

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RESINA CONVENCIONAL  
(ANIÓNICA DE BASE FUERTE) EN LA REMOCIÓN DE NITRATOS, EN LAS  
AGUAS PARA CONSUMO HUMANO**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**ANAYA FERNÁNDEZ, OSCAR GONZALO**

**Tingo María – Perú**

**2014**



**T**

**AMB**

**Anaya Fernández, Oscar Gonzalo**

Evaluación de la eficiencia de la resina convencional ( Aniónica de base fuerte ) en las aguas para consumo humano. Tingo María 2014.

64 páginas.; 19 cuadros; 42 figuras.; 21 ref.; 30 cm.

Tesis ( Ingeniero Ambiental ) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María ( Perú ). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

**1. AGUA SUBTERRÁNEA 2. EFICIENCIA 3. INTERCAMBIO  
IÓNICO 4. NITRATOS 5. REMOCIÓN 6. RESINA ANIÓNICA DE  
BASE FUERTE.**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María – Perú



**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 02 de abril de 2014, a horas 7:15 p.m. en la Sala Grados de la UNAS, para calificar la Tesis titulada:

### **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RESINA CONVENCIONAL (ANIÓNICA DE BASE FUERTE) EN LA REMOCIÓN DE NITRATOS, EN LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO”**

Presentado por el Bachiller: **OSCAR GONZALO ANAYA FERNÁNDEZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 15 de abril de 2014.

  
Bgo. M.Sc. **EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMANTE**  
PRESIDENTE

  
Ing. **RICARDO CHÁVEZ ASENCIO**  
VOCAL

  
Ing. M.Sc. **SERGIO RODRÍGUEZ RUBIO**  
VOCAL

  
Dra. **TANIA GUERRERO VEJARANO**  
ASESORA

  
Ing. **JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR**  
ASESOR

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado especialmente a mis padres, hermana, tíos, amigos, quienes fueron el motor impulsador de este sacrificio que con tanto esfuerzo se hizo realidad para poder comenzar una nueva etapa de mi vida:

***Silvia, Oscar, Cristina, Julia y Alberto.***

Gracias por su comprensión, atención en todo momento y por sus sabios consejos del día a día.

## **AGRADECIMIENTOS**

En este periodo, aprendí que una tesis o cualquier trabajo a lo largo de nuestra vida, es para que algo de valor sea producido, una persona debe formar algo de valor en sí mismo. Por este motivo, agradezco sincera y profundamente a todas las personas que me aconsejaron mucho y me ayudaron a producir algo muy gratificante y de mucho valor en mi vida. De manera especial quiero expresar mi reconocimiento y gratitud:

A Dios, por haberme regalado el motivo de existir, la vida y guiarme en todo momento, porque cada día surgen oportunidades para probar que Él es una fuente de poder con magnitudes infinitas.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por haber permitido realizar mi mayor sueño, progresar en mi profesión en una de las mejores universidades de la amazonia peruana, y muy agradecido por la oportunidad de crecimiento y desenvolvimiento intelectual.

A la Facultad de Recursos Naturales Renovables y el Departamento de Ciencias Ambientales por haberme brindado su acogida en cuanto a instalaciones y equipamiento.

A mis padres, por haber sido mi empuje día a día, ayudándome a forjar mi porvenir, mi formación tanto en lo personal así como también profesionalmente, está demás recalcar el apoyo incondicional moral, emocional así como también el económico con un fin único: demostrar que todo lo labrado está dando sus frutos.

A mi hermana Cristina, que ha sido un ejemplo de superación personal por su perseverancia y luchar contra todo obstáculo presente a lo largo de sus estudios de maestría y realización de su pesquisa.

A mis tíos Julia Anaya, Alberto Silva (ex rector de la Universidad Nacional Agraria de la Selva), Patricia Fernández e Iliana Fernández quienes han contribuido enormemente para que ésta tesis se haga realidad.

A mis asesores: Ing. Tania Guerrero Vejarano e Ing. José Luis Paredes Salazar, porque en todo momento han estado llanos a despejar cualquier duda y demás está decirlo en la orientación brindada en todo el proceso y la durabilidad de éste trabajo de investigación.

A los miembros del jurado: Blgo. Edilberto Chuquilin Bustamante, Ing. Sergio Rodríguez Rubio, e Ing. Ricardo Chávez Asencio, por las atenciones prestadas a lo largo de este proceso.

A los señores técnicos de laboratorio : Carlos Salazar Salazar, por su ayuda continua para la realización de ésta investigación, Ingeniero Richar Sias Rodríguez por su constante y desinteresado apoyo en el tiempo que duro éste trabajo, Celidonio Yacha Melgarejo por haber aportado con la colaboración de insumos para poder realizar los ensayos experimentales de ésta tesis.

Al Ing. José Lévano Crisóstomo por haber apoyado con algunos materiales de laboratorio y tener acceso en ocasiones al laboratorio de análisis de suelos.

Al Ing. en Industrias Alimentarias Milko Céspedes por haber aportado tanto material usado en la tesis así como también con su experiencia en el manejo de equipos a nivel industrial que abarcan el tratamiento de agua para consumo humano.

## ÍNDICE

	Páginas
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Antecedentes .....	4
2.2. Curva de calibración mediante espectrofotometría UV - visible .....	8
2.3. Ciclo del nitrógeno y actividades antropogénicas .....	10
2.3.1. Fuentes antropogénicas de nitrógeno.....	11
2.3.1.1. Fertilizantes .....	11
2.3.1.2. Aguas residuales industriales.....	11
2.3.1.3. Aguas residuales domésticas.....	12
2.3.1.4. Excretas animales .....	13
2.3.1.5. Residuos domésticos .....	13
2.3.1.6. Emisiones gaseosas .....	14
2.4. Procesos de remoción de nitratos en el agua .....	14
2.4.1. Procesos físicos.....	14



2.4.1.1. Ósmosis inversa .....	14
2.4.1.2. Intercambio iónico .....	15
2.4.1.3. Desnitrificación biológica ( <i>ex situ</i> ) .....	16
2.4.1.4. Desnitrificación biológica ( <i>in situ</i> ) .....	17
2.5. Resinas de intercambio iónico .....	18
2.5.1. Tiempo de ruptura .....	20
2.5.2. Curva se saturación .....	20
2.5.3. Capacidad total de la resina .....	20
2.5.4. Capacidad útil u operativa .....	21
<b>III. MATERIALES Y METÓDOS .....</b>	<b>22</b>
3.1. Lugar de ejecución .....	22
3.2. Materiales e insumos químicos de laboratorio .....	22
3.2.1. Materiales .....	22
3.2.2. Insumos químicos de laboratorio .....	23
3.3. Metodología .....	23
3.3.1. Construcción de la curva de calibración para medir la concentración de nitratos .....	23

3.3.2. Diseño y construcción de la columna .....	24
3.3.3. Determinación de la eficiencia de la columna con resinas de intercambio iónico .....	27
3.3.4. Determinación de la capacidad real de la resina, y volumen de agua de regeneración y lavado .....	27
3.3.4.1. Determinación de la capacidad real de la resina .....	27
3.3.4.2. Determinación del volumen de agua de regeneración y de lavado .....	28
3.3.2. Análisis de las aguas y corridas por las columnas de intercambio iónico .....	30
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>VIII. ABSTRACT .....</b>	<b>59</b>
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>
Apéndice 1. Secuencia de construcción de la curva de calibración .....	66

Anexo 1. Secado de muestra y preparación de solución madre e intermedia .....	66
Anexo 2. Preparación de estándares .....	66
Apéndice 2. Soluciones de nitrato de potasio .....	67
Anexo 1. Solución de 1000 ppm .....	67
Anexo 2. Solución de 800 ppm .....	68
Anexo 3. Solución de 600 ppm .....	69
Anexo 4. Solución de 400 ppm .....	70
Anexo 5. Comprobación de las concentraciones reales .....	71
Apéndice 3. Curva de Saturación de resina .....	74
Anexo 1. Curva de saturación A.....	74
Anexo 2. Curva de saturación B.....	75
Anexo 3. Curva de saturación C .....	76
Anexo 4. Curva de saturación D .....	77
Anexo 5. Análisis estadístico en función al tiempo de operación .....	78
Apéndice 4. Panel fotográfico .....	86
Apéndice 5. ....	97

Anexo 1. Planos .....	97
Anexo 2. Costos y presupuestos.....	103
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Valores de absorbancia y concentración de patrones.....	33
2. Lectura de datos de la primera concentración en los 4 tiempos de operación .....	38
3. Lectura de datos de la segunda concentración en los 4 tiempos de operación. ....	40
4. Lectura de datos de la tercera concentración en los 4 tiempos de operación. ....	42
5. Lectura de datos de la cuarta concentración en los 4 tiempos de operación. ....	44
6. Volúmenes de agua de lavado y regeneración .....	47
7. Concentraciones de las muestras de agua al inicio. ....	48
8. Concentraciones de las muestras de agua a la salida .....	49
9. Lecturas reales de la concentración de 1000 ppm.....	71

10. Lecturas reales de la concentración de 800 ppm.....	72
11. Lecturas reales de la concentración de 600 ppm.....	73
12. Lecturas reales de la concentración de 400 ppm.....	73
13. Análisis de varianza de la eficiencia de la resina, según, el tiempo.....	78
14. Prueba de homogeneidad de varianza de Levene de los tratamientos.....	79
15. Comparaciones múltiples de los tratamientos según prueba de Tukey .....	80
16. Prueba de homogeneidad de varianza de Levene de ppm factor (A) .....	83
17. Comparaciones múltiples de partes por millón, según, prueba Games Howell.....	84
18. Prueba de homogeneidad de varianza de Levene en tiempo factor (B). .....	84
19. Comparaciones múltiples de tiempo, según, prueba Games Howell. ....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Curva de calibración (CLAVIJO, 1989) .....	10
2. Resina de intercambio iónico (Mercantil Interamericana S.A.) .....	18
3. Montaje de la columna de intercambio iónico y accesorios.....	29
4. Diseño estadístico y combinaciones (Tratamientos) .....	31
5. Curva estándar para nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	34
6. Eficiencia del nivel (1000 ppm) del factor A vs 4 niveles (30, 60, 90 y 120 min) del factor B.....	39
7. Eficiencia del nivel (800 ppm) del factor A vs 4 niveles (30, 60, 90 y 120 min) del factor B.....	41
8. Eficiencia del nivel (600 ppm) del factor A vs 4 niveles (30, 60, 90 y 120 min) del factor B.....	43
9. Eficiencia del nivel (400 ppm) del factor A vs 4 niveles (30, 60, 90 y 120 min) del factor B.....	45
10. Diseño de la columna para 43.88 ppm pozo 4 (V. Potokar) .....	50
11. Diseño de la columna para 52.76 ppm pozo 5 (V. Potokar) .....	51

12. Esquema del pesaje, secado y preparación de las soluciones .....	66
13. Peso de $\text{KNO}_3$ para 1000 ppm.....	67
14. Peso de $\text{KNO}_3$ para 800 ppm.....	68
15. Peso de $\text{KNO}_3$ para 600 ppm.....	69
16. Peso de $\text{KNO}_3$ para 400 ppm.....	70
17. Saturación de la resina en función al tiempo de operación (1000 ppm).....	74
18. Saturación de la resina en función al tiempo de operación (800 ppm).....	75
19. Saturación de la resina en función al tiempo de operación (600 ppm).....	76
20. Saturación de la resina en función al tiempo de operación (400 ppm).....	77
21. Posicionamiento proporcional de las columnas .....	86
22. Bomba peristáltica.....	86
23. Montaje del equipo listo para su funcionamiento .....	87
24. Reactivo de nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) .....	87
25. Preparación de la solución madre e intermedia .....	88
26. Estándares preparados para la curva de calibrado.....	88
27. Espectrofotómetro UV – visible Orion Aquamate 8000 .....	89



28. Pantalla de equipo – opción “curva estándar” .....	89
29. Absorbancias y concentraciones para la curva estándar .....	90
30. Tabulación de la curva estándar .....	90
31. Realizando la limpieza de los envases .....	91
32. Midiendo el caudal real de la bomba .....	91
33. Soluciones de 15 L de (1000, 800, 600 y 400 ppm).....	92
34. Diluciones de 0.5 ml en fioles de 250 ml para verificar la concentración real .	92
35. Agitando una de las soluciones a 250 ml.....	93
36. Realizando la corrida de la columna con 1000 ppm.....	93
37. Verificando el funcionamiento del equipo.....	94
38. Regeneración de la columna con cloruro de sodio (NaCl) .....	94
39. Controlando el tiempo .....	95
40. Muestras listas para realizar las diluciones respectivas .....	95
41. Cubeta de cuarzo lista para la lectura .....	96
42. Lectura realizada de la muestras de agua .....	96

## **RESUMEN**

### **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RESINA CONVENCIONAL (ANIÓNICA DE BASE FUERTE) EN LA REMOCIÓN DE NITRATOS, EN LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO”**

Palabras Clave: Agua subterránea, eficiencia, intercambio iónico, nitratos, remoción, resina aniónica de base fuerte

Esta investigación determinó si las resinas aniónicas de base fuerte (convencionales) son eficientes en la remoción de nitratos en las aguas para consumo humano, para lo cual se estableció construir la curva de calibración para la lectura de las muestras analizadas, diseñar y construir la columna de intercambio iónico, determinar la eficiencia de la columna en diferentes tiempos de operación, calcular la capacidad real de la resina y finalmente analizar aguas problema y realizar las pruebas por las columnas de intercambio iónico con resinas aniónicas de base fuerte. Ésta investigación se realizó en el laboratorio de Fitoquímica de la Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, construyendo la curva de calibración con la preparación de estándares, construyendo y montando el equipo dentro del laboratorio, posteriormente determinando la eficiencia en función al tiempo de operación con las concentraciones de entrada y salida para luego realizar la regeneración y calcular el agua de lavado, y finalmente se realizó el análisis de aguas superficiales y subterráneas y se procedió a realizar las pruebas previo funcionamiento de las columnas de intercambio iónico con resinas de base fuerte. La mayor eficiencia es

99.82 % tratamiento 13 (a4b1), y la menor eficiencia es 18.23 %, tratamiento 1 (a1b1), la curva de calibración tiene un  $R^2 = 0.999$ , 1 pulgada de diámetro de columna, 0.05 litros de volumen de resina, con una altura de columna de 40 cm, para el lavado y regeneración de la resina se usó 2.96 Litros de agua en la concentración de 1000 ppm y 0.65 Litros en la concentración de 400 ppm, la concentración más baja de las muestras analizadas fue la del reservorio de Cocheros (13.50 ppm) y las más alta de la lotización Villa Potokar (52.76 ppm), estableciendo así que el agua en esta zona de la ciudad no es apta para el consumo directo sin previo tratamiento tal es así que la resina aniónica de base fuerte presenta una eficiencia del 99.20 % por lo que se recomienda su uso para eliminar niveles altos de nitratos en aguas de consumo humano.

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la contaminación ambiental es un tema que está abordando mucho interés por el hecho de tratar de remediar las consecuencias que esta trae de por medio, en cuanto a la afectación de todo lo que compone el medio natural y sus factores por las actividades naturales o antropogénicas.

La problemática global sobre el recurso agua y la falta de conciencia que se puede tener con este vital elemento es materia de discusión a nivel mundial, así como también las actividades y generación de residuos para su polución continua y acelerada.

Una de las preocupaciones de la Organización mundial de la Salud (OMS), de la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), es que a nivel de países desarrollados y subdesarrollados existe un problema, que es el incremento de los niveles máximos permisibles de la concentración de nitratos en agua de consumo humano y que son dañinos por encima de 45 mg/L.

Asimismo, existen técnicas para remover o disminuir estas concentraciones elevadas causadas por el uso de fertilizantes, agricultura migratoria, excretas animales o emisiones atmosféricas. Estas concentraciones a su vez son difíciles de remover con los métodos convencionales tales como ebullición, radiación ultravioleta, ozonización o el uso de cartuchos absorbentes en los filtros para purificación de agua para consumo humano.

El propósito de esta investigación es buscar la mejora de la calidad del agua de consumo humano usando una resina convencional de intercambio iónico (aniónica de base fuerte) que disminuya diversas concentraciones inducidas con iones nitratos por encima de los estándares de calidad del agua.

Se recomendó el diseño a escala real después de haber realizado la evaluación correspondiente y el resultado más eficiente de este tipo de tratamiento para la mejora de la calidad del agua con la disminución de los posibles niveles existentes de iones nitrato presentes en aguas de consumo humano que son de abastecimiento tales como superficiales (reservorios) y subterráneas (pozos).

Se formuló el siguiente problema de investigación ¿Cuál es la eficiencia de la resina convencional (aniónica de base fuerte) en función al tiempo de operación para la remoción de nitratos en las aguas de consumo humano? Con referencia a esto planteamos la siguiente hipótesis: Las resinas de intercambio iónico remueven más del 60 % de la concentración de nitratos en las aguas de consumo humano y a la vez mejoran su calidad.

### **1.1. Objetivo general**

- Evaluar la eficiencia de la resina convencional (aniónica de base fuerte) para la remoción de nitratos en aguas para consumo humano.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Construir la curva de calibración para determinar la concentración de nitratos en las muestras analizadas.
- Diseñar y construir una columna de intercambio iónico a escala de laboratorio acondicionando un sistema para la evaluación experimental.
- Determinar la eficiencia de la columna de intercambio iónico en la remoción de nitrato en diferentes tiempos de trabajo.
- Calcular la capacidad real de la resina convencional (aniónica de base fuerte), el volumen de agua de regeneración y lavado.
- Analizar diferentes muestras de agua problema dentro de la localidad de Tingo María, ciudad universitaria y realizar las corridas por las columnas de intercambio iónico.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

#### Perú

Se realizó un estudio con 9 puntos de muestreo, entre ellos zonas agrícolas y urbanas, las concentraciones más altas en los dos monitoreos se observaron en el área cercana al Cerro Puémape situado en el distrito de San Pedro de Lloc - La libertad, es decir cercanas al mar, en las estaciones 4 y 5. También se puede ver como se incrementó la concentración de nitratos en la estación de muestreo 6 la cual disminuye en junio.

Las pruebas de laboratorio indicaron que la muestra de la estación 8 tomada en noviembre del 2007 contenía 34.32 mg NO<sub>3</sub> /L, es decir 9.62 mg N- NO<sub>3</sub> /L y el resultado obtenido en el Laboratorio de Química Ambiental de la Sección Química de la Pontificia Universidad Católica del Perú fue de 9.62 mg N- NO<sub>3</sub> /L, lo cual está muy cercano a los valores establecidos por la EPA y la OMS (10 ppm de NO<sub>3</sub> de N total o 45 ppm de NO<sub>3</sub>) y mediante acumulación en cuerpos de agua superficiales receptores son derivados para consumo humano y puede ser dañino para la salud humana (VINELLI, 2012).

**Cuba** En el agua subterránea de la Provincia de Cienfuegos se ha detectado mediante la toma de muestras de 31 abastos poblacionales, efectuada durante los años 1989 a 1997, que el 18% de los mismos poseen valores de nitratos superiores a la concentración máxima admisible, mientras que el 43,7% se encuentran en proceso de una nitrificación acelerada, por lo que se han hallado valores entre 20 y 45 mg/L, (JIMENEZ DEL SOL, 1998).

### **Uruguay**

Según (HACKENBRUCH y IRIBURO, 2009) debido a que en el Departamento de Montevideo existe una zona en la cual se llevan a cabo actividades rurales, especialmente plantaciones de hortalizas y frutales que reciben un riego intensivo, el municipio ha evaluado la calidad del agua utilizada para riego en dicho lugar, la cual en su mayor parte es extraída de pozos. De los resultados que se han obtenido de esta investigación, se halló que el 70% de las muestras de agua subterránea superan el valor de 10 mg/l de N de nitrato, definido como límite por la legislación de ese país. Esta contaminación existente en el agua puede estar causada por las altas dosis de fertilizantes utilizadas y por el riego.

En la localidad del Palmitas en el departamento de Soriano se abastece con agua subterránea proveniente de un acuífero sedimentario, poco profundo y con altos contenidos de nitratos. Debido a la falta de fuentes de agua potable alternativas, subterráneas o superficiales, se decidió ensayar tratamiento del agua proveniente de una perforación cuyos tenores eran del



orden de los 51 – 66 mg/L de nitratos. La metodología empleada para la eliminación de los nitratos fue con resinas de intercambio iónico (AMONDARIN, 2009).

## **Argentina**

### **Provincia de La Pampa**

De acuerdo a resultados obtenidos de la extracción de agua de 39 perforaciones someras (entre 10 y 24 m de profundidad) ubicadas en el sector norte de la Ciudad de General Pico, en 11 de las mismas, se han hallado concentraciones de nitratos superiores a los valores máximos admitidos, es decir 45 mg/l; siendo la concentración máxima de 166 mg/l. También se encuentran presentes en 3 sitios valores de nitrito mayores a los permitidos, mientras que al mismo tiempo, en 2 de estos los hay de amonio. Tal contaminación se supondría que es originada por los vertidos de aguas residuales de una industria frigorífica instalada en la zona de estudio, y por aquellos provenientes de fosas sépticas o pozos absorbentes de las viviendas. En el caso de éstos últimos, debido a que no existe en el lugar una red de saneamiento cloacal (DALMASO *et al.*, 1999).

### **Provincia de Salta**

El agua subterránea de la Ciudad de Salta presenta elevadas concentraciones de nitratos. Debido a que dicha zona no posee un desarrollo industrial ni agrícola, se atribuye tal situación a una contaminación urbana por incorporación de filtrados del sistema de evacuación de aguas residuales domésticas. Basándose en el análisis de datos físico-químicos correspondientes a los períodos 1990-1991, 1993-1995, y 1998-2000, se demuestra que a partir de 1993 se produce, en general, un incremento en la concentración de nitratos, alcanzando en algunos casos valores superiores a los 45 mg/l y resultando el agua proveniente de dichos pozos no apta para el consumo humano (ROCHA y BAUDINO ,2002).

### **Provincia de Buenos Aires**

Existen diferentes estudios realizados, de los cuales se obtuvo información acerca de la presencia y de la concentración de nitratos en el agua subterránea de distintas zonas de la Provincia de Buenos Aires, a saber:

#### **Partido de Lobos**

Una investigación llevada a cabo, en la que se estudió la influencia de las actividades agropecuarias y agroindustriales sobre la calidad del agua subterránea del Partido de Lobos, siendo el objetivo de la misma la cuantificación y la determinación de los aportes de nitrógeno provenientes de las mencionadas actividades. Como parte de este trabajo, se tomaron 52 muestras de agua de bombas localizadas en salas de ordeño próximas a lagunas de efluentes, casas, quintas o corrales de crianza.

De los resultados obtenidos, se destaca que el mayor aporte nitrogenado procede de cerdos, aves y bovinos, y corresponde a 57,7 Kg de nitrógeno por hectárea por año. Mientras que el otro aporte que se origina de la fertilización nitrogenada de los cultivos de trigo y maíz, es de 52 Kg de nitrógeno por hectárea sembrada.

En lo que respecta a la concentración de nitratos en el agua muestreada, se determinó que un 27% de las muestras de agua analizadas poseen valores mayores a los 45 mg/l (GONZALES y HERRERO, 1999).

## **2.2. Curva de calibración mediante espectrofotometría UV- visible**

Por lo general para el análisis mediante espectrofotometría UV- visible es posible preparar curvas de calibración "permanentes". La curva estándar inicial debe incluir un blanco reactivo y, por lo menos, ocho estándares que cubran la escala de concentraciones que se usarán en los análisis rutinarios del laboratorio y que permite medir el método analítico. El instrumento debe ponerse en cero con agua destilada y hacer las lecturas con el espectrofotómetro a longitudes de onda de 220 nm y 275 nm. A este punto se denomina "Línea base del blanco". El blanco de reactivos se refiere a la respuesta analítica (por ejemplo absorbancia) causada por los reactivos cuando se analiza el agua que contiene el parámetro. Cuando se traza la curva de calibración, no se resta el blanco reactivo de las otras lecturas, sino que se trata como un punto correspondiente a la concentración cero (por ejemplo,  $C = 0$ ) (CLAVIJO, 1989).

Las curvas de calibración pueden ser lineales o no lineales. En la mayoría de casos cuando la curva es lineal se aplica la Ley de Beer. Para definir la curva de calibración que mejor representa la relación entre la absorbancia (A) y la concentración (C) (Figura 1) se puede usar cálculos de regresión lineal de la siguiente manera:

$$\text{Dado que } A = mC + b$$

donde:

A = absorbancia

C = concentración

m = la pendiente de la curva de calibración (denominada "factor de calibración").

b = la intersección del valor de absorbancia o del eje "y".

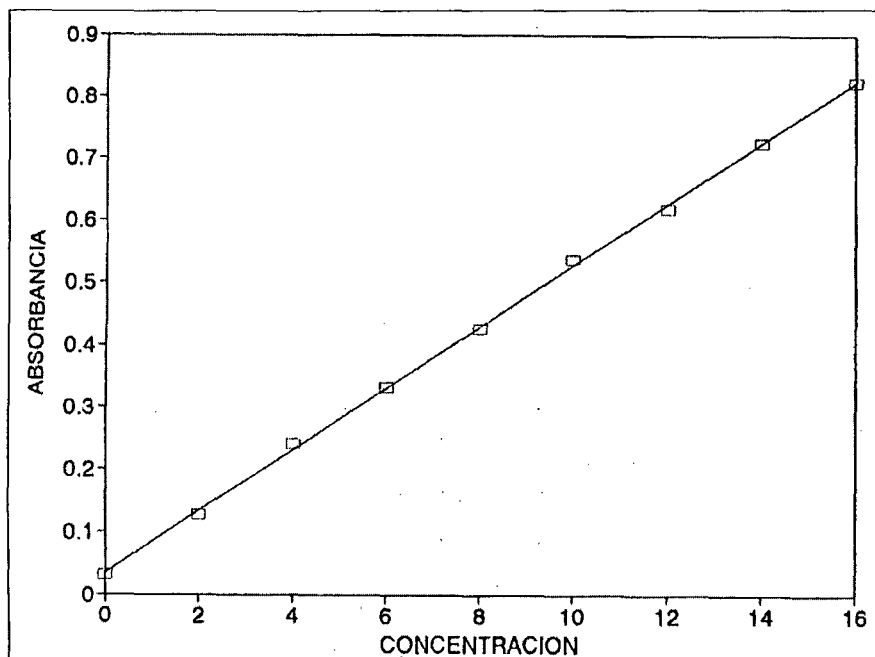


Figura 1. Curva de calibración (CLAVIJO, 1989).

### 2.3. Ciclo del nitrógeno y actividades antropogénicas

La fijación del nitrógeno y la desnitrificación, son dos procesos fundamentales de la naturaleza que equilibran la entrada y salida del nitrógeno en la biosfera. Sin embargo, como consecuencia de las diversas actividades desarrolladas por los seres humanos, se ha producido una alteración del ciclo natural del nitrógeno, por lo que la entrada total de nitrógeno en la biosfera es excesiva respecto a su salida mediante el proceso de desnitrificación. Este desbalance es mayormente producido por la fijación industrial del nitrógeno, además de otras fuentes (GIJZEN y MULDER, 2001).

### **2.3.1. Fuentes antropogénicas de nitrógeno**

#### **2.3.1.1. Fertilizantes**

Un dato a considerar es que las plantas no pueden absorber completamente el nitrógeno del suelo, por lo que la utilización puede variar de acuerdo al tipo de cultivo y las técnicas agropecuarias. A raíz de ello, y para obtener una máxima producción, es que se aplica un exceso de fertilizantes al suelo (WHO, 1978). El nitrógeno que proviene de los fertilizantes y que no es usado por los vegetales, puede “fugarse” de los sistemas agrícolas hacia las aguas subterráneas o hacia las superficiales, aunque también puede escaparse a la atmósfera como gas. La mayor parte del nitrógeno que se pierde del mencionado sistema lo hace en forma de nitrato, el cual al ser débilmente absorbido por el suelo queda en solución, y puede lixiviarse a través del perfil del suelo e incluso alcanzar el agua subterránea (KIELY, 1999).

#### **2.1.1.2. Aguas residuales industriales**

Generalmente los efluentes industriales poseen grandes cantidades de materia orgánica nitrogenada, particularmente aquellos procedentes de las industrias alimenticias (productos lácteos, enlatados, mataderos, etc), industrias textiles, industrias del papel, etc. Es común que dichas aguas residuales sean volcadas a zanjas, lagunas, pozos, etc., ocasionándose la infiltración de éstas hasta alcanzar el manto acuífero. Las concentraciones de nitrógeno de los efluentes difieren de acuerdo al tipo de desecho (DÍAZ, 1985).

### **2.1.1.3. Aguas residuales domésticas**

Los líquidos residuales domésticos contienen compuestos del nitrógeno, estos efluentes en áreas donde no se cuenta con servicio cloacal son vertidos a pozos sépticos (instalación individual), de los cuales se pueden producir infiltraciones pudiendo ocasionar la contaminación del agua subterránea. Esta contaminación varía de acuerdo con diferentes factores, como ser los componentes del suelo, la profundidad con relación al nivel de agua, la construcción de instalación de absorción de efluentes y el diseño del pozo absorbente (AGN, 1998). En este caso existe una carga local de contaminantes.

Cuando los líquidos en cuestión son recogidos por redes cloacales, los mismos son vertidos a suficiente distancia del lugar servido, no contribuyendo a la contaminación local. Sin embargo, es una fuente contaminante sobre el cuerpo receptor. Por otra parte, puede existir un cierto aporte de estas aguas residuales mientras son transportadas por las redes cloacales como consecuencia de posibles filtraciones al agua subterránea (DÍAZ, 1985).

Por lo general, se cree que el agua subterránea es pura y segura para beber ya que pasa por un proceso de filtración y limpieza a través del sub suelo y lecho rocoso. Sin embargo, este proceso no asegura necesariamente su pureza. La contaminación del agua subterránea puede ser tanto una consecuencia natural como ocasionada por la actividad humana. Por causa natural el agua puede presentar hierro, magnesio, sulfuro de hidrogeno, sulfato y cloruro de sodio, como resultado del tipo de suelo en que el acuífero está

comprendido. Asimismo, esta presenta la contaminación de las aguas subterráneas debido a la actividad industrial o doméstica. Por ejemplo, si se trata de una contaminación de tipo doméstico, ésta se podría deber principalmente a fosas sépticas, pozos negros, fugas de alcantarillado, vertido de agua de letrinas, entre otros. Entre los indicadores de contaminación de aguas subterráneas más importantes se encuentra el nitrato. En agua no contaminada, el nitrato está presente en concentraciones bajas (menos de 5mg/L). Varias según las concentraciones geoquímicas, el procedimiento de evacuación de desechos humanos y/o animales, el grado de utilización de fertilizantes y las descargas de compuestos nitrogenados. En caso de la concentración de nitratos en aguas superficiales, está generalmente baja (0 – 18 mg/L); pero puede ser afectada debido a la actividad agrícola o a la contaminación causada por desperdicios humanos y animales (MARÍN, 1995).

#### **2.1.1.4. Excretas animales**

Las excretas provenientes de animales de granja contienen grandes cantidades de material nitrogenado que puede ser convertido en nitratos (WHO, 1978).

#### **2.1.1.5. Residuos domésticos**

En áreas urbanas, suburbanas o rurales; algunas fuentes de residuos orgánicos pueden contribuir con una importante liberación de nitrógeno al ambiente. Los basurales a cielo abierto funcionan como medio para contaminar las aguas subterráneas, ya sea, mediante los líquidos provenientes



de los propios residuos o por la infiltración del agua de lluvia a través de los mismos (IWSA, 1998).

#### **2.1.1.6. Emisiones gaseosas**

Las emisiones gaseosas provenientes de diferentes procesos industriales, del transporte, de la quema de combustibles fósiles, etc. se liberan a la atmósfera conteniendo óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Estos últimos se combinan con la radiación solar y el vapor de agua, convirtiéndose en ácido nítrico (H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>), el cual regresa a la superficie de la tierra en forma de rocío, niebla, aguanieve, nieve o lluvia (KIELY, 1999).

### **2.4. Procesos de remoción de nitratos en el agua**

Los nitratos no pueden ser eliminados del agua con los tratamientos convencionales que se efectúan para potabilizarla. Para llevar a cabo el proceso de remoción de nitratos, existen cuatro tratamientos posibles, siendo los mismos, la ósmosis inversa, el intercambio iónico, y la desnitrificación biológica *in situ* y la desnitrificación biológica *ex situ*, todos estos procesos son ensayados a nivel de laboratorio, planta piloto o consecuentemente a escala industrial después de haber sido probado anteriormente (AVILLA, 2009).

#### **2.4.1. Procesos físicos**

##### **2.4.1.1. Ósmosis inversa**

El agua pasa a través de una membrana semipermeable, forzada por la aplicación de alta presión, desde la zona de mayor concentración de sales a la de menor concentración (agua pura), quedando retenidos por dicha

membrana más del 90% de los iones disueltos, incluyendo al nitrato, así como también microorganismos y contaminantes no iónicos. Este proceso es económicamente viable para el caso que se necesite extraer del agua diversas sustancias, ya que no es selectivo para una sola de ellas, pero para una sola sustancia o ion consume además una importante cantidad de energía y puede ser significativo en lo que respecta a costos de capital y operación en aspectos selectivos. Es igualmente válido para instalaciones grandes como para pequeñas y los costos que implica realizar el pre tratamiento del agua antes de la ósmosis inversa son considerables (DÍAZ, 1985).

#### **2.4.1.2. Intercambio iónico**

Este proceso es el más comunmente utilizado para el tratamiento de aguas contaminadas con nitratos, requiriendo un bajo costo de capital. Consiste en el intercambio que se realiza entre una solución y un medio sólido (resinas de intercambio). Las resinas de base aniónica fuerte selectivas, pueden retener entre un 90 a 99% de los nitratos (DÍAZ, 1985).

El agua pasa a través de las resinas de intercambio, la cuales absorben aniones, incluyendo al nitrato, a cambio de otros aniones, generalmente cloruro. Por lo tanto, cuando la capacidad de absorción está agotada, la resina se regenera con una solución de cloruro de sodio. Sin embargo, este proceso posee ciertas desventajas, ya que otros iones como los sulfatos, etc. pueden también ser absorbidos, lo cual reduce la eficiencia en la remoción de nitratos. Por otra parte, el agua necesita contener niveles bajos de sólidos suspendidos, materia orgánica, hierro, etc., antes de pasar a través de

la resina., lo cual también implicaría la realización de un pre tratamiento. Otro de los inconvenientes que presenta esta técnica es la generación de una salmuera que debería ser cuidadosamente dispuesta. Además, cabe aclarar que no remueve impurezas no iónicas disueltas o microorganismos (IWSA, 1998).

#### **2.4.1.3. Desnitrificación biológica (*ex situ*)**

Los microorganismos convierten los nitratos a nitrógeno gaseoso. Este tratamiento necesita de una fuente extra de carbono orgánico (metanol, etano, ácido acético). Es comunmente efectuado mediante el uso de bacterias heterotróficas.

Usualmente se utilizan dos reactores:

- Un reactor anóxico, en el cual se lleva a cabo la reacción de desnitrificación.
- Un reactor aeróbico, para realizar la re oxigenación del agua y remover sólidos disueltos en suspensión provenientes desde el reactor anóxico.

Entre las ventajas de este tratamiento se encuentra la de eliminar los nitritos del agua y no producir residuos que deban ser tratados.

Este proceso con relación al de intercambio iónico, tiene aproximadamente el mismo costo de funcionamiento, pero el doble de costo de capital (IWSA, 1998).

#### **2.4.1.4. Desnitrificación biológica (*in situ*)**

Comienza mediante la inyección de una fuente de carbono dentro del acuífero, en puntos estratégicos alrededor del pozo de extracción, para estimular las bacterias indígenas que intervendrán en la reducción de los nitratos y compuestos relacionados. Entre las ventajas de esta técnica se encuentran las económicas, ya que los costos de los equipos son mínimos. Sin embargo, lo más probable es que su aplicación este limitada a acuíferos relativamente homogéneos. El área de tierra requerida puede ser importante, dependiendo de las propiedades del acuífero y el nivel de desnitrificación requerido. Los riesgos asociados con el fracaso de las técnicas in-situ son mucho más grandes que aquellos para planta de tratamiento. Es de consideración aclarar que son continuas las investigaciones que se efectúan respecto de la técnica de desnitrificación biológica encontrándose aún en etapa de desarrollo (IWSA, 1998).

## 2.5. Resinas de intercambio iónico

El intercambio iónico mediante resinas es una de las tecnologías para remover o eliminar impurezas iónicas que pueden presentarse en un agua natural y que son perjudiciales para procesos industriales o uso del agua para consumo humano. Las resinas absorben iones: cationes y aniones, de una solución (contaminantes) y los intercambian por cantidades equivalentes de otros iones de un sólido (resina), de la misma carga basada en una escala de selectividad de los mismos, en una reacción reversible. Con el avance de la ciencia y de la técnica es cada vez mayor el uso de agua desprovista de ciertos iones y muchas veces desprovista de todos los iones. Una de las técnicas de eliminación de iones consiste en hacer pasar el agua a través de resinas de intercambio iónico (CODA y PUJOL, 2010).

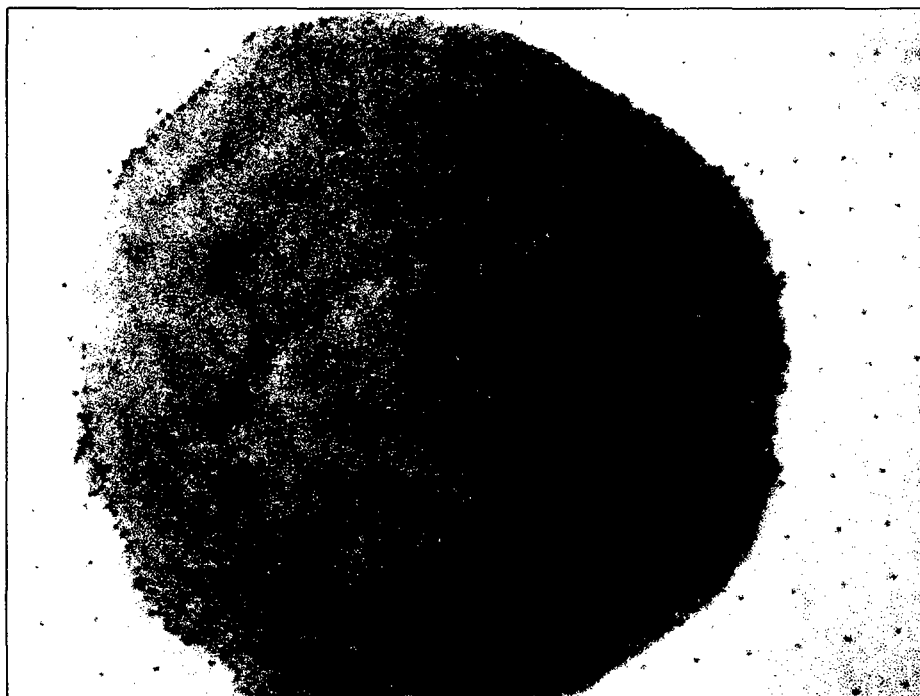


Figura 2. Resina de intercambio iónico (Mercantil Interamericana S.A)

Estas son tres maneras en la cual la tecnología de intercambio de iones puede ser usada en el tratamiento de agua y purificación, primero: resinas de intercambio catiónicas solas se pueden emplear para suavizar el agua por intercambio base; segundo: resinas de intercambio aniónicas solas pueden ser utilizadas para remover o eliminar nitrato y tercero: combinaciones de resinas de intercambios de cationes y aniones pueden ser utilizadas para eliminar eficientemente todas las impurezas iónicas presentes en la alimentación, un proceso conocido como desionización. Las dos primeras tecnologías son formas de tratamiento de agua en las que impurezas de cualquier naturaleza química sean cambiadas (como un intercambio en base de suavizante) o ciertas impurezas que son eliminadas selectivamente (como una remoción orgánica o eliminación de iones nitrato). Por contraste, la desionización es un proceso de purificación que puede producir agua de calidad excepcional. Estas resinas de intercambio iónico que pueden ser de naturaleza aniónica que sirven para desmineralizar el agua o de naturaleza catiónica que sirven para ablandar el agua, dentro de sus características para el uso y buen manejo tienen que ser tratadas de manera especial para aprovechar al máximo su eficiencia, entre estas se detallan :

- Agua de regeneración con una solución salina de NaCl (cloruro de sodio al 10 %).
- Agua de lavado para la resina con solución de nitratos a una concentración inducida.

Cálculo de la capacidad real de la resina, para comparar la eficiencia teórica que se detalla en el producto y los factores que influyen dentro de la experimentación (CODA y PUJOL, 2010).

### **2.5.1. Tiempo de ruptura**

El tiempo transcurrido desde el comienzo de la operación en el lecho hasta que los iones de la disolución aparecen en la corriente de salida o más concretamente, cuando se alcanza la máxima concentración permisible en el efluente, se denomina tiempo de ruptura ( $t_R$ ) (McCABE, 1994).

### **2.5.2. Curva de saturación**

La curva de saturación es aquella cuando la columna de intercambio iónico llega a un punto de agotamiento es aquel punto en la que la columna propiamente dicha provista de la resina intercambiadora ya no puede realizar el intercambio iónico. El punto de agotamiento se ajusta normalmente en función de la reducción en la calidad del agua tratada (McCABE, 1994).

### **2.5.3. Capacidad total de la resina**

Se define como Capacidad de la resina el valor de la concentración de iones que pueden ser retenidos por una unidad de peso de resina. Suele expresarse como miliequivalentes de soluto retenidos/g resina seca. La capacidad de la resina es un parámetro fundamental para la selección del intercambiador ya que generalmente se requieren capacidades altas para la separación o purificación a realizar (McCABE, 1994).

#### **2.5.4. Capacidad útil u operativa**

Es una medida del trabajo útil obtenido de una resina, que opera en una columna bajo un juego definido de condiciones.

Está determinada por la capacidad inherente de la resina, el nivel de regeneración, la composición de la solución a tratarse, el flujo de operación, temperatura, tamaño de partículas y otros factores más. Se expresa usualmente en kilogramos/pie cúbico de resina (McCABE, 1994).



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

Esta investigación fue realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, dentro del laboratorio de Fitoquímica, donde se realizó el diseño y montaje del equipo así como las evaluaciones respectivas que se detallan a continuación.

#### **3.2. Materiales e insumos químicos de laboratorio**

##### **3.2.1. Materiales**

- Bomba peristáltica.
- Cronómetro.
- Probeta.
- Vasos de precipitado.
- Espectrofotómetro AQUAMATE ORION 8000 UV – visible.
- Tubería de PVC categoría 10 de 1”.
- Tapas rosca para tubería de PVC.
- Mangueras.

- Recipiente de plástico de 16 litros.
- Computadora personal Toshiba.

### **3.2.2. Insumos químicos de laboratorio**

- Resina de intercambio iónico LEWATIT MonoPlus M 600 (aniónica de base fuerte).
- Solución de cloruro de sodio al 10 %.
- Solución de nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ).

## **3.3. Metodología**

### **3.3.1. Construcción de la curva de calibración para medir la concentración de nitratos.**

Se realizó de acuerdo a la metodología estándar de la Asociación América de Salud Pública (APHA), la Asociación Americana de Abastecimiento de Agua (AWWA) y la Federación para el control de la Polución de las Aguas (WPCF), según (B.O.E., 1987).

Una vez obtenido el reactivo de  $\text{KNO}_3$  se pesó 0.18452 g, el peso calculado fue aforado a un volumen exacto de 250 ml siendo esta la solución madre, de ésta solución se tomó un volumen de 25 ml que fue a aforado a un volumen exacto de 250 ml siendo esta final la solución intermedia.

Luego de haber preparado las soluciones mencionadas anteriormente se realizó la preparación de los estándares para la construcción

de la curva, tomando 0, 1, 3, 5 y 7 ml respectivamente de la solución intermedia. Los mismos fueron tratados con 1 ml de HCl 0.1 N, y se dejaron reposar por 30 minutos para facilitar la precisión en las lecturas.

Todos los estándares fueron aforados a un volumen exacto en fioles de 50 ml. Posterior a este procedimiento se realizó las lecturas en el espectrofotómetro utilizando las cubetas de cuarzo necesarias para analizar las muestras de agua con nitratos a una longitud de onda de 220 nm.

Finalmente todos los datos fueron almacenados en el espectrofotómetro para construir la curva de calibrado.

### **3.3.2. Diseño y construcción de la columna**

Para el diseño y construcción de la columna se tomó como referencia la metodología de (PERRY y GREEN, 1999).

#### **A) Datos del diseño**

- Concentración de aniones : 1000 ppm
- Concentración permisible o deseada del efluente : 45 ppm
- Tipo de resina : aniónica convencional
- Capacidad de la resina : 1.25 / L (Dato del fabricante)
- Flujo de corriente a tratar : 5.8 L/h
- Diámetro de la columna : 1 "

## B) Ecuaciones de diseño

$$\text{B.1.} \quad V_s = \frac{\text{REC}}{\text{IRC}} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$V_s$  : Volumen de servicio ( $\text{L}/\text{m}^3$ ), volumen de agua en litros que puede soportar un metro cúbico de resina hasta su regeneración.

REC: Capacidad de la resina ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

IRC : Concentración del ion a eliminar ( $\text{Kg}/\text{L}$ )

$$\text{B.2.} \quad St = \frac{V_s}{\text{SRT}} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

$St$  : Tiempo de servicio

SRT: Caudal de flujo de servicio =  $\text{L}/\text{min}/\text{m}^3$

$$St = \frac{\frac{\text{L}}{\text{m}^3}}{\frac{\text{L}}{\text{m}^3 \times \text{min}}}$$

### B.3. Determinación del volumen de resina

$$\text{Vol} = \left[ \frac{\text{IRC} * Q}{\text{REC}} \right] * [St] \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

**Vol:** Volumen de resina (m<sup>3</sup>)

**Q:** Flujo total L/día... (139.2 L/día)

#### **B.4. Determinación del volumen de la columna**

$V_c = Vol_{resina} * Expansión$

Expansión = 4 (para resinas aniónicas de base fuerte).

#### **B.5. Determinación de la altura de la columna**

Para el diseño y construcción de la columna se está tomando la metodología de diseño y construcción para tratamiento de aguas rurales propuesto por (Quispe, 1983) egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde con un volumen conocido de resina detalla el cálculo con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi * d * h}{4}$$

$$hc = \frac{V_c * 4}{\pi * d}$$

Donde:

**V<sub>c</sub>** = volumen de columna

**d** = diámetro de la tubería en la columna a utilizar

**h** = altura de la columna

### **3.3.3. Determinación de la eficiencia de la columna con resinas de intercambio iónico**

La eficiencia de la columna se evaluó trabajando a un caudal establecido y tomando muestras en la salida de la columna, a diferentes tiempos de trabajo tales como : 30, 60, 90 y 120 minutos, a las cuales se le determinó la concentración de nitratos y posteriormente la eficiencia con la siguiente fórmula (McCABE, 1994) :

$$\text{Eficiencia} = \frac{[\text{NO}_3^-]_{\text{entrada}} - [\text{NO}_3^-]_{\text{salida}}}{[\text{NO}_3^-]_{\text{entrada}}} * 100$$

Cada muestra recogida por los tiempos de trabajo mencionados se analizó tres veces la concentración de nitratos, con el espectrofotómetro y se trabajó con el promedio de éstas.

### **3.3.4. Determinación de la capacidad real de la resina, y volumen de agua de regeneración y lavado**

#### **3.3.4.1. Determinación de la capacidad real de la resina**

Se calculó la capacidad real de la resina, determinando la cantidad de gramos que ha atrapado ésta durante el proceso hasta su límite. Conociendo el caudal de trabajo y la concentración de las aguas, se procede a realizar los cálculos para determinar la capacidad experimental de la resina con la fórmula (CODA y PUJOL, 2010).

$$\frac{T_c * Q * C}{V}$$

Donde:

Tiempo de trabajo óptimo en la columna =  $T_c$

Caudal de entrada del agua a la columna =  $Q$

Concentración de nitratos por litro de agua =  $C$

Volumen de resina utilizada en la columna =  $V$

Después de determinar la capacidad de remoción experimental de la resina, se comparó con la capacidad de remoción teórica y se determinó la capacidad real de la resina.

#### **3.3.4.2. Determinación del volumen de agua de regeneración y lavado**

Para regenerar la resina se utilizó una solución 10% de NaCl, trabajando durante 60 min con un caudal de regeneración de establecido. El agua de regeneración producida por 0.05 litros de resina, se calcula :  $\frac{Q_r}{V_r}$  Para determinar el agua de lavado, se sometió a lavar con un caudal conocido  $Q_L$  por 30 minutos y se calculó el volumen de agua de lavado por litro de resina (CODA y PUJOL, 2010).

$$QL = \frac{Qr}{Vr}$$

Donde:

$Q_r$ ; Caudal de agua de regeneración

$Q_L$ ; Caudal de agua de lavado:

$V_r$ ; Volumen de resina

Finalmente el agua residual de regeneración y lavado es la suma del agua de regeneración producida por litro de resina con el agua residual o de lavado producido por litro de resina (CODA y PUJOL, 2010).

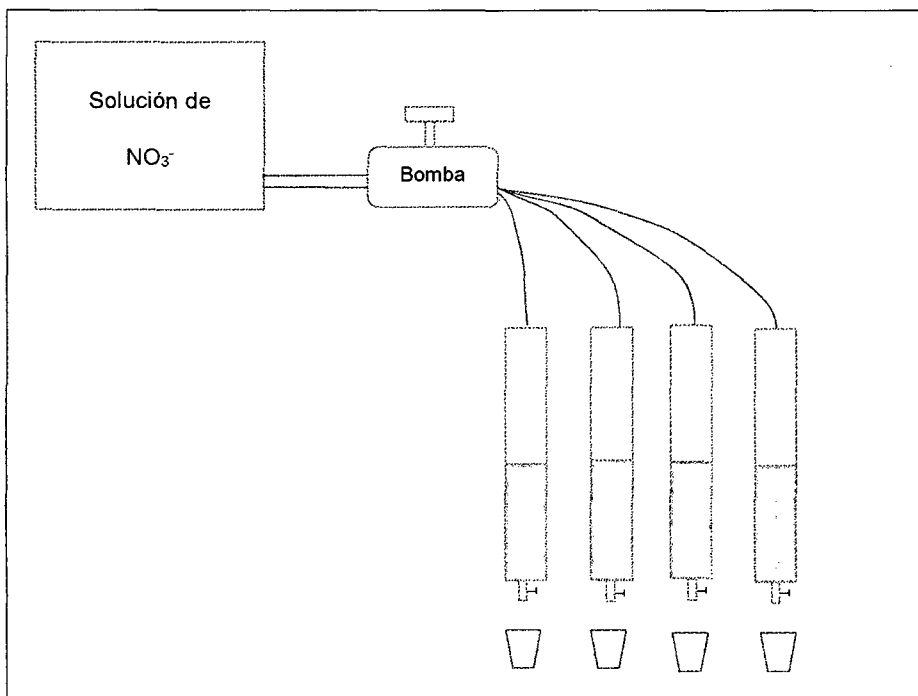


Figura 3. Montaje de la columna de intercambio iónico y accesorios.



### **3.3.5. Análisis de las aguas y corridas por las columnas de intercambio iónico.**

El análisis de estas muestras de agua problema se llevaron a cabo una vez construida la curva de calibración con los patrones establecidos y las concentraciones de nitratos ya preparadas, en este análisis de muestras de agua problema se incluyeron muestras de agua como son: agua de consumo de la localidad de Tingo María, agua subterránea de pozo del centro poblado menor de Castillo Grande, asentamiento humano Brisas del Huallaga, Lotización Villa Potokar y muestras de agua de la ciudad universitaria siguiendo la metodología del primer objetivo citado, luego se realizó las corridas de las muestras para determinar la eficiencia real en cada una de estas.

## **3.4. Variables**

### **3.4.1. Variables independientes**

- Tiempo de operación : 30 min, 60 min , 90 min y 120 min
- Concentración de nitratos : 1000 ppm, 800 ppm, 600 ppm y 400 ppm

### **3.4.2. Variables dependientes**

- Eficiencia de la remoción de nitratos.

	a1	a2	a3	a4
b1	a1b1 <b>T1</b>	a2b1 <b>T2</b>	a3b1 <b>T3</b>	a4b1 <b>T4</b>
b2	a1b2 <b>T5</b>	a2b2 <b>T6</b>	a3b2 <b>T7</b>	a4b2 <b>T8</b>
b3	a1b3 <b>T9</b>	a2b3 <b>T10</b>	a3b3 <b>T11</b>	a4b3 <b>T12</b>
b4	a1b4 <b>T13</b>	a2b4 <b>T14</b>	a3b4 <b>T15</b>	a4b4 <b>T16</b>

Figura 4. Diseño estadístico y combinaciones (Tratamientos).

El tipo de investigación que se llevó a cabo fue de tipo experimental con pruebas consecutivas una vez construido e instalado el equipo en el laboratorio.

El análisis estadístico que se llevó a cabo fue un Diseño completamente randomizado o al azar (DCA o DCR), con arreglo factorial.

Factor A : Tiempo de operación.

Niveles : (4 intervalos de tiempo).

Factor B : Concentración de nitratos.

Niveles : (4 concentraciones).

Un arreglo factorial de un DCA de la siguiente manera:

$4A \times 4B = 16$  tratamientos ó  $2^4 = 16$  tratamientos

**El modelo aditivo lineal de este diseño estadístico es el siguiente:**

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = variable respuesta (eficiencia de la resina en la columna de intercambio iónico).

$\mu$  = Media poblacional de los promedios de los tratamientos.

$A_i$  = Efecto del factor tiempo de operación en el  $i$ -ésimo tratamiento.

$B_j$  = Efecto del factor concentración de nitratos en el  $j$ -ésimo tratamiento.

$AB_{ij}$  = Interacción del factor tiempo de operación en el  $i$ -ésimo tratamiento con el factor concentración de nitratos en el  $j$ -ésimo tratamiento.

$E_{ij}$  = Error experimental.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Construcción de la curva de calibración para medir la concentración de nitratos.

En el siguiente cuadro se puede observar los valores obtenidos del espectrofotómetro UV - visible que se usaron para la construcción de la curva de calibración, que luego fue indispensable para realizar las lecturas posteriores que sirvieron para poder determinar la eficiencia de la resina (Lewattit Monoplus M 600 de base fuerte) en función al tiempo de operación.

Cuadro 1. Valores de absorbancia y concentración de patrones.

Absorbancia de patrones	Concentración de patrones (ppm)
0.106	0.886
0.229	2.658
0.33	4.43
0.446	6.203

Fuente: Espectrofotómetro Orion AQUAMATE 8000 UV – Vis.

Como se puede apreciar la curva de calibración para nitratos fue construida en base a las lecturas de absorbancia y los valores de concentración, tal como se indica en el Cuadro 1, los valores de concentración en mg/L o ppm fueron obtenidos con la ecuación matemática  $Y = 0.0633X + 0.0536$ , y un  $R^2 = 0.999$ , tal como se representa en la (Figura 5).

Una vez construida la curva se puede leer cualquier muestra de agua con la presencia del ion nitrato, si la muestra presenta alto contenido de nitrato se puede diluir convenientemente.

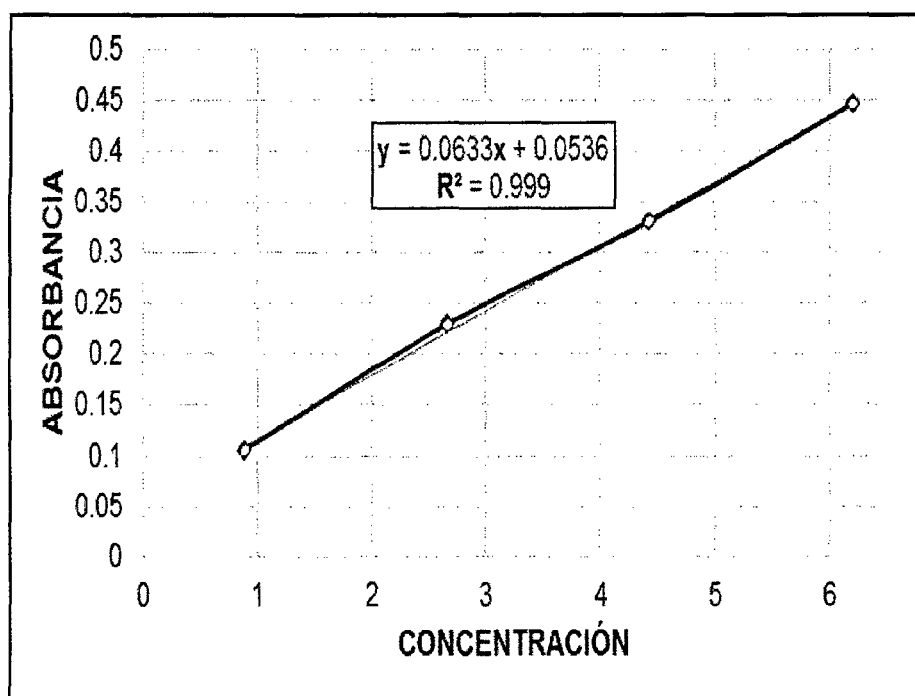


Figura 5. Curva estándar para nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

## 4.2. Diseño y construcción de la columna

### 4.2.1. Ecuación de diseño

$$V_s = \frac{REC}{IRC} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

$V_s$  : Volumen de servicio ( $L/m^3$ ), volumen de agua en litros que puede soportar un metro cúbico de resina hasta su regeneración.

REC : Capacidad de la resina ( $Kg/m^3$ ).

IRC : Concentración del ion a eliminar ( $Kg/L$ ).

$$V_s = \frac{\frac{1.25 \text{ eq}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{62 \text{ g NO}_3}{1 \text{ eq}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3}}{\frac{(1000) \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}}}$$

$$V_s = 77.5 \text{ L/m}^3 \text{ resina}$$

$$REC = 1.25 \text{ eq NO}_3^- \dots \text{ (Capacidad real teórica de la resina)}$$

$$IRC = 1000 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ eq (NO}_3^-) = 62 \text{ g NO}_3^-$$

$$St = \frac{V_s}{SRT} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

St : Tiempo de servicio

SRT: Caudal de flujo de servicio =  $L/\text{min}/m^3$

$$St = \frac{\frac{L}{m^3}}{\frac{L}{m^3 \times \text{min}}}$$

Reemplazando:

$$St = \frac{77.5 \text{ L/m}^3}{\frac{(5.8) \text{ L agua}}{(0.05) \text{ hora}} \text{ resina}} \frac{L}{L}$$

$$St = 0.66 \text{ h}$$

EL caudal de agua atraviesa 50 ml o 0.05 L.

#### 4.2.2. Determinación del volumen de resina

$$\text{Vol} = \left[ \frac{\text{IRC} * Q}{\text{REC}} \right] * [St] \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

**Vol:** Volumen de resina (m<sup>3</sup>)

**Q:** Flujo total L/día... (50 L/día)

$$\text{Vol} = \left[ \frac{(1) \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{NO}_3^- * (5.8) \frac{\text{L}}{\text{h}}}{1.25 \frac{\text{eq}}{\text{L}} * \frac{62 \text{ gr}}{1 \text{ eq}} \text{NO}_3^-} \right] * [0.66 \text{ h}]$$

$$\text{Vol} = 0.0493 \text{ L}$$

#### 4.2.3. Determinación del volumen de columna

$$V_c = \text{Vol}_{\text{resina}} * \text{Expansión}$$

$$V_c = 0.0493\text{L} * 4$$

$$V_c = 0.1972 \text{ L}$$

Expansión = 4 (para resinas aniónicas de base fuerte)

#### 4.2.4. Determinación de la altura de columna

$$V = \frac{\pi * d * h}{4}$$

$$h_c = \frac{V_c * 4}{\pi * d}$$

Donde:

$V_c$  = volumen de columna

$d$  = diámetro de la tubería en la columna a utilizar

$h$  = altura de la columna

$$h_c = \frac{197.2 \text{ cm}^3 * 4}{3.1415 * (2.54 \text{ cm})^2}$$

$$h_c = 38.919 \text{ cm}$$



#### 4.3. Determinación de la eficiencia de la columna con resinas de Intercambio iónico.

Como se puede observar en el Cuadro 2, la concentración inicial es de 1000 ppm o mg/L y se han tomado las muestras a diferentes tiempos de operación tales como son 30, 60, 90 y 120 minutos.

Las concentraciones en ppm o mg/L que el espectrofotómetro dio como resultado tuvo que ser multiplicado por el factor de dilución = 50, así se obtuvo las concentraciones que se aprecian en el Cuadro 2. Con sus respectivas absorbancias.

Cuadro 2. Lectura de datos a 1000 ppm en los 4 tiempos de operación.

Tratamientos	Repetición	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración Inicial (ppm)	Tiempo de operación (min)	Eficiencia (%)
T1 = a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	1	0.430	297.55	1000	30	70.25
	2	0.427	295.23			70.48
	3	0.434	300.12			69.99
T2 = a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	1	0.854	632.50		60	36.75
	2	0.855	633.40			36.66
	3	0.857	635.41			36.46
T3 = a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	1	0.944	727.50		90	27.25
	2	1.040	724.56			27.54
	3	1.041	725.36			27.46
T4 = a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	1	1.081	812.00		120	18.80
	2	1.087	815.47			18.45
	3	1.085	814.29			18.57

Fuente: Elaboración Propia.

La mayor eficiencia con respecto a los cuartos tiempos se puede observar que es como resultado de un 70 % de remoción aproximadamente, así como la menor eficiencia es de 18 % de remoción, tal como se puede observar en la Figura 6.

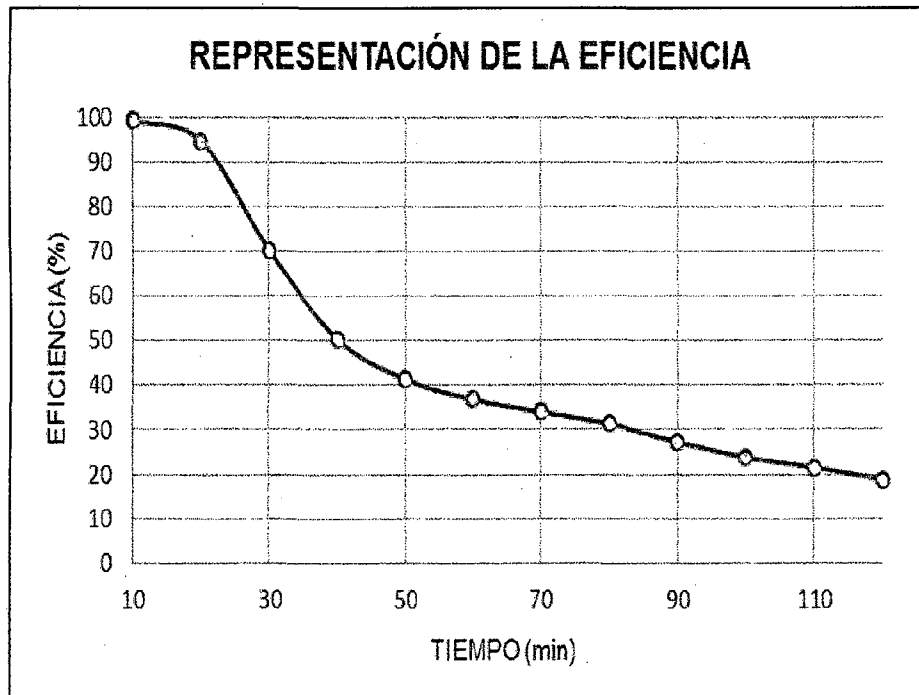


Figura 6. Eficiencia del nivel (1000 ppm) del factor A vs 4 niveles (30, 60, 90 y 120 min) del factor B.

Como se puede observar en el Cuadro 3, la concentración inicial es de 800 ppm o mg/L y se han tomado las muestras a diferentes tiempos de operación tales como son 30, 60, 90 y 120 minutos.

Las concentraciones en ppm o mg/L que el espectrofotómetro dió como resultado tuvo que ser multiplicado por el factor de dilución = 50, así se obtuvo las concentraciones que se aprecian en el Cuadro 3 con sus respectivas absorbancias.

Cuadro 3. Lectura de datos a 800 ppm en los 4 tiempos de operación.

Tratamientos	Repeticiones	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración Inicial (ppm)	Tiempo de operación (min)	Eficiencia (%)
T5 = a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	1	0.068	11.40	800	30	98.86
	2	0.078	12.10			98.79
	3	0.0778	11.90			98.81
T6 = a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	1	0.745	546.50		60	45.35
	2	0.739	542.30			45.77
	3	0.737	540.50			45.95
T7 = a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	1	0.841	622.50		90	37.75
	2	0.848	628.60			37.14
	3	0.850	630.05			37.00
T8 = a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	1	0.871	645.00		120	35.50
	2	0.874	649.20			35.08
	3	0.866	642.80			35.72

Fuente: Elaboración Propia.

La mayor eficiencia con respecto a los cuartos tiempos se puede observar que es como resultado de un 98 % de remoción aproximadamente, así como la menor eficiencia es de 35 % de remoción, tal como se puede observar en la Figura 7.

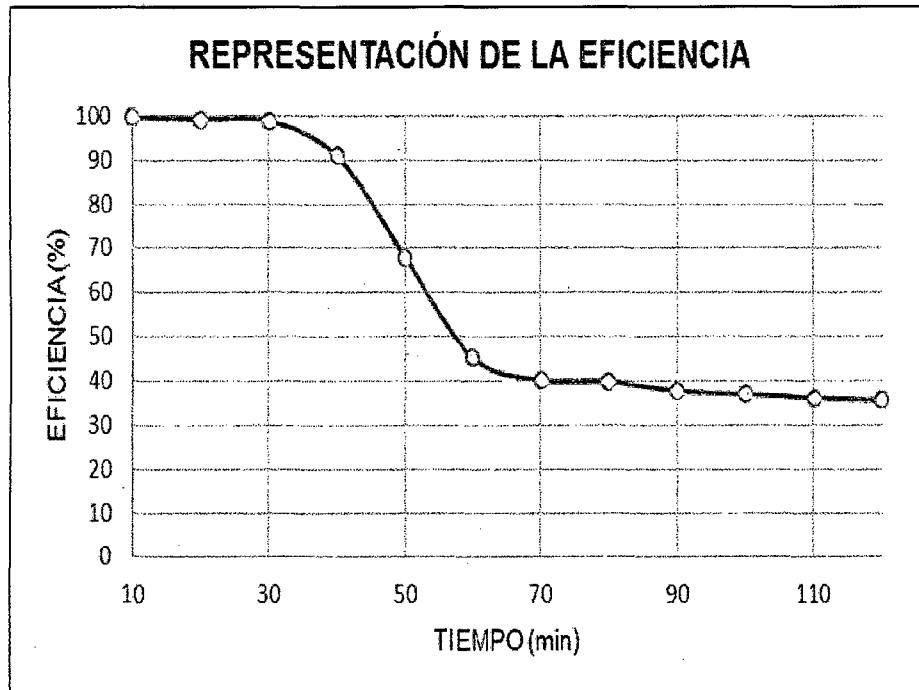


Figura 7. Eficiencia del nivel (800 ppm) del factor A vs 4 niveles (30, 60, 90 y 120 min) del factor B.

Como se puede observar en el Cuadro 4, la concentración inicial es de 600 ppm o mg/L y se han tomado las muestras a diferentes tiempos de operación tales como son 30, 60, 90 y 120 minutos.

Las concentraciones en ppm o mg/L que el espectrofotómetro dio como resultado tuvo que ser multiplicado por el factor de dilución = 50, así se obtuvo las concentraciones que se aprecian en el Cuadro 4 con sus respectivas absorbancias.

Cuadro 4. Lectura de datos a 600 ppm en los 4 tiempos de operación.

Tratamientos	Repeticiones	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración Inicial (ppm)	Tiempo de operación (min)	Eficiencia (%)
T9 = a <sub>3b1</sub>	1	0.079	19.74	600	30	98.03
	2	0.078	18.92			98.11
	3	0.076	18.2			98.18
T10 = a <sub>3b2</sub>	1	0.114	47.75		60	95.23
	2	0.113	46.50			95.35
	3	0.114	48.20			95.18
T11 = a <sub>3b3</sub>	1	0.516	365.55		90	63.45
	2	0.519	367.61			63.24
	3	0.517	366.51			63.35
T12 = a <sub>3b4</sub>	1	0.649	470.7		120	52.93
	2	0.651	472.58			52.74
	3	0.652	473.47			52.65

Fuente: Elaboración Propia.

La mayor eficiencia con respecto a los cuartos tiempos se puede observar que es como resultado de un 98 % de remoción aproximadamente, así como la menor eficiencia es de 52 % de remoción, tal como se puede observar en la Figura 8.

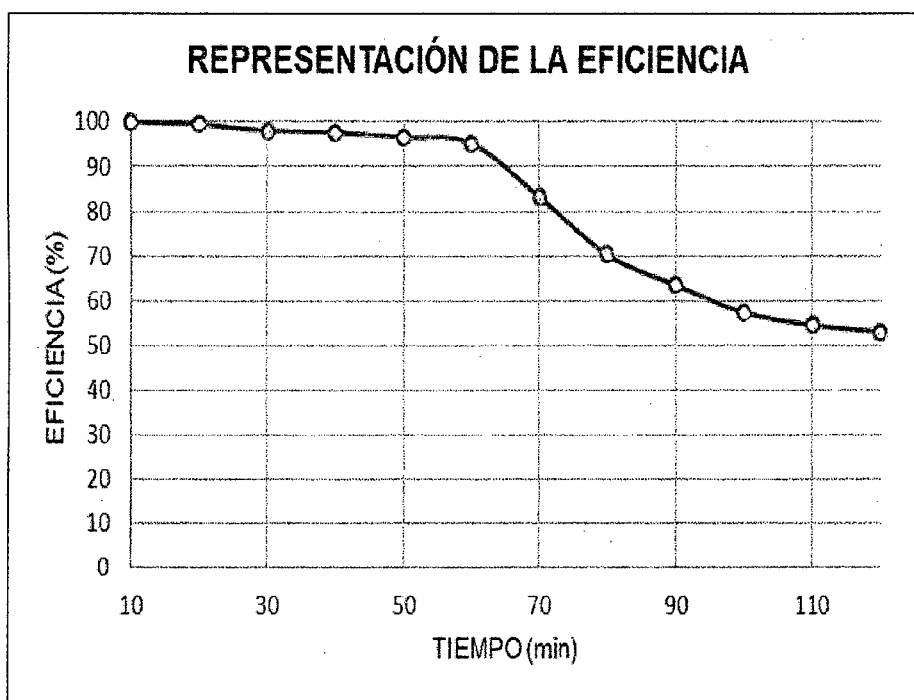


Figura 8. Eficiencia del nivel (600 ppm) del factor A vs 4 niveles (30, 60, 90 y 120 min) del factor B.

Como se puede observar en el Cuadro 5, la concentración inicial es de 400 ppm o mg/L y se han tomado las muestras a diferentes tiempos de operación tales como son 30, 60, 90 y 120 minutos.

Las concentraciones en ppm o mg/L que el espectrofotómetro dio como resultado tuvo que ser multiplicado por el factor de dilución = 50, así se obtuvo las concentraciones que se aprecian en el Cuadro 5 con sus respectivas absorbancias.

Cuadro 5. Lectura de datos a 400 ppm en los 4 tiempos de operación.

Tratamientos	Repeticiones	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración Inicial (ppm)	Tiempo de operación (min)	Eficiencia
T13 = a <sub>4</sub> b <sub>1</sub>	1	0.0560	1.60	400	30	99.84
	2	0.0565	2.30			99.77
	3	0.0550	1.48			99.85
T14 = a <sub>4</sub> b <sub>2</sub>	1	0.0730	15.60		60	98.44
	2	0.0744	16.50			98.35
	3	0.0753	17.20			98.28
T15 = a <sub>4</sub> b <sub>3</sub>	1	0.1010	37.60		90	96.24
	2	0.1030	39.10			96.09
	3	0.1001	36.82			96.32
T16 = a <sub>4</sub> b <sub>4</sub>	1	0.3060	199.55		120	80.05
	2	0.3073	200.12			79.99
	3	0.3079	201.46			79.85

Fuente: Elaboración Propia.

La mayor eficiencia con respecto a los cuartos tiempos se puede observar que es como resultado de un 99 % de remoción aproximadamente, así como la menor eficiencia es de 80 % de remoción, tal como se puede observar en la Figura 9.

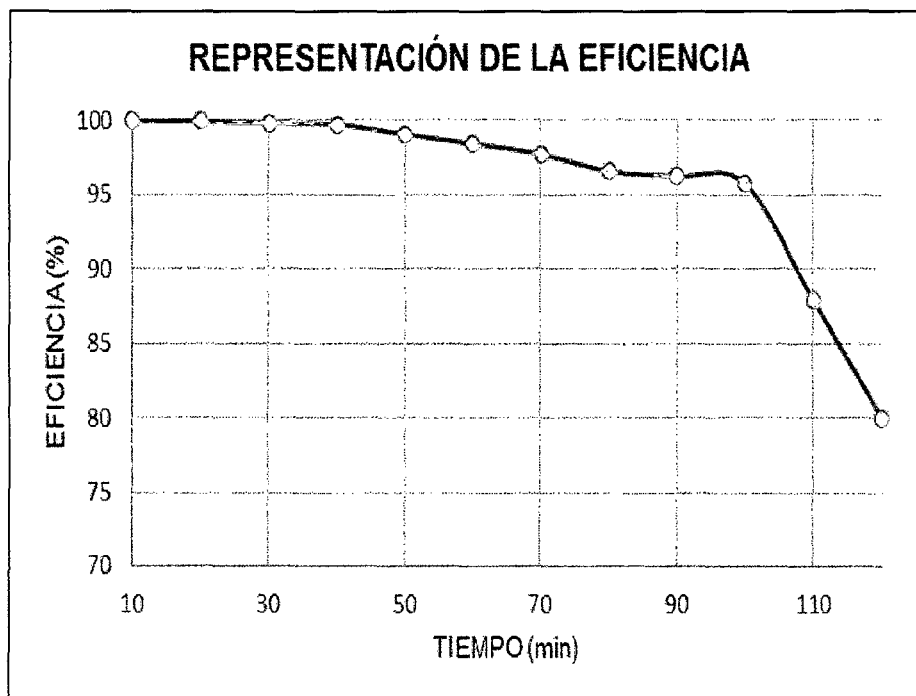


Figura 9. Eficiencia del nivel (400 ppm) del factor A vs 4 niveles (30, 60, 90 y 120 min) del factor B.



#### 4.4. Determinación de la capacidad real de la resina, y volumen de agua de regeneración y lavado.

##### 4.4.1. Tiempos de ruptura

Ya que es el tiempo en el cual el efluente tiene una concentración de nitratos mayor o igual a los 45 ppm dispuestos por los ECAS.

Para 800 ppm tiempo de ruptura mayor a 30 minutos

Para 600 ppm tiempo de ruptura aproximadamente 60 minutos

Para 400 ppm tiempo de ruptura mayor a 90 minutos

##### 4.4.1.1. Determinación de la capacidad real de la resina

$$\text{Capacidad real} = \frac{T_c * Q * C}{V}$$

$$\text{Capacidad real} = \frac{90 \text{ min} * 5.8 \frac{\text{L}}{\text{h}} * 0.4 \text{ g/L}}{0.05 \text{ L de resina}} \text{ para 400 ppm}$$

$$\text{Capacidad real} = \frac{60 \text{ min} * 5.8 \frac{\text{L}}{\text{h}} * 0.4 \text{ g/L}}{0.05 \text{ L de resina}} \text{ para 600 ppm}$$

$$\text{Capacidad real} = \frac{30 \text{ min} * 5.8 \frac{\text{L}}{\text{h}} * 0.4 \text{ g/L}}{0.05 \text{ L de resina}} \text{ para 800 ppm}$$

Se obtuvo que la resina atrapa 69.9 g por cada 0.05 L en 90 minutos aproximadamente, entonces como resultado tenemos que la capacidad real es de 1.112 eq de NO<sub>3</sub>, aproximándose al dato real del fabricante de 1.25 eq de NO<sub>3</sub>.

#### 4.4.2. Determinación del volumen de agua de regeneración y lavado.

Como se puede apreciar en el siguiente cuadro se gastó más agua de lavado y regeneración para la concentración de 1000 ppm siendo este de 2.93 Litros de agua por cada 0.05 L de resina, así mismo se realizó el cálculo del agua regeneración siendo de 1.46 Litros de NaCl por cada 0.05 Litros de agua y para la concentración de 400 ppm fue de 1.46 litros de agua por cada 0.05 litros de resina y finalmente 0.78 litros de NaCl por cada 0.05 litros de resina.

Cuadro 6. Volúmenes de agua de lavado y regeneración.

Concentración (ppm)	Lavado 1		Regeneración		Lavado 2		Volumen total de lavado (L)
	Tiempo (min)	Volumen (L)	Tiempo (min)	Volumen (L)	Tiempo (min)	Volumen (L)	
1000	10	0.98	15	1.46	20	1.95	2.93
800	7.5	0.73	12.5	1.22	17.5	1.71	2.44
600	5	0.49	10.5	1.02	15	1.46	1.95
400	2.5	0.24	8	0.78	12.5	1.22	1.46
				4.49			8.78

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. Análisis de las aguas y corridas por las columnas de intercambio iónico.

Como se puede apreciar en el siguiente cuadro el valor más alto de concentración del ion nitrato está presente en el agua de pozo (subterránea), en la lotización Villa Potokar siendo de 52.76 ppm o mg/L, así mismo el valor más bajo de la concentración del ion nitrato está presente en el reservorio de la quebrada cocheros siendo esta 13.16 ppm o mg/L.

Cuadro 7. Concentraciones de las muestras de agua al inicio

Muestras	Lugar	Concentración (ppm)
1	Quebrada cocheros (reservorio)	13.16
2	Quebrada naranjal (reservorio)	14.38
3	Pozo 1 (Castillo Grande)	18.2
4	Pozo 2 (Castillo Grande)	19.4
5	Pozo 3 (Brisas del Huallaga)	22.81
6	Pozo 4 (Villa Potokar)	43.88
7	Pozo 5 (Villa Potokar)	52.76

Fuente : Espectrofotómetro Orion Aquamate UV – vis 8000

A continuación se describe los resultados de los análisis obtenidos luego de las corridas por la columna de intercambio iónico.

Cuadro 8. Concentraciones de las muestras de agua a la salida.

Lugar	Concentración de Salida (ppm)	Eficiencia %
Quebrada cocheros (reservorio)	0.02	99.84
Quebrada naranjal (reservorio)	0.04	99.70
Pozo 1 (Castillo Grande)	0.08	99.57
Pozo 2 (Castillo Grande)	0.08	99.58
Pozo 3 (Brisas del Huallaga)	0.15	99.34
Pozo 4 (Villa Potokar)	0.23	99.48
Pozo 5 (Villa Potokar)	0.58	98.90

Fuente: Espectrofotómetro Orion Aquamate UV – vis 8000.

#### **4.5.1. Diseño de las columnas para el tratamiento del agua de consumo humano**

El diseño de las columnas se estableció para los valores más altos de nitratos y los cercanos a los estándares de calidad ambiental. Se tomó en cuenta los valores de 22.81 mg/L, 43.88 mg/L y 52.76 mg/L respectivamente para aproximar el diseño de estas columnas y establecer el tratamiento respectivo a escala real.

Los resultados obtenidos según el diseño de la columna a escala real es de 37.5 cm.

Se detalla también que la tubería es de 3" de diámetro – clase 10 (PVC) planteando en el diseño un caudal de 25 L/min que corresponde a una conexión intradomiciliaria para tratar una concentración del agua subterránea de 43.88 mg/L, en la cual se está usando un volumen de resina de 0.851 Litros tal como lo detalla la Figura 10 y los detalles del diseño se pueden apreciar en los planos del Apéndice 5.

El costo aproximado de la instalación de la columna de intercambio iónico para aguas de consumo humano se detalla en el Anexo 2 del Apéndice 5.

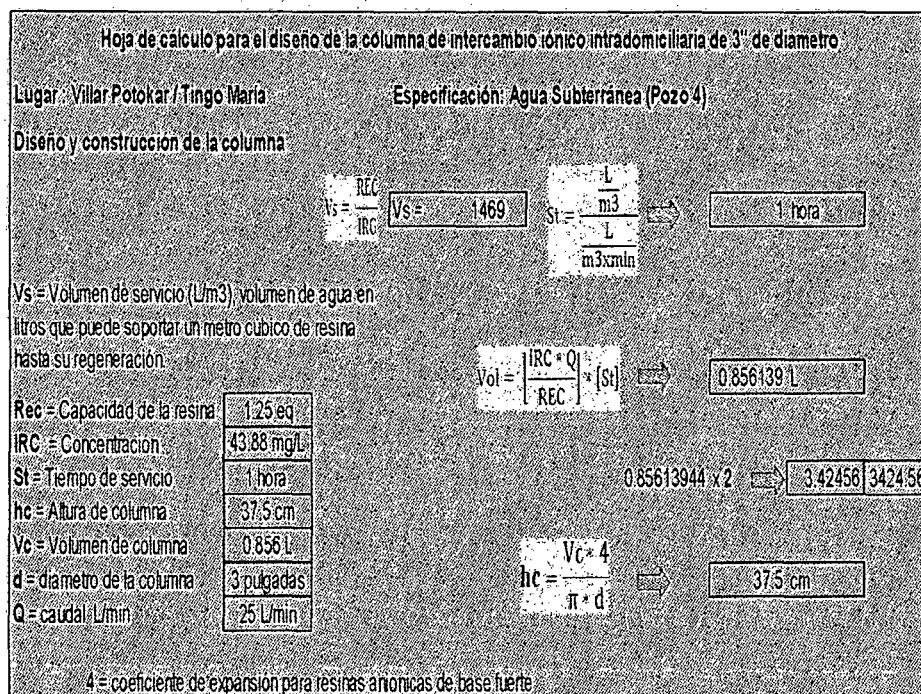


Figura 10. Diseño de la columna para 43.88 ppm Pozo 4 (V. Potokar).

Los resultados obtenidos según el diseño de la columna a escala real es de 45.1 cm.

Se detalla también que la tubería es de 3" de diámetro – clase 10 (PVC) planteando en el diseño un caudal de 25 L/min que corresponde a una conexión intradomiciliaria para tratar una concentración del agua subterránea de 52.76 mg/L, en la cual se está usando un volumen de resina de 1.02 Litros tal como lo detalla la Figura 11 y los detalles del diseño se pueden apreciar en los planos del Apéndice 5.

El costo aproximado de la instalación de la columna de intercambio iónico para aguas de consumo humano se detalla en el Anexo 2 del Apéndice 5.

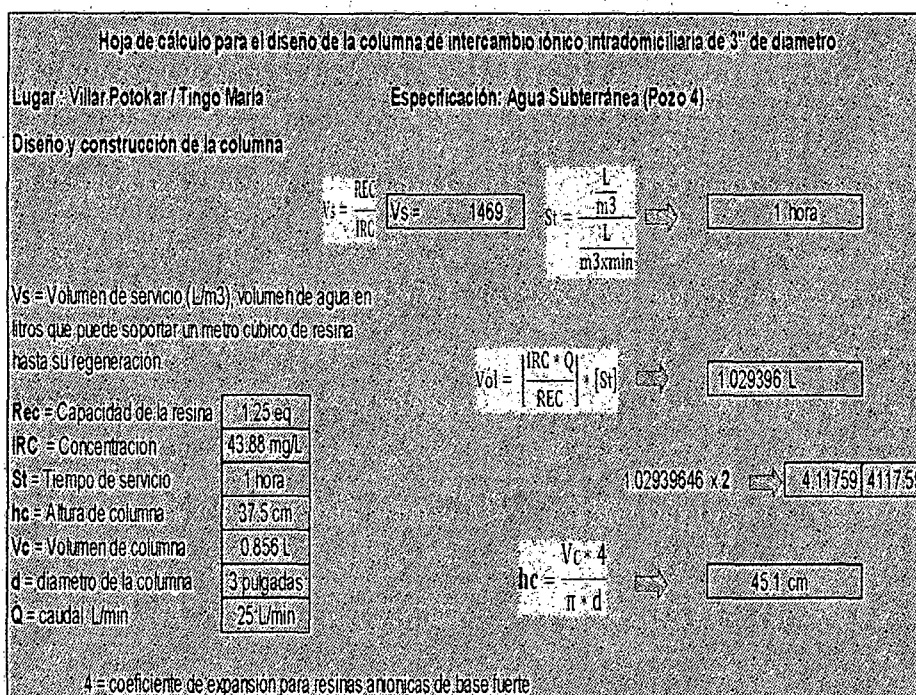


Figura 11. Diseño de la columna para 52.76 Pozo 5 (V. Potokar).

## V. DISCUSIÓN

Las curvas de calibración pueden ser lineales o no lineales. En la mayoría de casos cuando la curva es lineal se aplica la Ley de Beer. Para definir la curva de calibración que mejor representa la relación entre la absorbancia (A) y la concentración (C), como lo señala CLAVIJO (1988) y como se observa en la (Figura 1.), pues se puede corroborar en la Figura 5 que la curva de calibración tiene una tendencia lineal y con un coeficiente de correlación  $R^2$  óptimo cercano a 1, cuidando también que los estándares o patrones para la lectura de las absorbancias no sobrepase la unidad y se cumpla la ley de Beer para curvas lineales.

CODA y PUJOL (2010). Señala que el intercambio iónico mediante resinas es una de las tecnologías para remover o eliminar impurezas iónicas que pueden presentarse en un agua natural y que son perjudiciales para procesos industriales o uso del agua para consumo humano. Una de las técnicas de eliminación de iones consiste en hacer pasar el agua a través de resinas de intercambio iónico, la cual se realizó a escala de laboratorio diseñando y elaborando el montaje para su funcionamiento con las medidas propuestas por QUISPE (1983), pudiéndose corroborar el volumen de resina, volumen de columna y diámetro de columna de intercambio iónico. Mientras que PERRY y GREEN (1999), señala que para resinas aniónicas de base fuerte con un

volumen de resina de 0.05 litros es igual a 4, una cifra adimensional que se puede apreciar el típico buen funcionamiento de la columna en toda la experimentación.

Asimismo McCABE (1994), señala que la eficiencia puede medirse mediante el cociente de la resta de la concentración de entrada y la concentración de salida entre la concentración de entrada del ion nitrato, todo esto multiplicado por 100, expresándose en porcentaje de remoción. Tal es así que las resinas de base aniónica fuerte, pueden retener entre un 90 a 99% de los nitratos como lo señala DÍAZ (1985), corroborando en el Cuadro 5 y la Figura 9, que la eficiencia promedio de remoción a los 400 ppm y 30 minutos es de 99.82 %, de esta manera se comprueba en la parte estadística por las comparaciones múltiples que el mejor tratamiento se puede observar en el Cuadro15, siendo altamente significativo a comparación de los demás tratamientos con un ( $p < 0.01$ ), reforzando este resultado con la prueba de homogeneidad de varianzas por separado siendo a4 altamente significativo con respecto a (a3, a2 y a1), así mismo sucede con b1 a comparación de (b2, b3 y b4), resulta altamente significativo, lo cual hace que el mejor tratamiento sea a4b1, con respecto a los demás lo que prueba que estadísticamente no son iguales las eficiencias y corrobora el comportamiento de la Figura 9.

CODA y PUJOL (2010), señala que el cálculo de la capacidad real de la resina, para comparar la eficiencia teórica que se detalla en el producto y los factores que influyen dentro de la experimentación, tal es así que la capacidad real de la resina en la experimentación se acerca de manera



significativa a lo que señala las especificaciones de uso del fabricante (capacidad real teórica).

Para la regeneración CODA y PUJOL (2010), indica que la resina se utilizará una solución 10% de NaCl, trabajando durante 60 min con un caudal de regeneración de establecido y para determinar el agua de lavado, se someterá a lavar con un caudal conocido por 30 minutos y se calculará el volumen de agua de lavado por litro de resina, lo cual en la experimentación y los resultados obtenidos tal como lo señala el Cuadro 6, para la regeneración se hizo ensayos repetitivos hasta obtener el tiempo adecuado, previo a esto se realizó un primer lavado de la resina, posterior al agua de regeneración se sometió a otro lavado para dejar operativa otra vez la resina teniendo en cuenta que se tuvo que pasar la misma agua de la primera repetición para comprobar mediante el espectrofotómetro si la concentración de salida a un tiempo "t" no muy alargado era de 0 ppm o cercano a 0, efectivamente se logró calcular todos los tiempo de Lavado y regeneración así como su respectivo volumen Cuadro 6, finalmente se procedió a realizar la segunda repetición y así sucesivamente la tercera previa a los procesos ya mencionados.

Por lo general se cree que el agua subterránea es pura y segura para beber ya que pasa por un proceso de filtración natural a través del subsuelo MARÍN (1995) Además, señala que los valores de nitrato en aguas subterráneas es menor a 5 mg/L, pero podemos observar en el Cuadro 8 que los resultados obtenidos tales como son: las aguas de pozo subterráneas como son el Pozo 1 y 2 de Castillo Grande el pozo 3 de Brisas del Huallaga y el pozo 4 de lotización Villa Potokar exceden este valor mencionado por el autor pero están por debajo

de 45 ppm tal como lo indica los estándares de calidad ambiental nacional de agua, pero esto no sucede con el Pozo 5 que si excede los valores suscritos por la EPA y la OMS (10 ppm de  $\text{NO}_3$  de N total o 45 ppm de  $\text{NO}_3$ ).

Tal es así que MARÍN (1995) señala que en el caso de fuentes de agua superficiales, está generalmente comprendido la concentración de nitratos de 0 – 18 mg/L, en el Cuadro 7 se puede apreciar que los valores de nitratos están dentro de este rango tal como lo especifica el autor, VINELLI (2012) menciona que no exime la condición que mediante acumulación en cuerpos de agua superficiales receptores que son derivados para consumo humano y puede ser dañino para la salud humana.

Pero el Pozo 5 si sobrepasa los estándares nacionales con 52.76 ppm siendo este el valor más alto de todas las muestras de agua tomadas en el estudio de esta investigación, esto se debe a la colmatación de los pozos sépticos que se encuentran cercanos a las fuentes de agua subterráneas, tal como lo indica MARÍN (1995) que esto se debe a que la contaminación del agua subterránea es provocada por: fosas sépticas, fugas de alcantarillado, vertimientos de letrinas, etc.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se logró determinar que las resinas aniónicas de base fuerte son muy eficientes dando como mejor resultado estadístico existiendo significancia del ( $p < 0.01$ ), encontrándose como el mejor tratamiento a una concentración de 400 ppm y a un tiempo de 30 minutos obteniéndose una eficiencia del 99.82 % en la remoción de nitratos. Se logró construir la curva de calibración con un  $R^2 = 0.999$  y con la ecuación  $Y = 0.0633X + 0.0536$ .
2. Se realizó la construcción y el montaje del equipo con un diámetro de columna de 1 pulgada, una altura de columna de 40 cm, un volumen de columna de 0.1978 Litros, y un volumen de resina de 0.05 Litros, con un coeficiente de expansión de 4 típico de resinas aniónicas de base fuerte.
3. Se determinó las eficiencias en las diferentes concentraciones de 1000, 800, 600 y 400 ppm en los tiempos de 30, 60, 90 y 120 minutos siendo respectivamente en promedio que va desde la concentración de 1000 ppm y 30 minutos con 70.24 %, 36.62 %, 27.42 %, 18.61 %, 98.82 %, 45.69 %, 37.30 %, 35.43 %, 98.10 %, 95.25 %, 63.34 %, 57.78 %, 99.82 %, 98.36 %, 96.22 %, hasta el tratamiento final de 400 ppm y 120 minutos con 79.96 %.

4. Se hizo el cálculo de la capacidad real de la resina en un tiempo de 90 minutos que fue de 1.112 eq de  $\text{NO}_3^-$  acercándose al dato teórico del fabricante que es de 1.25 eq de  $\text{NO}_3^-$ .
5. La concentración de las muestras analizadas de dos reservorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva: Cocheros y Naranjal tienen valores: 13.16 y 14.38 ppm, y 3 muestras de agua de pozo o subterránea: 18.2, 19.4, 22.81, 43.88 y 52.76 ppm de nitratos, respectivamente siendo éste el valor más alto que sobrepasa los estándares de calidad ambientales nacionales determinando que el agua de consumo que se utiliza en esta zona de la ciudad de Tingo María tanto para la bebida y la alimentación no es apta para ser consumida sin previo tratamiento.
6. Se estableció el diseño de las columnas para las concentraciones de 43.88 mg/L y 52.76 mg/L, teniendo una altura de columna de 37.5 cm y 45.1 cm respectivamente, teniendo una eficiencia del 99.34 y 98.90 % respectivamente.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Realizar un análisis fisicoquímico del agua de consumo antes de operar con resinas convencionales para determinar si representaría un factor que influye directamente en la cinética de intercambio iónico.
2. Elaborar un plan de monitoreo de aguas subterráneas para determinar los niveles de nitratos presentes en las mismas.
3. Establecer un tratamiento primario antes que las aguas de consumo atraviesen la resina de intercambio iónico.
4. Mejorar la operación y el mantenimiento en las estructuras de abastecimiento de agua potable para reducir los niveles de contaminación.
5. Realizar investigaciones en diseño de una planta piloto para la remoción de nitratos utilizando la resina LEWATIT MONOPLUS M600.

## **VIII. ABSTRACT**

### **“EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE CONVENTIONAL RESIN (STRONG BASE ANION) ON THE REMOVAL OF NITRATES IN WATERS FOR HUMAN CONSUMPTION”**

This research was determined if the (conventional) strong base anion resins are efficient in the removal of nitrates in waters for human consumption, It was established to construct the calibration curve for the reading of the analyzed samples, design and build the ion exchange column, determine the efficiency of the column at different times of operation, calculate the real capacity of the resin and finally analyze water problem and testing by the columns of ion exchange with strong base anion resins. This research was conducted in the laboratory of Phytochemistry of the Faculty of resources natural of the Universidad National Agraria de la Selva, building with the preparation of standards calibration curve, building and assembling the equipment inside the laboratory, later determining efficiency in function at the time of operation with the inlet and outlet concentrations to then make the regeneration and calculate the wash water, and finally the analysis of surface and groundwater and proceeded to perform tests before operation of the columns of ion exchange with strong base resins. This

research was conducted in the laboratory of Phytochemistry of the Faculty of resources natural of the Universidad Nacional Agraria de la Selva, greater efficiency is 99.82% treatment 13 (a4b1), and the lower efficiency is 18.23%, treatment 1 (a1b1), the calibration curve has an  $R^2 = 0.999$ , 1 inch of column diameter, 0.05 liters of volume of resin, with a column of 40 cm height for washing and regeneration of resin was used 2.96 litres of water the concentration of 1000 ppm and 0.65 litres in the concentration of 400 ppm, the lowest concentration of the samples analysed was that of the Cocheros reservoir (13.50 ppm) and the highest in the lotización Villa Potokar (52.76 ppm), setting so the water in this area of the city is not suitable for direct consumption without prior treatment that is so that resin strong base anionic presents an efficiency of the 99.20% so it is recommended to remove high levels of nitrates in water for human consumption.

Key words: groundwater, efficiency, ionic exchange, nitrates, removal, strong base anion resin.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMONDARIN, A. 2009. Tratamiento de aguas subterráneas para la eliminación de nitratos utilizando resinas de intercambio iónico portátil. 14 p.
- AUDITORIA GENERAL DE LA NACIÓN (AGN) – REPUBLICA ARGENTINA. 1998. Informes y estudios sobre la problemática del agua – Investigación y análisis de los antecedentes de la problemática del agua subterránea en el Área Metropolitana. Documento Técnico N° 12, 24-26, 59 p.
- AVILLA, J. 2009. Lo esencial acerca del intercambio catiónico. XXV Conferencia anual de la Water Quality Association. Philadelphia. EE.UU. 9 p.
- B.O.E. 1987. Métodos oficiales de análisis físico-químicos para aguas potables de consumo público. Código alimentario Español. Madrid – España. Vol 163. 20911 - 20919 (9 p).
- CLAVIJO, A. 1989. Equilibrio iónico y análisis químico, obtención de la curva de calibración de una determinada sustancia. 29 p. CODA, S., PUJOL, O. 2010. Desnitrificación de un agua residual mediante resinas de intercambio iónico. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Barcelona. Barcelona. España. 6 p.



- DALMASO, M., MARTINEZ, D., MARIÑO, E. 1999. "Contaminación por efluentes de la industria frigorífica: el caso del acuífero arenoso de General Pico", II Congreso Argentino de Hidrogeología, Serie correlación Geológica Nº 13, San Miguel de Tucumán.
- DÍAZ, F. 1985. Contaminación de las Aguas Subterráneas por Nitratos – Situación existente en el Aglomerado Bonaerense, Anales del XII Congreso Nacional del Agua, Tomo III (a), CONAGUA 85, Mendoza, República Argentina, 21 p.
- GIJZEN, H., MULDER, A. 2001. El desbalance en el ciclo global del nitrógeno, Ingeniería Sanitaria y Ambiental 59, 73 –74.
- GONZÁLEZ, A., HERRERO, M. 1999. Las actividades agropecuarias y su impacto en la calidad del agua en el partido de Lobos, Argentina, Ingeniería Sanitaria y Ambiental 47, 52.
- HACKENBRUCH, R., IRIBURO, A. 2009. Remoción de nitratos en agua subterránea para consumo humano utilizando resinas de intercambio iónico en la localidad de Palmitas, departamento de Montevideo Uruguay. Tesis Ing. Ambiental. Proyecto de Tesina presentado ante la Universidad del Centro del Perú, Junín, Perú. 92 p.
- INTERNATIONAL WATER SERVICES ASSOCIATION (IWSA). 1998. Nitrates, the Blue pages – The IWSA information source on drinking water issues, 7 – 8.

- JIMÉNEZ DEL SOL, I. 1998. Estudio de la concentración de nitratos en las aguas subterráneas de Cienfuegos. Afectaciones a la salud, XXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Lima, noviembre 1998.
- KIELY, G. 1999 Environmental Engineering. Traducción castellana por McGraw-Hill / Interamericana de España, Ingeniería Ambiental – Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid – España, 185 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 1978. Nitrates, Nitrites and N – Nitroso Compounds, Environmental Health Criteria 5, Geneva, 210 p.
- MARÍN G. 1995. Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento. Primera edición. Barcelona. Editorial Gestión y Promoción, 719 p.
- MCCABE, W.L., SMITH, J.C., HARRIOT, P. 1994. Operaciones unitarias de Ingeniería Química. McGraw-Hill. Madrid. 180 p.
- PERRY, R.H.; GREEN, D.W. 2001. Manual del ingeniero Químico. Editorial McGraw-Hill. 6ta Edición. Madrid – España. 2577 p.
- QUISPE, L. 1983. Utilización de resinas de intercambio iónico en la desinfección del agua para abastecimiento en zonas rurales. Tesis Ing. Químico. Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 86 p.
- ROCHA, V., BAUDINO, G. 2002. Contaminación con nitratos en el norte de la Ciudad de Salta Capital, noroeste argentino, Congress on Groundwater and Human Development, Mar del Plata. 150 p.

VINELLI, R. 2012. Estudio analítico de nitratos en aguas subterráneas en el distrito San Pedro de Lloc. Lima – Perú. 77 p.

## **ANEXOS**

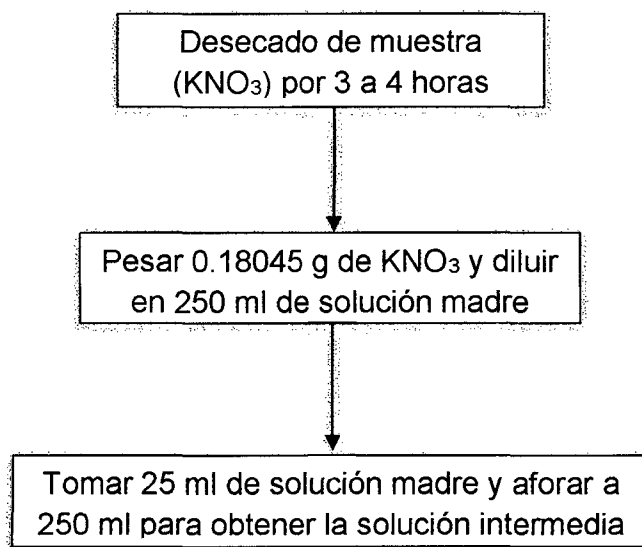
**APENDICE 1. Secuencia de construcción de la curva de calibración.****Anexo 1. Secado de muestra y preparación de solución madre e intermedia.**

Figura 12. Esquema del pesaje, secado y preparación de las soluciones.

**Anexo 2. Preparación de estándares**

- **Estándar 1 (Blanco):** 1 ml de HCl 0.1 N y aforar a 50 ml de agua destilada.
- **Estándar 2:** 1 ml de solución intermedia, 1 ml de HCl 0.1 y aforar a 50 ml de agua destilada.
- **Estándar 3:** 3 ml de solución intermedia, 1 ml de HCl 0.1 N y aforar a 50 ml de agua destilada.
- **Estándar 4:** 5 ml de solución intermedia, 1 ml de HCl 0.1 N y aforar a 50 ml de agua destilada.
- **Estándar 5:** 7 ml de solución intermedia, 1 ml de HCl 0.1 N y aforar a 50 ml de agua destilada.
-

**APÉNDICE 2. SOLUCIONES DE NITRATO DE POTASIO.****Anexo 1. Solución de 1000 ppm**

La preparación de una solución con el ion nitrato puede ser obtenida de cualquier fuente de nitrato en este caso se usó  $KNO_3$ .

$$1000 \text{ ppm ó } 1000 \text{ mg/L} = 1 \text{ g/L de } (NO_3)^-$$

101 g de  $KNO_3$  contiene 62 g de Nitrato

$$w = \frac{1 \text{ g } (NO_3)^- * 101 \text{ g } KNO_3}{62 \text{ g } (NO_3)^-}$$

$$w = 1.63 \text{ g } KNO_3 \dots \text{ Para 1 L.}$$

Para 15 L se necesitarán 24.435 g de  $KNO_3$

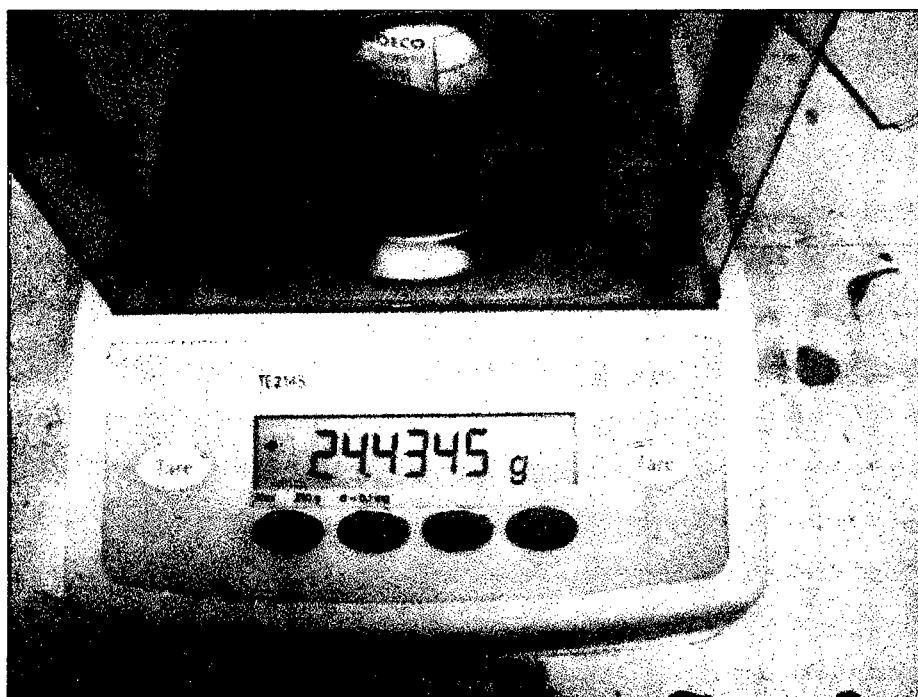


Figura 13. Peso de  $KNO_3$  para 1000 ppm.

## Anexo 2. Solución de 800 ppm

La preparación de una solución con el ion nitrato puede ser obtenida de cualquier fuente de nitrato en este caso se usó  $KNO_3$ .

800 ppm ó 800 mg/L = 0.8 g/L de  $(NO_3)^-$

101 g de  $KNO_3$  contiene 62 g de Nitrato

$$w = \frac{0.8 \text{ g } (NO_3) * 101 \text{ g } KNO_3}{62 \text{ g } (NO_3)}$$

$w = 1.303 \text{ g } KNO_3 \dots \dots$  Para 1 L.

Para 15 L se necesitarán 19.54 g de  $KNO_3$

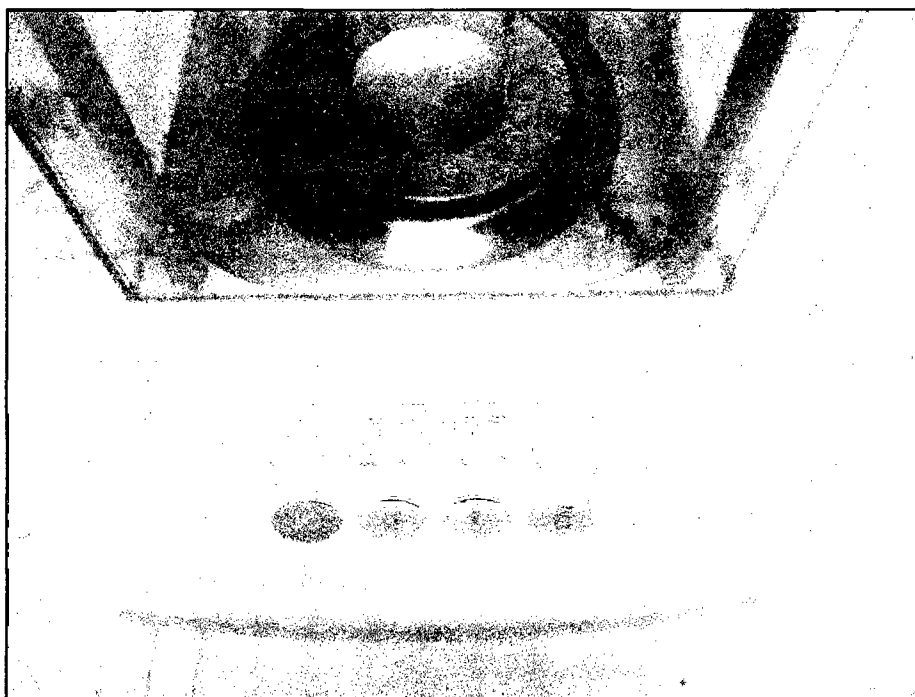


Figura 14. Peso de  $KNO_3$  para 800 ppm.

### Anexo 3. Solución de 600 ppm

La preparación de una solución con el ion nitrato puede ser obtenida de cualquier fuente de nitrato en este caso se usó  $KNO_3$ .

600 ppm ó 600 mg/L = 0.6 g/L de  $(NO_3)^-$

101 g de  $KNO_3$  contiene 62 g de Nitrato

$$w = \frac{0.6 \text{ g } (NO_3) * 101 \text{ g } KNO_3}{62 \text{ g } (NO_3)}$$

$$w = 0.977 \text{ g } KNO_3 \dots \text{ Para 1 L.}$$

Para 15 L se necesitarán 14.661 g de  $KNO_3$

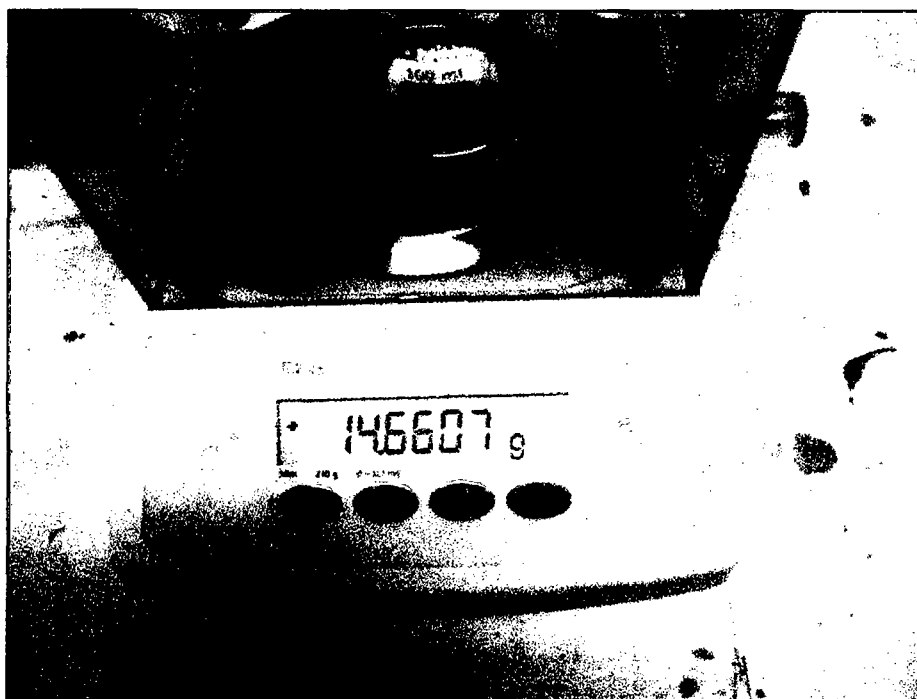


Figura 15. Peso de  $KNO_3$  para 600 ppm.



#### Anexo 4. Solución de 400 ppm

La preparación de una solución con el ion nitrato puede ser obtenida de cualquier fuente de nitrato en este caso se usó  $KNO_3$ .

600 ppm ó 600 mg/L = 0.6 g/L de  $(NO_3)^-$

101 g de  $KNO_3$  contiene 62 g de Nitrato

$$w = \frac{0.4 \text{ g } (NO_3) * 101 \text{ g } KNO_3}{62 \text{ g } (NO_3)}$$

$w = 0.65 \text{ g } KNO_3 \dots \dots$  Para 1 L.

Para 15 L se necesitarán 9.774 g de  $KNO_3$



Figura 16. Peso de  $KNO_3$  para 400 ppm.

### Anexo 5. Comprobación de las concentraciones reales.

Se realizó una dilución del volumen inicial de la concentración de 1000 ppm de la cual se tomó 0.5 ml y se aforó a un volumen exacto en una fiola de 250 ml.

Luego se agitó repetidas veces para posterior a eso se realicen las lecturas en el espectrofotómetro tal como señala el Cuadro 9.

El factor de dilución es igual al volumen total de aforo entre el volumen de alícuota,  $Fd = 250 \text{ ml} / 0.5 \text{ ml}$ , siendo este igual a 500.

Este factor de dilución se multiplicó por el concentración promedio de la dilución, siendo ésta de 993 ppm al inicio.

Cuadro 9. Lecturas reales de la concentración de 1000 ppm

Nº Lectura de muestra	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración promedio de dilución	Concentración dilución * Fd
1	0.135	2.053		
2	0.127	1.939		
3	0.129	1.967	1.985	993
4	0.13	1.982		

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una dilución del volumen inicial de la concentración de 800 ppm de la cual se tomó 0.5 ml y se aforó a un volumen exacto en una fiola de 250 ml.

Luego se agitó repetidas veces para posterior a eso se realicen las lecturas en el espectrofotómetro tal como señala el Cuadro 10.

El factor de dilución es igual al volumen total de aforo entre el volumen de alícuota,  $Fd = 250 \text{ ml} / 0.5 \text{ ml}$ , siendo este igual a 500.

Este factor de dilución se multiplicó por el concentración promedio de la dilución, siendo ésta de 799.375 ppm al inicio.

Cuadro 10. Lecturas reales de la concentración de 800 ppm

N° Lectura de muestra	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración promedio de dilución	Concentración dilución * Fd
1	0.08	1.593		
2	0.075	1.565		
3	0.081	1.624	1.59875	799.375
4	0.085	1.613		

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una dilución del volumen inicial de la concentración de 600 ppm de la cual se tomó 0.5 ml y se aforó a un volumen exacto en una fiola de 250 ml.

Luego se agitó repetidas veces para posterior a eso se realicen las lecturas en el espectrofotómetro tal como señala el Cuadro 11.

El factor de dilución es igual al volumen total de aforo entre el volumen de alícuota,  $Fd = 250 \text{ ml} / 0.5 \text{ ml}$ , siendo este igual a 500.

Este factor de dilución se multiplicó por el concentración promedio de la dilución, siendo ésta de 599.75 ppm al inicio.

Cuadro 11. Lecturas reales de la concentración de 600 ppm

N° Lectura de muestra	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración promedio de dilución	Concentración dilución * Fd
1	0.062	1.203		
2	0.059	1.198		
3	0.058	1.196	1.1995	599.75
4	0.061	1.201		

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una dilución del volumen inicial de la concentración de 400 ppm de la cual se tomó 0.5 ml y se aforó a un volumen exacto en una fiola de 250 ml.

Luego se agitó repetidas veces para posterior a eso se realicen las lecturas en el espectrofotómetro tal como señala el Cuadro 12.

El factor de dilución es igual al volumen total de aforo entre el volumen de alícuota,  $Fd = 250 \text{ ml} / 0.5 \text{ ml}$ , siendo este igual a 500.

Este factor de dilución se multiplicó por el concentración promedio de la dilución, siendo ésta de 399.75 ppm al inicio.

Cuadro 12. Lecturas reales de la concentración de 400 ppm.

N° Lectura de muestra	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración promedio de dilución	Concentración dilución * Fd
1	0.047	0.798		
2	0.05	0.84		
3	0.047	0.798	0.7995	399.75
4	0.042	0.762		

Fuente: Elaboración propia.

### APÉNDICE 3. Curva de saturación de la resina.

#### Anexo 1. Curva de saturación A

La concentración de 1000 partes por millón como se puede observar en la Figura 17, se va comportando de manera tal que aproximadamente a los 90 minutos ya tiene una tendencia más o menos constante por ser la más fuerte, la capacidad de la resina va agotando el mecanismo de atrapamiento por lo que se tiene que regenerar con NaCl al 10 %.

Una vez que se regeneró la resina aniónica de base fuerte se procedió a realizar la segunda repetición y así sucesivamente la repetición posterior.

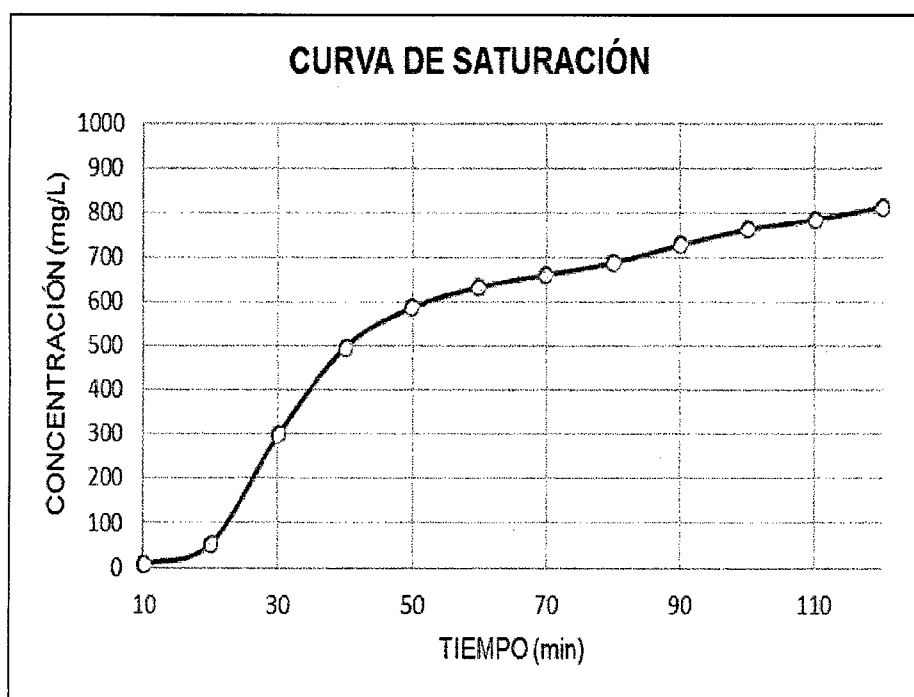


Figura 17. Saturación de la resina en función al tiempo de operación.

## Anexo 2. Curva de saturación B

La concentración de 800 partes por millón como se puede observar en la Figura 18, se va comportando de manera tal que aproximadamente a los 70 minutos y a una concentración de 600 ppm, tiene una tendencia más o menos constante, la capacidad de la resina va agotando el mecanismo de atrapamiento por lo que se tiene que regenerar con NaCl al 10 %.

Una vez que se regeneró la resina aniónica de base fuerte se procedió a realizar la segunda repetición y así sucesivamente la repetición posterior.

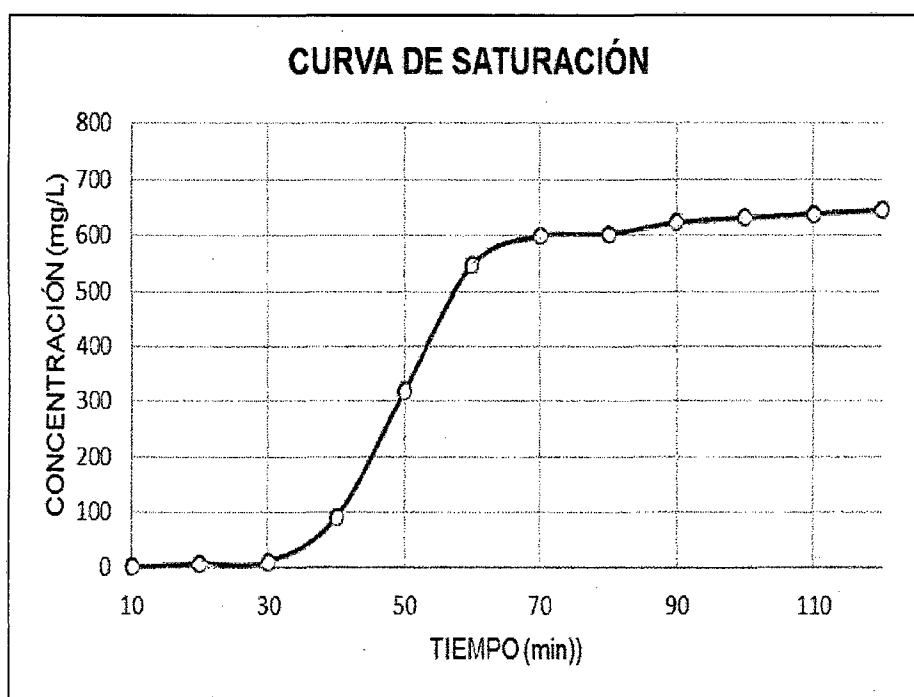


Figura 18. Saturación de la resina en función al tiempo de operación.

### Anexo 3. Curva de saturación C

La concentración de 600 partes por millón como se puede observar en la Figura 19, se va comportando de manera tal que aproximadamente a los 110 minutos y a una concentración aproximada de 480 ppm, tiene una tendencia más o menos constante, la capacidad de la resina va agotando el mecanismo de atrapamiento por lo que se tiene que regenerar con NaCl al 10 %.

Una vez que se regeneró la resina aniónica de base fuerte se procedió a realizar la segunda repetición y así sucesivamente la repetición posterior.

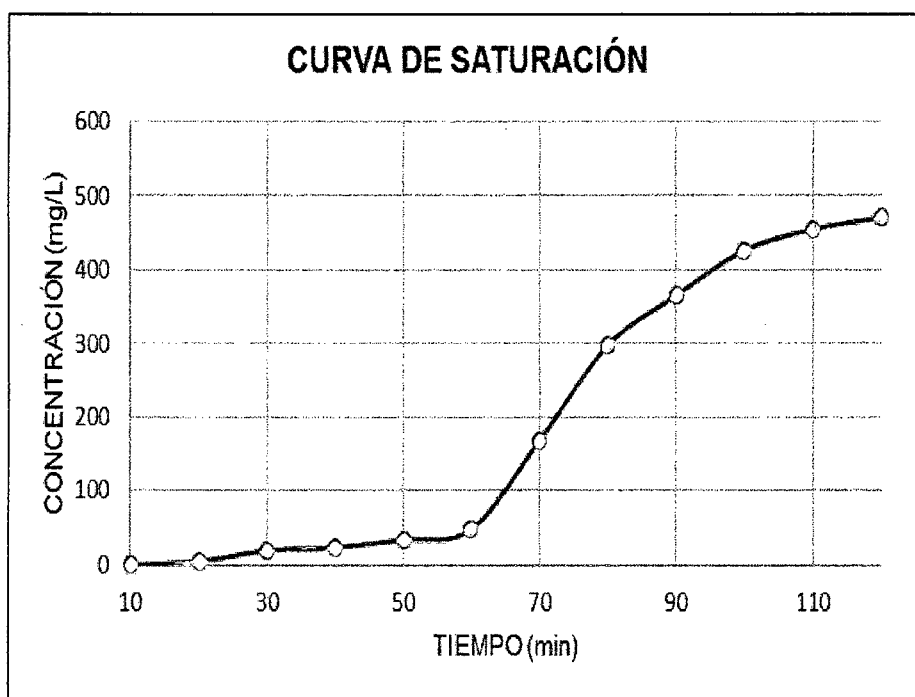


Figura 19. Saturación de la resina en función al tiempo de operación.

#### Anexo 4. Curva de saturación D

La concentración de 400 partes por millón como se puede observar en la Figura 20, que va de manera constante hasta los 100 minutos pudiendo corroborar con las lecturas del espectrofotómetro que el atrapamiento de la resina es óptimo y las concentraciones a los tiempos diferentes son mínimos, la capacidad de la resina va agotando el mecanismo de atrapamiento por lo que se tiene que regenerar con NaCl al 10 %.

Una vez que se regeneró la resina aniónica de base fuerte se procedió a realizar la segunda repetición y así sucesivamente la repetición posterior.

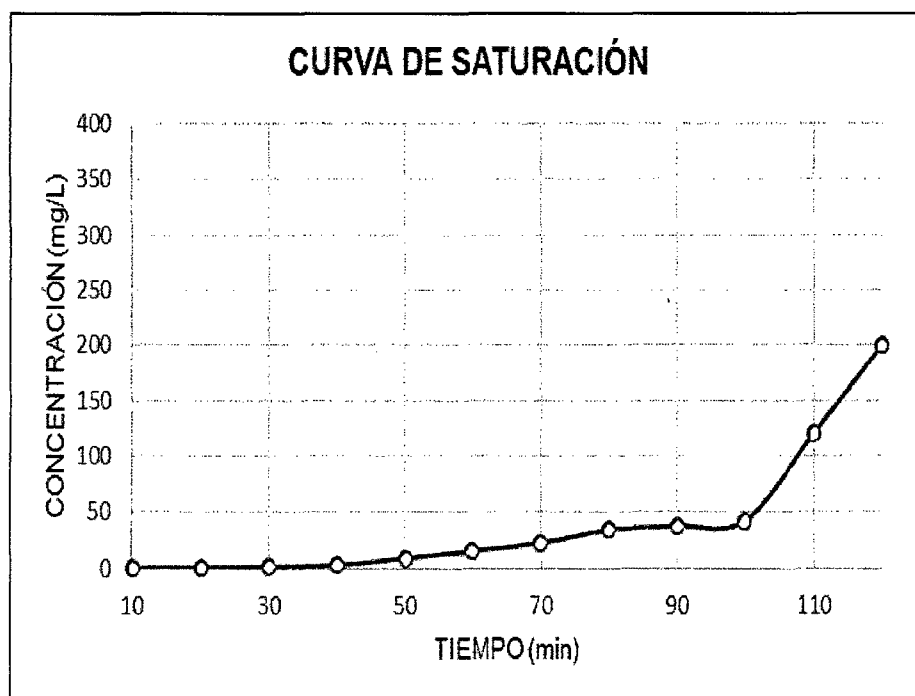


Figura 20. Saturación de la resina en función al tiempo de operación.



### Anexo 5. Análisis estadístico de la eficiencia en función al tiempo de operación

En el análisis de varianza, los resultados nos muestran que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ), entre los tratamientos, los resultados son similares para el estudio entre; las partes por millón (A), tiempo (B) y la interacción entre las dos últimas (A\*B).

Cuadro 13. Análisis de varianza de la eficiencia de la resina, según, el tiempo.

	Suma de cuadrados	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	39690.5408	15	2646.0361	73708.43	0.00000 <sup>a</sup>
A	21583.5884	3	7194.5295	200412.05	0.00000 <sup>b</sup>
B	13715.7024	3	4571.9008	127355.65	0.00000 <sup>c</sup>
A * B	4391.25002	9	487.9167	13591.49	0.00000 <sup>d</sup>
Error	1.148758	32	0.0359		
Total	39691.6895	47			

Fuente: Programa estadístico spss 15.0

R cuadrado = 1.000 (R cuadrado corregida = 1.000)

Cuadro

Ésta prueba, nos demuestra que los tratamientos provienen de una homogeneidad de varianza, ya que no se encuentra evidencia de una diferencia estadísticamente significativa ( $p \geq 0.01$ ), tomándose en consideración para realizar las comparaciones múltiples la prueba Tukey.

Cuadro 14. Prueba de homogeneidad de varianza de Levene de los tratamientos.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2.6656	15	32	0.01

Fuente: Programa estadístico spss 15.0

Observando el conjunto de tratamientos perteneciente a 13, que corresponde a la combinación de a4b1, es el mejor, respecto a los demás tratamientos restantes, ya que, presenta una diferencia estadísticamente muy significativa ( $p < 0.01$ ). Mientras que en el segundo conjunto de tratamiento (T5-a2b1), no se encuentra una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.01$ ), con respecto a T14 (a4b2), con los restantes si se encuentra evidencia ( $p < 0.01$ ). Lo propio ocurre T14 con T9 (a3b1) de la inexistencia de una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.01$ ), con los restantes si existe evidencia ( $p < 0.01$ ). Con las restantes comparaciones T9 (a3b1) es mejor respecto a T15 (a4b3), éste último respecto a T10 (a3b2), T10 respecto T16 (a4b4), T16 respecto T1 (a1b1), T1 respecto T11 (a3b3), T11 respecto T12 (a3b4), T12 respecto T6 (a2b2), T6 respecto T7 (a2b3), T7 respecto T2 (a1b2), T2 respecto T8 (a2b4), T8 respecto T3 (a1b3), T3 respecto T4 (a1b4), respectivamente.

Cuadro 15. Comparaciones múltiples de los tratamientos, según, prueba Tukey.

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I- J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 99%	
					Límite superior	Límite inferior
T13	T5	1.0007	0.1547	0.0000a	0.3273	1.6740
	T14	1.4640	0.1547	0.0000b	0.7907	2.1373
	T9	1.7160	0.1547	0.0000c	1.0427	2.3893
	T15	3.6047	0.1547	0.0000d	2.9313	4.2780
	T10	4.5690	0.1547	0.0000e	3.8957	5.2423
	T16	19.8583	0.1547	0.0000f	19.1850	20.5317
	T1	29.5840	0.1547	0.0000g	28.9107	30.2573
	T11	36.4763	0.1547	0.0000h	35.8030	37.1497
	T12	47.0457	0.1547	0.0000i	46.3723	47.7190
	T6	54.1307	0.1547	0.0000j	53.4573	54.8040
	T7	62.5257	0.1547	0.0000k	61.8523	63.1990
	T2	63.1977	0.1547	0.0000l	62.5243	63.8710
	T8	64.3873	0.1547	0.0000m	63.7140	65.0607
	T3	72.4013	0.1547	0.0000n	71.7280	73.0747
T4	81.2127	0.1547	0.0000o	80.5393	81.8860	
T5	T14	0.4633	0.1547	0.2264p	-0.2100	1.1367
	T9	0.7153	0.1547	0.0049q	0.0420	1.3887
	T15	2.6040	0.1547	0.0000r	1.9307	3.2773
	T10	3.5683	0.1547	0.0000s	2.8950	4.2417
	T6	53.1300	0.1547	0.0000t	52.4567	53.8033
	T1	28.5833	0.1547	0.0000u	27.9100	29.2567
	T11	35.4757	0.1547	0.0000v	34.8023	36.1490
	T12	46.0450	0.1547	0.0000w	45.3717	46.7183
	T16	18.8577	0.1547	0.0000x	18.1843	19.5310
	T7	61.5250	0.1547	0.0000y	60.8517	62.1983
	T2	62.1970	0.1547	0.0000z	61.5237	62.8703
	T8	63.3867	0.1547	0.0000	62.7133	64.0600
	T3	71.4007	0.1547	0.0000	70.7273	72.0740
	T4	80.2120	0.1547	0.0000	79.5387	80.8853
T14	T9	0.2520	0.1547	0.9504p	-0.4213	0.9253
	T15	2.1407	0.1547	0.0000	1.4673	2.8140
	T10	3.1050	0.1547	0.0000	2.4317	3.7783
	T16	18.3943	0.1547	0.0000	17.7210	19.0677
	T1	28.1200	0.1547	0.0000	27.4467	28.7933
	T11	35.0123	0.1547	0.0000	34.3390	35.6857
	T12	45.5817	0.1547	0.0000	44.9083	46.2550
T6	52.6667	0.1547	0.0000	51.9933	53.3400	

	T7	61.0617	0.1547	0.0000	60.3883	61.7350
	T2	61.7337	0.1547	0.0000	61.0603	62.4070
	T8	62.9233	0.1547	0.0000	62.2500	63.5967
	T3	70.9373	0.1547	0.0000	70.2640	71.6107
	T4	79.7487	0.1547	0.0000	79.0753	80.4220
	<hr/>					
	T15	1.8887	0.1547	0.0000	1.2153	2.5620
	T10	2.8530	0.1547	0.0000	2.1797	3.5263
	T16	18.1423	0.1547	0.0000	17.4690	18.8157
	T1	27.8680	0.1547	0.0000	27.1947	28.5413
	T11	34.7603	0.1547	0.0000	34.0870	35.4337
T9	T12	45.3297	0.1547	0.0000	44.6563	46.0030
	T6	52.4147	0.1547	0.0000	51.7413	53.0880
	T7	60.8097	0.1547	0.0000	60.1363	61.4830
	T2	61.4817	0.1547	0.0000	60.8083	62.1550
	T8	62.6713	0.1547	0.0000	61.9980	63.3447
	T3	70.6853	0.1547	0.0000	70.0120	71.3587
	T4	79.4967	0.1547	0.0000	78.8233	80.1700
	<hr/>					
	T10	0.9643	0.1547	0.0001	0.2910	1.6377
	T16	16.2537	0.1547	0.0000	15.5803	16.9270
	T1	25.9793	0.1547	0.0000	25.3060	26.6527
	T11	32.8717	0.1547	0.0000	32.1983	33.5450
	T12	43.4410	0.1547	0.0000	42.7677	44.1143
T15	T6	50.5260	0.1547	0.0000	49.8527	51.1993
	T7	58.9210	0.1547	0.0000	58.2477	59.5943
	T2	59.5930	0.1547	0.0000	58.9197	60.2663
	T8	60.7827	0.1547	0.0000	60.1093	61.4560
	T3	68.7967	0.1547	0.0000	68.1233	69.4700
	T4	77.6080	0.1547	0.0000	76.9347	78.2813
	<hr/>					
	T16	15.2893	0.1547	0.0000	14.6160	15.9627
	T1	25.0150	0.1547	0.0000	24.3417	25.6883
	T11	31.9073	0.1547	0.0000	31.2340	32.5807
	T12	42.4767	0.1547	0.0000	41.8033	43.1500
T10	T6	49.5617	0.1547	0.0000	48.8883	50.2350
	T7	57.9567	0.1547	0.0000	57.2833	58.6300
	T2	58.6287	0.1547	0.0000	57.9553	59.3020
	T8	59.8183	0.1547	0.0000	59.1450	60.4917
	T3	67.8323	0.1547	0.0000	67.1590	68.5057
	T4	76.6437	0.1547	0.0000	75.9703	77.3170
	<hr/>					
	T1	9.7257	0.1547	0.0000	9.0523	10.3990
	T11	16.6180	0.1547	0.0000	15.9447	17.2913
T16	T12	27.1873	0.1547	0.0000	26.5140	27.8607
	T6	34.2723	0.1547	0.0000	33.5990	34.9457
	T7	42.6673	0.1547	0.0000	41.9940	43.3407
	T2	43.3393	0.1547	0.0000	42.6660	44.0127

	T8	44.5290	0.1547	0.0000	43.8557	45.2023
	T3	52.5430	0.1547	0.0000	51.8697	53.2163
	T4	61.3543	0.1547	0.0000	60.6810	62.0277
T1	T11	6.8923	0.1547	0.0000	6.2190	7.5657
	T12	17.4617	0.1547	0.0000	16.7883	18.1350
	T6	24.5467	0.1547	0.0000	23.8733	25.2200
	T7	32.9417	0.1547	0.0000	32.2683	33.6150
	T2	33.6137	0.1547	0.0000	32.9403	34.2870
	T8	34.8033	0.1547	0.0000	34.1300	35.4767
	T3	42.8173	0.1547	0.0000	42.1440	43.4907
	T4	51.6287	0.1547	0.0000	50.9553	52.3020
	T11	T12	10.5693	0.1547	0.0000	9.8960
T6		17.6543	0.1547	0.0000	16.9810	18.3277
T7		26.0493	0.1547	0.0000	25.3760	26.7227
T2		26.7213	0.1547	0.0000	26.0480	27.3947
T8		27.9110	0.1547	0.0000	27.2377	28.5843
T3		35.9250	0.1547	0.0000	35.2517	36.5983
T4		44.7363	0.1547	0.0000	44.0630	45.4097
T12	T6	7.0850	0.1547	0.0000	6.4117	7.7583
	T7	15.4800	0.1547	0.0000	14.8067	16.1533
	T2	16.1520	0.1547	0.0000	15.4787	16.8253
	T8	17.3417	0.1547	0.0000	16.6683	18.0150
	T3	25.3557	0.1547	0.0000	24.6823	26.0290
	T4	34.1670	0.1547	0.0000	33.4937	34.8403
T6	T7	8.3950	0.1547	0.0000	7.7217	9.0683
	T2	9.0670	0.1547	0.0000	8.3937	9.7403
	T8	10.2567	0.1547	0.0000	9.5833	10.9300
	T3	18.2707	0.1547	0.0000	17.5973	18.9440
	T4	27.0820	0.1547	0.0000	26.4087	27.7553
T7	T2	0.6720	0.1547	0.0102p	-0.0013	1.3453
	T8	1.8617	0.1547	0.0000	1.1883	2.5350
	T3	9.8757	0.1547	0.0000	9.2023	10.5490
	T4	18.6870	0.1547	0.0000	18.0137	19.3603
T2	T8	1.1897	0.1547	0.0000	0.5163	1.8630
	T3	9.2037	0.1547	0.0000	8.5303	9.8770
	T4	18.0150	0.1547	0.0000	17.3417	18.6883
T8	T3	8.0140	0.1547	0.0000	7.3407	8.6873
	T4	16.8253	0.1547	0.0000	16.1520	17.4987
T3	T4	8.8113	0.1547	0.0000	8.1380	9.4847

Fuente: Programa estadístico spss 15.0

Las varianzas entre los grupos de parte por millón de a1 (1000), a2 (800), a3 (600) y a4 (400), son heterogéneas, esto se debe que se encontró evidencia estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ), en la prueba de homogeneidad de varianzas, tomándose en consideración para las comparaciones múltiples la prueba de Games-Howell.

Cuadro 16. Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene de partes por millón factor (A).

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
5.8300	3	44	0.0019

Fuente: Programa estadístico spss 15.0.

Comparando a a4 (400 ppm) con respecto a a3 (600 ppm), no existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.01$ ), contrariamente ocurre con a2 (800 ppm), también con a1 (1000 ppm), si se evidencia una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ). Del mismo modo, comparando a3 con a2, no se encuentra evidencia de una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.01$ ), mientras con a1 si lo hay ( $p < 0.01$ ). Si se compara a2 con a1, tampoco no existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.01$ ), la diferencia de medias es significativa al nivel 0.01 y está basado, en las medias observadas.

Cuadro 17: Comparaciones múltiples de parte por millón, según, prueba Games-Howell.

(I) A	(J) A	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 99%.	
					Límite superior	Límite inferior
	a3	16.2200	6.4058	0.0963 <sup>a</sup>	-7.7170	40.1570
a4	a2	39.2793	8.1960	0.0017 <sup>b</sup>	7.9897	70.5689
	a1	55.3672	6.3660	0.0000 <sup>c</sup>	31.5939	79.1404
a3	a2	23.0593	9.8314	0.1203 <sup>a</sup>	-	57.8289
	a1	39.1472	8.3671	0.0006 <sup>d</sup>	9.8200	68.4744
a2	a1	16.0878	9.8055	0.3792 <sup>a</sup>	-	50.7816

Fuente: Programa estadístico spss 15.0.

En el estudio de la resina, de acuerdo al tiempo de b1 (30 min), b2 (60 min), b3 (90 min) y b4 (120 min), se evidencia una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) de varianza, la cual, para realizar las comparaciones múltiples se debe de realizar la prueba de Games-Howell, así nos muestra el test de Levene.

Cuadro 18: Prueba de homogeneidad de varianza de Levene en tiempo (B).

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
7.1910	3	44	0.0005

Fuente: Programa estadístico spss 15.0.

El estudio de la resina, respecto a la comparaciones múltiples de; a b1 (30 min) con b2 (60 min) no se encuentra una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.01$ ), mientras si se compara con b3 (90 min) y b4 (120 min), si se encuentra una diferencia estadística ( $p < 0.01$ ). En las demás comparaciones no se encuentra diferencias estadísticamente significativa ( $p > 0.01$ ), es decir, b2 con b3, b3 con b4, b3 con b4, respectivamente. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.01 y está basado en las medias observadas.

Cuadro 19: Comparaciones múltiples de tiempo, según, prueba Games-Howell.

(I) B	(J) B	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de Confianza al 99%.	
					Límite Superior	Límite inferior
	b2	22.7652	9.2455	0.1070 <sup>a</sup>	-11.4990	57.0293
b1	b3	35.6768	8.8632	0.0051 <sup>b</sup>	2.9855	68.3682
	b4	45.0508	7.8013	0.0001 <sup>c</sup>	16.7133	73.3883
b2	b3	12.9117	11.6588	0.6888 <sup>a</sup>	-27.9660	53.7893
	b4	22.2857	10.8734	0.2021 <sup>a</sup>	-16.0290	60.6003
b3	b4	9.3740	10.5503	0.8108 <sup>a</sup>	-27.7200	46.4680

Fuente: Programa estadístico spss 15.0.



**APÉNDICE 4. PANEL FOTOGRÁFICO**

Figura 21. Posicionamiento proporcional de las columnas.

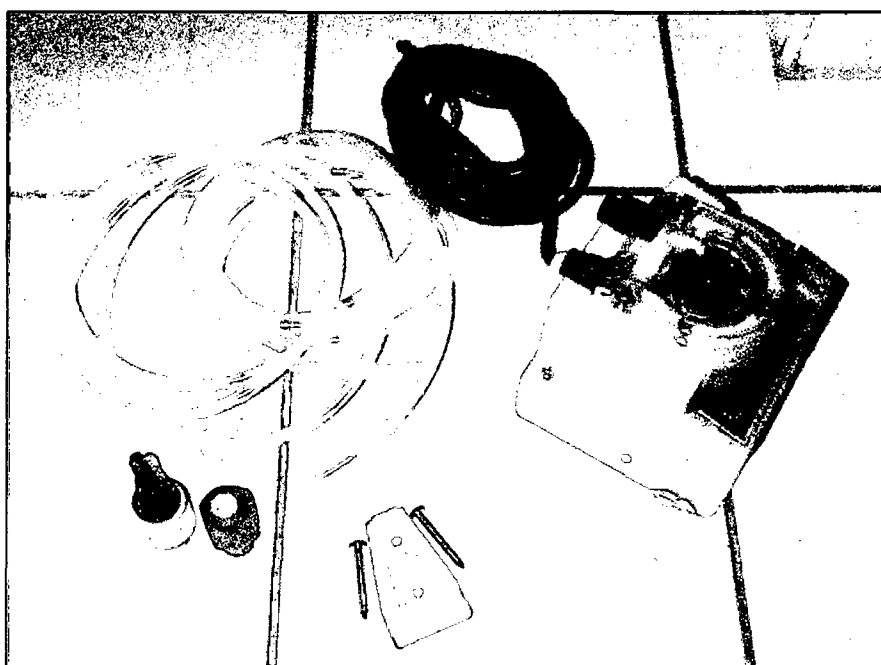


Figura 22. Bomba peristáltica.

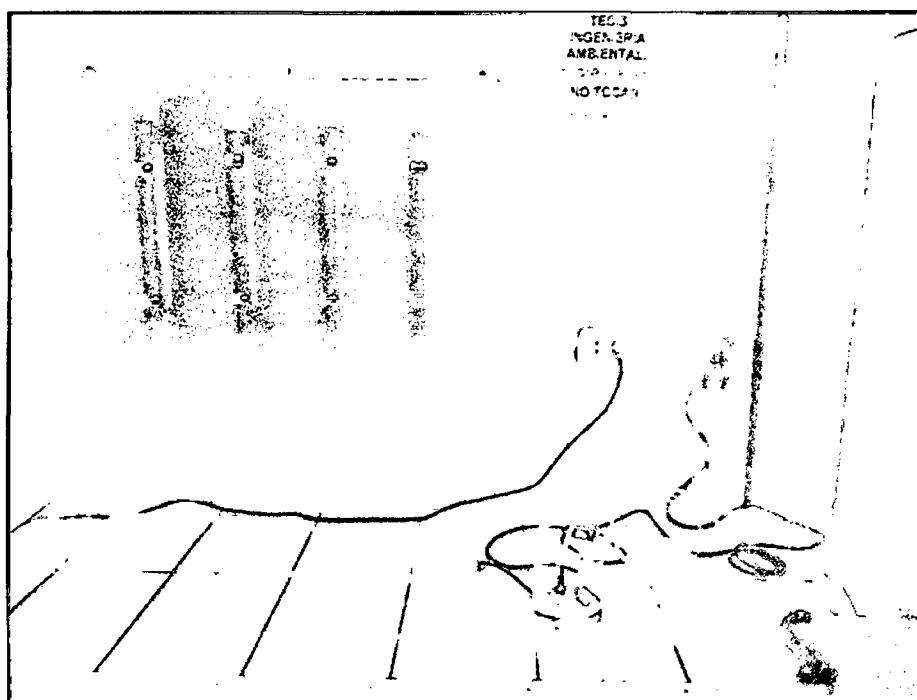


Figura 23. Montaje del equipo listo para su funcionamiento.

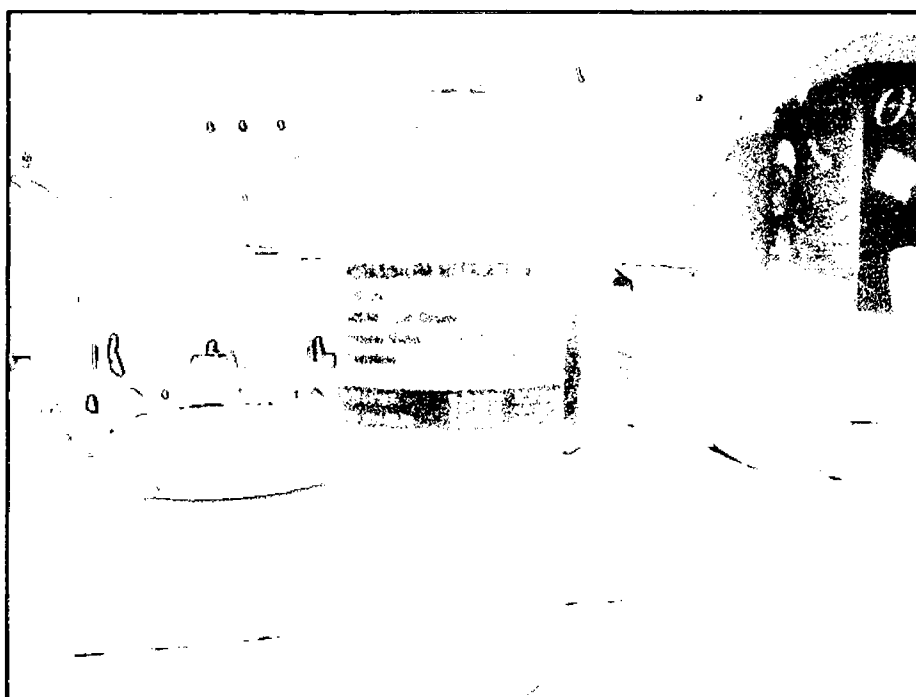


Figura 24. Reactivo de Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ).

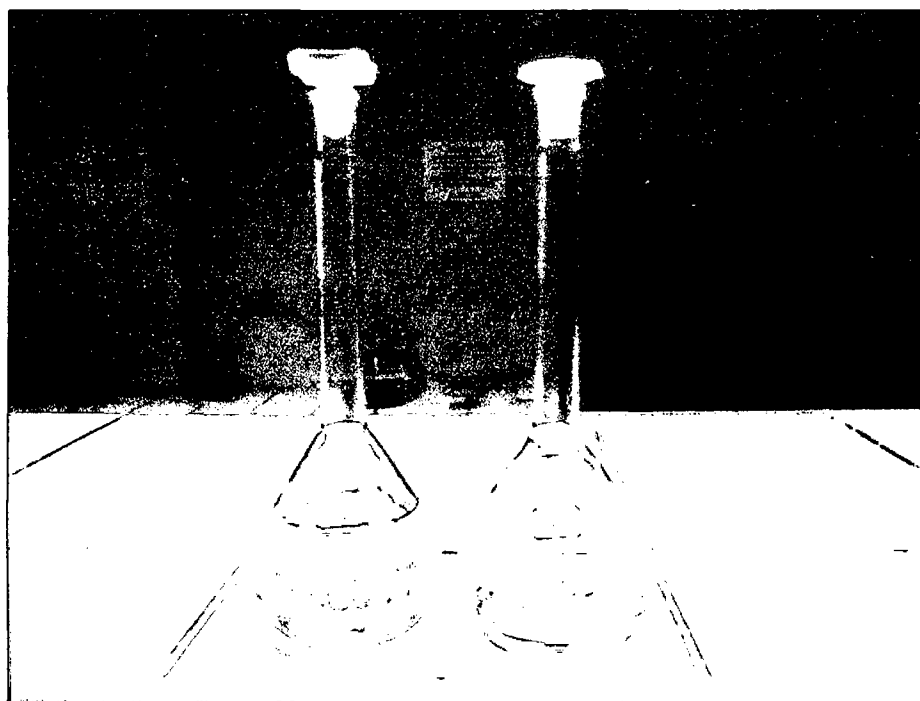


Figura 25. Preparación de la solución madre e intermedia.

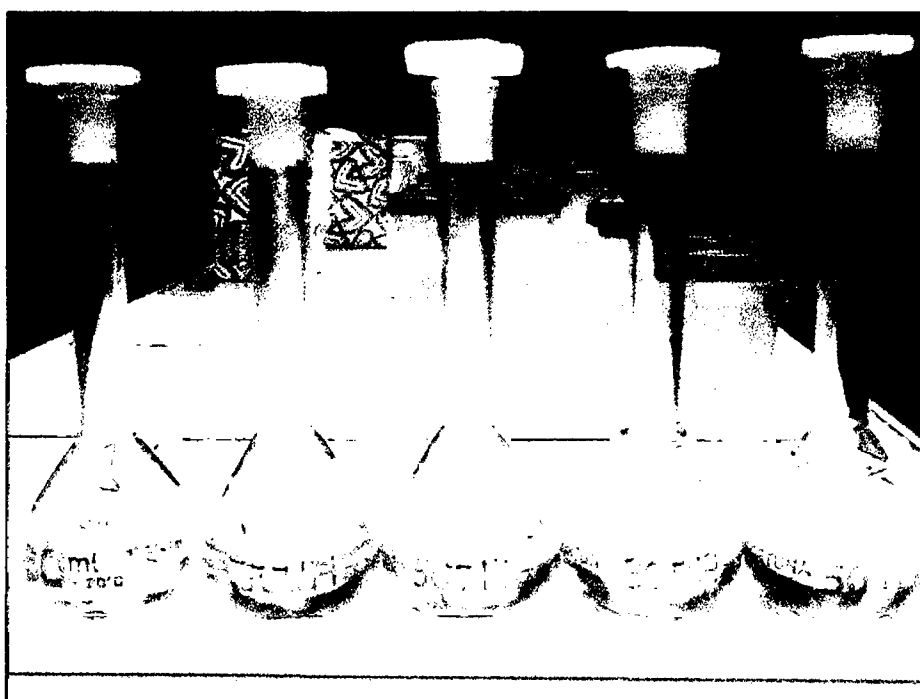


Figura 26. Estándares preparados para la curva de calibrado.

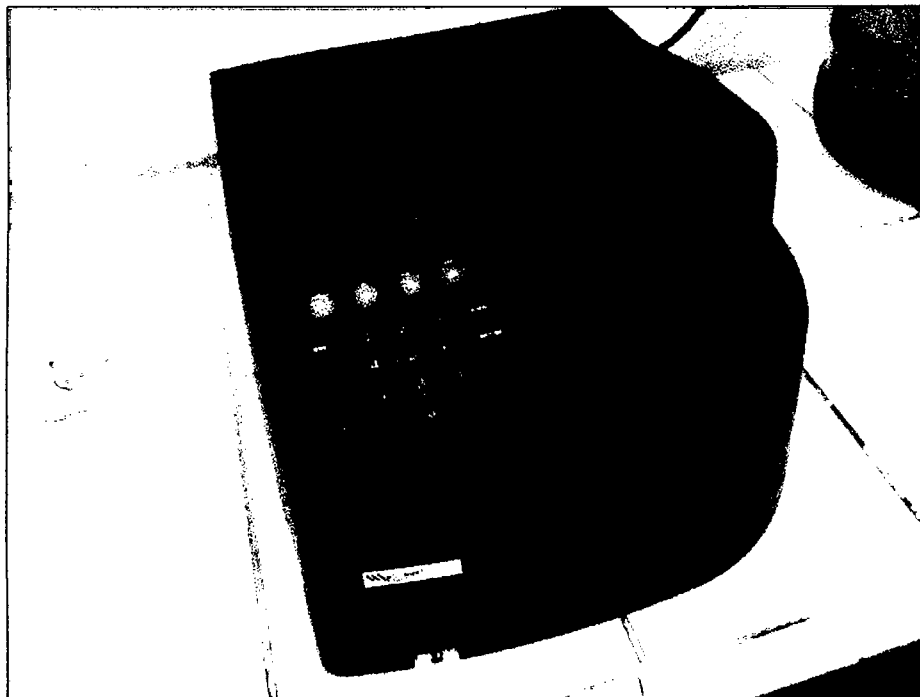


Figura 27. Espectrofotómetro UV – visible Orion Aquamate 8000 .

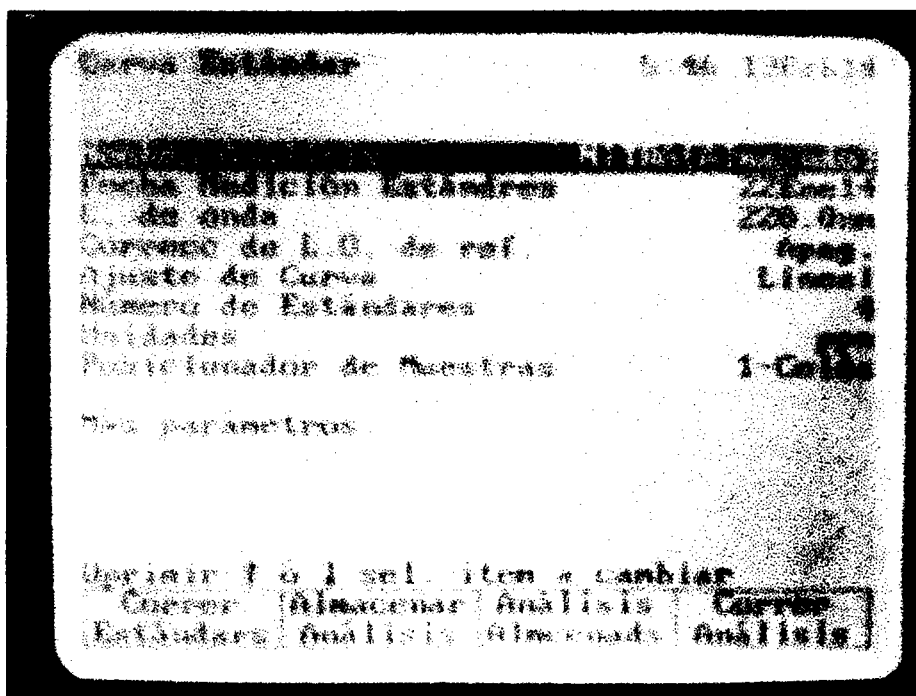


Figura 28. Pantalla del equipo – opción “curva estándar”.

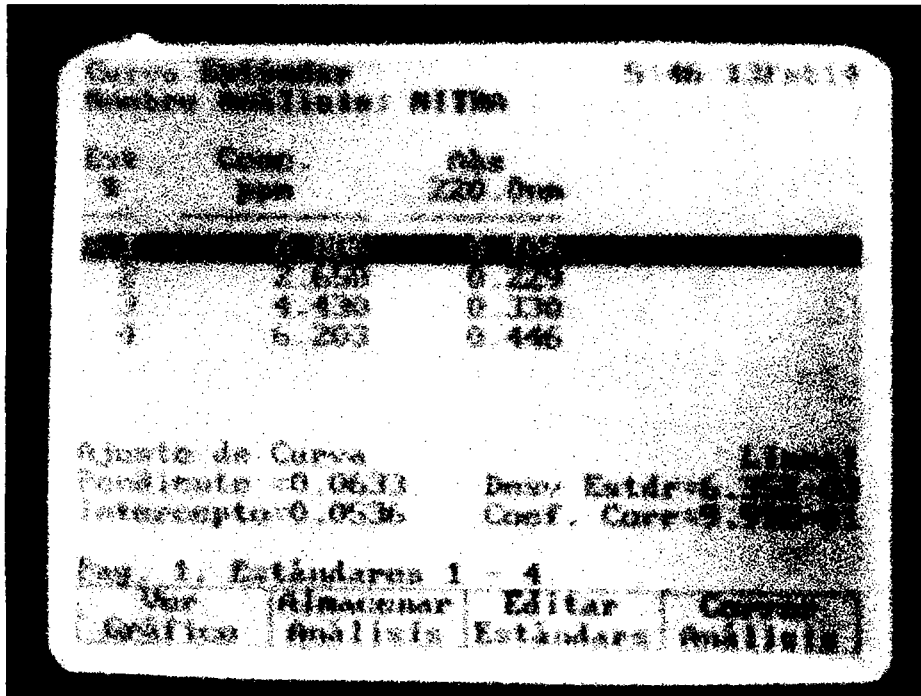


Figura 29. Absorbancias y concentraciones para la curva estándar.

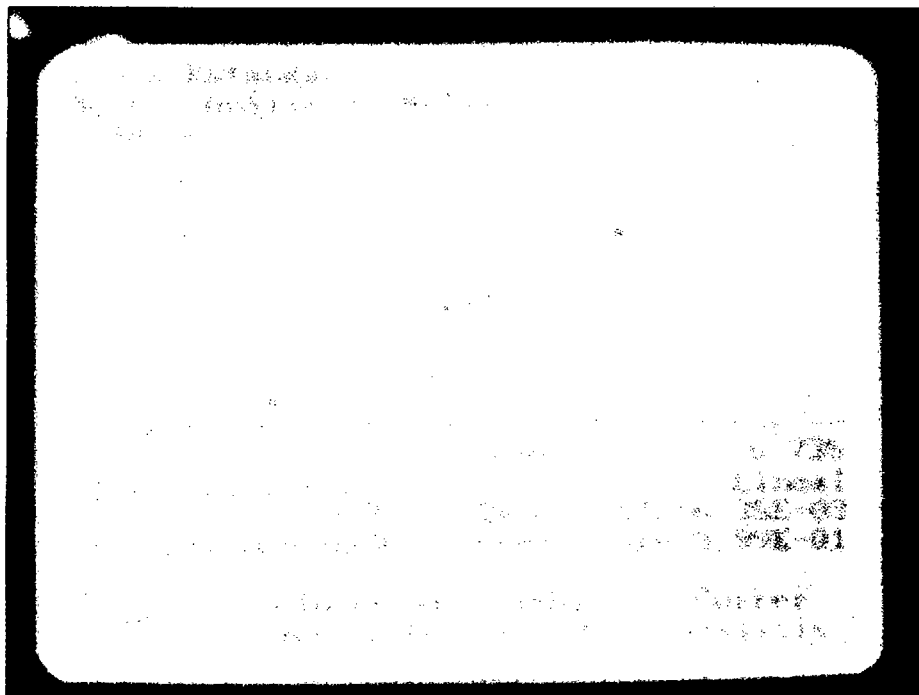


Figura 30. Tabulación de la curva estándar.

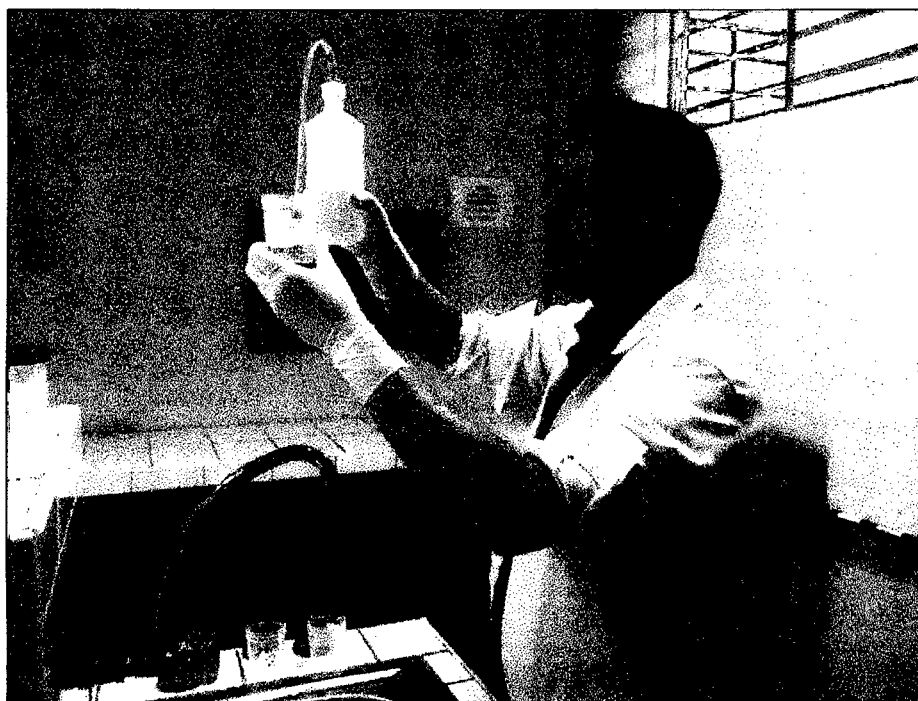


Figura 31. Realizando la limpieza de los envases.

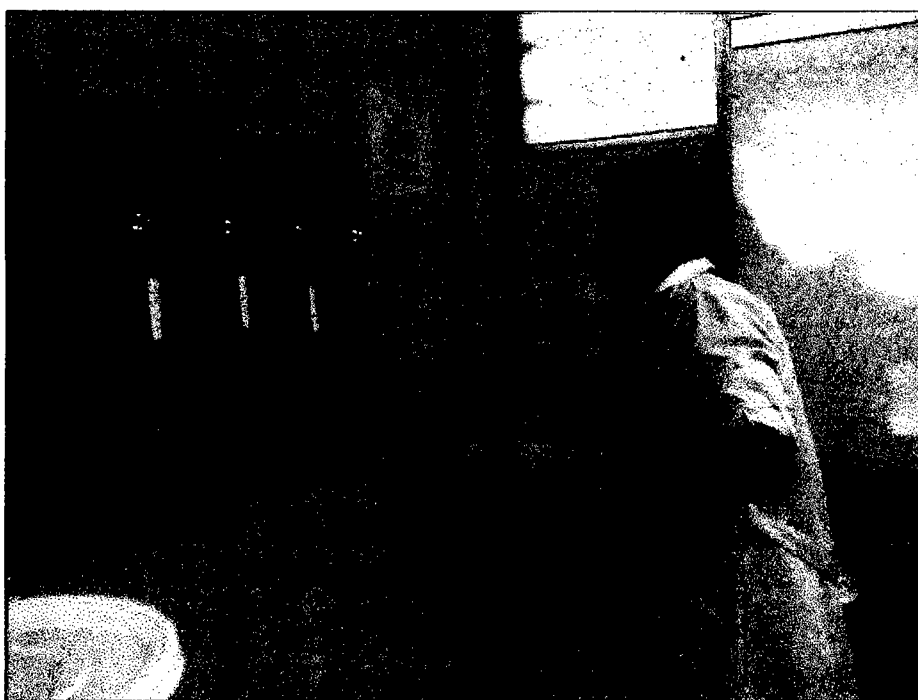


Figura 32. Midiendo el caudal real de la bomba.

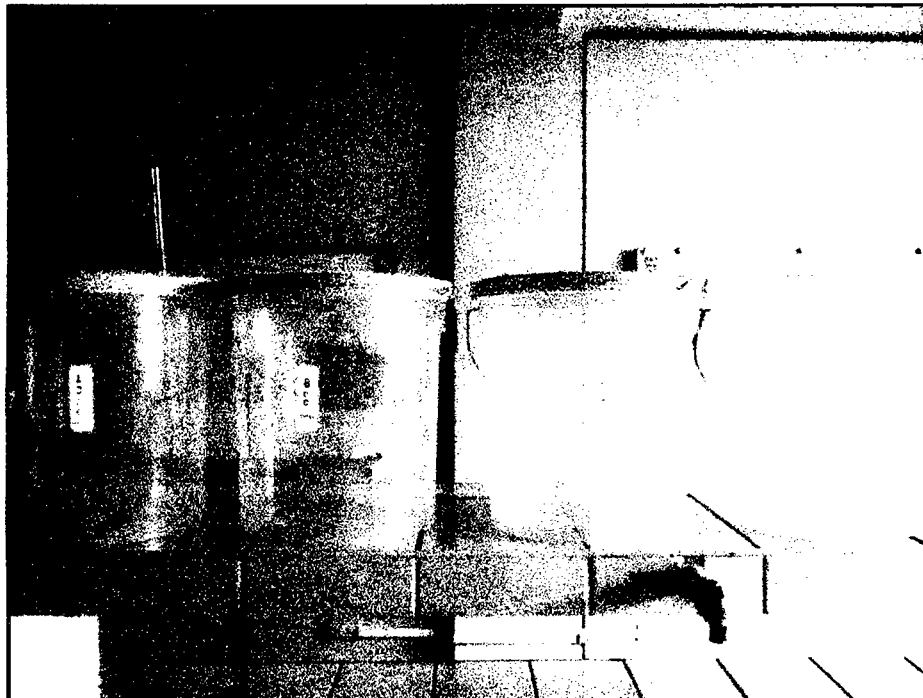


Figura 33. Soluciones de 15 L de (1000, 800, 600 y 400 ppm).

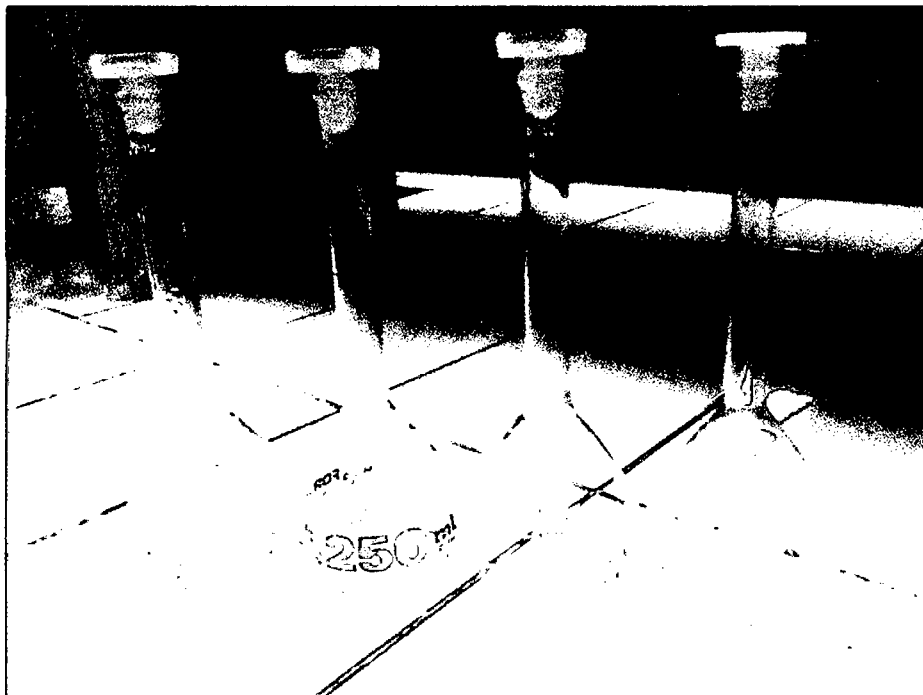


Figura 34. Diluciones de 0.5 ml en fiolas de 250 ml para verificar la concentración real.



Figura 35. Agitando una de las diluciones a 250 ml.



Figura 36. Realizando la corrida de la columna con 1000 ppm.





Figura 37. Verificando el funcionamiento del equipo.



Figura 38. Regeneración de la columna con cloruro de sodio (NaCl).



Figura 39. Controlando el tiempo.

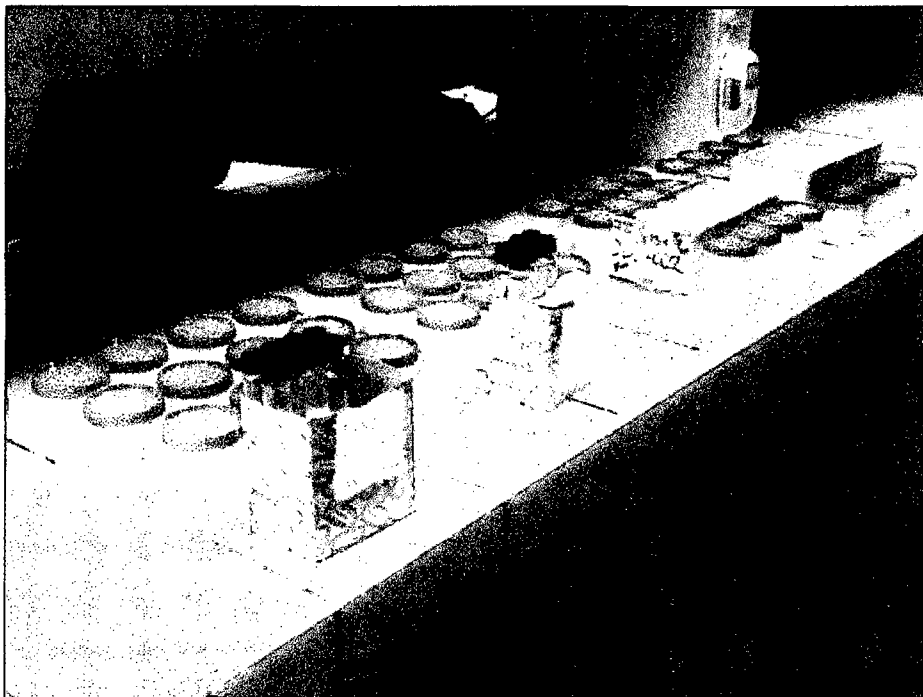


Figura 40. Muestras listas para realizar las diluciones respectivas.



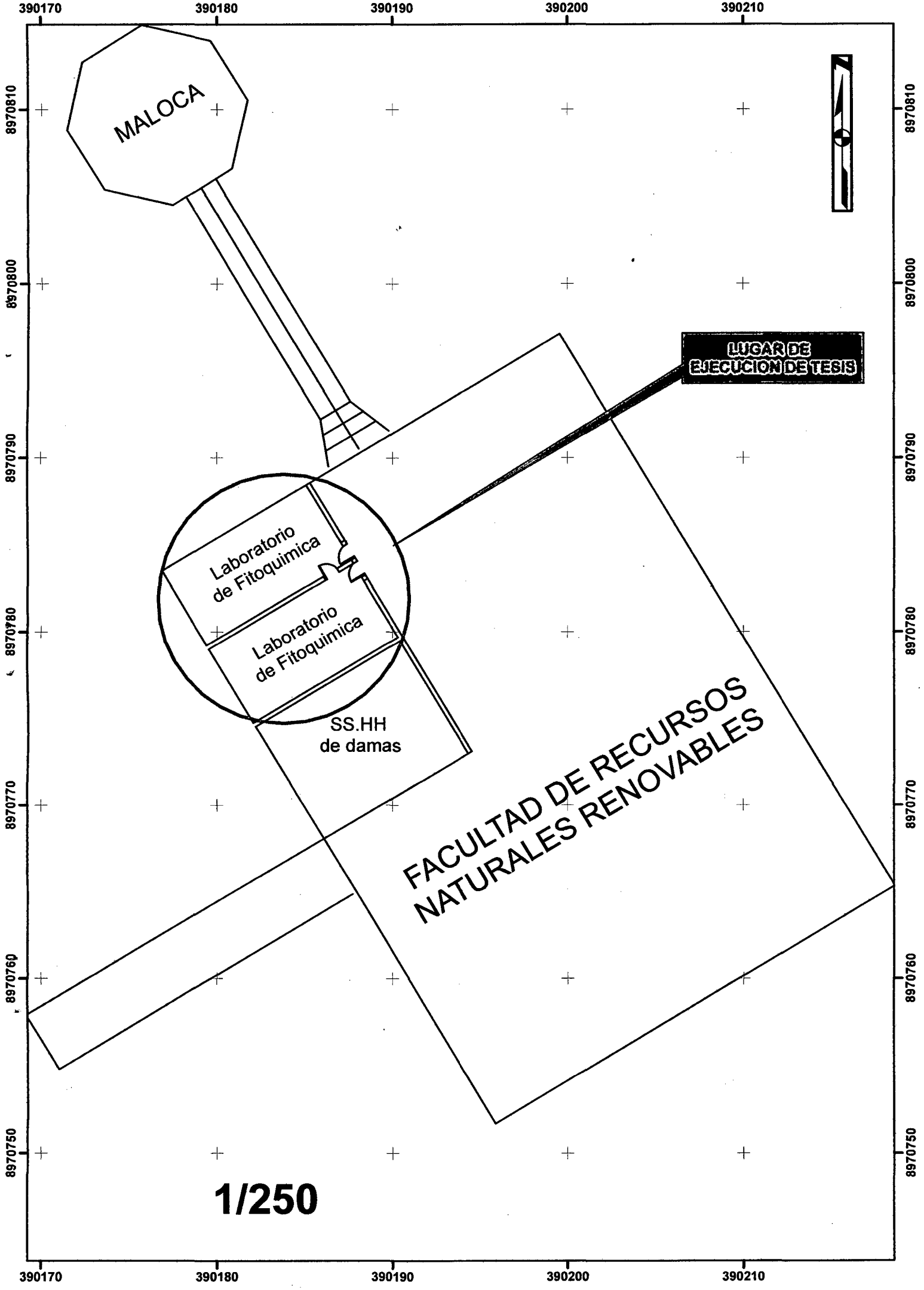
Figura 41. Cubeta de cuarzo lista para lectura.



Figura 42. Lectura realizada de las muestras de agua.

**APENDICE 5.**

**Anexo 1. PLANOS**



MALOCA

LUGAR DE EJECUCION DE TESIS

Laboratorio de Fitoquímica

Laboratorio de Fitoquímica

SS.HH de damas

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

1/250

389000

390000

391000

392000

8974000

8974000

8973000

8973000

8972000

8972000

8971000

8971000

8970000

8970000

8969000

8969000



Pozo 1 (Castillo Grande)



Pozo 2 (Castillo Grande)



Pozo 4 (Villa Potokar)



Pozo 5 (Villa Potokar)



Reservorio Naranjal



Pozo 3 (Bisas del Huallaga)



Reservorio Cocheros

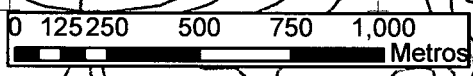


Qda. Naranjal

Qda. Cocheros

Huallaga

Descripción	Este	Norte
Pozo 1 (Castillo Grande)	389331	8973261
Pozo 2 (Castillo Grande)	389225	8972497
Reservorio Cocheros	391081	8969724
Reservorio Naranjal	390822	8970702
Pozo 3 (Bisas del Huallaga)	390160	8970074
Pozo 4 (Villa Potokar)	390106	8971687
Pozo 5 (Villa Potokar)	390174	8971603



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

INGENIERIA AMBIENTAL

Mapa : UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS DE CONSUMO HUMANO

Datum : Proyección Horizontal WGS 84      Elaborado por : OAF

Zona : 18 Sur      Distrito : Rupa Rupa

Revisado por :      Provincia : Leoncio Prado

Fecha : 22/03/2014      Región : Huánuco

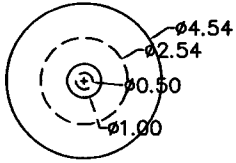
Escala : 1/ 20000

389000

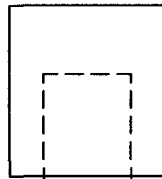
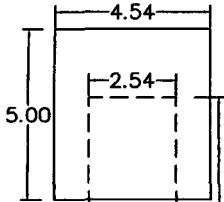
390000

391000

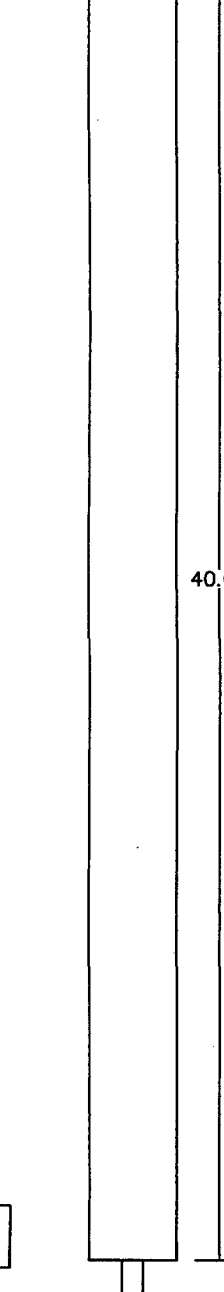
392000





VS



VLD

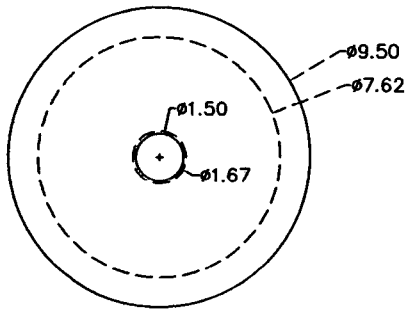


Tuberia PVC 1" clase 10

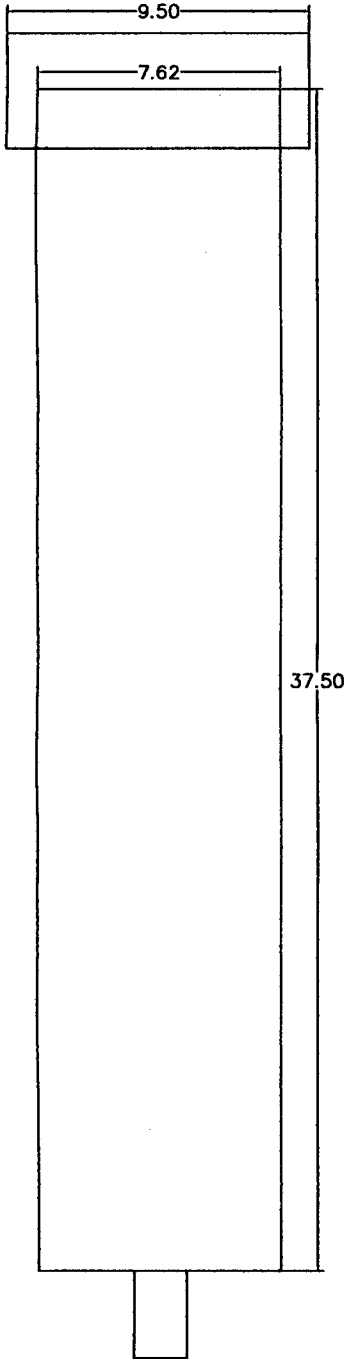
**LEYENDA**  
 Lineas ocultas - - - -  
 Estructuras:  
 Taparosca   
 Largo de columna 

VF

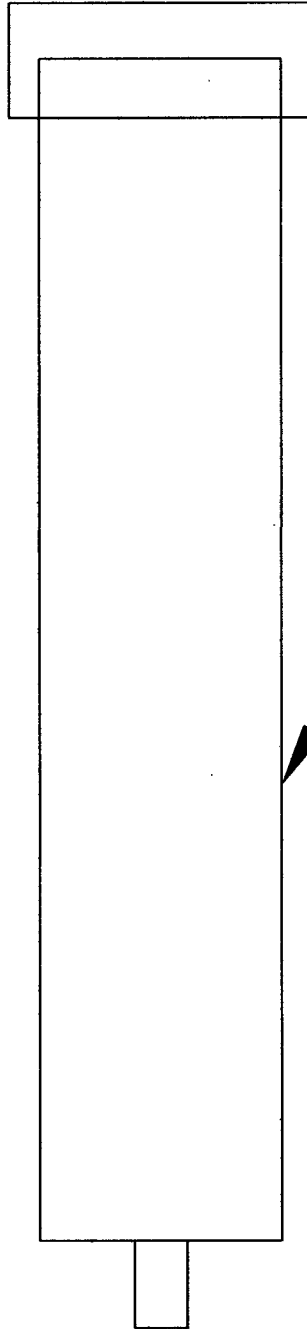
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA		
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES		
Plano de diseño de la columna de intercambio iónico a escala de laboratorio		
Elaborado por : OAF		Revisado por :
Fecha : 26/03/2014	Escala : 1/2	L-1



VS



VF




VLD


Tuberia PVC 3"  
clase 10

**LEYENDA**

Lineas ocultas - - - -

Estructuras:

Taparosca 

Largo de columna 

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Plano de diseño de la columna de intercambio iónico  
del pozo 4 (Villa Potokar)

Elaborado por : OAF

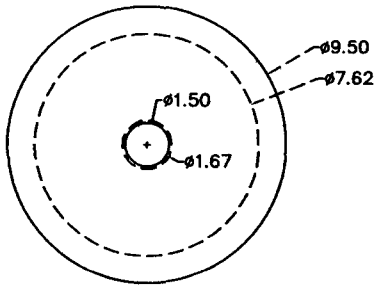
Revisado por :

Fecha : 26/03/2014

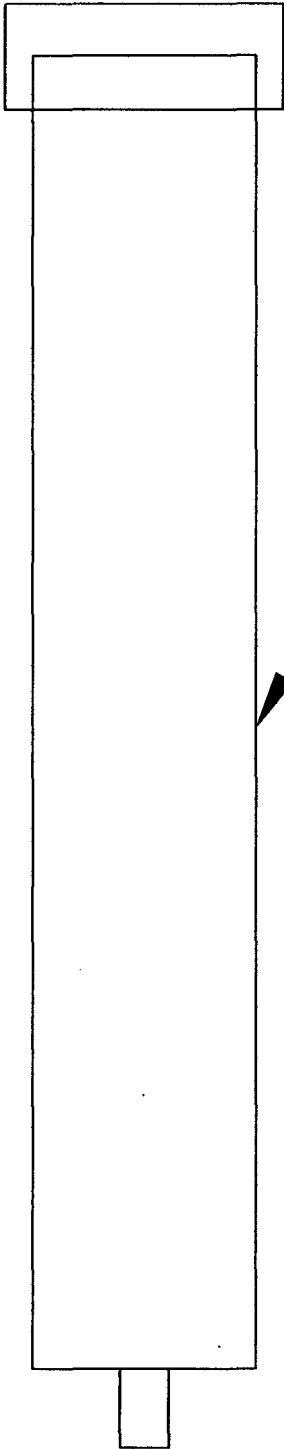
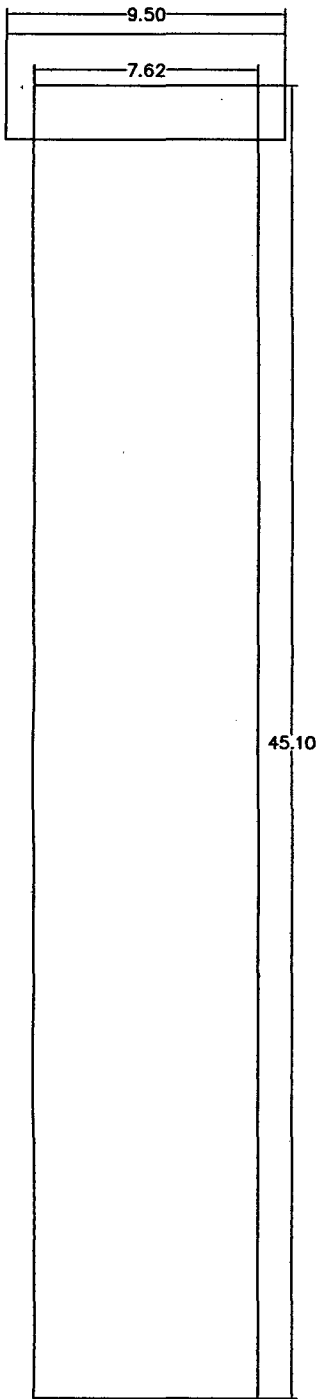
Escala : 1/2

L-2





VS




VLD


Tuberia PVC 3"  
clase 10

**LEYENDA**

Lineas ocultas - - - - -

Estructuras:

Taparosca 

Largo de columna 

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA		
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES		
Plano de diseño de la columna de intercambio iónico del pozo 5 (Villa Potokar)		
Elaborado por : OAF		Revisado por :
Fecha : 26/03/2014	Escala : 1/2	L-3

VF

**Anexo 2. Costos y presupuestos**

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto 1101001 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RESINA CONVENCIONAL ANIÓICA DE BASE FUERTEEN LA REMOCIÓN DE NITRATOS, EN LAS AGUAS P  
 Subpresupuesto 001 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RESINA CONVENCIONAL ANIÓICA DE BASE FUERTEEN LA REMOCIÓN DE NITRATOS, EN LAS AGUAS PARA I

Partida	01.01	(010118010105-1101001-01)	INSTALACION DE COLUMNA ANIONICA	Costo unitario directo por:	m	242.90
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>						
0101010007	OPERARIO GASFITERO	día	0.5000	80.00	40.00	40.00
<b>Materiales</b>						
0204240030	ABRAZADERA METALICA PARA TUBO DE 3"	und	2.0000	2.50	5.00	
0215010002	TUBERIA PVC C-10 3"	und	0.1500	16.00	2.40	
0215010003	RESINA ANIONICA	l	2.2500	81.00	182.25	
0215030002	TEFLON	und	0.0500	1.00	0.05	
02683000010005	TAPA ROSCA SAP C-10 3"	und	2.0000	6.00	12.00	
0272050009	TARUGO DE PVC	und	12.0000	0.10	1.20	202.90

## Presupuesto

Presupuesto 1101001 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RÉSINA CONVENCIONAL ANIÓNICA DE BASE FUERTEEN LA REMOCIÓN DE NITRATOS, EN LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO

Subpresupuesto 001 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RÉSINA CONVENCIONAL ANIÓNICA DE BASE FUERTEEN LA REMOCIÓN DE NITRATOS, EN LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO

Ciente ANAYA FERNANDEZ, OSCAR Costo al 07/04/2014

Lugar HUANUCO - LEONCIO PRADO - RUPA-RUPA

Item	Descripción	Und.	Medrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
01	COLUMNA ANIÓNICA DE BASE FURTE				92.30
01.01	INSTALACION DE COLUMNA ANIONICA	m	0.38	242.90	92.30
	Costo Directo				92.30

SON: NOVENTIDOS Y 30/100 NUEVOS SOLES

**Presupuesto**

Presupuesto 1101001 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RESINA CONVENCIONAL ANIÓNICA DE BASE FUERTEEN LA REMOCIÓN DE NITRATOS, EN LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO

Subpresupuesto 001 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RESINA CONVENCIONAL ANIÓNICA DE BASE FUERTEEN LA REMOCIÓN DE NITRATOS, EN LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO

Cliente ANAYA FERNANDEZ, OSCAR

Costo al 07/04/2014

Lugar HUANUCO - LEONCIO PRADO - RUPA-RUPA

Item	Código	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01		COLUMNA ANIÓNICA DE BASE FURTE				109.31
01.01	010118010105-1101001-01	INSTALACION DE COLUMNA ANIONICA	m	0.45	242.90	109.31
		Costo Directo				109.31

SON : CIENTO NUEVE Y 31/100 NUEVOS SOLES

## GLOSARIO

**Agua subterránea:** Es aquella agua que se aloja por debajo de la superficie terrestre que proviene de la precipitación y se acumula por infiltración en el subsuelo.

**Absorbancia:** Es la cantidad de intensidad de luz que puede absorber una muestra

**Calidad del agua:** Es la composición fisicoquímica que comprende valores libres de contaminación permisible para diferentes usos que no repercutan a la salud humana.

**Capacidad real:** Es la capacidad que tiene la resina hasta que se proceda a regenerar, tiene como especificación el dato del fabricante, y se expresa en g/L de resina.

**Capacidad útil:** Es aquella que se puede calcular en el punto que la resina ha llegado al punto de absorción mayor o igual a los estándares de calidad ambiental del agua de consumo.

**Concentración:** Es la relación de soluto y solvente que existe en una disolución.

**Curva de ruptura:** Es aquella curva en donde se representa el punto de ruptura y la concentración de absorción de la resina.

**Curva de saturación:** Es la curva establecida por la concentración y el tiempo de operación de la resina de intercambio iónico.

**Efluente:** Son aquellas aguas o flujos de líquido que salen de cualquier sistema con o sin tratamiento.

**Espectrofotómetro:** Instrumento usado en el análisis químico, que realiza mediciones en función de la longitud de onda representada por la concentración de una muestra.

**Estándar:** Es una norma o un conjunto de normas que ya están establecidos y que puede ser seguidos a través de protocolos.

**Intercambio iónico:** Operación de transferencia basada en la teoría de fluido (contaminante) y sólido (resina)

**Partes por millón:** Unidades de concentración expresadas en mg/L.

**Punto de ruptura:** Es aquel en donde la capacidad de absorción de la resina en función del tiempo de ruptura ha llegado a un nivel mayor o igual a los Estándares de calidad ambiental del agua.

**Punto de saturación:** Es aquel donde la concentración de entrada del afluente es igual a la concentración de salida del efluente dentro de la columna de intercambio iónico.

**Regeneración:** Consiste en hacer pasar un fluido generalmente una sal, y sirve para activar la capacidad de absorción del adsorbente.

**Remoción:** Es el atrapamiento del adsorbente (resina) e interactúa con el solvente (contaminante), se realiza en base a sus grupos funcionales de la resina.

**Resina aniónica:** Son las encargadas de eliminar aniones del agua.

**Tiempo de ruptura:** Es el tiempo en que la resina ha absorbido los iones contaminantes y se encuentra en la concentración establecida por los estándares de calidad ambiental.

**Tiempo de servicio:** Es el tiempo en el cual la resina ha agotado su capacidad de absorción y se tiene que proceder a su regeneración.

**Volumen de servicio:** Es el volumen de agua que pasa por cada metro cubico de resina.