P5NH3-04-CL400	100	4.76 g	37.04	1.62	12.32	10.7	7.32	151	20.9 °C
14	P5NH3-04-CL500	100	4.76 g	46.30	1.44	14.72	13.28	7.37	162	21.2 °C
15	P5NH3-04-CL600	100	4.76 g	55.55	2.62	17.28	14.66	7.40	168	22.1°C
16	P5NH3-04-CL700	100	4.76 g	64.81	4.32	16.64	12.32	7.44	190	20.8°C
18	P5NH3-08-CL150	100	8.76 g	13.89	0.48	1.6	1.12	7.06	173	22.4°C
19	P5NH3-08-CL300	100	8.76 g	27.78	0.76	3.66	2.9	7.16	180	22.0 °C
20	P5NH3-08-CL450	100	8.76 g	41.67	1.96	6.56	4.6	7.25	185	22.5 °C
21	P5NH3-08-CL600	100	8.76 g	55.55	3.68	13.44	9.76	7.38	193	22.4 °C
22	P5NH3-08-CL750	100	8.76 g	69.44	2.24	16.48	14.24	7.48	213	22.9 °C
23	P5NH3-08-CL900	100	8.76 g	83.33	3.86	21.76	19.9	7.61	218	21.1 °C
24	P5NH3-08-CL1000	100	8.76 g	92.59	5.64	22.72	17.8	7.90	229	21.7 °C
26	P5NH3-12-CL100	100	12.76 g	9.26	0.28	1.88	1.6	7.43	318	21.0 °C
27	P5NH3-12-CL200	100	12.76 g	18.52	0.36	4.24	3.88	7.52	329	22.4 °C
28	P5NH3-12-CL400	100	12.76 g	37.04	0.66	6.4	5.74	7.58	341	22.5 °C
29	P5NH3-12-CL600	100	12.76 g	55.55	1.22	13.12	11.9	7.60	356	22.2 °C
30	P5NH3-12-CL800	100	12.76 g	74.07	2.07	17.6	15.53	7.62	361	21.7°C
31	P5NH3-12-CL1000	100	12.76 g	92.59	1.36	18.88	17.52	7.68	386	21.7 °C
32	P5NH3-12-CL1200	100	12.76 g	111.11	3.95	21.92	17.97	7.76	398	21.1 °C

Tabla 9: datos de las pruebas experimentales

Fuente: elaboración propia

### 4.3 Análisis e interpretación de resultados

#### 4.3.1 Presentación de resultados

Las pruebas de laboratorio se hicieron en 4 set de pruebas, las cuales se cambió el nivel de concentración del nitrógeno amoniacal, para determinar la relación del cloro requerido por cada mg de nitrógeno amoniacal que aumenta en la muestra.

**4.3.1.1 Nitrógeno amoniacal:** La concentración de nitrógeno amoniacal de cada prueba se registra en la tercera columna de la *tabla 10* y se expresa en mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L. El primer set es agua proveniente de la piscigranja Porcon-Cajamarca, la cual tuvo una concentración de nitrógeno amoniacal de 0.76 mg/L, para los siguientes sets de pruebas se le adicionó cloruro de amonio con la finalidad de obtener 4.76 mg/L, 8.76 mg/L y 12.76 mg/L (expresadas en mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L) para el segundo, tercer y cuarto set respectivamente. Como se puede observar a cada set se le fue adicionando 4 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L, la cantidad de solución por cada set que se preparó tuvo un volumen de 5L, el nitrógeno amoniacal que se le añadió proviene de la adición de la sal de cloruro de amonio al 99.8%, la cual se determinó mediante la siguiente formula:

$$W_{NH_4Cl} = (C_{N-NH_3}) \left( \frac{53.49 \text{ g } NH_4Cl}{14 \text{ g } N \times \text{Pureza}} \right) (V)$$

Donde:

W = Peso (mg)

C = Concentración en mg/L

V = Volumen (L)

De acuerdo con esta fórmula, los pesos para cada set de preparación  
 Fueron los siguientes:

N° de Set	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
Volumen (L)	5.0	5.0	5.0	5.0
Adición de NH <sub>4</sub> Cl (mg)	0.0	76.6 0.0766g	153.1 0.1531g	229.7 0.2297g
Concentración de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0.76	4.76	8.76	12.76

Tabla 10: Pesos de preparación de amoniaco  
 Fuente: Elaboración propia

**4.3.1.2 Adición de cloro:** La adición de cloro se realizó mediante la lejía comercial cuya concentración es de 4.86 % representado como Hipoclorito de Sodio, dicha adición se realizó en alícuotas medidas con una micropipeta, por cada alícuota la concentración se calculó de la siguiente manera:

$$C_{Cl_2(mg/L)} = \left(4.86 \frac{g}{100 mL}\right) \left(\frac{70.91 g Cl_2}{74.44 g NaClO}\right) \left(\frac{10^3 mg}{1 g}\right) \left(\frac{10^3 mL}{1 L}\right) \left(\frac{V_{alic}}{V_m}\right)$$

Donde:

$V_{alic}$  = Volumen alícuota (mL)

$V_m$  = Volumen de muestra (mL) = 500 mL

Los volúmenes de las alícuotas se encuentran en la cuarta columna y las concentraciones en la quinta columna de la tabla de resultados, que se identifica como la concentración de cloro inicial, es decir justo al momento que empieza la reacción.

- 4.3.1.3 Cloro libre:** También conocido como “Cloro libre residual”, es el cloro activo que para reaccionar con algún compuesto apto a oxidarse, se mide luego de 30 minutos de reacción (basada en los tiempos de residencia de las instalaciones de cloración de agua potable), se mide el cloro libre residual, es decir, el cloro activo que falta reaccionar, este cloro libre se encuentra registrado en la sexta columna, la cual es una respuesta que nos ayuda a determinar la cantidad de cloro. El cloro libre residual es una de las respuestas más importantes de la presente investigación.
- 4.3.1.4 Cloro total:** También conocido como cloro total residual. La medición del cloro total residual es un complemento a la investigación para ver la cantidad de cloro combinado que se genera y además el cloro total residual debe ser menor o igual al cloro inicial activo, pero siempre menor debido a que el cloro inicial se convierte en cloro combinado y en cloruros. Por lo tanto, el cloro total residual es considerado para esta investigación como una medida de control. Las mediciones se encuentran en la séptima columna.
- 4.3.1.5 Cloro combinado:** Representa al cloro en forma de cloraminas, las cuales a la vez puede seguir reaccionando. Esta medición es la diferencia entre el cloro total y el cloro libre, este valor también es un complemento a la investigación y es considerada para esta investigación como una medida de control.
- 4.3.1.6 Parámetros de pH, Conductividad Eléctrica y Temperatura:** Estos parámetros son de referencia de las condiciones en las cuales se realizaron cada prueba de laboratorio, que si bien existe un cambio que es propio de la adición tanto de la sal de cloruro de amonio como del hipoclorito de sodio.

### 4.3.2 Resultados de las pruebas de laboratorio

Los resultados se presentan en la siguiente tabla de cada uno de los Set de pruebas.

N°	Muestra	N-NH4 (mg/L)	Adición Cloro Volumen (uL)	Cloro inicial (mg/L)	Cloro Libre Residual (mg/L)	Cloro Total Residual (mg/L)	Cloro combinado (mg/L)	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	T °C
1	P1NH3-00-CL0025	0.76	25	2.31	1.47	2.32	0.85	6.94	117	21.1
2	P1NH3-00-CL0050	0.76	50	4.63	1.72	3.08	1.36	6.88	118	22.1
3	P1NH3-00-CL0100	0.76	100	9.26	3.76	4.56	0.8	6.86	121	22.8
4	P1NH3-00-CL0125	0.76	125	11.57	2.82	5.6	2.78	6.84	130	22.0
5	P1NH3-00-CL0150	0.76	150	13.89	1.02	4.52	3.5	6.85	140	22.5
6	P1NH3-00-CL0200	0.76	200	18.52	1.32	1.44	0.12	6.85	148	23.0
7	P1NH3-00-CL0250	0.76	250	23.15	2.82	4.16	1.34	7.04	161	20.9
8	P2NH3-04-CL0100	4.76	100	9.26	1.12	2.08	0.96	7.20	134	22.2
9	P2NH3-04-CL0200	4.76	200	18.52	1.46	4.24	2.78	7.25	140	22.6
10	P2NH3-04-CL0300	4.76	300	27.78	2.46	7.32	4.86	7.29	142	21.6
11	P2NH3-04-CL0400	4.76	400	37.04	1.62	12.32	10.7	7.32	151	20.9
12	P2NH3-04-CL0500	4.76	500	46.30	1.44	14.72	13.28	7.37	162	21.2
13	P2NH3-04-CL0600	4.76	600	55.55	2.62	17.28	14.66	7.40	168	22.1
14	P2NH3-04-CL0700	4.76	700	64.81	4.32	16.64	12.32	7.44	190	20.8
15	P3NH3-08-CL0150	8.76	150	13.89	0.48	1.6	1.12	7.06	173	22.4
16	P3NH3-08-CL0300	8.76	300	27.78	0.76	3.66	2.9	7.16	180	22.0
17	P3NH3-08-CL0450	8.76	450	41.67	1.96	6.56	4.6	7.25	185	22.5
18	P3NH3-08-CL0600	8.76	600	55.55	3.68	13.44	9.76	7.38	193	22.4
19	P3NH3-08-CL0750	8.76	750	69.44	2.24	16.48	14.24	7.48	213	22.9
20	P3NH3-08-CL0900	8.76	900	83.33	3.86	21.76	17.9	7.61	218	21.1
21	P3NH3-08-CL1000	8.76	1000	92.59	5.64	22.72	17.08	7.90	229	21.7
22	P4NH3-12-CL0100	12.76	100	9.26	0.28	1.88	1.6	7.43	318	21.0
23	P4NH3-12-CL0200	12.76	200	18.52	0.36	4.24	3.88	7.52	329	22.4
24	P4NH3-12-CL0400	12.76	400	37.04	0.66	6.4	5.74	7.58	341	22.5
25	P4NH3-12-CL0600	12.76	600	55.55	1.22	13.12	11.9	7.60	356	22.2
26	P4NH3-12-CL0800	12.76	800	74.07	2.07	17.6	15.53	7.62	361	21.7
27	P4NH3-12-CL1000	12.76	1000	92.59	1.36	18.88	17.52	7.68	386	21.7
28	P4NH3-12-CL1200	12.76	1200	111.11	3.95	21.92	17.97	7.76	398	21.1

Tabla 11: Presentación de resultados

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3 Análisis y discusión de los resultados

**Determinación de demanda de cloro:** El consumo o demanda de cloro libre residual se determinará mediante la identificación del “break point” en cada set de pruebas, para lo cual debe ser similar a la curva siguiente:

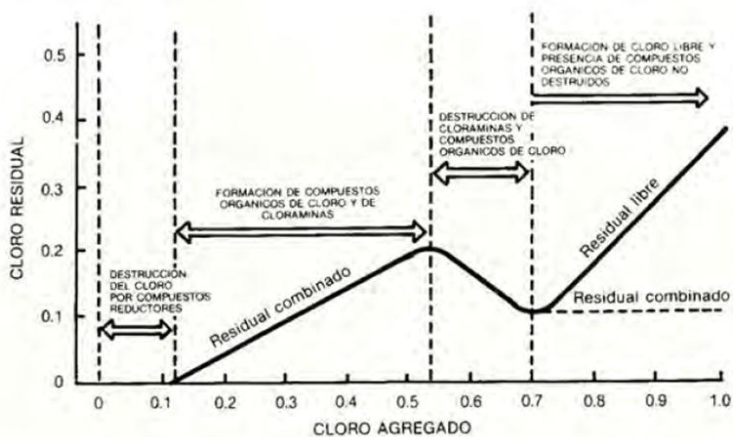


Figura 18: consumo de cloro en la desinfección de agua

Fuente: (American Water Works Association, 2006)

Bajo este principio de identificación se determinan para cada set de pruebas de adición de cloro. El set de pruebas se caracteriza por tener una sola concentración de nitrógeno amoniacal

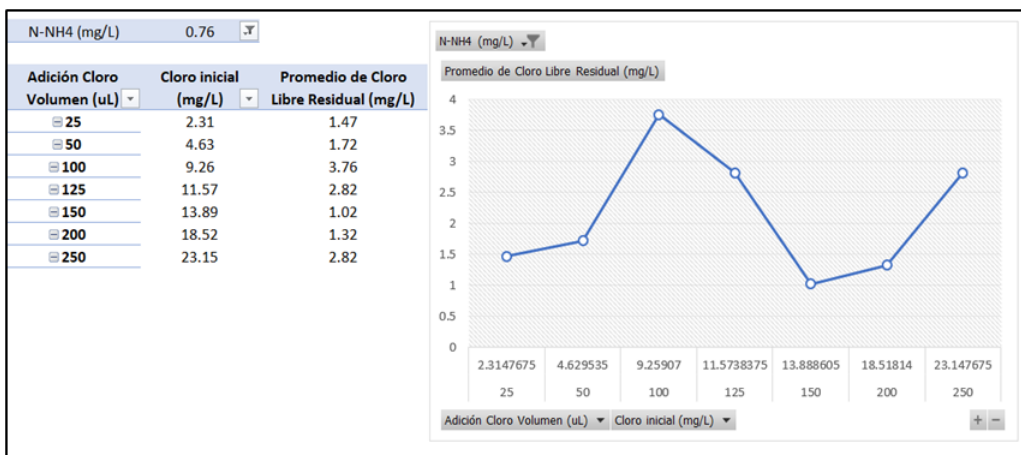


Figura 19: Determinación de break point para 0.76mg/l de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la *figura 19* identificamos el “break point” es de 13.88 mg/L de consumo de cloro.

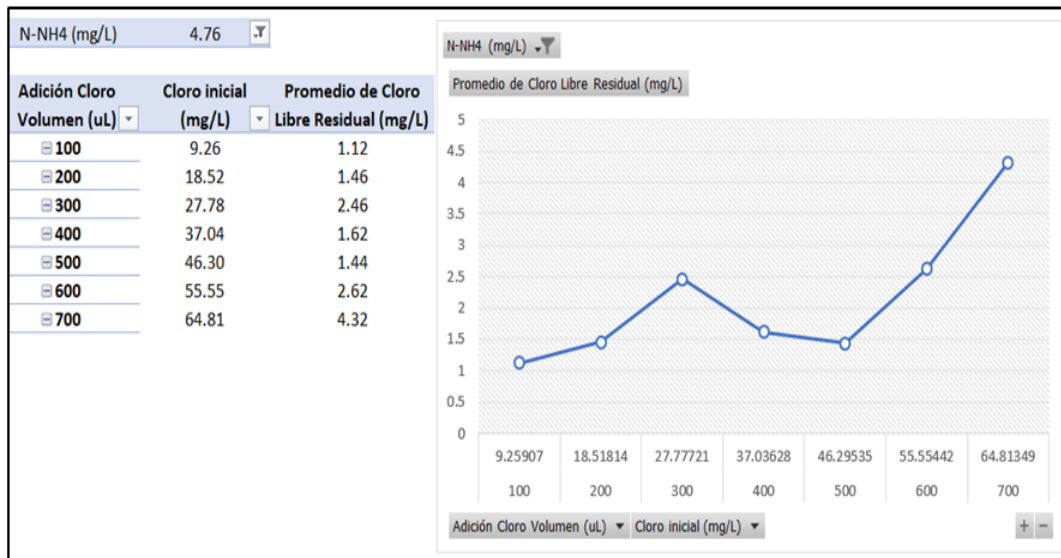


Figura 20: Determinación del Break Point para 4.76 mg/L de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la *figura 20* identificamos el “break point” es de 46.30 mg/L de consumo de cloro.

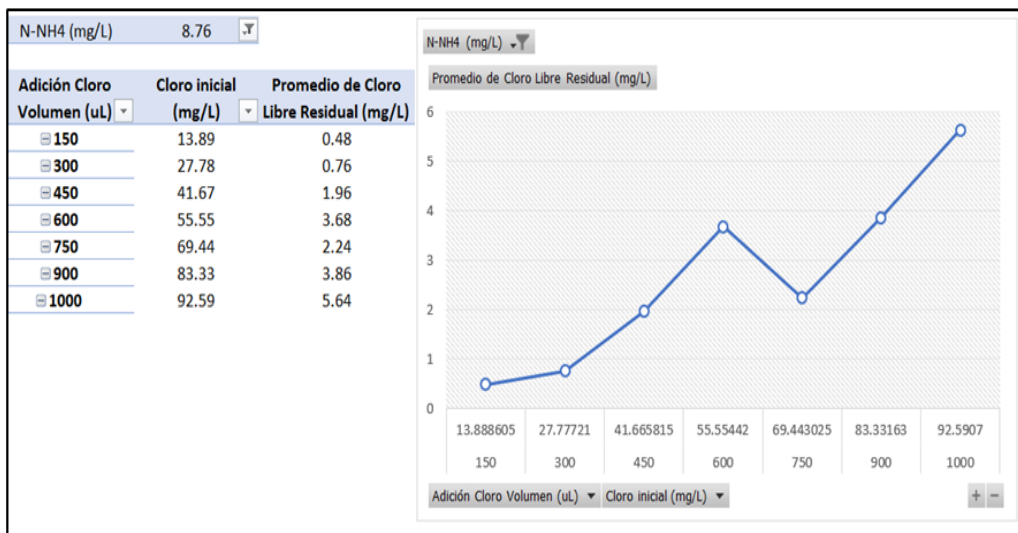


Figura 21: Determinación del Break Point para 8.76 mg/L de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la figura 21 identificamos el “break point” es de 69.44 mg/L de consumo de cloro.

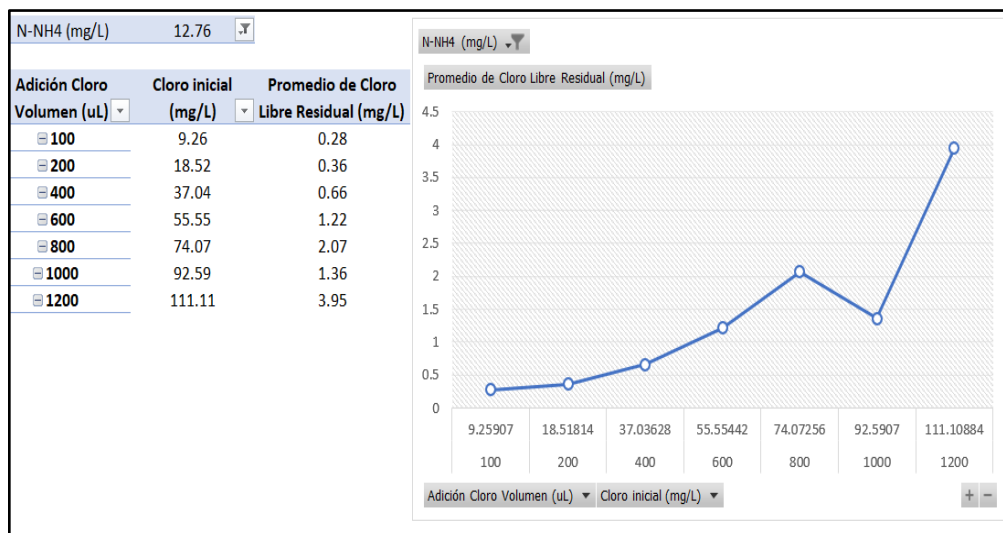


Figura 22: Determinación del Break Point para 12.76 mg/L de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la figura 22 identificamos el “break point” es de 92.59 mg/L de consumo de cloro.

En base a las identificaciones de los “Break Point” elaboramos la tabla de consumo de cloro por cada concentración de nitrógeno amoniacal, así mismo la relación entre el consumo de cloro por cada mg de nitrógeno amoniacal añadido.

N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Adición de cloro (mg/L)	mg Cl <sub>2</sub> /mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Promedio	Desviación Estándar	% CV
0.76	13.89	18.27			
4.76	46.30	8.10			
8.76	69.44	6.94	7.20	0.803	11.2%
12.76	92.59	6.56			

Tabla 12: Consumo de cloro en función al break point

Fuente: Elaboración propia



**4.3.4 Discusión de los resultados de la tabla 12.**

El factor principal en la determinación del consumo de cloro es la relación respecto a la cantidad de nitrógeno amoniacal. En las pruebas del primer set, esta relación es de 18.27 la cual está muy alejada del promedio de las otras tres, esto es debido a que el cloro no solamente reacciona con el nitrógeno amoniacal, tal como se interpreta de lo descrito en el MANUAL DE PRÁCTICAS DE SUMINISTRO DE AGUA — M20 titulado “Prácticas y principios de cloración/cloraminación del agua” de (American Water Works Association, 2006) que la presencia de agentes reductores y otros compuestos inorgánicos causan el consumo inicial del cloro, esto se da en la zona 1 de la figura 20.

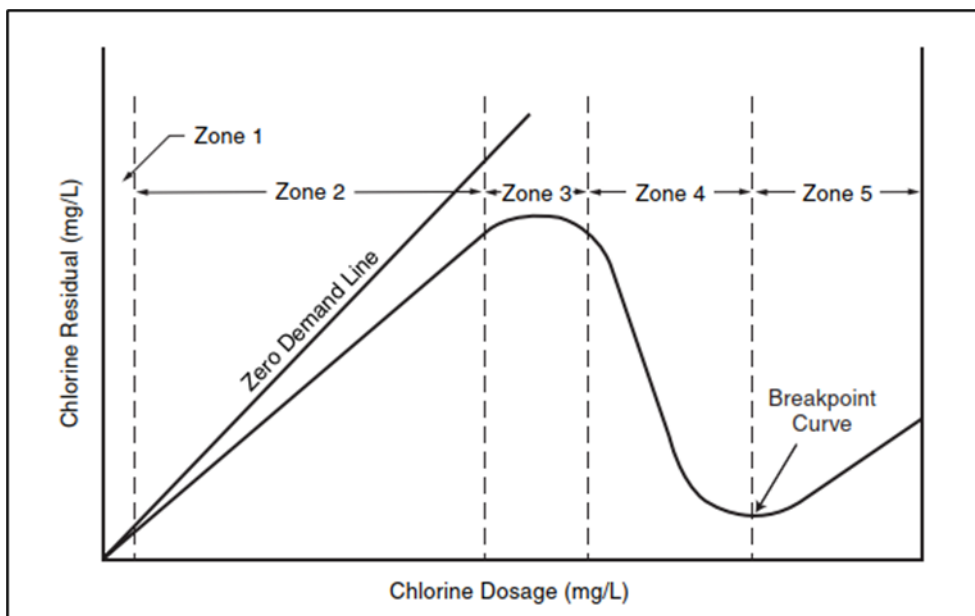
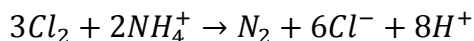


Figura 23: Curva del break point  
 Fuente: (American Water Works Association, 2006, p.23)

Por lo tanto, el consumo en el Breakpoint del primer set de pruebas tendrá una relación mucho más alta de la esperada y será muy variado dependiendo de la matriz del agua y de la variabilidad de los componentes reductores que tuviese la muestra.

En cuanto a la relación del consumo de cloro en función a la adición de nitrógeno añadido tiene un promedio de 7.20 con un coeficiente de variación de 11.2%. El valor teórico según Black y Veatch Corporation (2010), menciona que “en el punto de ruptura, el amoníaco se oxida a nitrógeno (N<sub>2</sub>) y el cloro se reduce a cloruro dentro de un conjunto complejo de reacciones. La estequiometría de la reacción general, en condiciones típicas de tratamiento de agua y aguas residuales, es aproximadamente la siguiente:



Según la ecuación, tanto el nitrógeno del cloro como el amoníaco deberían desaparecer por completo en una relación molar de Cl<sub>2</sub>: N de 3:2 (relación en peso de 7.6:1). Sin embargo, la ecuación no captura completamente la complejidad de las reacciones involucradas, incluidos sus equilibrios y cinéticas. El nitrógeno amoniacal puede desaparecer por completo en el punto de ruptura o reducirse a solo una traza, especialmente a valores de pH neutros; pero en la práctica queda un residuo de cloro “mínimo irreducible”, típicamente unas pocas décimas de miligramo por litro como Cl<sub>2</sub>. La composición de este mínimo irreducible es todavía algo misteriosa, aunque ha sido extensamente estudiada. Cuando se titula, parece ser predominantemente dicloramina, con trazas de monocloramina y cloro libre, pero también puede incluir cloraminas orgánicas, que generalmente se valoran como dicloramina, pero tienen mucho menos poder desinfectante. Debido a la incertidumbre en cuanto a su composición y poder desinfectante, no se debe confiar en el residuo en el punto de ruptura como desinfectante. En consecuencia, algunas autoridades reguladoras exigen un residuo de cloro de 0,2 mg/L o superior para asegurar la desinfección (Black & Veatch Corporation, 2010, p.106).

Para determinar si las pruebas experimentales están dentro del rango de exactitud se realiza la prueba de t-Student tomando como valor teórico el 7.6 de la relación de consumo mg cloro por mg de nitrógeno amoniacal, para esta evaluación se hizo uso del software estadístico de Minitab, el cual generó los descriptos en la tabla 13.

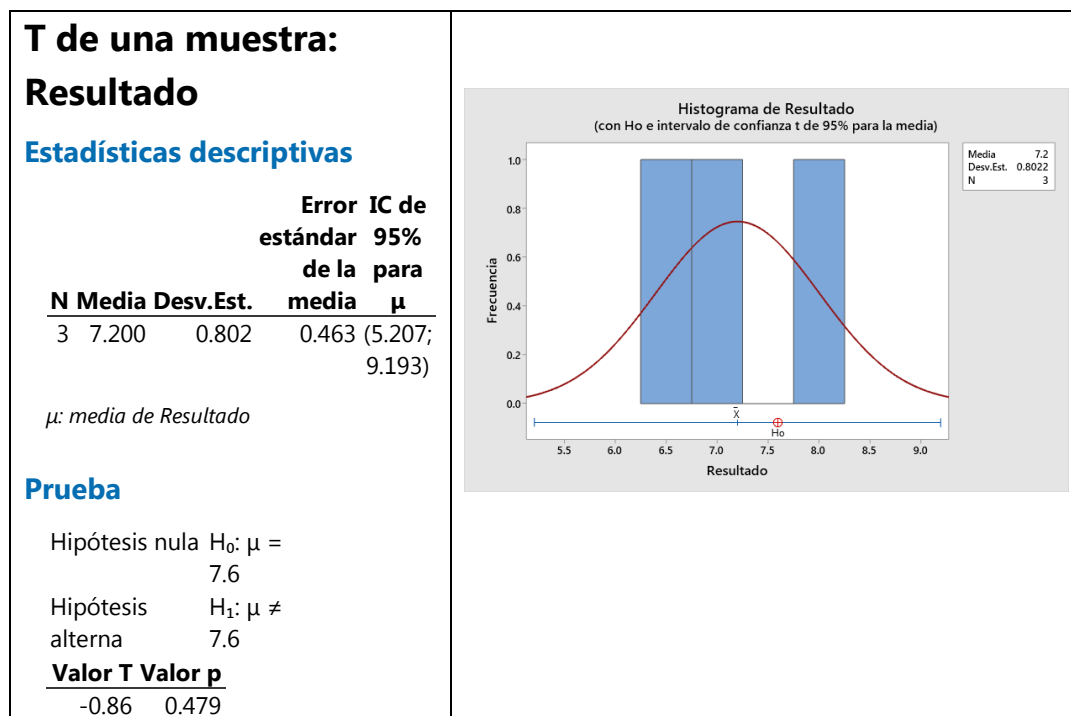


Tabla 13: Resultados de la prueba t-Student

Fuente: Elaboración mediante el software Minitab

Según lo mostrado en la figura 24, podemos decir que la relación determinada está dentro del rango estimado al 95% de confiabilidad, con lo cual se puede concluir que el valor de 7.2 es válido para el experimento. Además, también podemos determinar la exactitud promedio del experimento que es de 5.26 % respecto al valor teórico que es 7.6.

**4.3.5 Análisis de los resultados de pH:** Los valores de pH son medidos para analizar las condiciones en las cuales se desarrollaron los experimentos, los resultados estadísticos de variabilidad entre cada una de las pruebas se realizaron usando el ANOVA de un factor, lo cual se muestra en la *figura 24*:

<b>ANOVA de un solo factor: pH vs. N-NH4 (mg/L)</b>					
<b>Método</b>					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$				
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>					
<b>Información del factor</b>					
<b>Factor</b>	<b>Niveles</b>	<b>Valores</b>			
N-	4	0.76; 4.76;			
NH4(mg/L)	8.76;	12.75			
<b>Análisis de Varianza</b>					
				<b>MC</b>	
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Ajust. Valor F</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
N-	3	1.8577	0.61923	23.24	0.000
NH4(mg/L)					
Error	24	0.6394	0.02664		
Total	27	2.4971			
<b>Resumen del modelo</b>					
				<b>R-</b>	
	<b>R-</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>cuad.</b>		
	<b>S</b>	<b>cuad. (ajustado)</b>	<b>(pred)</b>		
0.163223	74.39%	71.19%	65.15%		
<b>Medias</b>					
<b>N-NH4</b>					
<b>(mg/L)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>IC de 95%</b>	
0.76	7	6.8943	0.0725	(6.7670;7.0216)	
4.76	7	7.3243	0.0850	(7.1970;7.4516)	
8.76	7	7.406	0.288	(7.278; 7.533)	
12.75	7	7.5986	0.1065	(7.4712;7.7259)	

*Desv.Est. agrupada = 0.163223*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

N-NH4			
(mg/L)	N	Media	Agrupación
12.75	7	7.5986	A
8.76	7	7.406	B
4.76	7	7.3243	B
0.76	7	6.8943	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

N-NH4			
(mg/L)	N	Media	Agrupación
12.75	7	7.5986	A
8.76	7	7.406	B
4.76	7	7.3243	B
0.76	7	6.8943	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

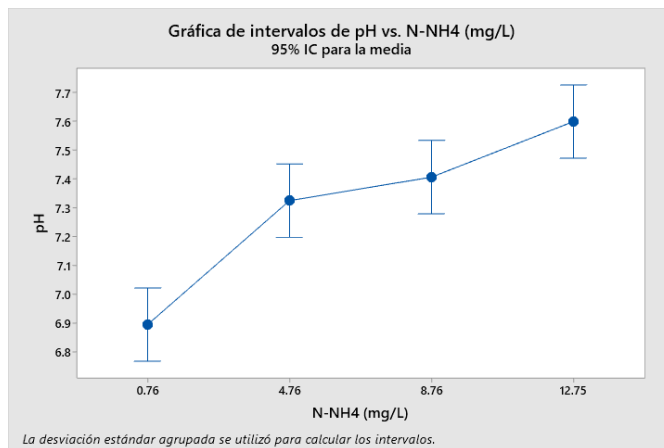


Tabla 14: ANOVA de un solo factor de pH vs. N-NH4 (mg/L)

Fuente: Elaboración mediante el software Minitab 19

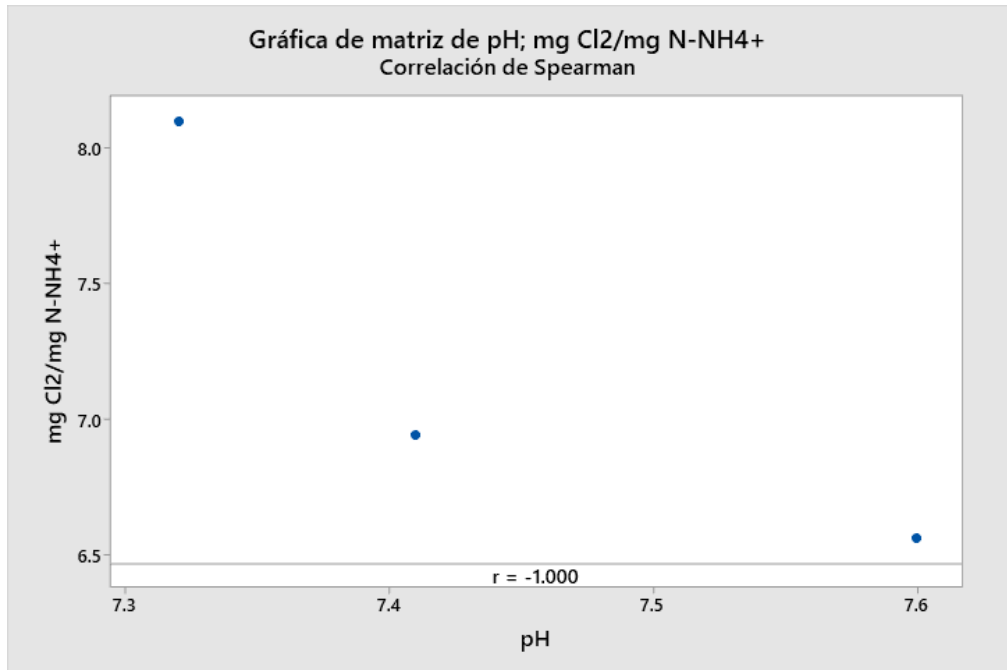
Según los resultados de las pruebas de ANOVA y las comparaciones de Tukey y Fisher se puede decir que los valores de pH son diferentes para cada prueba; y de acuerdo con la gráfica de intervalos de pH vs. N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> van aumentando, es debido a que al adicionar Hipoclorito de Sodio este hace que aumente el pH debido a que es una sal proveniente de una base fuerte y un ácido débil tal como lo describe Chang (2010) que “la disolución de una sal derivada de una base fuerte y un ácido débil es básica ”(pág. 689). Respecto al efecto del pH sobre la relación de consumo de cloro con el nitrógeno amoniacal se muestra en la tabla 15.

pH	mg Cl <sub>2</sub> /mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
7.32	8.10
7.41	6.94
7.60	6.56

Tabla 15: Efecto del pH sobre la relación de Cl<sub>2</sub>: N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar el efecto del pH sobre la relación de consumo de cloro en función a la presencia del nitrógeno amoniacal, se realiza un análisis de correlación, para nuestro caso usaremos el coeficiente de correlación de **SPEARMAN**, debido a que es una prueba no paramétrica a diferencia del coeficiente de pearson.



**Método**

Tipo de Spearman  
 correlación  
 Filas 3  
 utilizadas

*ρ: correlación en parejas de Spearman*

**Correlaciones**

	<b>pH</b>
mg	-
Cl2/mg	N- 1.000
NH4+	

Correlaciones en parejas de Spearman				
Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para $\rho$	Valor p
mg Cl2/mg N-NH4+	pH	-1.000	(*; *)	0.1573

Figura 24: grafica de datos para la correlación de Spearman

Fuente: Elaborado en el Software Minitab 19

Según la evaluación de correlación mediante **SPEARMAN**, se ha logrado definir que no hay asociación debido a que el valor de  $p=0,1573$  es mayor a 0.05 debido a esto se acepta la hipótesis nula. Y la hipótesis nula nos dice: no existe asociación en ambas variables, Según esto se ha determinado que ya no se debe tomar en cuenta el coeficiente de correlación que sería el -1.000.

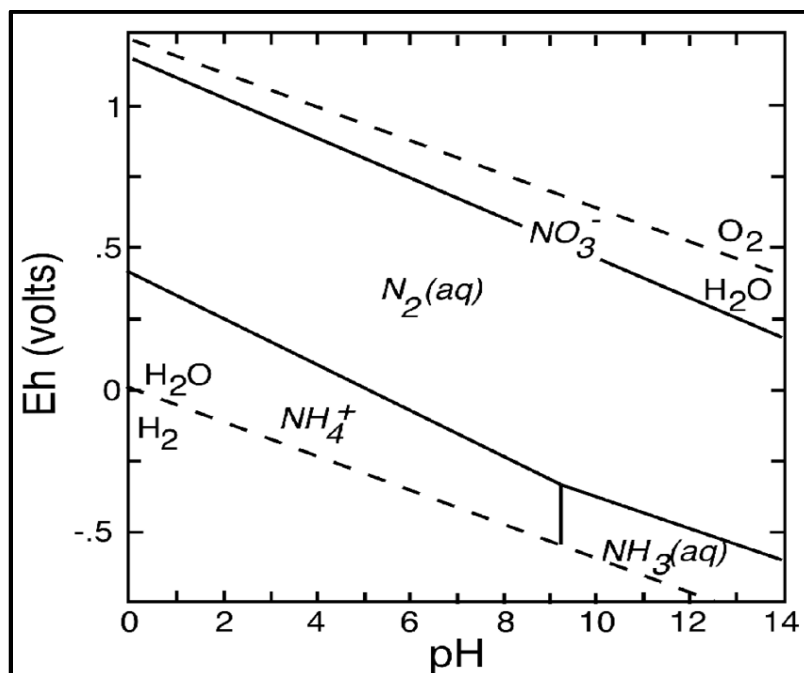
El coeficiente de correlación de -1.000 se toma en cuenta siempre y cuando se acepta la hipótesis del investigador, es la razón por lo que ya no se ha considerado tomar este dato debido que no existe la mencionada asociación de las variables.

La correlación es negativa debido a que una variable baja mientras la otra sube, en la figura 24 podemos observar que a mayor pH va disminuyendo la relación del cloro con el nitrógeno amoniacal y según Black y Veatch Corporation (2010), indica que a pH entre 6 y 9 se forman mono cloraminas y un algo de di cloraminas, es por eso que la relación es mayor a 5.1 y mientras aumenta el pH menos di cloraminas se forman, es por eso que la relación es negativa; el mismo autor indica que la tri cloramina se



forman a pH por debajo de 4.5 excepto que se añada en exceso el cloro respecto al nitrógeno amoniacal.

Otro análisis complementario que se puede hacer es la comparación con el diagrama de POURBAIX o de Potencial Oxido Reducción, en él se presenta las diferentes especies del nitrógeno, las cuales se muestra en la figura 26



**Figura 25:** Diagrama de Pourbaix de las especies del nitrógeno en medio acuoso

Fuente: (Russell & Hall, 2009, pág. 58)

Según la figura 25 podemos observar que a medida que aumenta el pH la especie del ion amonio se transforma en amoniaco, y como el amoniaco es un gas disuelto, éste se va volatilizando y por eso la relación de nitrógeno con el cloro disminuye, tal como se determinó en la correlación de pH versus la relación nitrógeno amoniacal -cloro.

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Cuando al agua se le va añadiendo más nitrógeno amoniacal el consumo de cloro aumenta, esta relación de consumo que se obtuvo es de 7.2 con un coeficiente de variación de 11.2 % entre las diferentes concentraciones preparadas. El valor teórico es de 7.6 con lo cual podemos decir que las pruebas experimentales tuvieron una exactitud de 5.26 % respecto al valor teórico.

El pH no está asociado y no tiene relación respecto al cloro con el nitrógeno amoniacal, debido a que el valor de  $p=0,1573$  es mayor a 0.05 por lo que se acepta la hipótesis nula. Y la hipótesis nula nos dice: no existe asociación en ambas variables

De forma general podemos indicar que según la hipótesis planteada “Si existe nitrógeno amoniacal ( $N-NH_4^+$ ), entonces aumenta el consumo de cloro en el proceso de desinfección de la potabilización del agua” se demuestra mediante el experimento que a medida que aumenta el nitrógeno aumenta el consumo de cloro, cuyo valor experimental es de 7.2 mg de Cloro por cada mg de nitrógeno amoniacal, este aumento también está influenciado por el pH, dentro del rango de 6 a 9, la relación de nitrógeno amoniacal con el cloro disminuye ligeramente a medida que aumenta el pH.

## **5.2. Recomendaciones**

Realizar futuras investigaciones con un mayor rango de pH, desde un pH ácido hasta una zona alcalina, para verificar en que rango aumentan la relación de la demanda de cloro respecto a la presencia de nitrógeno amoniacal.

Realizar futuras investigación a diferentes temperaturas para verificar si este factor influye en la relación de consumo de cloro respecto al contenido de nitrógeno amoniacal.

### Trabajos citados

Cárdenas Calvachi, G. L., & Sánchez ortiz , i. a. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el. *universidad y salud* , 72- 88.

Cárdenas Calvachi, g. l., & Sánchez ortiz , i. A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. En g. l.

Cárdenas Calvachi, & i. A. Sánchez ortiz, *itrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública* (pág. 88). san juan de pasto: ñariño\_ colombia.

Microlab Industrial . (2017). Las formas múltiples del Nitrógeno (amónio-nitrito-nitrato-nitrificación-desnitrificación. *Air liquide*.

American Water Works Association. (2006). *Water Chlorination/Chloramination Practices and Principles - MANUAL OF WATER SUPPLY PRACTICES - M20* (Second ed.). Denver, United States of America: AWWA. doi:ISBN 1-58321-408-9

Angel. (2014). *Estudio de viabilidad de un proceso de eliminación de amonio mediante electrooxidación en la EDAR Valle del Vinalopó (Elda)*. Madrid Alicante.

Arana, A. (mayo de 2015). *ciclo del nitrogeno: fases del nitrogeno*. Obtenido de blogger : <http://ambienteysaludciclodelnitrogeno.blogspot.com/2016/04/fases-del-ciclo-del-nitrogeno.html#:~:text=INMOVILIZACI%C3%93N%20en%20esta%20fase%20del,y%20no%20lo%20pueden%20usar>.

Asociacion Española De Abastecimento De Agua y Saneamiento . (1984). *Manual De Cloracion* . Madrid .

Black & Veatch Corporation . (2010). *White's Handbook of chlorination and alternative disinfectants* (5 edición ed.). states United of American: wiley. Obtenido de file:///C:/Users/Merly/Downloads/Whites%20Handbook%20of%20Chlorination%20and%20Alternative%20Disinfectants%20by%20Black%20%20Veatch%20Corporation%20(z-lib.org).pdf

Black & Veatch Corporation. (2010). *White's Handbook of chlorination and alternative disinfectants* (5th ed.). United States of America: WILEY.

Boqué, R., & Maroto, A. (1997). *El analisis de la varianza (anova)*. Universitat Rovira i Virgili. Tarragona: Imperial Tàrraco.

Brönsted, J. N. (2010). *teoria de acido base*.

cardenas, Cardenas Calvachi, , G. L., & Sanchez Ortiz, I. A. (2013). Nitrogeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente. *Universidad y Salud*, 72-88.

Centro de Informacion y Comunicacion Ambiental de Norte de America A.C. (2017). Ciclo del Nitrogeno. *Centro de Informacion y Comunicacion Ambiental de Norte de America A.C*, 1-5.

Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América A.C. (2017). ciclo del nitrógeno. *Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América A.C*, 1-5.

Christman, K. A. (2008). *Consejo de Química del Cloro*.

Cid. (s.f.).

Espinoza , E. (2016 ). *Universo, muestra y muestreo*. Honduras: Salud mental.

Garza, M. J. (2009). *La medición en el proceso de investigación científica: Evaluación de validez de contenido y confiabilidad* . Mexico : Innovaciones de negocios .

Gonzales, L. (2013). Nitrogeno amoniaco y la importancia de su determinacion. *quimica ambiental* , 12.

Haber , F. (9 de Diciembre de 1918). *El jornalero*. Obtenido de El jornalero:  
[http://www.diquima.upm.es/old\\_diquima/docencia/tqindustrial/docs/cap3\\_amoniaco.pdf](http://www.diquima.upm.es/old_diquima/docencia/tqindustrial/docs/cap3_amoniaco.pdf)

Haber, F. (9 de diciembre de 1918). *el jornalero*. Obtenido de el jornalero:  
[http://www.diquima.upm.es/old\\_diquima/docencia/tqindustrial/docs/cap3\\_amoniaco.pdf](http://www.diquima.upm.es/old_diquima/docencia/tqindustrial/docs/cap3_amoniaco.pdf)

Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo. (2007). *Documentacion, limites, exposicion profesional*. Obtenido de dlep:  
[https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Valores\\_Limite/Doc\\_Toxicologica/FicherosSerie2/DLEP%2025.pdf](https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Valores_Limite/Doc_Toxicologica/FicherosSerie2/DLEP%2025.pdf)

Jurado Juarez , M. L. (2015). *"el amoniaco y sus derivados , productos fundamentales en el desarrollo de la industria petroquimica nacional "*. instituto politecnico nacional , Mexico.

Jurado Juarez, M. L. (2015). *el amoniaco y sus derivados, productos fundamentales en el desarrollo de la industria petroquimica nacional*. Instituto Politecnico Nacional, Mexico.

Kay Kozyra, M. (2006). Water Chlorination, Chloramination Practices. En M. Kay Kozyra, & C. Stearns (Ed.), *Manual of Water Supply Practices* (Vol. 20, págs. 80-85). America Water Works Association, United States of American, United States: Printed on recycled paper.  
Obtenido de  
<file:///C:/Users/Merly/Downloads/Water%20Chlorination%20and%20Chloramination%2>

0Practices%20and%20Principles%20by%20American%20Water%20Works%20Associat  
ion%20(z-lib.org).pdf

Kent, V. (s,f). *El amoniaco* .

kent, v. (s.f). el amoniaco.

Marin, C., & Correa, A. (2010). *contaminacion por nitrogeno inorganico en los ecosistemas acuaticos:problemas medioambientales,criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climatico*. Madrid\_ España: Asociacion española de ecologia terrestre.

Martinez Ortega , R. M., & Tuya Pendas , L. (02 de abril-junio de 2009). EL COEFICIENTE DE CORRELACION DE LOS RANGOS DE SPEARMAN CARACTERIZACION. *revistra habanera de ciencias medicas*, 29. Obtenido de revista habanera de ciencias medicas : <https://www.redalyc.org/pdf/1804/180414044017.pdf>

Meléndez, E. H. (2006). *metodologia de la investigacion*.

Montgomery, D. C. (1993). *Diseño y analisis de experimentos Douglas C. Montgomey*. mexico: Limusa S.A de C.V.

Montgomery, D. C. (1993). *Diseño y analisis de experimentos Douglas C. Montgomey*. Mexico: Limusa S.A de C.V.

Ordoñez, M. d., & Ullauri, H. P. (2011). *filtros caseros, utilizando ferrocemento, diseño para servicio a 10 familias constante de tres unidades de filtros gruesos acendentes , dos filtros lentos de arena, sistema para aplicacion de cloro y un tanque de almacenamiento*. universida de cuenca , facultad de ingeniria civil , cuenca \_ecuador.

Ortega, D. Y., Sam, P. R., & Licea, J. I. (2018). *Reformulación de la solución de hipoclorito de sodio al 1 %*.

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). técnicas de muestreo sobre una población de estudio . En T.

Otzen, & C. Manterola, *técnicas de muestreo sobre una población de estudio* (págs. 227-232 ). temuco - chile .

Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas*. Trabajo Final de Ingeniería, Universidad Católica Argentina, Facultad de Ciencias Agrarias.

Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas*. trabajo final de ingeniería, Universidad Católica Argentina, Facultad de ciencias agrarias.

Peña Cotrino, C. A., & Quijano Prieto, D. M. (2010). *Modelación de nitrógeno en la cuenca alta del río siecha para constituir el desarrollo de transformación de nitrógeno, para implantar en el comportamiento de nitrógeno*. trabajo de tesis para optar el título de ingeniero ambiental y sanitario, Universidad de la Salle, facultad de ingeniería, Bogotá .

Peña Cotrino, C. A., & Quijano Prieto, D. M. (2010). *Modelación de nitrógeno en la cuenca alta del río siecha para constituir el desarrollo de transformación de nitrógeno, para implantar en el comportamiento del Nitrógeno*. Trabajo de tesis para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario, universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería, Bogotá.

Ramirez, L. F. (2016). *programa agua y saneamiento para la prosperidad*. Antioquia.

Rastro B, L., & González L, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista colombiana de ciencias pecuarias*, 20(2), 183-192. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023034010.pdf>

Salkind, N. J. (1998). *Métodos de Investigación*. Universidad de Maryland.



Sanchez Rojas , J. A. (2016). *Eficiencia de remocion de nitrogeno en un sistema unifamiliar de tanque septico mas filtro percolador*. tesis de ingeniero ambiental , UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL, celendin.

Sanchez Rojas, J. A. (2016). *Eficiencia de remocion de nitrogeno en un sistema unifamiliar de tanque septico mas filtro percolador*. celendin .

Sanchez Rojas, J. A. (2016). *eficiencia de remocion de nitrogeno en un sistema unifamiliar de tanque septico mas filtro percolador*. tesis de ingeniero ambiental , universidad nacional de cajamarca , Escuela academico profesional de ingenieria ambiental|, celendin\_ cajamarca.

Sancho Arroyo , S., & Pablo Aranda , M. (2010). calidad del agua potable. *revista cientifica de enfermeria*, 1 al 24.

Sardiñas Peña, O., & Pérez Cabrera, A. (2004). NDeterminación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*.

Siles Fernandez , E., Monforte Garrido, J., Estrany Coda , F., Oliver Pujol , R., & Carreras Coma , S. (2008). *Eliminacion del nitrogeno amoniacal en aguas residuales sanitarias*.

Siles Fernandez, E., Monforte Garrido, J., Estrany Coda, F., Carreras Comas, S., & Oliver Pujol, R. (2008). *Eliminacion del nitrogeno amoniacal en aguas residuales sanitarias*.

Vicedo, J. M. (2013). *tratamiento fisico-quimico y jar test*.

## ANEXOS

### Anexo A



Figura 26: tesistas recogiendo muestras de la descarga del agua de la piscigranja “Porcón” \_ Cajamarca

Fuente: Propia



Figura 27: tesistas haciendo toma de muestras de agua de la descarga de la piscigranja “Porcón” \_ Cajamarca

Fuente: Propia



Figura 28: Fotografía de tesista pesando sal de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) para acondicionar a la muestra de la descarga del agua de la piscigranja, para incrementar la concentración del nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ )

Fuente: Propia



Figura 29: tesista midiendo agua de descarga de la piscigranja para añadir sal de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )

Fuente: Propia



Figura 30: Tesistas añadiendo hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) a la muestra acondicionada con cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )

Fuente: Propia



Figura 31: fotografía del equipo de agitación mecánico “test de Jarras” con las muestras

Fuente: Propia



Figura 32: Tesistas midiendo temperatura, pH y conductividad eléctrica con el equipo Multiparametro

Fuente: propia



Figura 33: Tesistas antes de realizar las mediciones de las muestras

Fuente: Propia



Figura 34: Fotografía Equipo durante la medición de cloro libre y cloro total

Fuente: Propia



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE PREVENCIÓN DE  
RIESGOS

**HOJAS DE DATOS DE RESULTADOS  
DE LOS ANÁLISIS EN EL  
LABORATORIO INNODEBEL S.A.C**

## Anexo B



### LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE202211515  
REV. 00

---

#### DATOS DEL CLIENTE

**Solicitante:** Gilmer Ivan Leiva Burga  
**RUC / DNI:**  
**Dirección fiscal:** Jr. Cajamarcorco N° 320 Cajamarca  
**Representante:** Gilmer Ivan Leiva Burga  
**Correo Electronico:** [leiva\\_14.95@hotmail.com](mailto:leiva_14.95@hotmail.com)  
**Teléfono:** 991060061  
**Proyecto:** Consumo de cloro por el nitrógeno amoniacal presente en el agua sintética

---

#### CONTROL DEL LABORATORIO

**Fecha de recepción:** 21/02/2020  
**Fecha de ejecución:** 21/02/2020  
**Fecha de reporte:** 05/03/2020  
**Cadena de custodia:** -

---

#### MUESTREO

**Muestreo realizado por:** Cliente  
**N° de muestras:** 7  
**Procedencia:** Piscigranja de Porcón

ESTACIÓN DE MUESTREO
P1NH3-00-CL0025
P1NH3-00-CL0050
P1NH3-00-CL0075
P1NH3-00-CL0100
P1NH3-00-CL0125
P1NH3-00-CL0150
P1NH3-00-CL0175



JOSE LUIS URIBE  
Ingeniero Ambiental Y Prevencion De Riesgo  
Reg.CIP. N° 235778

Jefe del Laboratorio de Ensayos





**LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL**

**INFORME DE ENSAYO N° IE202211515  
 REV. 00**

**RESULTADOS**

ID Muestra	20-020035	20-020466	20-020467	20-020468	20-020469	20-020470	20-020471
Fecha	21/02/2020	21/02/2020	21/02/2020	21/02/2020	21/02/2020	21/02/2020	21/02/2020
Hora	12:35	12:40	12:45	12:50	12:55	13:00	13:05
Id. Cliente	P1NH3-00- CL0025	P1NH3-00- CL0050	P1NH3-00- CL0075	P1NH3-00- CL0100	P1NH3-00- CL0125	P1NH3-00- CL0150	P1NH3-00- CL0175
Cloro inicial (mg/L)	2.31	4.63	9.26	11.57	13.89	18.52	23.15
Cloro Libre Residual (mg/L)	1.47	1.72	3.76	2.82	1.02	1.32	2.82
Cloro Total Residual (mg/L)	2.32	3.08	4.56	5.6	4.52	1.44	4.16
Cloro combinado (mg/L)	0.85	1.36	0.8	2.78	3.5	0.12	1.34
pH	6.94	6.88	6.86	6.84	6.85	6.85	7.04
Conductividad Eléctrica (uS/cm)	117	118	121	130	140	148	161
T °C	21.1	22.1	22.8	22	22.5	23	20.9

**REFERENCIA DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Parámetro	Método de ensayo
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition (2017). Method 4500 Cl (Residual) B.	Cloro Libre	LE-ME-014
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition (2017). Method 4500 Cl (Residual) B.	Cloro Total	LE-ME-014
4500 -H+ B. Electrometric Method. SM Ed. 23th.	pH	LE-ME-001
2510 B. Laboratory Method. SM Ed. 23th.	Conductividad Eléctrica	LE-ME-003
2550. Temperature. SM Ed 23th.	Temperatura	LE-ME-024

**OBSERVACIONES**

No hay observaciones



**LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL**

**INFORME DE ENSAYO N° IE2002221600  
REV. 00**

---

**DATOS DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Gilmer Ivan Leiva Burga  
**RUC / DNI:**  
**Dirección fiscal:** Jr. Cajamarcorco N° 320 Cajamarca  
**Representante:** Gilmer Ivan Leiva Burga  
**Correo Electronico:** [leiva\\_14.95@hotmail.com](mailto:leiva_14.95@hotmail.com)  
**Teléfono:** 991060061  
**Proyecto:** Consumo de cloro por el nitrógeno amoniacal presente en el agua sintética

---

**CONTROL DEL LABORATORIO**

**Fecha de recepción:** 22/02/2020  
**Fecha de ejecución:** 22/02/2020  
**Fecha de reporte:** 05/03/2020  
**Cadena de custodia:** -

---

**MUESTREO**

**Muestreo realizado por:** Cliente  
**N° de muestras:** 7  
**Procedencia:** Piscigranja de Porcón

ESTACIÓN DE MUESTREO
P2NH3-04-CL0100
P2NH3-04-CL0200
P2NH3-04-CL0300
P2NH3-04-CL0400
P2NH3-04-CL0500
P2NH3-04-CL0600
P2NH3-04-CL0700



**JOSE LUIS URRUTIA**  
Ingeniero Ambiental Y Prevencion De Riesgos  
Reg.CIP. N° 235778

Jefe del Laboratorio de Ensayos

**RESULTADOS**

ID Muestra	20-020472	20-020473	20-020474	20-020475	20-020476	20-020477	20-020478
<b>Fecha</b>	22/02/2020	22/02/2020	22/02/2020	22/02/2020	22/02/2020	22/02/2020	22/02/2020
<b>Hora</b>	10:20	10:25	10:30	10:35	10:40	10:45	10:50
<b>Id. Cliente</b>	P2NH3-04- CL0100	P2NH3-04- CL0200	P2NH3-04- CL0300	P2NH3-04- CL0400	P2NH3-04- CL0500	P2NH3-04- CL0600	P2NH3-04- CL0700
<b>Cloro inicial (mg/L)</b>	9.26	18.52	27.78	37.04	46.30	55.55	64.81
<b>Cloro Libre Residual (mg/L)</b>	1.12	1.46	2.46	1.62	1.44	2.62	4.32
<b>Cloro Total Residual (mg/L)</b>	2.08	4.24	7.32	12.32	14.72	17.28	16.64
<b>Cloro combinado (mg/L)</b>	0.96	2.78	4.86	10.7	13.28	14.66	12.32
<b>pH</b>	7.2	7.25	7.29	7.32	7.37	7.4	7.44
<b>Conductividad Eléctrica (uS/cm)</b>	134	140	142	151	162	168	190
<b>T °C</b>	22.2	22.6	21.6	20.9	21.2	22.1	20.8

**REFERENCIA DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Parámetro	Método de ensayo
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition (2017). Method 4500 Cl (Residual) B.	Cloro Libre	LE-ME-014
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition (2017). Method 4500 Cl (Residual) B.	Cloro Total	LE-ME-014
4500 -H+ B. Electrometric Method. SM Ed. 23th.	pH	LE-ME-001
2510 B. Laboratory Method. SM Ed. 23th.	Conductividad Eléctrica	LE-ME-003
2550. Temperature. SM Ed 23th.	Temperatura	LE-ME-024

**OBSERVACIONES**

No hay observaciones



**LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL**

**LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL**

**INFORME DE ENSAYO N° IE2002251410  
 REV. 00**

**RESULTADOS**

ID Muestra	20-020479	20-020480	20-020481	20-020482	20-020483	20-020484	20-020485
<b>Fecha</b>	25/02/2020	25/02/2020	25/02/2020	25/02/2020	25/02/2020	25/02/2020	25/02/2020
<b>Hora</b>	10:45	10:50	10:55	11:00	11:05	11:10	11:15
<b>Id. Cliente</b>	P3NH3-08- CL0150	P3NH3-08- CL0300	P3NH3-08- CL0450	P3NH3-08- CL0600	P3NH3-08- CL0750	P3NH3-08- CL0900	P3NH3-08- CL1000
<b>Cloro inicial (mg/L)</b>	13.89	27.78	41.67	55.55	69.44	83.33	92.59
<b>Cloro Libre Residual (mg/L)</b>	0.48	0.76	1.96	3.68	2.24	3.86	5.64
<b>Cloro Total Residual (mg/L)</b>	1.6	3.66	6.56	13.44	16.48	21.76	22.72
<b>Cloro combinado (mg/L)</b>	1.12	2.9	4.6	9.76	14.24	17.9	17.08
<b>pH</b>	7.06	7.16	7.25	7.38	7.48	7.61	7.9
<b>Conductividad Eléctrica (uS/cm)</b>	173	180	185	193	213	218	229
<b>T °C</b>	22.4	22	22.5	22.4	22.9	21.1	21.7

**REFERENCIA DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Parámetro	Método de ensayo
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition (2017). Method 4500 Cl (Residual) B.	Cloro Libre	LE-ME-014
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition (2017). Method 4500 Cl (Residual) B.	Cloro Total	LE-ME-014
4500 -H+ B. Electrometric Method. SM Ed. 23th.	pH	LE-ME-001
2510 B. Laboratory Method. SM Ed. 23th.	Conductividad Eléctrica	LE-ME-003
2550. Temperature. SM Ed 23th.	Temperatura	LE-ME-024

**OBSERVACIONES**

No hay observaciones



**LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL**

**INFORME DE ENSAYO N° IE2002261530**

**REV. 00**

---

**DATOS DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Gilmer Ivan Leiva Burga  
**RUC / DNI:**  
**Dirección fiscal:** Jr. Cajamarcorco N° 320 Cajamarca  
**Representante:** Gilmer Ivan Leiva Burga  
**Correo Electronico:** [leiva\\_14.95@hotmail.com](mailto:leiva_14.95@hotmail.com)  
**Teléfono:** 991060061  
**Proyecto:** Consumo de cloro por el nitrógeno amoniacal presente en el agua sintética

---

**CONTROL DEL LABORATORIO**

**Fecha de recepción:** 26/02/2020  
**Fecha de ejecución:** 26/02/2020  
**Fecha de reporte:** 05/03/2020  
**Cadena de custodia:** -

---

**MUESTREO**

**Muestreo realizado por:** Cliente  
**N° de muestras:** 7  
**Procedencia:** Piscigranja de Porcón

ESTACIÓN DE MUESTREO
P4NH3-12-CL0100
P4NH3-12-CL0200
P4NH3-12-CL0400
P4NH3-12-CL0600
P4NH3-12-CL0800
P4NH3-12-CL1000
P4NH3-12-CL1200



JOSE LUIS UKIMA  
Ingeniero Ambiental Y Prevencion De Riesgos  
Reg.CIP. N° 235778

**LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL**

**INFORME DE ENSAYO N° IE2002261530  
REV. 00**

**RESULTADOS**

ID Muestra	20-020486	20-020487	20-020488	20-020489	20-020490	20-020491	20-020492
<b>Fecha</b>	26/02/2020	26/02/2020	26/02/2020	26/02/2020	26/02/2020	26/02/2020	26/02/2020
<b>Hora</b>	10:12	10:17	10:22	10:27	10:32	10:37	10:42
<b>Id. Cliente</b>	P4NH3-12- CL0100	P4NH3-12- CL0200	P4NH3-12- CL0400	P4NH3-12- CL0600	P4NH3-12- CL0800	P4NH3-12- CL1000	P4NH3-12- CL1200
<b>Cloro inicial (mg/L)</b>	9.26	18.52	37.04	55.55	74.07	92.59	111.11
<b>Cloro Libre Residual (mg/L)</b>	0.28	0.36	0.66	1.22	2.07	1.36	3.95
<b>Cloro Total Residual (mg/L)</b>	1.88	4.24	6.4	13.12	17.6	18.88	21.92
<b>Cloro combinado (mg/L)</b>	1.6	3.88	5.74	11.9	15.53	17.52	17.97
<b>pH</b>	7.43	7.52	7.58	7.6	7.62	7.68	7.76
<b>Conductividad Eléctrica (uS/cm)</b>	318	329	341	356	361	386	398
<b>T °C</b>	21	22.4	22.5	22.2	21.7	21.7	21.1

**REFERENCIA DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Parámetro	Método de ensayo
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition (2017). Method 4500 Cl (Residual) B.	Cloro Libre	LE-ME-014
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition (2017). Method 4500 Cl (Residual) B.	Cloro Total	LE-ME-014
4500 -H+ B. Electrometric Method. SM Ed. 23th.	pH	LE-ME-001
2510 B. Laboratory Method. SM Ed. 23th.	Conductividad Eléctrica	LE-ME-003
2550. Temperature. SM Ed 23th.	Temperatura	LE-ME-024

**OBSERVACIONES**

No hay observaciones