

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**“ESTUDIO DE FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON PLATA  
COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA  
PROCESOS AGROINDUSTRIALES”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS**

**JHONATAN GOMEZ CHALCO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PROMOCIÓN: 2014-II, 2013-II**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**“ESTUDIO DE FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL,  
COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS  
AGROINDUSTRIALES”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

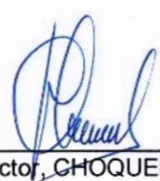
**PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS  
JHONATAN GOMEZ CHALCO**

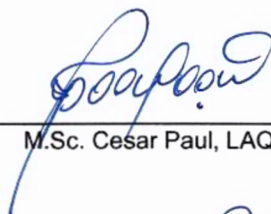



**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

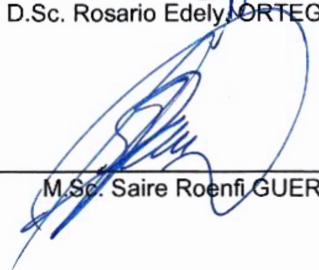
**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 28 DE SETIEMBRE DE 2018**

**APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE :**   
M.Sc. Florentino Victor, CHOQUEHUANCA CACERES

**PRIMER MIEMBRO :**   
M.Sc. Cesar Paul, LAQUI VILCA

**SEGUNDO MIEMBRO :**   
D.Sc. Rosario Edely, ORTEGA BARRIGA

**DIRECTOR / ASESOR :**   
M.Sc. Saire Roenfi GUERRA LIMA

**PUNO - PERÚ**

**2018**

**Área : Ingeniería y tecnología**

**Tema : Seguridad, gestión y control en agroindustrias**

## DEDICATORIA

*A Dios por darme salud, familia, amigos y por estar quiéndome en todo momento, dándome fuerza, por ser el principal testigo de este sueño que hoy termina en una realidad.*

*Con mucho cariño dedico este proyecto a mis padres Elisban Chura y Rosa Contreras, quienes han estado conmigo en todo momento, enseñándome a superar cualquier obstáculo que se me presente sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento, brindándome siempre su apoyo, comprensión y valores.*

*A mis hermanos Ruth, Jhony, Diego y Zenaida por estar siempre conmigo en todos los momentos de mi carrera universitaria, por apoyarme en los momentos más difíciles, por brindarme su comprensión, por incentivar me a continuar sin perder la fé.*

*Pedro Elisban Ch. C.*

## DEDICATORIA

*Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.*

*Para mis padres Ana y Hugo por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.*

*A mi esposa Elida y a mi hijo Jeremi compañeros inseparables de mi vida diaria, ellos representan gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio y a mis hermanos Yessenia y Kenyi por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.*

*Jhonatan G. Ch.*



## AGRADECIMIENTOS

*Agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por ser la fortaleza en los Momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizaje, experiencias sobre todo Felicidad, permitiendo lograr esta meta tan importante en nuestras vidas.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial que nos dieron la oportunidad de formar parte de ellos y por sus valiosas enseñanzas impartidas durante mi formación y alcanzar esta meta.*

*A los miembros del jurado Ing. M.Sc. Florentino Víctor Choquehuanca Cáceres, Ing. M.Sc. Cesar Paul Laqui Vilca y D.Sc. Rosario Eledy Ortega Barriga por su acertada orientación y corrección en la ejecución del presente trabajo de investigación.*

*Al Director de tesis Ing. M.Sc. Saire Roenfi Guerra Lima por su acertada dirección y asesoramiento en la ejecución del presente trabajo de investigación.*

*Al Lic. Balbino Lorgio Palacios Frisancho, laboratorio de ecología acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas, Tec. Benito Fernández Calloapaza, laboratorio de aguas y suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por las facilidades prestadas en el uso de laboratorio durante la ejecución de este trabajo de investigación.*

*A nuestros padres, familiares y amigos a quienes agradecemos infinitamente por la comprensión y el aliento que nos dieron para lograr este objetivo siempre los tendremos presente.*

ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| <b>RESUMEN</b> .....                                  | 15 |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                 | 16 |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....                          | 17 |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL.....                            | 18 |
| 1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                     | 18 |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....               | 19 |
| 2.1. ANTECEDENTES .....                               | 19 |
| 2.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....                 | 24 |
| 2.2.1. EL AGUA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....       | 24 |
| 2.2.2. NORMAS LEGALES CON RESPECTO AL AGUA.....       | 24 |
| 2.2.2.1. CODEX ALIMENTARIO .....                      | 24 |
| 2.2.2.2. MINSA .....                                  | 25 |
| 2.2.2.3. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA ( ANA).....      | 26 |
| 2.2.2.4. MINAM .....                                  | 26 |
| 2.2.3. AGUA SUBTERRÁNEA .....                         | 27 |
| 2.2.4. CALIDAD DE AGUA .....                          | 27 |
| 2.2.5. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA.....            | 28 |
| 2.2.5.1. Parámetros de control obligatorio (PCO)..... | 28 |
| 2.2.6. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS .....                | 29 |
| 2.2.6.1. Turbiedad .....                              | 29 |
| 2.2.6.2. Potencial de hidrogeno (pH) .....            | 29 |
| 2.2.6.3. Conductividad eléctrica.....                 | 29 |
| 2.2.6.4. Alcalinidad.....                             | 29 |
| 2.2.6.5. Dureza total.....                            | 30 |
| 2.2.6.6. Sólidos totales .....                        | 30 |
| 2.2.6.7. Cloruro .....                                | 30 |
| 2.2.6.8. Sulfatos.....                                | 30 |
| 2.2.6.9. Calcio .....                                 | 31 |
| 2.2.6.10. Hierro .....                                | 31 |
| 2.2.6.11. Manganeso.....                              | 31 |
| 2.2.7. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS .....               | 32 |
| 2.2.7.1. Coliformes totales .....                     | 32 |
| 2.2.7.2. Coliformes fecales .....                     | 32 |
| 2.2.7.3. Bacterias heterotróficas.....                | 32 |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.8. DESINFECCIÓN DEL AGUA .....                                       | 32 |
| 2.2.8.1. Desinfección por luz solar .....                                | 32 |
| 2.2.8.2. Cloración .....   | 33 |
| 2.2.8.3. Ozonificación.....  | 33 |
| 2.2.8.4. Plata coloidal como desinfectante.....                          | 33 |
| 2.2.9. TRATAMIENTOS DE AGUA.....   | 34 |
| 2.2.9.1. Aeración .....  | 34 |
| 2.2.9.2. Coagulación y floculación.....                                  | 34 |
| 2.2.9.3. Desalinización.....   | 34 |
| 2.2.9.4. Filtración.....   | 35 |
| 2.2.10. FILTRO CERÁMICO PURIFICADOR DE AGUA.....                         | 35 |
| 2.2.10.1. Aplicaciones .....   | 35 |
| 2.2.10.2. Ventajas.....  | 35 |
| 2.2.11. DESARROLLO DE UN FILTRO CERÁMICO PURIFICADOR DE AGUA.....        | 36 |
| 2.2.11.1. Arcilla.....   | 36 |
| 2.2.11.1.1. Definición .....   | 36 |
| 2.2.11.1.2. Propiedades .....  | 36 |
| 2.2.11.1.3. Aplicaciones .....   | 37 |
| 2.2.11.2. Materia prima auxiliar.....                                    | 37 |
| 2.2.11.2.1. Jipi de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....      | 37 |
| 2.2.11.2.2. Composición química .....                                    | 38 |
| 2.2.11.2.3. Propiedades .....  | 38 |
| 2.2.11.2.4. Aplicaciones .....   | 39 |
| 2.2.12. PROPIEDADES DEL FILTRO CERÁMICO PURIFICADOR DE AGUA.....         | 39 |
| 2.2.12.1. Color .....  | 39 |
| 2.2.12.2. Porosidad .....  | 39 |
| 2.2.12.3. Absorción .....  | 39 |
| 2.2.12.4. Filtración .....   | 39 |
| 2.2.12.5. Coeficiente de dilatación .....                                | 39 |
| 2.2.12.6. Aditivos.....  | 40 |
| 2.2.12.6.1. Plata coloidal.....  | 40 |
| 2.2.12.6.1.1. Tipos de plata coloidal .....                              | 40 |
| 2.2.12.6.1.2. Propiedades .....  | 41 |
| 2.2.12.6.1.3. Mecanismos de acción microbicida de la plata coloidal..... | 42 |
| 2.2.12.7. Determinación del flujo de filtración .....                    | 43 |

|  |            |
|--|------------|
| 2.2.12.7.1. Caudal.....  | 43         |
| 2.2.12.7.2. Unidades de medida .....   | 43         |
| 2.2.12.7.3. Métodos para la medición de caudales .....   | 44         |
| 2.2.12.7.4. Método volumétrico .....   | 44         |
| <b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>   | <b>45</b>  |
| 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....  | 45         |
| 3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL.....  | 46         |
| 3.2.1. Agua cruda de pozo tubular.....   | 46         |
| 3.2.2. Filtros cerámicos impregnados con plata coloidal.....   | 46         |
| 3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....   | 48         |
| 3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....  | 50         |
| 3.5. METODOLOGÍA PARA LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y FISICOQUÍMICOS .....  | 55         |
| 3.6. METODOLOGÍA PARA EL PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE CARGA MICROBIOLÓGICA ...   | 63         |
| 3.7. METODOLOGÍA PARA EL PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CARACTERÍSTICAS<br>FISICOQUÍMICAS .....  | 63         |
| 3.8. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL.....   | 64         |
| 3.9. FACTORES DE ESTUDIO .....   | 64         |
| 3.10. VARIABLES DE RESPUESTA .....   | 65         |
| 3.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....   | 68         |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>  | <b>69</b>  |
| 4.1. EVALUACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DEL AGUA<br>CRUDA DE POZO EN COMPARACIÓN CON EL REGLAMENTO MINSA DS N° 031-2010-SA..  | 69         |
| 4.2. DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LOS FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON<br>CONCENTRACIONES DE PLATA COLOIDAL, EN CUANTO A LA ELIMINACIÓN DE CARGA<br>MICROBIOLÓGICA DEL AGUA CRUDA .....             | 72         |
| 4.3. DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LOS FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON<br>CONCENTRACIONES DE PLATA COLOIDAL, EN CUANTO A LA VARIACIÓN DE LAS<br>CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA CRUDA ..... | 80         |
| 4.4. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS FILTROS A DIFERENTES PROPORCIONES DE JIPI<br>DE QUINUA Y ARCILLA (20/80%, 30/70% y 40/60%), EN LA VARIACIÓN DEL CAUDAL ....   | 103        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>   | <b>106</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>107</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>  | <b>108</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>   | <b>114</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Funcionamiento de los iones de plata en las bacterias .....                                      | 43 |
| <b>Figura 2:</b> Mapa satelital de ubicación del área de estudio y punto de muestreo .....                        | 45 |
| <b>Figura 3:</b> Filtros cerámicos impregnados con plata coloidal.....  | 47 |
| <b>Figura 4:</b> Sistema de filtración y medidas del filtro cerámico impregnado con plata coloidal...             | 47 |
| <b>Figura 5:</b> Diagrama de flujo para el desarrollo de la metodología de investigación .....                    | 50 |
| <b>Figura 6:</b> Sistema de tratamiento del agua cruda por filtros cerámicos impregnados con plata coloidal ..... | 54 |
| <b>Figura 7:</b> Método para Muestras Liquidas para Coliformes Totales.....                                       | 57 |
| <b>Figura 8:</b> Método para Muestras Liquidas para Coliformes Fecales y Bacterias Heterotróficas                 | 58 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1:</b> Límites Máximos Permisibles (LMP) referenciales de los parámetros de calidad del agua .....  | 28 |
| <b>Tabla 2:</b> Unidades de medida del caudal .....  | 43 |
| <b>Tabla 3:</b> Niveles de proporción de jipi de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), arcilla y concentración de plata coloidal .....   | 46 |
| <b>Tabla 4:</b> Número de filtros impregnados con plata coloidal a diferentes concentraciones.....   | 52 |
| <b>Tabla 5:</b> Muestreo de agua potabilizada en tres tramos.....  | 54 |
| <b>Tabla 6:</b> Metodología utilizada para los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos.....  | 56 |
| <b>Tabla 7:</b> Filtros cerámicos a diferentes concentraciones de plata coloidal.....  | 65 |
| <b>Tabla 8:</b> Proporciones de jipi de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) y arcilla .....   | 65 |
| <b>Tabla 9:</b> Parámetros microbiológicos y fisicoquímicos como variables de respuesta.....   | 66 |
| <b>Tabla 10:</b> Parámetros microbiológicos como variables de respuesta .....  | 66 |
| <b>Tabla 11:</b> Parámetros fisicoquímicos como variables de respuesta.....  | 67 |
| <b>Tabla 12:</b> Variación de caudal de filtros cerámicos como variable de respuesta.....  | 67 |
| <b>Tabla 13:</b> Tratamientos para la variación de caudal, eliminación de carga microbiológica y la variación de características fisicoquímicas del agua cruda con filtros cerámicos impregnados con plata coloidal..... | 68 |
| <b>Tabla 14:</b> Resultados obtenidos de la caracterización microbiológica y fisicoquímica del agua cruda de pozo en comparación con el reglamento MINSAs. ....  | 69 |
| <b>Tabla 15:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la eliminación de coliformes totales .....  | 73 |
| <b>Tabla 16:</b> Análisis de comparación Duncan para la eliminación de coliformes totales.....   | 74 |
| <b>Tabla 17:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la eliminación de coliformes fecales .....  | 76 |
| <b>Tabla 18:</b> Análisis de comparación Duncan para la eliminación de coliformes Fecales .....  | 77 |
| <b>Tabla 19:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la eliminación de bacterias heterotróficas.....   | 78 |
| <b>Tabla 20:</b> Análisis de comparación Duncan para la eliminación de bacterias heterotróficas ....   | 79 |
| <b>Tabla 21:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de la turbiedad.....   | 81 |
| <b>Tabla 22:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de la turbiedad .....  | 82 |
| <b>Tabla 23:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de conductividad eléctrica.....  | 83 |
| <b>Tabla 24:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de conductividad eléctrica.....  | 84 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 25:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal, en cuanto a la variación del potencial de hidrogeno (pH) .....         | 85  |
| <b>Tabla 26:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación del potencial de hidrogeno (pH)....  | 86  |
| <b>Tabla 27:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de dureza total .....                          | 87  |
| <b>Tabla 28:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de la dureza total.....  | 88  |
| <b>Tabla 29:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de calcio .....                                | 89  |
| <b>Tabla 30:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de calcio.....   | 90  |
| <b>Tabla 31:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de sólidos totales .....                       | 92  |
| <b>Tabla 32:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de sólidos totales.....  | 93  |
| <b>Tabla 33:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de alcalinidad .....                           | 94  |
| <b>Tabla 34:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de alcalinidad.....  | 95  |
| <b>Tabla 35:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de cloruros .....                              | 96  |
| <b>Tabla 36:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de cloruros.....   | 97  |
| <b>Tabla 37:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de sulfatos.....                               | 98  |
| <b>Tabla 38:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de sulfatos .....  | 99  |
| <b>Tabla 39:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de hierro .....                                | 100 |
| <b>Tabla 40:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de hierro .....  | 101 |
| <b>Tabla 41:</b> Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de manganeso.....                              | 102 |
| <b>Tabla 42:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de manganeso .....   | 103 |
| <b>Tabla 43:</b> Resultados de la capacidad de filtros a diferentes proporciones de jipi de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) y arcilla en la variación del caudal..... | 104 |
| <b>Tabla 44:</b> Análisis de comparación Duncan en la variación de caudal .....  | 105 |
| <b>Tabla 45:</b> Datos de eliminación de coliformes totales.....   | 114 |
| <b>Tabla 46:</b> Datos del porcentaje de eliminación de coliformes totales .....   | 114 |
| <b>Tabla 47:</b> Datos de eliminación de coliformes fecales.....   | 114 |
| <b>Tabla 48:</b> Datos del porcentaje de eliminación de coliformes fecales .....   | 114 |
| <b>Tabla 49:</b> Datos de eliminación de bacterias heterotróficas .....  | 115 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 50:</b> Datos del porcentaje de eliminación de bacterias heterotróficas.....        | 115 |
| <b>Tabla 51:</b> Datos de la variación de turbiedad.....                                     | 115 |
| <b>Tabla 52:</b> Datos del porcentaje de variación de la turbiedad.....                      | 115 |
| <b>Tabla 53:</b> Datos de la variación de conductividad eléctrica.....                       | 116 |
| <b>Tabla 54:</b> Datos del porcentaje de variación de conductividad eléctrica.....           | 116 |
| <b>Tabla 55:</b> Datos de la variación de potencial de hidrogeno.....                        | 116 |
| <b>Tabla 56:</b> Datos del porcentaje de variación del potencial de hidrogeno.....           | 116 |
| <b>Tabla 57:</b> Datos de la variación de sólidos totales.....                               | 117 |
| <b>Tabla 58:</b> Datos del porcentaje de variación de sólidos totales.....                   | 117 |
| <b>Tabla 59:</b> Datos de la variación de dureza total.....                                  | 117 |
| <b>Tabla 60:</b> Datos del porcentaje de variación de dureza total.....                      | 117 |
| <b>Tabla 61:</b> Datos de la variación de calcio.....  | 118 |
| <b>Tabla 62:</b> Datos del porcentaje de variación de calcio.....                            | 118 |
| <b>Tabla 63:</b> Datos de la variación de alcalinidad.....                                   | 118 |
| <b>Tabla 64:</b> Datos del porcentaje de variación de alcalinidad.....                       | 118 |
| <b>Tabla 65:</b> Datos de la variación de cloruro.....                                       | 119 |
| <b>Tabla 66:</b> Datos del porcentaje de variación de cloruro.....                           | 119 |
| <b>Tabla 67:</b> Datos de la variación de sulfatos.....                                      | 119 |
| <b>Tabla 68:</b> Datos del porcentaje de variación de sulfatos.....                          | 119 |
| <b>Tabla 69:</b> Datos de la variación de hierro.....  | 120 |
| <b>Tabla 70:</b> Datos del porcentaje de variación de hierro.....                            | 120 |
| <b>Tabla 71:</b> Datos de la variación de manganeso.....                                     | 120 |
| <b>Tabla 72:</b> Datos del porcentaje de Variación de Manganeso.....                         | 120 |
| <b>Tabla 73:</b> Datos obtenidos de la variación del caudal del agua.....                    | 121 |
| <b>Tabla 74:</b> Análisis de varianza para la eliminación de coliformes totales.....         | 121 |
| <b>Tabla 75:</b> Análisis de varianza para la eliminación de coliformes fecales.....         | 121 |
| <b>Tabla 76:</b> Análisis de varianza para la eliminación de bacterias heterotróficas.....   | 121 |
| <b>Tabla 77:</b> Análisis de varianza para la variación de la turbiedad.....                 | 122 |
| <b>Tabla 78:</b> Análisis de varianza para la variación de conductividad eléctrica.....      | 122 |
| <b>Tabla 79:</b> Análisis de varianza para la variación del potencial de hidrogeno (pH)..... | 122 |
| <b>Tabla 80:</b> Análisis de varianza para la variación de la dureza total.....              | 122 |
| <b>Tabla 81:</b> Análisis de varianza para la variación de calcio.....                       | 123 |
| <b>Tabla 82:</b> Análisis de varianza para la variación de sólidos totales.....              | 123 |
| <b>Tabla 83:</b> Análisis de varianza para la variación de alcalinidad.....                  | 123 |
| <b>Tabla 84:</b> Análisis de varianza para la variación de cloruros.....                     | 123 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 85:</b> Análisis de varianza para la variación de sulfatos .....  | 124 |
| <b>Tabla 86:</b> Análisis de varianza para la variación de hierro .....    | 124 |
| <b>Tabla 87:</b> Análisis de varianza para la variación de manganeso ..... | 124 |
| <b>Tabla 88:</b> Análisis de varianza para la variación de caudal .....    | 124 |

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

|                        |   |  |
|------------------------|---|--|
| <b>MINSA</b>           | : | Ministerio de Salud                                |
| <b>MINAM</b>           | : | Ministerio del Ambiente                            |
| <b>ANA</b>             | : | Autoridad Nacional del Agua                        |
| <b>OMS</b>             | : | Organización Mundial de la Salud                   |
| <b>EPS</b>             | : | Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento     |
| <b>EMSA</b>            | : | Empresa Municipal de Saneamiento                   |
| <b>EMAPA</b>           | : | Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado |
| <b>JASS</b>            | : | Junta Administradora de Servicios de Saneamiento   |
| <b>MYPES</b>           | : | Medianas y Pequeñas Empresas                       |
| <b>PCC</b>             | : | Plan de Control de Calidad                         |
| <b>ECA</b>             | : | Estándares de Calidad Ambiental                    |
| <b>LMP</b>             | : | Límites Máximos Permisibles                        |
| <b>NMP</b>             | : | Número Más Probable                                |
| <b>UFC</b>             | : | Unidades Formadoras de Colonia                     |
| <b>ANVA</b>            | : | Análisis de Varianza                               |
| <b>DT</b>              | : | Dureza Total                                       |
| <b>ST</b>              | : | Sólidos Totales                                    |
| <b>SS</b>              | : | Sólidos Suspendidos                                |
| <b>CE</b>              | : | Conductividad Eléctrica                            |
| <b>Wf</b>              | : | Peso Final   |
| <b>Wi</b>              | : | Peso Inicial                                       |
| <b>V</b>               | : | Volumen  |
| <b>Vm</b>              | : | Volumen de Muestra                                 |
| <b>M</b>               | : | Molaridad  |
| <b>N</b>               | : | Normalidad   |
| <b>EDTA</b>            | : | Etilendiaminotetraacético                          |
| <b>meq</b>             | : | Miliequivalente                                    |
| <b>ppm</b>             | : | Partes por Millón                                  |
| <b>uS/cm</b>           | : | Microsiemens por Centímetro                        |
| <b>L/s</b>             | : | Litros por Segundo                                 |
| <b>L/min</b>           | : | Litros por Minuto                                  |
| <b>L/h</b>             | : | Litros por Hora                                    |
| <b>m<sup>3</sup>/h</b> | : | Metros Cúbicos por Hora                            |
| <b>mg/L</b>            | : | Miligramos por Litro                               |
| <b>UNT</b>             | : | Unidad de Nefelometría de Turbidez                 |
| <b>ml</b>              | : | Mililitros   |
| <b>pH</b>              | : | Potencial de Hidrogeniones                         |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la factibilidad de la utilización de filtros cerámicos, conformados por jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla, impregnadas con plata coloidal, como alternativa para la potabilización de agua cruda de pozo para procesos agroindustriales. En el análisis microbiológico se utilizaron los métodos de Número Más Probable y Unidades Formadoras de Colonia, en el análisis fisicoquímico se utilizaron los métodos electrométrico, colorimétrico y volumétrico y para la determinación del caudal se utilizó el método volumétrico. De acuerdo a la caracterización microbiológica y fisicoquímica del agua cruda de pozo, se tiene que no cumplen con los límites máximos permisibles exigidos por el Ministerio de Salud. Para su tratamiento se elaboraron filtros a diferentes proporciones de jipi de quinua y arcilla (20/80; 30/70; 40/60) % e impregnados con plata coloidal a diferentes concentraciones (20; 35; 55) ppm. La evaluación estadística de la efectividad de los filtros en la eliminación de carga microbiológica y variación de características fisicoquímicas del agua cruda de pozo, fue contrastado bajo el diseño completamente al azar, basado en un arreglo factorial de  $3 \times 3 \times 3$ , haciendo 27 observaciones con un nivel de significancia al 5%. Donde se optimizaron los tratamientos con el análisis de varianza, que tuvo diferencia estadística altamente significativa y el método de comparación múltiple Duncan nos indica el mejor tratamiento: tratamiento 1 (filtro 01 con 20% jipi de quinua y 80% arcilla y concentración de plata coloidal 55 ppm) con un caudal de 0.474 L/min, el cual presenta la mayor eliminación de carga microbiológica: coliformes totales 0 NMP/100 ml, coliformes fecales 0 NMP/100 ml, bacterias heterotróficas 0 UFC/ml y a la vez tiene una mayor variación de características fisicoquímicas: Conductividad eléctrica (900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Turbiedad (0.036 NTU), pH (6.87), Dureza Total  $\text{CaCO}_3$  (201.4 mg/L), Calcio  $\text{Ca}^{++}$  (12.67mg/L), Sólidos Totales (420.0mg/L), Alcalinidad (50.01mg/L), Cloruro  $\text{Cl}^-$  (123.40 mg/L), Sulfatos  $\text{SO}_4^{=}$  (49.90 mg/L), Hierro (0.041 mg/L), Manganeseo (0.038 mg/L), todo estos resultados cumplen con los límites máximos permisibles para la calidad de agua que el Ministerio de Salud exige. Por lo tanto se concluye que es factible utilizar filtros cerámicos, conformados por jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla e impregnados con plata coloidal, para el proceso de tratamiento del agua cruda de pozo, convirtiéndolo en apto para consumo y uso en procesos agroindustriales.

**PALABRAS CLAVES:** Agua cruda, potabilización, filtro cerámico, plata coloidal, jipi de quinua.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the feasibility of using ceramic filters, conformed by jipi of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and clay, impregnated with colloidal silver, as an alternative for the purification of raw well water for agroindustrial processes. In the microbiological analysis methods of Probable Number and Colony Forming Units were used, in the physicochemical analysis the electrometric, colorimetric and volumetric methods were used and for the determination of the flow rate the volumetric method was used. According to the microbiological and physicochemical characterization of the raw well water, it must not comply with the maximum permissible limits required by the Ministry of Health. For their treatment, filters were made at different proportions of jipi of quinoa and clay (20/80, 30/70, 40/60) % and impregnated with colloidal silver at different concentrations (20, 35, 55) ppm. The statistical evaluation of the effectiveness of the filters in the elimination of microbiological load and variation of physicochemical characteristics of the crude well water, was contrasted under the completely random design, based on a factorial arrangement of 3x3x3, making 27 observations with a level of significance at 5%. Where the treatments were optimized with the analysis of variance, which had a highly significant statistical difference and the Duncan multiple comparison method indicates the best treatment: treatment 1 (filter 01 with 20 % jipi of quinoa and 80 % clay and concentration of colloidal silver 55 ppm) with a flow rate of 0.474 L/min, which has the highest elimination of microbiological load: total coliforms 0 NMP/100 ml, fecal coliforms or NMP/100 ml, heterotrophic bacteria or CFU/ml and at the same time has a higher variation of physicochemical characteristics: Electrical conductivity (900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Turbidity (0.036 NTU), pH (6.87), Total Hardness  $\text{CaCO}_3$  (201.4 mg/L), Calcium  $\text{Ca}^{++}$  (12.67mg/L), Solids Total (420.0mg/L), Alkalinity (50.01mg/L), Chloride  $\text{Cl}^-$  (123.40 mg/L), Sulfates  $\text{SO}_4^-$  (49.90 mg/L), Iron (0.041 mg/L), Manganese (0.038 mg/L), all these results comply with the maximum permissible limits for the quality of water that Ministry of Health demands. Therefore, it is concluded that it is feasible to use ceramic filters, comprised jipi of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and clay and impregnated with colloidal silver, for the treatment process of crude well water, making it suitable for consumption and use in agroindustrial processes.

**KEYWORDS:** Raw water, potabilization, ceramic filter, colloidal silver, quinoa jipi

## I. INTRODUCCIÓN

El tener acceso al agua mediante red pública no es garantía de que sea de calidad adecuada. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80% de enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales y una tercera parte de la tasa de mortalidad se debe al uso y consumo de agua insalubre. Los microorganismos patógenos que prosperan en los ambientes acuáticos pueden provocar cólera, fiebre tifoidea, disenterías, hepatitis y salmonelosis, entre otras enfermedades. (INEI, 2018).

La Industria Alimentaria se encuentra entre los principales sectores consumidores de agua a nivel mundial, siendo uno de los principales dentro del sector industrial. Tradicionalmente el agua ha sido un recurso esencial en las plantas procesadoras de alimentos utilizándose en todos los pasos tecnológicos de los procesos de producción y en actividades estrechamente relacionadas con estos, donde se incluyen el lavado, el pelado, la cocción, el enfriamiento o como parte de la materia prima para la elaboración del producto final, en la refrigeración de los productos, para los procesos de pasteurización, esterilización, para la generación de vapor, entre otros. También es utilizada como transportador mecánico de las materias primas a lo largo del proceso y finalmente para la limpieza de los equipos y áreas de producción. De manera general podemos afirmar que el procesamiento de alimentos constituye una operación intensiva en cuanto al uso de agua se refiere (García, 2006).

La industria del agua y la de los alimentos comparten como objetivo común, suministrar productos y/o servicios de calidad a los consumidores. De forma implícita, se entiende que el producto o servicio debe de ser inocuo, ya que tanto el agua como los alimentos pueden ser vehículos para la transmisión de enfermedades y continúan siendo responsables de numerosos brotes en países desarrollados y en vías de desarrollo a lo largo del planeta (Kirby, 2003).

Esta investigación, permite realizar una revisión actualizada sobre alternativas de tratamiento del agua en el sector agroindustrial, diferente a otros tratamientos que pueden ser costosos en cuanto a su construcción, operación y mantenimiento. Por tal motivo esta investigación constituye una alternativa de solución muy viable y efectiva desde el punto de vista de costo-beneficio, ya que es una técnica eficiente en cuanto a la eliminación de la carga microbiológica y cumplimiento de las características

fisicoquímicas del agua cruda de pozo para procesos agroindustriales, son de fácil construcción, operación y mantenimiento, además desde el punto de vista económico, tiene un precio inferior frente a otras técnicas de potabilización como son plantas de tratamiento de agua potable, la cloración, la luz ultravioleta, ozonización, entre otras.

La principal contribución de la investigación es ofrecer a las medianas y pequeñas empresas (MYPES), una opción práctica e inmediata para evitar el riesgo de contaminación en el producto procesado. Las MYPES son beneficiarios directos de la investigación como actores del proceso de transferencia de la tecnología de purificación del agua para el proceso, mejorando su calidad de producción. Por lo tanto se planteó los siguientes objetivos para la investigación.

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la factibilidad de la utilización de filtros cerámicos, conformados por jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla, impregnadas con plata coloidal, como una alternativa para la potabilización de agua para procesos agroindustriales.

#### **1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características microbiológicas y fisicoquímicas del agua cruda de pozo, utilizados para proceso agroindustrial, en comparación con los límites máximos permisibles.
- Determinar la efectividad de los filtros impregnados con plata coloidal a concentraciones de 20 ppm, 35 ppm y 55 ppm, en cuanto a la eliminación de carga microbiológica (coliformes fecales, coliformes totales y bacterias heterotróficas) del agua cruda.
- Determinar la efectividad de los filtros impregnados con plata coloidal a concentraciones de 20ppm, 35 ppm y 55ppm, en cuanto a la variación de las características fisicoquímicas (pH, cloruros, nitratos, calcio, alcalinidad, dureza total, sulfatos, turbidez, sólidos totales, conductividad, hierro, manganeso) del agua cruda.
- Evaluar la capacidad de los filtros a diferentes proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla (20/80%, 30/70% y 40/60%), en la variación del caudal.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES

Guevara (2000), en su estudio determinó las características microbiológicas de agua cruda de pozos en la localidad de Pilcuyo, durante el periodo seco tuvo como resultado 120.73 NMP/100ml coliformes totales y 10.32 NMP/100ml coliformes termotolerantes de muestra, durante el periodo lluvioso los resultados fueron de 108.48 NMP/100ml coliformes totales y 10.75 NMP/100ml coliformes termotolerantes. Para sus resultados recomienda un tratamiento antes de su consumo.

Escalante (2015), realizó un estudio de tratamiento de aguas subterráneas y superficiales del Distrito de Huata, para la industria láctea, los análisis de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos fueron realizados a 8 pozos seleccionados. Reporto coliformes totales 125 NMP/100ml, coliformes fecales 8 NMP/100ml y bacterias heterotróficas 2045 UFC/ml, dureza total 156.07 mg/L, pH 7.5, cloruros 79.85 mg/L, sulfatos 10.69 mg/L, sólidos totales 213.15 mg/L, hierro 0.6 mg/L, manganeso 1.37 mg/L, turbiedad 9 NTU. Indica que no cumplen con los límites máximos permisibles.

Calsin (2016), realizó un estudio de calidad físico, química y bacteriológica de aguas subterránea de consumo humano en el sector de Taparachi III de la Ciudad de Juliaca, teniendo como resultados coliformes totales 628.91 - 438.91 UFC/100ml; coliformes fecales 107.22 - 27.79 UFC/ml, temperatura fueron de 14.49 °C - 14.52°C, sólidos totales disueltos 785.03 - 509.82mg/L, conductividad eléctrica 1636.25 -1082.18  $\mu$ S/cm, turbiedad 2.15 - 203.09UNT, sulfatos 324.00 - 226.18mg/L, cloruros 206.50 - 134.31mg/L, dureza total 628.91- 438.91mg/L. Concluye que los parámetros que excedieron los LMP fueron sulfatos, dureza total, coliformes totales y fecales, por lo tanto el agua de pozos artesanales y tubulares no son aptas para el consumo humano.

Curasi (2010), evaluó la calidad de agua en 73 pozos subterráneas con fines de consumo doméstico de la ciudad de Puno, determinando los siguientes parámetros: potencial de hidrogeniones pH 7.1 a 7.6 ligeramente alcalinas, temperatura 13.4 a 16.4 °C, conductividad eléctrica 0.95 a 7.18 mS/cm, dureza total 72.72 a 585.8 mg/L, alcalinidad 38.52 a 404.46 mg/L, cloruros 25.50 a 286.50 mg/L, sulfatos 16.0 a 218.00 mg/L, sólidos totales 263.20 a 267.21 mg/L.

Astudillo & Aviles (2005), refiere que el elemento filtrante está compuesto en un 50% de arcilla y 50% de aserrín, que al hornearse a temperaturas superiores a 1000 °C queda poroso, lo que le permite dejar pasar el agua y al mismo tiempo retener materias en suspensión. El Filtrón le quita al agua desde el color turbio o verdoso, hasta los microorganismos que causan el cólera y las enfermedades gastrointestinales, que sólo se elimina al clorar el agua, hervirla o filtrada.

Ludeña & Ticono (2010), evaluó la formulación de pasta roja para la elaboración de un filtro purificador de agua y verificación de su efectividad filtrante, donde realiza cuatro (4) formulaciones (77% arcilla - 23% aserrín), (85% arcilla -15% aserrín), (90% arcilla -10% aserrín) y (82% arcilla -18% aserrín). Para definir su formulación óptima, realizó un análisis de t-student y concluye que todas las muestras filtradas a través de las formulaciones están dentro de los rangos permitidos (Norma INEN 1108), donde el filtro de formulación (82% arcilla roja-18% aserrín), quemado a la temperatura de 1090 °C provee los mejores resultados óptimo de parámetros físicos, químicos y microbiológicos y un flujo de 0.0417 l/h.

Cartagena (2001), realizo un estudio de prueba de la aceptación del filtro de cerámica impregnado con plata coloidal en el barrio El Ocotal de Guinope, Honduras. Debido a los altos niveles de coliformes totales y fecales en el agua consumida por los habitantes de El Ocotal, probó una metodología de transferencia del uso del filtro de cerámica impregnado con plata coloidal. Evaluó la eficiencia del filtro mediante el análisis de coliformes totales y fecales en muestras compuestas, analizadas antes y después del filtrado. También tomo muestras del agua filtrada y de la llave, en cinco casas, y determinó la presencia de coliformes, pH, cloro libre y temperatura. Concluye que el filtro fue muy eficiente en la descontaminación microbiológica, ya que redujo a cero las unidades formadoras de colonias en la muestra compuesta. Los resultados de las muestras en las cinco casas, demostraron que el filtro reduce la temperatura en 2°C y aumenta el pH en 0.34 unidades. No se encontró cloro libre en las muestras de agua filtrada, mientras que en las muestras de agua de llave sin filtrar se encontraron trazas menores a 0.5 mg/. Indica que el motivo principal de la aceptación del filtro, se debe esencialmente a la conciencia de los usuarios sobre la importancia de purificar el agua para mantenerse saludables y las características organolépticas del agua, en comparación con otros métodos de purificación. La ventaja del filtro más apreciada por los usuarios es la



confianza en la calidad microbiológica del agua filtrada y la única desventaja es el temor que se quiebre la unidad filtrante y no encuentren la forma de repararlo.

Vidal Henao (2010), en su investigación evaluó la efectividad del filtro a base de arcilla y plata coloidal en la potabilización de agua, para lo cual utilizó cinco (5) filtros de arcilla mezclados con aserrín, un (1) filtro blanco sin plata coloidal y cuatro (4) filtros impregnados con distintas concentraciones de plata coloidal en solución 7,88 ppm, 20 ppm, 36 ppm y 56 ppm, observa los cambios organolépticos, la variación de los parámetros fisicoquímicos y la remoción de microorganismos que presentaron cuatro (4) muestras tomadas en diferentes puntos del río Otún que abarca la ciudad de Pereira y sus alrededores. A partir de los datos recolectados en las variables de respuesta y mediante un análisis estadístico ANOVA y comparación de porcentajes de remoción según la concentración de plata impregnada se llega a la conclusión que no hay diferencia significativa en la remoción de turbiedad cuando el agua es tratada por alguno de los filtros y se comprueba la actividad bactericida de la plata coloidal impregnada en los filtros, pues los porcentajes de remoción de coliformes fecales y totales variaron desde el 98,56% al 100% de remoción y el filtro sin plata coloidal tuvo una remoción promedio de 96,41%. Comparo los promedios de remoción en turbiedad y coliformes totales y fecales, los filtros con mayor porcentaje de remoción fueron (2) y (4), de 21mg/L y 56mg/L de plata coloidal respectivamente, por lo anterior le denominan los más eficaces. Infirió que a mayor concentración de plata coloidal, aumenta el porcentaje de eliminación de microorganismos llegando a un 100%.

Lerma (2011), en su estudio evaluó la viabilidad técnica y económica de sistemas alternativos de tratamiento de agua potable al alcance de comunidades rurales y de bajos recursos; por tanto analizó una tecnología alternativa, como son los filtros cerámicos impregnados con plata coloidal, para su estudio utilizó (5) filtros cerámicos, (1) filtro sin plata coloidal y (4) filtros impregnados con plata coloidal a concentraciones de 7.80 ppm, 19.9 ppm, 32.3 ppm y 49.8 ppm, los cuales se probaron con 4 diferentes grados de contaminación sobre una fuente de montaña, río Otún Colombia, donde concluye que la filtración remueve factores contaminantes tales como turbiedad, color aparente, sólidos totales disueltos y nitritos hasta valores aceptables por normatividad colombiana y no afecta el pH, asimismo, remueve coliformes totales y fecales, la sola filtración eliminó entre entre 2 y 4 log, y refuerza el proceso de desinfección gracias a la plata coloidal que

remueve coliformes totales y fecales entre 4 y 5 log, de tal forma indica que a partir de una concentración  $\geq$  a 32.3 ppm de plata coloidal la eliminación de coliformes totales y fecales es progresiva y recomienda que son viables económicamente,

Brown (2007), también se interesó en la capacidad de potabilización de los filtros cerámicos durante investigaciones de campo en cambodia. Los objetivos de su estudio fueron la evaluación de la efectividad microbiológica de los filtros fabricados localmente contra microbios sustitutos de agentes patógenos y virales bajo condiciones de campo y laboratorio; como resultado de esta investigación se pudo establecer que en todos los casos los filtros reducen más del 99.99% de *Escherichia coli*, también se indica que efectivamente los filtros tienen una efectividad perfecta, pero solo se tienen en cuenta las recomendaciones hechas para el lavado de los mismos. Se pudo estimar que por el uso de los filtros se pudo disminuir en un 46% las enfermedades gastrointestinales.

Campbel (2005), en su investigación apunto a establecer una mayor base científica de la durabilidad del elemento filtrante. Con ese fin se probaron 19 elementos filtrantes, 14 de los cuales fueron recolectados de la comunidad de Chacaraseca, nueve de estos 14 tenían un tiempo de uso de 2 años, y los otros 5 tenían una edad entre 1 y 7 años. Los restantes 5 filtros fueron distribuidos en comunidades rurales en Mancotal y Jiguina en la parte norte de Nicaragua. Como resultado de este estudio se pudo determinar que la totalidad de los filtros están en capacidad de remover el 100% de *Escherichia coli* hasta los 5 años, por lo que se recomendó que se ampliara el plazo de vida útil del filtro de 2 a 5 años.

Mwabi (2011), en su estudio empleo cepas ATTC de *S. typhimurium*, *Escherichia coli* O157:H7, *V. cholerae* y *S. dysenteriae*. Inoculadas con un cultivo para cada bacteria patógena (incubado a  $37 \pm 1$  °C durante  $5 \pm 1$  h y a  $100 \pm 10$  rpm). Con la finalidad de conocer las concentraciones bacterianas. Los resultados de su investigación indicaron que los filtros BF (filtro cubo), BSF(filtro bioarena), CCF(filtro vela cerámica) y SIPP(filtro impregnado con plata coloidal), mostraron un rendimiento del 99 % para la remoción de *S. dysenteriae*. La remoción más baja para eliminar *Escherichia coli*, fue obtenida por el filtro BF con un 97 %. El SIPP presentó el mejor porcentaje de remoción para *Vibrio cholerae* con un 100%, mientras que para *S. typhimurium* y *Escherichia coli* obtuvo un 99 %.

Clasen (2004), realizó un estudio en Bolivia durante seis meses en una comunidad de 360 personas los filtros fueron distribuidos de forma aleatoria en 50 hogares de esta comunidad. Para el análisis microbiológico se recogieron muestras de 100 ml de agua en recipientes estériles. Los resultados obtenidos de los hogares provisto del filtro cerámico dieron 0 coliformes termotolerantes/100 ml y en los hogares control se encontró 3000 coliformes termotolerantes/100 ml, posteriormente se procedió a aplicar los filtros en todos los hogares dando como resultado el 100% de las muestras estaban libres de coliformes termotolerantes durante los seis meses.

Mahlangu (2012), estudiaron la eficiencia que tiene el filtro poroso impregnado de plata coloidal (SIPP), Para la evaluación del filtro, se emplearon muestras de agua sintética que fue elaborada agregando 200 mg/L de calcio, 100 mg/L de Magnesio, 5 mg/L de hierro, 10 mg/L de arsénico y 5 mg/L de fluoruro. Para la evaluación del agua ambiental se recogieron muestras de pozos y de río de tres provincias de Suráfrica (Gauteng, Mpumalanga y Noroeste), las cuales fueron clasificadas de acuerdo a su turbidez. Los resultados indicaron que el filtro SIPP, mostró una alta tasa de reducción de los análisis químicos analizados (F, Mg, Ca, NO<sub>3</sub>, Fe, As) además que redujo la turbidez en más de un 50%.

Russell (1994), detalla los usos históricos de la plata, empezando con Aristóteles quien aconsejó a Alejandro el Grande a hervir agua y almacenarla en bidones de plata o cobre a fin de prevenir enfermedades transmitidas por el agua en sus campañas. En 1869, Ravelin, reportó que la plata tenía efecto anti- microbiológico a una concentración muy baja; un efecto que más tarde fue denominado “oligodinámico” o “activo con poco”. En 1920, se determinó que la acción microbiológica de la plata correspondía con la forma iónica Ag<sup>+</sup> formada por oxidación superficial, o activación eléctrica. Hoy por hoy, la plata es más comúnmente utilizada como desinfectante para agua potable y en piscinas en Europa que en Estados Unidos. Algunos estudios han demostrado que la plata puede ser usada cuando el cloro este presente para proveer de una desinfección adicional.

## **2.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.2.1. EL AGUA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

El agua está involucrada en el procesamiento de alimentos y en operaciones relacionadas con los mismos. Algunos ejemplos de los procesos en los que participa son: remojo, lavado, enjuague, escaldado, calentamiento, pasteurización, enfriamiento, producción de vapor, limpieza general, saneamiento y desinfección (Casani, 2005).

En la industria alimentaria se debe tener un extremo cuidado de la calidad del agua que se va a utilizar durante el proceso de elaboración del alimento y en especial aquella agua que va a entrar en contacto directo o va a formar parte del alimento, pues una agua que no tenga las características apropiadas desde el punto de vista químico y microbiológico nos puede traer graves consecuencias como: reducir las propiedades organolépticas del alimento, reducir el valor nutritivo, causar reacciones químicas no deseadas en el alimento o transmitir alguna infección gastrointestinal (Tinoco, 2016).

El agua participa en la producción de los alimentos, desde las etapas iniciales (riego y agua para el ganado) hasta el procesamiento (ingrediente, medio de transporte y ayuda higiénica). Por lo tanto, la importancia de su calidad resulta vital, ya que las personas pueden estar expuestas a agentes infecciosos o agentes químicos tóxicos mediante la ingesta de agua contaminada incorporada a alimentos, de alimentos regados o cosechados con agua contaminada y de alimentos que han estado en contacto con agua contaminada durante su procesamiento (Kirby, 2003).

### **2.2.2. NORMAS LEGALES CON RESPECTO AL AGUA**

#### **2.2.2.1. CODEX ALIMENTARIO**

Los establecimientos de elaboración de productos lácteos deberían tener agua potable disponible antes de utilizarse por primera vez, habrá de cumplir con los criterios especificados por las autoridades competentes, debiendo luego controlarse periódicamente. El agua recirculada para utilizarse nuevamente debe ser tratada y conservada en condiciones tales que su uso no comporte riesgos para la inocuidad e idoneidad de los alimentos (Codex Alimentarius - FAO/OMS, 2011).

Estos criterios dependen del origen y el uso previsto del agua. Por ejemplo, el agua reutilizada destinada a incorporarse en un producto alimenticio debe cumplir, como

mínimo, con las especificaciones microbiológicas y fisicoquímicas para el agua potable. El reacondicionamiento del agua para su reutilización y el empleo de agua regenerada recirculada y reciclada debe manejarse de acuerdo con los principios del HACCP (Codex Alimentarius - FAO/OMS, 2011).

#### **2.2.2.2. MINSA**

En su reglamento de calidad de agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA, indica lo siguiente:

**Artículo 34° (DS N° 031-2010-SA):** Todo sistema de abastecimiento de agua para consumo humano existente, nuevo, ampliación o mejoramiento debe contar con registro de sus fuentes, registro del sistema de abastecimiento y autorización sanitaria de sistemas de tratamiento, plan de control de calidad (PCC), a fin de garantizar la inocuidad del agua de consumo humano para la protección de la salud (MINSA, 2011).

#### **Artículo 48°.- Requisitos sanitarios de los componentes de los sistemas de abastecimiento de agua**

La Autoridad de Salud del nivel nacional normará los requisitos sanitarios que deben reunir los componentes de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano en concordancia con las normas de diseño del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, los que serán vigilados por la Autoridad de Salud del nivel regional, los mismos que deberá considerar sistemas de protección, condiciones sanitarias internas y externas de las instalaciones, sistema de desinfección y otros requisitos de índole sanitario (MINSA, 2011).

#### **Artículo 60°.- Parámetros microbiológicos y otros organismos**

Toda agua destinada para el consumo humano, debe estar exenta de Bacterias coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli*, Virus, Huevos y larvas de helmintos, organismos de vida libre, como algas, protozoarios, rotíferos y nemátodos en todos sus estadios evolutivos; y para el caso de Bacterias Heterotróficas menos de 500 UFC/ml a 35°C (MINSA, 2011).

#### **Artículo 61°.- Parámetros de calidad organoléptica**

El noventa por ciento (90%) de las muestras tomadas en la red de distribución en cada monitoreo establecido en el plan de control, correspondientes a los parámetros químicos que afectan la calidad estética y organoléptica del agua para consumo humano, no deben exceder las concentraciones o valores de límites máximos permisibles (LMP).

Del diez por ciento (10%) restante, el proveedor evaluará las causas que originaron el incumplimiento y tomará medidas para cumplir con los valores establecidos (MINSA, 2011).

#### **Artículo 69°.- Tratamiento del agua cruda**

El proveedor suministrará agua para consumo humano previo tratamiento del agua cruda. El tratamiento se realizará de acuerdo a la calidad del agua cruda, en caso que ésta provenga de una fuente subterránea y no cumpla los límites máximos permisibles (LMP), deberá ser desinfectada previo al suministro a los consumidores (MINSA, 2011).

#### **2.2.2.3. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA ( ANA)**

En su reglamento de ley de recursos hídricos ley N° 29339 indica lo siguiente:

#### **Artículo 248°. - De la definición de uso conjunto de agua**

El aprovechamiento conjunto del agua superficial y subterránea es la satisfacción de la demanda de los diferentes usos en función a la ventaja comparativa de la fuente de agua en cuanto a su ubicación y a sus características técnicas, basado en la utilización alternativa de cada una de ellas en razón a su disponibilidad, manejo económico, social y sostenible de la fuente natural de agua (ANA, 2010).

#### **Artículo 249°. - De la finalidad del uso conjunto de agua superficial y subterránea**

**249.1** La Autoridad Nacional del Agua propiciará el aprovechamiento del uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas, como una medida de equilibrar el aprovechamiento del agua superficial y la extracción del agua subterránea de tal manera que se conserve y mantenga el equilibrio del sistema acuífero.

**249.2** La Autoridad Nacional del Agua efectuará estudios hidrogeológicos. Monitoreo de la explotación de los acuíferos. Asimismo, promoverá actividades de recarga de acuífero, determinará regulaciones para limitar su sobreexplotación, así como, la planificación y ejecución del aprovechamiento conjunto del agua superficial y subterránea (ANA, 2010).

#### **2.2.2.4. MINAM**

En su norma de estándares de calidad ambiental para agua DS N° 004-2017, indica:

#### **Artículo 5.- Revisión de los ECA para Agua.**

**Artículo 5.1.** Conjuntamente con los límites máximos permisibles aplicables a una actividad, las entidades de fiscalización ambiental verifican la eficiencia del

tratamiento de efluentes y las características ambientales particulares advertidas en los estudios de línea de base, o los niveles de fondo que caracterizan los cuerpos de agua dentro del área de influencia de la actividad sujeta a control (MINAM, 2017).

**Artículo 5.2.** Dicha información se sistematiza y remite al Ministerio del Ambiente, de conformidad con el artículo 9 de las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, para efectos de la revisión periódica del ECA para Agua (MINAM, 2017).

### **2.2.3. AGUA SUBTERRÁNEA**

El agua subterránea es parte de la precipitación que se filtra a través del suelo hasta llegar al material rocoso que está saturado de agua, que se mueve lentamente hacia los niveles bajos, generalmente en ángulos inclinados, debido a la gravedad. Las aguas de pozos profundos contienen menos microorganismos que los de menos profundidades, por ser mayor el espesor de las capas de material filtrante. La distancia que las bacterias recorren a través del suelo depende de diversos factores, entre ellos la permeabilidad del suelo, el gradiente hidráulico del agua subterránea y las condiciones climáticas (Salle, 2000).

### **2.2.4. CALIDAD DE AGUA**

El agua tal como la encontramos en la naturaleza no es utilizable directamente para el consumo humano ni para la industria, porque, salvo en raros casos, no es suficientemente pura. A su paso por el suelo, por la superficie de la tierra o incluso a través del aire, el agua se contamina y se carga de materias en suspensión o en solución: partículas de arcilla, residuos de vegetación, organismos vivos como plancton, bacterias, virus; sales diversas como cloruros, sulfatos, carbonatos de sodio, calcio, hierro, manganeso, etc.; materias orgánicas como ácidos húmicos, fúlvicos; residuos de fabricación; gases, etc. (Pauta, 2000)

La presencia de esta gran variedad de impurezas exige el tratamiento de las aguas antes de su utilización, para hacerlas aptas para las aplicaciones consideradas, o después de su utilización, para evitar todo daño a nuestro medio ambiente (Astudillo & Aviles, 2005).



### 2.2.5. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

En base a la vinculación entre calidad de aguas y sus usos, se establecen estándares y criterios de calidad específicos que definen los requisitos que ha de reunir un determinado agua para un fin concreto, requisitos que, generalmente, vienen expresados como rangos cuantitativos de parámetros más utilizados para definir su calidad se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: físicos, químicos, microbiológicos y radiológicos (Ros, 2010).

#### 2.2.5.1. Parámetros de control obligatorio (PCO)

Son parámetros de control obligatorio para determinar la calidad del agua, donde considera las siguientes características: Coliformes totales, Coliformes termotolerantes, Turbiedad, Residual de desinfectante y pH. En caso de resultar positiva la prueba de coliformes termotolerantes, el proveedor debe realizar el análisis de bacterias *Escherichia coli*, como prueba confirmativa de la contaminación fecal (MINSA, 2011).

**Tabla 1: Límites Máximos Permisibles (LMP) referenciales de los parámetros de calidad del agua**

| PARÁMETROS O CARACTERÍSTICAS             | Unidad     | LMP       |
|--|------------|-----------|
| <b>MICROBIOLÓGICO</b>                    |            |           |
| Coliformes Totales                       | UFC/100 ml | 0         |
| Coliformes fecales                       | UFC/100 ml | 0         |
| Bacterias heterotróficas                 | UFC/ml     | 500       |
| <b>FISICOQUÍMICOS</b>                    |            |           |
| Conductividad                            | uS/cm      | 1500      |
| Turbiedad                                | NTU        | 5         |
| pH                                       |            | 6.5 - 8.5 |
| Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )        | mg/L       | 500       |
| Calcio (Ca <sup>++</sup> )               | mg/L       | 150       |
| Sólidos Totales                          | mg/L       | 1000      |
| Alcalinidad                              | mg/L       | 120       |
| Cloruro (Cl <sup>-</sup> )               | mg/L       | 250       |
| Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) | mg/L       | 250       |
| Hierro (Fe)                              | mg/L       | 0.3       |
| Manganeso (Mn)                           | mg/L       | 0.4       |

Fuente: (MINSA, 2011)



## 2.2.6. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

El agua subterránea natural como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas como: color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, etc. (Herrera & Quintero, 2008).

### 2.2.6.1. Turbiedad

Es una característica fundamental para el control de los tratamientos del agua en las plantas potabilizadoras o estaciones de tratamiento de agua potable siendo una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, (Crites, 2000), así mismo la claridad del agua se mide mediante la cantidad de sólidos como arena, arcilla y otros materiales en el agua. Mientras más sucia parece el agua más alta es la turbidez. Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), la turbidez del agua para consumo humano no debe ser más, en ningún caso, de 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU (OMS, 2003).

### 2.2.6.2. Potencial de hidrogeno (pH)

La determinación del potencial de hidrógeno (pH) en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o de su alcalinidad. Si el pH es menor de 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor de 7.0 muestra una tendencia hacia lo alcalino (Sierra Ramirez, 2011), La mayoría de aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. En las aguas subterráneas normalmente vamos a tener valores de pH entre 6 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. El valor del pH en el agua, es utilizado cuando nos interesa conocer su tendencia corrosiva o incrustante (Herrera & Quintero, 2008).

### 2.2.6.3. Conductividad eléctrica

La conductividad en medios líquidos está relacionada con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica si se somete el líquido a un campo eléctrico. Estos conductores iónicos se denominan electrolitos o conductores electrolíticos (Ros, 2010).

### 2.2.6.4. Alcalinidad

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos, esta capacidad debe definirse para ciertos rangos de pH. Así la alcalinidad TAC mide la capacidad de neutralizar hasta pH = 4.5 y la alcalinidad TA hasta pH = 8.3. En la mayoría

de las aguas naturales la alcalinidad está producida por los iones de carbono y bicarbonato aunque, en ocasiones, otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos pueden contribuir de forma notable al desarrollo de esta propiedad (Glynn & Gary, 2000).

#### **2.2.6.5. Dureza total**

La dureza, debida a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, y en menor proporción por el hierro, el aluminio y otros metales, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones por formación de precipitados insolubles de carbonatos e hidróxidos. Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales, siendo la principal fuente de depósitos e incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor, tuberías, etc. Por el contrario, las aguas muy blandas son agresivas y pueden no ser indicadas para el consumo (Miranda, 2010).

#### **2.2.6.6. Sólidos totales**

Son la suma de los sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos disueltos o salinidad total es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada, y los sólidos en suspensiones una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser detenidos en un filtro (Rigola, 2000).

#### **2.2.6.7. Cloruro**

El ión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), forma sales en general muy solubles, suele ir asociado al ión  $\text{Na}^+$ , especialmente en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero no es raro encontrar valores mucho mayores. A partir de 300 ppm el agua empieza a adquirir un sabor salado. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas debido al pequeño tamaño del ión que puede penetrar la capa protectora en la interfase óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural (Ros, 2010).

#### **2.2.6.8. Sulfatos**

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en las industrias químicas y se descargan a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; no obstante las mayores concentraciones se dan, comúnmente, en las aguas subterráneas estas se forman al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas. Además los

contenidos superiores a 300 mg/L pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños. Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de consumo (Severiche & Gonzales, 2012).

#### **2.2.6.9. Calcio**

El ión calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), forma sales moderadamente solubles a muy insolubles. Es un elemento abundante en los materiales que componen la corteza terrestre (calcita, dolomita, yesos, en las rocas ígneas y metamórficas forma parte de las plagioclasas, anfíboles, piroxenos, etc.) y por tanto, en las aguas subterráneas. Precipita fácilmente como carbonato cálcico ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ); también puede sufrir reacciones de intercambio iónico. Contribuye de forma muy especial a la dureza del agua y a la formación de incrustaciones. Además es un elemento muy móvil, en aguas naturales suele estar en proporciones de 10 a 250 mg/L, o incluso 600 mg/L. El agua de mar contiene unos 400 mg/L (Ros, 2010).

#### **2.2.6.10. Hierro**

Es un elemento esencial para el metabolismo de animales y plantas, en aguas subterráneas suelen encontrarse en forma de ferrosas ( $\text{Fe}^{2+}$ ), contenido en oxígeno y dependiendo a menudo del contenido del agua en otros elementos (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, etc.); la concentración de este elemento en el agua está controlado por procesos de equilibrio químico como oxidación - reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros, formación de complejos especialmente con materia orgánica y también por la actividad metabólica de animales y plantas (Rigola, 2000).

#### **2.2.6.11. Manganeseo**

Es esencial para el metabolismo de las plantas, se puede encontrar en forma de Mn o en forma de complejo, en cantidades apreciables produce sabor desagradable en el agua lo que evita a menudo su ingestión en grandes dosis, que podría afectar al sistema nervioso central. Tiene un comportamiento similar al Fe. Las concentraciones menores a 0.1 mg/L suelen ser aceptables para los consumidores. Incluso en una concentración de 0.2 mg/L, el manganeseo formará con frecuencia en las tuberías, que puede desprenderse en forma de precipitado negro (OMS , 2003).

## 2.2.7. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

### 2.2.7.1. Coliformes totales

Indican contaminación del suelo, del agua etc. Los bacilos gram-negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no formadores de esporos, oxidase-negativos, capaces de desarrollarse en presencia de sales biliares o agentes pensativos que fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a  $35.0 \pm 0.5$  CC en 24 - 48 horas, que pueden presentar actividad de la enzima  $\beta$  - galactosa. La mayoría de las bacterias del grupo coliforme pertenece a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* (Reasoner, 2015).

### 2.2.7.2. Coliformes fecales

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaces de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Otro de los aspectos negativos del uso de los coliformes totales como indicador es el hecho de que algunos coliformes son capaces de multiplicarse en el agua (Madigan, 1997).

### 2.2.7.3. Bacterias heterotróficas

Las bacterias heterotróficas están presentes en todos los cuerpos de agua y constituyen un grupo de bacterias ambientales de amplia distribución, éstas son indicadoras de la eficacia de los procesos de tratamiento, principalmente de la desinfección (Miranda, 2010).

## 2.2.8. DESINFECCIÓN DEL AGUA

### 2.2.8.1. Desinfección por luz solar

Utiliza la radiación solar para inactivar y destruir a los microorganismos patógenos, el sistema permite inactivar vibro cólera, las coliformes fecales, la salmonella, otros microorganismos, virus y bacterias que se hallan presentes en el agua. El tratamiento consiste en llenar recipientes transparentes de agua y exponerlos a plena luz solar por unas cinco horas (dos días consecutivos bajo un cielo que está 100 por ciento nublado). La desinfección ocurre por una combinación de radiación y tratamiento térmico (la temperatura del agua no necesita subir muy por encima de 50 °C). La desinfección solar

requiere agua relativamente clara (turbidez inferior a 30 NTU). El agua desinfectada por este medio debe consumirse directamente de la botella o envase expuesto al sol o transvasarse a un vaso limpio para evitar la recontaminación (Eawag, 2003).

#### **2.2.8.2. Cloración**

El cloro es el desinfectante más utilizado del agua potable. En dosis de unos pocos miligramos por litro y tras unos 30 minutos de contacto, el cloro libre suele inactivar a más del 99,99 % de las bacterias y los virus entéricos, siempre que el agua sea transparente cuando se añade al agua la siguiente reacción ocurre en un segundo o menos:  $H_2O + Cl_2 = HOCl + H^+ + Cl^-$ . La magnitud de la hidrólisis constante de equilibrio es tal que la hidrólisis a hipocloroso ácido, HOCl, está prácticamente terminada en agua dulce a  $pH > 4$  y con dosis de cloro de hasta 100 mg/L. La cloración es eficiente pero debe tenerse cuidado con su dosificación, puesto que altas concentraciones alteran el sabor del agua, el pH, y las reacciones crónicas con materia orgánica generan trihalometanos THM, que son acumulables en el organismo y pueden ser cancerígenos (Sarmiento, 2002).

#### **2.2.8.3. Ozonificación**

El ozono garantiza una desinfección instantánea pero no cuantiza un residual como lo hace el cloro debido a que se descompone rápidamente después de ser accionado, es decir que el agua queda susceptible a recontaminación. Para utilizar el sistema de ozonificación es necesario que sea constante y que tenga unos conductos que garanticen que no haya ningún tipo de filtración, que sea un sistema totalmente cerrado, a presión que garantice que no haya fugas. Las desventajas del tratamiento incluyen falta de desinfectante residual, regeneración biológica en los sistemas de distribución, el elevado coste, y la escasa información sobre la naturaleza y la toxicidad de sus subproductos (Bernardo, 1993).

#### **2.2.8.4. Plata coloidal como desinfectante**

La plata solo tiene propiedades desinfectantes en su estado coloidal, esto es cuando se presenta en partículas extremadamente pequeñas que permanecen en suspensión y que por su tamaño se cargan eléctricamente con mucha facilidad. En ese estado también es conocida como proteína de plata, sales de plata, proteína de plata ligera y proteína de plata fuerte. El mecanismo de desinfección actúa por la inactivación de las enzimas de las células bacterianas y hongos que usan oxígeno para su metabolismo, pues causa una disrupción celular, aunque en tiempos muy variables y dependientes de la temperatura (Rivera, 2001).

## **2.2.9. TRATAMIENTOS DE AGUA**

### **2.2.9.1. Aeración**

La aeración puede lograrse agitando vigorosamente un recipiente con agua hasta la mitad o permitiendo al agua gotear a través de bandejas perforadas, elimina las sustancias volátiles tales como el sulfuro de hidrógeno, que afectan al olor y el sabor, y oxida el hierro y el manganeso a fin de que formen precipitados que puedan eliminarse mediante sedimentación o filtración (Rodríguez, 2003).

### **2.2.9.2. Coagulación y floculación**

Si el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación pueden utilizarse para eliminar gran parte del material. En la coagulación, se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante (Sarmiento, 2002).

El proceso de floculación que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración. El sulfato de aluminio es un coagulante que se utiliza tanto al nivel de familia como en las plantas de tratamiento del agua (Santiago, 2000).

Los factores que pueden promover la coagulación – floculación son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo. Por otro parte el pH es un factor prominente en acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes (Rodier, 1998).

### **2.2.9.3. Desalinización**

Las sales químicas excesivas en el agua le dan mal sabor. La desalinización mediante destilación produce agua sin sales químicas y pueden utilizarse varios métodos al nivel de familia, por ejemplo, para tratar el agua de mar. La desalinización también es

eficaz para eliminar otros productos químicos tales como el fluoruro, el arsénico y el hierro (Valero, 2001).

#### **2.2.9.4. Filtración**

Es un proceso que consiste en el paso de un líquido a través de un medio filtrante para eliminar la materia en suspensión presente en el mismo. El medio filtrante puede ser arena, tierra de diatomeas, tejido filtrante, papel poroso, etc. Los filtros pueden extraer los sólidos en suspensión, los patógenos y ciertos productos químicos, sabores y olores (Bernardo, 1993).

Se llama filtrabilidad a la mayor o menor facilidad con que filtra un determinado líquido. El coeficiente de filtrabilidad viene dado por la pérdida de carga en función de un volumen filtrado y el índice de filtrabilidad viene dado por la variación de velocidad de la filtración, para un volumen dado de agua, suponiendo constante la superficie filtrante y la carga (Rodríguez, 2003).

#### **2.2.10. FILTRO CERÁMICO PURIFICADOR DE AGUA**

Recurso técnico mediante el cual el agua puede ser clarificada, purificada o descontaminada, a fin de hacerla apta para el consumo humano o animal (potable). En general consiste en un mecanismo o instrumento capaz de hacer pasar el líquido a través de un sólido provisto de diminutos orificios o poros, capaces de retener o no dejar pasar partículas e impurezas extrañas, tanto ellas sean tóxicas como no tóxicas o inocuas (Ludeña & Ticono, 2010).

##### **2.2.10.1. Aplicaciones**

Actualmente el filtro cerámico está siendo usado como una alternativa en poblaciones de países como Camboya, Argentina, Honduras y Guatemala, en donde no tienen acceso al agua potable. También en la Industria Cerámica, para la purificación de aguas contaminadas mediante el proceso de filtrado. Incluso se utiliza en aguas residuales para disminuir los niveles de metales pesados, sustancias tóxicas y microorganismos que pudieran causar daño a la salud de las personas (Astudillo & Aviles, 2005).

##### **2.2.10.2. Ventajas**

El uso de éste filtro reduce la incidencia de diarrea y cólera hasta un 50%. No cambia el sabor del agua como lo hacen algunos filtros. A causa del uso mejora la calidad



de vida en las familias. Genera un ahorro en consumo de combustibles como el gas o leña al hervir el agua (Cartagena, 2001).

## 2.2.11. DESARROLLO DE UN FILTRO CERÁMICO PURIFICADOR DE AGUA

### 2.2.11.1. Arcilla

#### 2.2.11.1.1. Definición

Por diferentes que sean las especies de arcilla que se presentan en la naturaleza, todas se parecen en que contienen silicato de alúmina hidratado como principal componente, generalmente impurificado con otras sustancias. Los minerales de arcilla poseen estructuras por capas, con láminas de silicato (Vittel, 1998).

Arcilla es una roca ligera, suave al tacto, muy blanda y de color variable (gris, azul, amarillento, rojizo, blanco, etc.), y forma una masa plástica con el agua que puede moldearse y conservar la forma aun después de ser cocida (Astudillo & Aviles, 2005).

#### 2.2.11.1.2. Propiedades

**Plasticidad:** El término plástico, cuando se aplica a la arcilla, se acepta con el significado de que una arcilla puede absorber agua y, con una cantidad dada, llegar a un estado en que por aplicación de presión puede deformarse sin ruptura, y conservar la nueva forma cuando desaparece la presión. Si a continuación se somete a secado, la capacidad de deformación se pierde gradualmente y la arcilla se vuelve relativamente dura y frágil (Rado, 1997).

**Capacidad de absorción:** Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminaar o en los canales estructurales. La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales: superficie específica y porosidad. Además existen dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción, cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad; y adsorción, cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato (Bruguera, 1986).



**Contracción al secado:** Secado al aire, la arcilla húmeda sede agua gradualmente al principio a velocidad constante y posteriormente con velocidad decreciente, hasta que ya no contiene agua libre. Durante el período de velocidad constante la superficie tiene siempre la misma humedad y se produce una contracción en toda la pieza. Después de esto, la superficie comienza a aparecer seca y la evaporación tiene lugar dentro de la pieza, produciéndose poca o ninguna contracción. La explicación generalmente aceptada es que mientras se está evaporando el agua que realmente separa las partículas se produce la contracción hasta que éstas están en contacto; después de ello se pierde el agua de los poros y ya no se produce contracción (Vittel, 1998).

**Refractariedad:** Todas las arcillas son refractarias en mayor o menor grado, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción propia (Padoa, 1990).

**Porosidad:** El grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las arcillas que se cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas (Padoa, 1990).

**Color:** Las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción, como: rosa, rojiza, amarillenta, etc.; debido a la presencia de óxido de hierro, carbonato cálcico, etc. (Rado, 1997).

### 2.2.11.1.3. Aplicaciones

En general, los utensilios de cerámica se producen por plastificación de la arcilla con la adición de agua, de manera que pueda conformarse o moldearse por varios medios en el objeto deseado. De ahí que la arcilla por su gran plasticidad puede ser moldeada sin ninguna dificultad y por su coloración es muy usada para la producción de ladrillos y otros productos (Bruguera, 1986).

### 2.2.11.2. Materia prima auxiliar

#### 2.2.11.2.1. Jipi de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

El “jipi” es un residuo orgánico del grano que está conformado por fragmentos de hojas y restos de inflorescencias (pedicelos, pétalos o perigonio, pedúnculos y pequeñas ramas) que se separa por venteo natural o artificial del grano de quinua (Calsina, 2015).

El proceso de la trilla del grano de quinua genera dos residuos importantes: la broza y el “jipi”. La broza, llamada también “k’iri” está conformado por los tallos, ramas de hojas. El “jipi” está conformado por fragmentos de hojas y restos de inflorescencias (pedicelos, pétalos o perigonio, pedúnculos y pequeñas ramas) que se separa por venteo natural o artificial del grano de quinua. Cada hectárea de cultivo de quinua genera 5000Kg de broza y entre 200 a 300Kg de “jipi” (Ticona, 2003).

La región Puno cultiva unas 25 a 28 mil hectáreas anuales de quinua con una producción 135,945 toneladas de broza o k’iri y 6,792 toneladas de jipi, de los cuales la broza tiene poca utilización, destinándose generalmente para la elaboración de “likta” que es un aditivo mineral elaborado de las cenizas de la broza, utilizado en el masticado de coca (Erythroxylin coca) “chacchado” (Marca, 2011).

#### **2.2.11.2.2. Composición química**

Su composición corresponde al contenido celular del vegetal que puede representar hasta el 60% de celulosa, las hemicelulosas pueden representar hasta el 37% de la composición química del jipi, cuando el vegetal está destinado para alimento del ganado se ha determinado que es mejor en su estado tierno, ya que cuando este llegue a su madurez fisiológica el contenido de las hemicelulosas es mayor lo cual hace que el alimento sea no digerible puesto que se relaciona con el contenido de lignina (Cañas, 1998).

#### **2.2.11.2.3. Propiedades**

La celulosa tiene la facilidad de evacuar el agua que contiene debido a la presencia de puentes de hidrógeno intra e intermoleculares, a su estructura parcialmente cristalina y a su alto grado de polimerización (Walker & Wilson, 1991).

Las hemicelulosas absorben agua fácilmente, éste hecho contribuye en propiedades tales como: movilidad interna y aumento de la flexibilidad de las fibras (Otero, 1988).

La lignina posee un importante papel en el transporte interno de agua, nutrientes y metabolitos. Proporciona rigidez a la pared celular y actúa como fuente de unión entre las moléculas de celulosa, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones. Realmente los tejidos lignificados resisten el ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular (Mayer, 1997).

#### **2.2.11.2.4. Aplicaciones**

Producto orgánico que al mezclarlo con arcilla y agua, es capaz de formar poros sumamente diminutos cuando la pieza haya salido del proceso de cocción a elevadas temperaturas. Así que en los filtros al quemarse el material orgánico, se produce la generación de poros por donde se filtrará el agua contaminada (Ludeña & Ticono, 2010).

### **2.2.12. PROPIEDADES DEL FILTRO CERÁMICO PURIFICADOR DE AGUA**

#### **2.2.12.1. Color**

Antes de la cocción su color es gris, mientras que luego de haber salido del horno, logra una coloración roja la misma que se debe a la presencia de óxidos de hierro contenidos en la arcilla roja. Esta coloración varía según las temperaturas a las cuales haya sido sometido el filtro (Vittel, 1998).

#### **2.2.12.2. Porosidad**

Es la propiedad más importante que posee el filtro cerámico, en vista que de ésta depende el flujo de filtración de agua. Dicha porosidad se obtiene por el aserrín o materia orgánica presente en la mezcla y se produce cuando el filtro es sometido a temperaturas superiores a los 1000 °C (Astudillo & Aviles, 2005).

#### **2.2.12.3. Absorción**

La absorción de agua en el filtro, permite saber si éste cuenta con la porosidad suficiente como para obtener un flujo de agua eficiente, es decir, que el tiempo de filtrado no tarde demasiado (Lerma, 2011).

#### **2.2.12.4. Filtración**

Proceso técnico consistente en separar del agua determinadas sustancias que se hallan en suspensión, además de otras que se encuentran en la solución, ya sean de origen orgánico como inorgánico o mineral. Dicho material filtrado puede ser atóxico o tóxico. (Fernández, 2005).

#### **2.2.12.5. Coeficiente de dilatación**

Todo cuerpo, sufren algunos efectos por el calor, uno de ellos es la dilatación, que se produce en todas las dimensiones que posee. Según su naturaleza cada cuerpo posee lo que se llama coeficiente de dilatación térmica. Es una propiedad de suma

importancia, que permite tener una idea clara acerca del tiempo de vida útil que poseerá el filtro; esto es por el contacto continuo con el agua, ya que podría llegar a cuartearse y no serviría para realizar el proceso de filtrado (Padoa, 1990).

#### **2.2.12.6. Aditivos**

##### **2.2.12.6.1. Plata coloidal**

La plata coloidal es una suspensión de partículas de plata que se obtiene mediante una serie de procesos químicos o eléctricos que las separa a partir de un trozo más grande con un tamaño de 1-10 nm (la millonésima parte de un metro) (Magdaleno , 2007). Las moléculas de plata están disueltas en determinados líquidos de suspensión dando lugar a la formación de coloides de protección de naturaleza proteica que rodean la partícula de plata brindándole estabilidad en el medio y evitando su aglomeración, además de cargarse eléctricamente debido a la pérdida progresiva de iones de plata (Coutiño & Pérez, 2007). Este proceso electro-coloidal para la obtención de partículas de plata presenta un gran poder (Pancorbo, 2016).

##### **2.2.12.6.1.1. Tipos de plata coloidal**

Existen por lo menos 4 diferentes productos conocidos como plata coloidal: El primer tipo de producto es el clásico, usualmente conocido como “plata electro-coloidal”, este producto es hecho por electrólisis de bajo voltaje y se encuentra usualmente en concentraciones entre 3 - 5 ppm, pero algunas veces es mayor de 100 ppm. Consiste en partículas microscópicas, plata elemental disuelta en agua, con ningún otro elemento presente. Cada partícula de plata lleva una carga eléctrica positiva. Plata coloidal hecha de esta manera parece transparente o trasparente con un tono amarillento. La segunda forma es llamada “Proteína suave de plata”, este producto amarra partículas microscópicas de plata y proteínas en una molécula, es usualmente encontrada en concentraciones entre 20 y 40 ppm. Su apariencia puede ser transparente o ámbar. La tercera son “sales de plata”. Estos productos pueden ser obtenidos químicamente o electro químicamente y usualmente crean una forma de plata que se “disuelve” en agua. Los rangos de concentración están entre 50 y 500 ppm. Las partículas de plata llevan una carga positiva, pero casi invariablemente, estos productos contienen otros productos o componentes además de la plata. La cuarta forma algunas veces es referida como “plata en polvo”, este producto fue desarrollado por los rusos y es hecho cuando un cable de plata pura es rápidamente desintegrado por una corriente de alto voltaje, similar a una

vieja bombilla de flash fotográfico. El polvo microscópico de plata es recogido disuelto en agua o adicionado a ungüentos y cremas para uso de actualidad. El rango de concentración está entre 100 - 500 ppm. Todos estos productos funcionan, en un mayor grado que otro, en un ancho espectro germicida porque todos ellos contienen partículas microscópicas de plata (Lindemann, 2009).

#### **2.2.12.6.1.2. Propiedades**

##### **a. La plata como un inhibidor enzimático**

La presencia de plata coloidal cerca de un virus, un hongo, una bacteria o cualquier otro microorganismo patógeno unicelular, incapacita a su enzima del metabolismo del oxígeno. Dentro de pocos minutos el microorganismo patógeno se sofoca y muere. El distorsionar directamente las vías de las reacciones enzimáticamente dirigidas con la introducción de una sustancia química es una manera entre otras de alterar la actividad metabólica. Otros mecanismos para alterar la actividad metabólica incluyendo el cambio de la temperatura o el pH, por la irradiación a presión alta, son no específicos además de que raramente se tiene idea de lo que está ocurriendo en el complejo de la matriz protoplásmica. Si se tuviera que escoger la característica más importante e interesante de los inhibidores de las enzimas, las cuales los hacen una de las herramientas más poderosas en muchos de los campos de la investigación biológica, sería su especificidad relativa. Mientras más sepamos sobre la naturaleza exacta de la perturbación producida, es más probable que emergerá una clara interrelación y la meta del entendimiento de la energética celular será alcanzada (Russell, 1994).

Un número de metales son conocidos como inactivadores del enlace SH (sulfuro de hidrógeno) en las enzimas. La plata es ampliamente usada en aplicaciones bioquímicas para determinar si una enzima tiene un grupo SH como parte de su estructura funcional. De datos colectados sobre la acción de plata en los enlaces SH, muestra inactivación extremadamente variada dependiendo de enzima específica y concentración. Estas diferentes reactividades pueden atribuirse a un campo eléctrico que rodea al grupo SH, a factores estéricos que dependen de la localización del grupo SH en la estructura de la proteína. (Webb, 1997).

**b. Interacción de la plata con la pared celular**

La plata se ata a la membrana celular de las bacterias. Las células sensitivas entonces incrementan su tamaño y contenido citoplásmico, y las membranas celulares y estructuras celulares externas presentan anomalías. Estas anomalías resultan en lisis celular y la muerte. El rol de la plata como causante de la lisis celular, reemplaza compuestos en la membrana celular que son requeridos para la estabilidad de la membrana celular (Hugo, 1995).

**c. Interacción de la plata con los ácidos nucleicos**

La reacción entre ( $\text{Ag}^+$ ) y los pares de bases GC (Guanina citosina) y AT (Adimina Timina). Con exposición del ADN a la luz UV, el complejo ( $\text{Ag}^+$ )-ADN causa la dimerización de la timina y previene la replicación del ADN (Russell, 1994).

**2.2.12.6.1.3. Mecanismos de acción microbicida de la plata coloidal**

Ion de plata tiene un poder reductor que actúa de manera electrostáticamente, haciendo que los iones cargados positivamente ( $\text{Ag}^+$ ) en el agua intentan buscar partículas con polaridad opuesta, como bacterias, virus y hongos. Los iones de plata cargados positivamente forman compuestos electrostáticos con células de microorganismos que están cargados negativamente. Esto produce daño o interrupción en la permeabilidad de la pared celular y por lo tanto evita la toma de nutrientes. Los iones de plata penetran en la pared celular creando la entrada de la plata ( $\text{Ag}^+$ ). Estos penetran en el núcleo de los microorganismos, uniéndose a varias partes de la célula como el ADN y el ARN, proteínas y enzimas respiratorias impidiendo el funcionamiento normal de estos sistemas celulares. Como resultado no hay más crecimiento celular o división celular, impidiendo la multiplicación y desarrollo de los microorganismos y provocando su muerte. Los iones se mantienen activos hasta que son absorbidos por un microorganismo (Paredes, 2011)

Los iones de plata son muy rápidos y atraviesan las membranas bacterianas. Interactúan con enzimas y otras proteínas bacterianas, provocando la desorganización celular y la pérdida de viabilidad. Además, los iones de plata interactúan con las paredes de las células y se fijan en el ADN y ARN bacterianos causando la inhibición de reproducción de las bacterias. Estudios han demostrado claramente que la plata produce una inhibición significativa de un amplio espectro de gérmenes (Pancorbo, 1996).

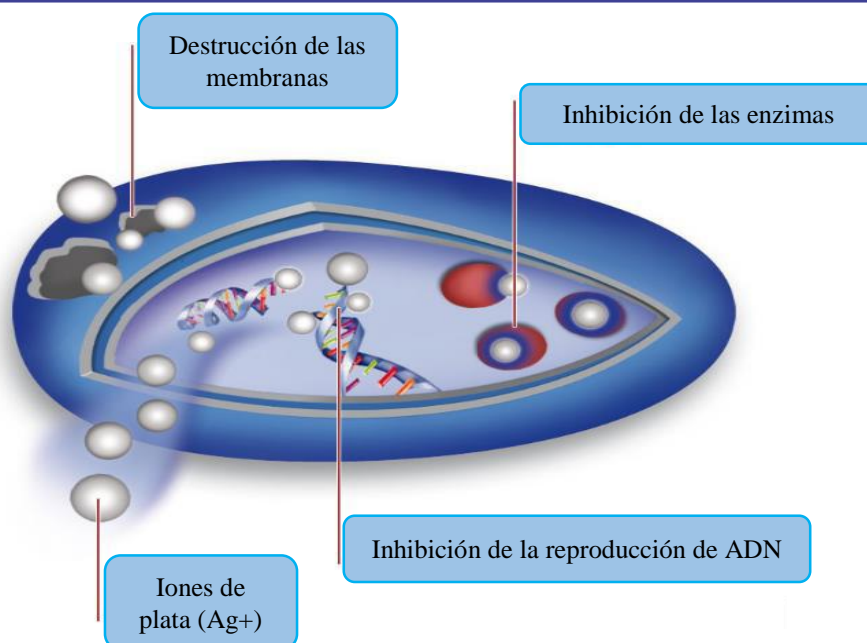


Figura 1: Funcionamiento de los iones de plata en las bacterias (Paredes, 2011).

### 2.2.12.7. Determinación del flujo de filtración

#### 2.2.12.7.1. Caudal

Caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal, etc.) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo (INIA, 2000).

#### 2.2.12.7.2. Unidades de medida

Como se señala, el caudal corresponde a un volumen de agua por unidad de tiempo, siendo las unidades de medición más utilizadas, las siguientes:

**Tabla 2: Unidades de medida del caudal**

| DESCRIPCIÓN             | UNIDADES          |
|-------------------------|-------------------|
| Litros por segundo      | L/s               |
| Litros por minuto       | L/min             |
| Litros por hora         | L/h               |
| Metros cúbicos por hora | m <sup>3</sup> /h |

Fuente: (INIA, 2000)

### 2.2.12.7.3. Métodos para la medición de caudales

Entre los métodos más utilizados para medir caudales de agua, se encuentran los siguientes: Método del flotador, Método volumétrico, Método de la trayectoria y Estructuras de medida (INIA, 2000).

### 2.2.12.7.4. Método volumétrico

Este método se basa en medir el tiempo que demora en llenarse un balde de un volumen conocido. Al dividir la capacidad del balde (litros) por el tiempo empleado (segundos) se obtiene el caudal en L/s, como se indica en la siguiente fórmula: (MINAGRI, 2015).

$$Q = \frac{V(L)}{t(s)} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 1)$$

Dónde:

- Q = Caudal (L/s)
- V = Volumen (litros)
- t = Tiempo (segundos)



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación fue realizado en dos fases, la fase inicial que consistió en el diseño del filtro cerámico que se realizó en el taller de cerámicos RUPAJ del Distrito de PUCARA, Provincia de LAMPA, Departamento de PUNO. La toma de muestras de agua cruda subterránea fue del pozo de la empresa de derivados lácteos “PROLAC - AYMARA”, ubicado en el centro poblado de THUNCO, Distrito de ACORA, Provincia de PUNO, Departamento de PUNO. La filtración del agua cruda también se realizó en la empresa de derivados lácteos “PROLAC - AYMARA”. Como fase final se realizaron los análisis microbiológicos del agua cruda y potabilizada se realizaron en el laboratorio de ecología acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA-PUNO y los análisis fisicoquímicos del agua cruda y potabilizada se realizaron en el laboratorio de aguas y suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la UNA-PUNO.



Figura 2: Mapa satelital de ubicación del área de estudio y punto de muestreo  
Fuente: Google Earth, (2018)

### 3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

#### 3.2.1. Agua cruda de pozo tubular

Se tomaron 28 muestras de agua cruda de pozo tubular empleada para la experimentación, cuya profundidad es de 32 metros, agua empleada por la empresa “PROLAC - AYMARA”. Ubicado en el Centro Poblado de THUNCO, Distrito de ACORA, Provincia de PUNO, Departamento de PUNO. La toma de muestra se realizó en 4 tramos. En el tramo 1 se tomó 1 muestra de agua cruda sin tratar y en los siguientes tramos 2,3 y 4 se tomaron las otras 27 muestras de agua tratada, para la cantidad de muestras tomadas de agua tratada se consideró el número de tratamientos, número de filtros, concentración de plata coloidal y repeticiones resultando un arreglo factorial de 3x3x3 con 27 observaciones.

#### 3.2.2. Filtros cerámicos impregnados con plata coloidal

Los filtros fueron compuestos por material de arcilla y jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) los cuales son mezclados a diferentes niveles de proporción y luego quemados, Estos filtros fueron impregnados en solución de plata coloidal y posteriormente secados al medio ambiente. Para el desarrollo se organizó de la siguiente manera.

**Tabla 3: Niveles de proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), arcilla y concentración de plata coloidal**

| FILTROS          | Nº DE FILTROS | JIPI DE QUINUA ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) | ARCILLA (roja, amarilla y grava) | [ ] PLATA COLOIDAL |
|------------------|---------------|--|----------------------------------|--------------------|
| <b>Filtro 01</b> | 3             | 20 %   | 80 %                             | 20 ppm             |
|                  |               |  |                                  | 35 ppm             |
|                  |               |  |                                  | 55 ppm             |
| <b>Filtro 02</b> | 3             | 30%  | 70%                              | 20 ppm             |
|                  |               |  |                                  | 35 ppm             |
|                  |               |  |                                  | 55 ppm             |
| <b>Filtro 03</b> | 3             | 40%  | 60%                              | 20 ppm             |
|                  |               |  |                                  | 35 ppm             |
|                  |               |  |                                  | 55 ppm             |

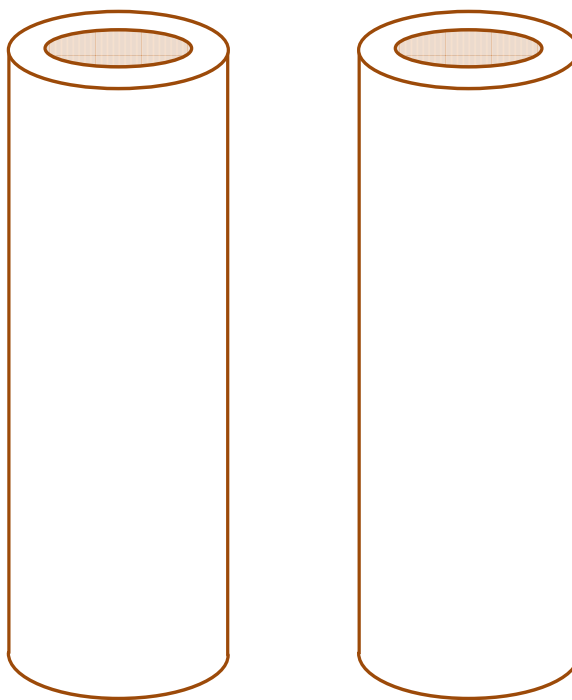


Figura 3: Filtros cerámicos impregnados con plata coloidal

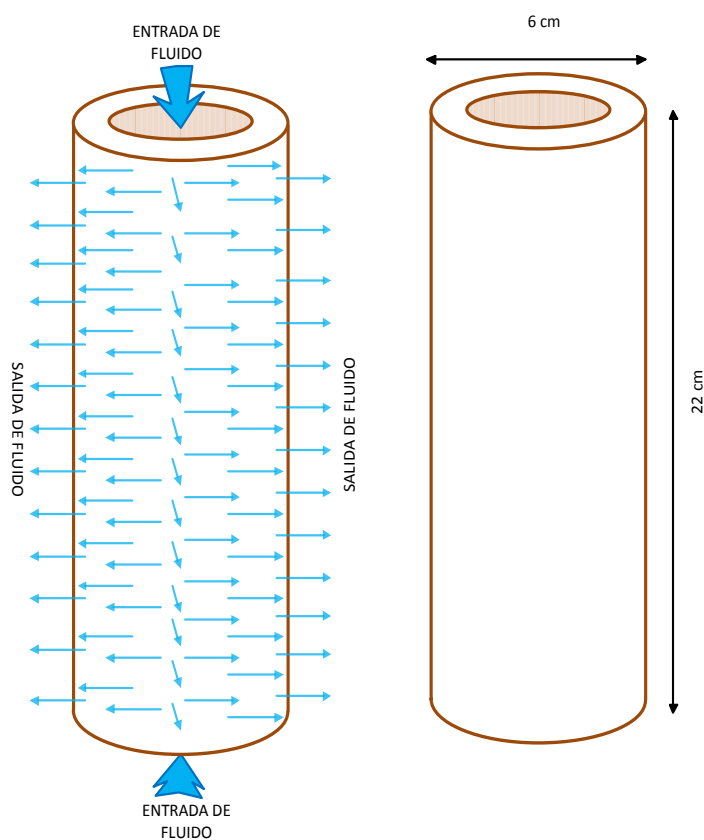


Figura 4: Sistema de filtración y medidas del filtro cerámico impregnado con plata coloidal

### 3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

#### A. Para el filtro

##### Materia prima

- Arcilla roja
- Arcilla amarilla
- Arcilla relavo
- Jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

##### Equipos

- Torno eléctrico
- Molino de disco CAP. 20 kg/min.
- Mezcladora de arcilla CAP. 20 kg
- Horno cerámico a gas 1.5x2.5 m.
- Termocupla tipo k Rango de T° -200°C a +1372°C

##### Aditivo

- Plata coloidal concentración 20ppm
- Plata coloidal concentración 35ppm
- Plata coloidal concentración 55ppm

#### B. En el laboratorio

##### Equipos

- Auto clave NOVATECH, Modelo DTEV36 CAP. 60h.
- Estufa bacteriológica y de cultivo incuterm Digital ID-150
- Espectrofotómetro DR3900
- pH – metro Tester10
- Turbidímetro Portatil 2100Q HACH
- Conductímetro CE / SDT METER HACH
- Balanza Analítica GR-200 CAP. Max. 210 g – Min 10 mg
- Contador de colonias QUIMIS
- Manómetro CAP. 30psi-200kpa

##### Materiales

- Botellas de polietileno de 500 ml esterilizadas
- Cooler refrigerante CAP. 20 l. para transporte de muestras

- Matraz Erlenmeyer PYREX de 250 ml, 300 ml y 500 ml
- Pipeta graduada PYREX de 1 ml, 5 ml, 10 ml y 25 ml
- Pipeta volumétrica PYREX 25 ml
- Bureta automática PYREX 25 ml
- Bureta volumétrica PYREX 25 ml
- Probeta graduada PYREX de 1000ml y 2000ml
- Tubos de ensayo de material pirita
- Placas de Petri
- Gradillas
- Mechero de alcohol
- Pizeta de polietileno 500 ml
- Papel aluminio

### Reactivos

- Solución Tampón de pH-10
- Solución estándar de EDTA 0.0095 M
- Indicador Eriocromo Negro – T (END)
- Hidróxido de Sodio (NaOH) 2%
- Indicador Murexida
- Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Indicador Anaranjado de Metilo
- Solución Indicadora de Cromato de Potasio (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) 5%
- Solución Estándar de Nitrato de Plata (AgNO<sub>3</sub>) 0.02 N
- Cloruro de Bario (BaCl<sub>2</sub> – 2H<sub>2</sub>O)
- Agua destilada
- Indicador Difenilamina
- Acetato de sodio (solución reguladora de Fe)
- Cloruro de hidroxilamina al 10%
- Ortofenoltaleina al 0.1%
- Peryodato de potasio
- Ácido ortofosforico
- Caldo Verde Brillante lactosado (FV. May-2022 / LOT 0000302665)
- Agar MacCONKEY, Agar SS (FV. 2019/11/31 – LOT 5047673)

### 3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

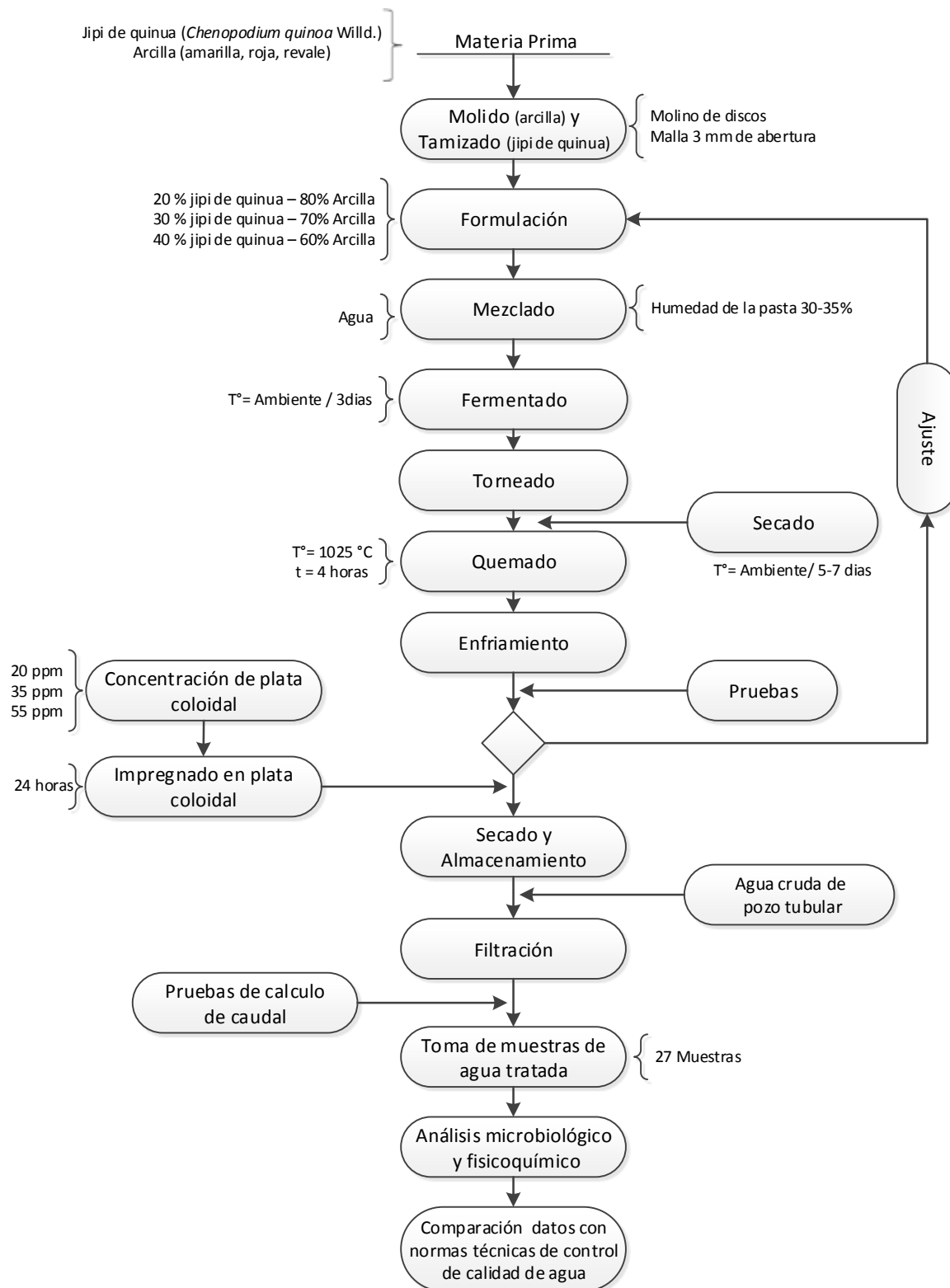


Figura 5: Diagrama de flujo para el desarrollo de la metodología de investigación (Ludeña & Ticono, 2010).



### A. Materia prima

La materia prima utilizada en el proceso fueron: arcilla amarilla y roja con características de plasticidad, arcilla relave con característica de anti plástico y jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con la finalidad de crear poros en el filtro cerámico.

### B. Molido y tamizado

Se realizó el molido de la arcilla (amarilla, roja y relave) con el equipo Molino de disco con capacidad de 20 kg/min, para conseguir una homogeneidad y su facilidad en el remojo. El proceso de tamizado del jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), se realizó con malla de 3 mm de abertura, para su homogenizado.

### C. Formulación

La formulación se realizó en dos etapas: En la primera etapa se formuló la arcilla en un 33.33% de arcilla amarilla, 33.33% de arcilla roja y 33.33 de arcilla relave obteniendo un 100%. En la segunda etapa se formula la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla, de la siguiente manera:

- 20 % jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) – 80% Arcilla
- 30 % jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) – 70% Arcilla
- 40 % jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) – 60% Arcilla

### D. Mezclado

El proceso se realizó teniendo la formulación, para lo cual se utilizó la mezcladora de arcilla capacidad 20 kg con la finalidad de homogenizar la formulación.

### E. Fermentado

Teniendo la mezcla homogenizada, se cubre la mezcla con polietileno para su fermentación a temperatura ambiente en un periodo de 3 días, con el fin de obtener plasticidad y consistencia.

### F. Torneado

Teniendo las dimensiones del filtro, el torneado se realizó obtenido ya la pasta en su punto de plasticidad y consistencia, se coloca la pasta en el torno eléctrico procurando que la misma este bien distribuido, aprovechando la velocidad del torno para su formación del mismo.

### G. Secado

Los filtros fueron ubicados en mesas de trabajo para el secado en un lugar cerrado a temperatura ambiente por un periodo de 5 a 7 días.

### H. Quema

La quema se realiza con el fin de eliminar la materia orgánica que se encuentra mezclada con arcilla, dando paso a la formación de los microporos, esta quema se realiza en el horno cerámico a gas controlado la temperatura por una termocupla. El período de quema es de 4 horas, a una temperatura de 1025 °C ya que a esta temperatura se ha eliminado toda la materia orgánica, además de proveerle mayor resistencia en su estructura.

### I. Enfriado

Los filtros se dejaron en el horno para su enfriamiento total aun tiempo de 8 horas. Con el fin de evitar el cambio brusco de temperatura y riegos de quiebre y rajaduras del filtro.

### J. Impregnado en plata coloidal

Los filtros se impregnaron con plata coloidal a diferentes concentraciones (20ppm, 35ppm y 55ppm) en envases de vidrio por 24 horas, en el laboratorio de ecología acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas.

**Tabla 4: Número de filtros impregnados con plata coloidal a diferentes concentraciones**

| FILTRO - PROPORCIÓN                    | NÚMERO DE FILTROS | [ ] DE PLATA COLOIDAL |
|--|-------------------|-----------------------|
| F-01 (20%jipi de quinua - 80% arcilla) | 3                 | 20ppm                 |
|  |                   | 35ppm                 |
|  |                   | 55ppm                 |
| F-02 (30%jipi de quinua - 70% arcilla) | 3                 | 20ppm                 |
|  |                   | 35ppm                 |
|  |                   | 55ppm                 |
| F-03 (40%jipi de quinua - 60% arcilla) | 3                 | 20ppm                 |
|  |                   | 35ppm                 |
|  |                   | 55ppm                 |

Posteriormente se determina el porcentaje de absorción de plata coloidal en los filtros.

Así el porcentaje de absorción está dado por:



$$A = \frac{(Wf - Wi)}{Wi} \times 100 \quad (\text{Ecuación N}^\circ 2)$$

Dónde:

A = Absorción

Wf = Peso final del filtro

Wi = Peso inicial del filtro

### **K. Secado y almacenado**

Ya impregnado la plata coloidal, los filtros cerámicos se secaron a una temperatura ambiente y luego almacenados en cooler para su conservación, hasta su utilización del mismo.

### **L. Filtración**

En este proceso se realizó el tratamiento del agua cruda de pozo tubular, para su potabilización del mismo, mediante el método de filtración para lo cual se utilizó como medio filtrante 9 filtros cerámicos con 3 diferentes proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla e impregnados con 3 diferentes concentraciones de plata coloidal, con la finalidad de eliminar la carga microbiana y las variaciones de las características fisicoquímicas del agua cruda de pozo tubular.

### **M. Pruebas de cálculo de caudal**

Se usó como volumen de recipiente una probeta de 1000 ml y para el control del tiempo de llenado un cronometro, también se consideró la presión del agua con la que es bombeada del pozo tubular, el cual se calculó con un manómetro teniendo como resultado de 150 kpa. Se realizaron pruebas para el aprovechamiento del filtrado disminuyendo la presión y teniendo como dato final 100 kpa. La determinación del caudal de los 9 filtros a diferentes proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla, se realizó en el laboratorio de aguas y suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, teniendo como dato importante la presión.

### **N. Muestreo de agua potabilizada**

Se tomaron 27 muestras de agua filtrada, en envases de polietileno de 500 ml, en 3 diferentes tramos, teniendo en consideración 9 tratamientos, 9 filtros impregnados con plata coloidal a diferentes concentraciones y 3 repeticiones. De la siguiente manera:

**Tabla 5: Muestreo de agua potabilizada en tres tramos**

| Tramos            | Filtros   | Concentración de plata coloidal | Tratamientos | Repetición | N° de muestras |
|-------------------|-----------|---------------------------------|--------------|------------|----------------|
| Tramo 1           | Filtro 01 | 20ppm                           | A1B1         | 3          | 9              |
|                   |           | 35ppm                           | A1B2         | 3          |                |
|                   |           | 55ppm                           | A1B3         | 3          |                |
| Tramo 2           | Filtro 02 | 20ppm                           | A2B1         | 3          | 9              |
|                   |           | 35ppm                           | A2B2         | 3          |                |
|                   |           | 55ppm                           | A2B3         | 3          |                |
| Tramo 3           | Filtro 03 | 20ppm                           | A3B1         | 3          | 9              |
|                   |           | 35ppm                           | A3B2         | 3          |                |
|                   |           | 55ppm                           | A3B3         | 3          |                |
| Total de muestras |           |                                 |              |            | 27             |

Las muestras posteriormente fueron rotuladas y selladas para su fácil identificación, trasladados en cooler a los laboratorios para su análisis microbiológicos y fisicoquímicos respectivamente.

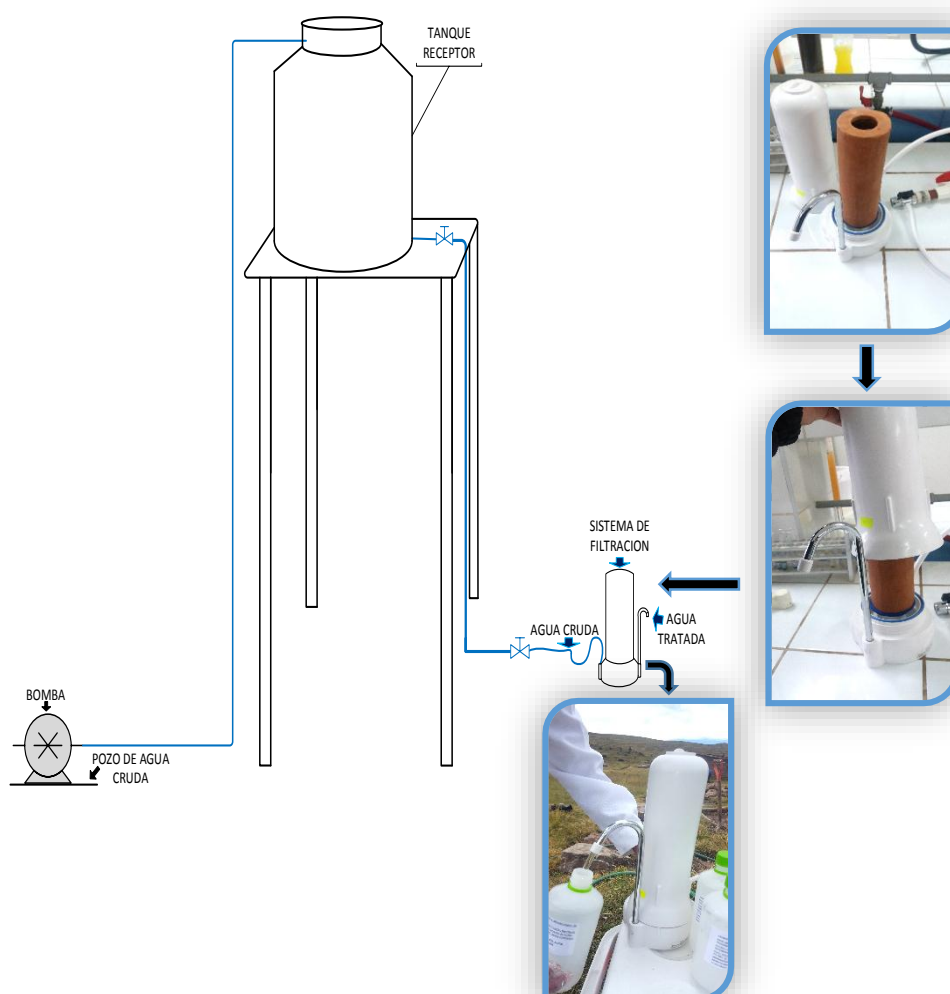


Figura 6: Sistema de tratamiento del agua cruda por filtros cerámicos impregnados con plata coloidal

### **O. Análisis microbiológico y fisicoquímico**

Se analizaron 27 muestras, en 3 tramos diferentes 9 muestras por tramo. El análisis microbiológico se realizó en el laboratorio de ecología acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas, para el análisis presuntivo se usó el método de número más probable (NMP) y para el análisis confirmativo se usó el método de recuento de bacterias (UFC), para la lectura de datos se usaron las tablas de Número Más Probable y el análisis fisicoquímico se realizó en el laboratorio de análisis de agua y suelos de la escuela profesional de Ingeniería Agronómica, en este proceso de análisis se utilizaron métodos como: volumétrico, Electrométrico y colorímetro, según la característica a analizar esto.

### **P. Comparación de datos con el reglamento de control de calidad del agua MINSA DS N° 031-2010-SA**

Los resultados de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos de las 27 muestras de agua de pozo tubular filtrada para su potabilización a diferentes tratamientos, filtros impregnados con plata coloidal a diferentes concentraciones y repeticiones, se contrastaron con el reglamento de control de calidad de agua “MINSA DS N° 031-2010-SA”, para indicar si estas se encuentran en los límites máximos permisibles después de su tratamiento.

## **3.5. METODOLOGÍA PARA LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y FISICOQUÍMICOS**

Los análisis fueron realizados en laboratorio siguiendo los procedimientos de los métodos normalizados para el análisis de agua potable. Para los parámetros microbiológicos así como: coliformes totales, coliformes fecales se utilizó el método de Número Más Probable (NMP/100ml) y para las bacterias heterotróficas se utilizó el método de recuento de Unidades Formadoras de Colonia (UFC/ml), estos parámetros fueron analizados en el laboratorio de Ecología Acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas. Para los parámetros fisicoquímicos así como: para el análisis del pH y conductividad eléctrica se utilizó el método electrométrico; para el análisis de turbiedad, sólidos totales, sulfatos, hierro y manganeso se utilizó el método colorímetro y para el análisis de dureza total, calcio, alcalinidad y cloruros se utilizó el método volumétrico, estos parámetros fueron analizados en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, los certificados de análisis de los laboratorios se adjuntó en el Anexo 19.

**Tabla 6: Metodología utilizada para los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos**

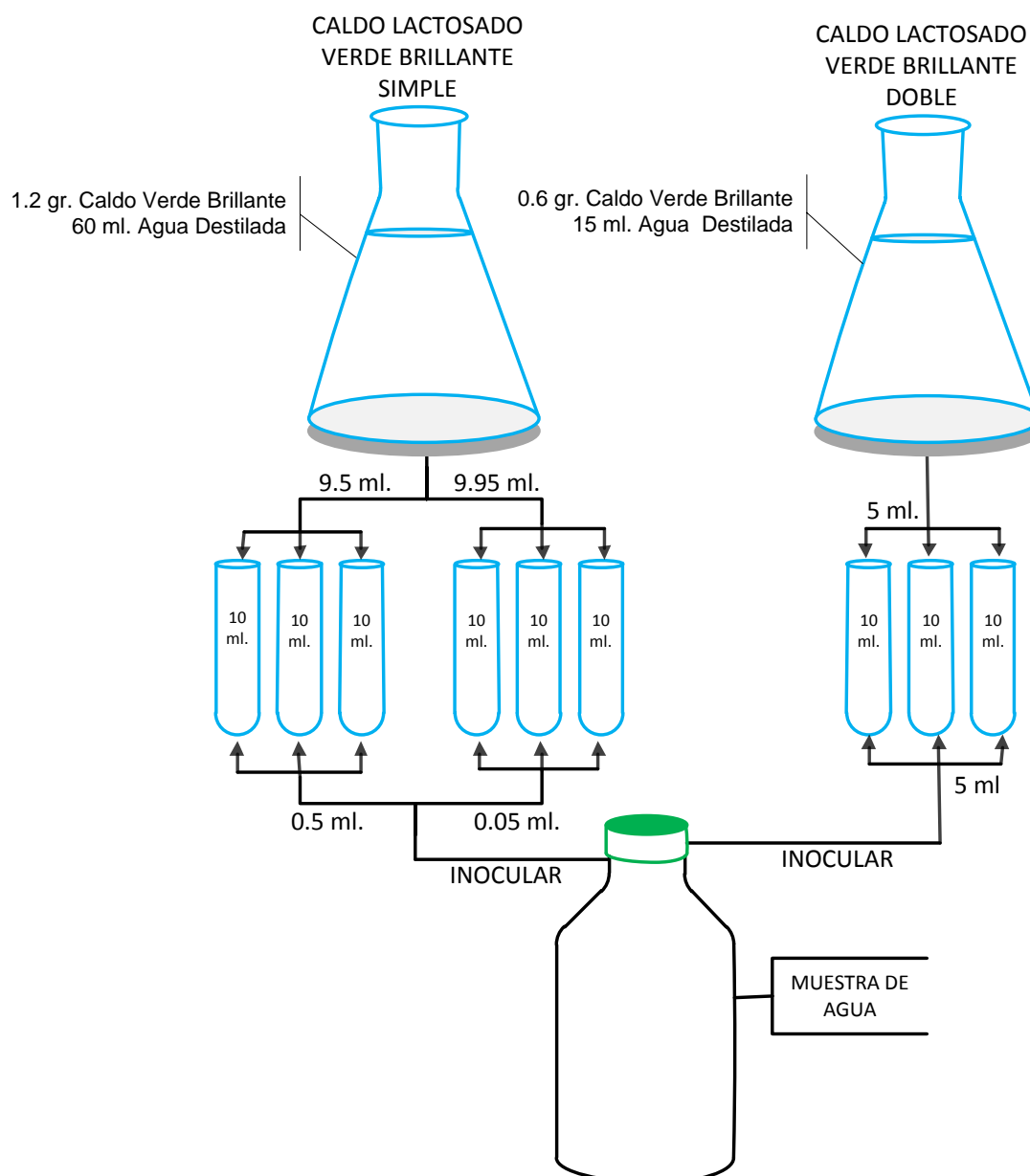
| PARÁMETROS                       | AUTOR                  | MÉTODOS               | UNIDAD           |
|----------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| <b>MICROBIOLÓGICO</b>            |                        |                       |                  |
| <b>SEGÚN:</b>                    |                        |                       |                  |
| Coliformes Totales               | (Norma Mexicana, 1987) | Número más Probable   | NMP/100 ml       |
| Coliformes fecales               | (Norma Mexicana, 1987) | Número más Probable   | NMP/100 ml       |
| Bacterias heterotróficas         | (Norma Mexicana, 1987) | Recuento de Bacterias | UFC/ml           |
| <b>FISICOQUÍMICOS</b>            |                        |                       |                  |
| <b>SEGÚN:</b>                    |                        |                       |                  |
| Conductividad                    | (Miranda, 2010)        | Electrométrico        | $\mu\text{S/cm}$ |
| Turbiedad                        | (Miranda, 2010)        | Colorimétrico         | NTU              |
| pH                               | (Miranda, 2010)        | Electrométrico        |                  |
| Dureza Total ( $\text{CaCO}_3$ ) | (Miranda, 2010)        | Volumétrico/ EDTA     | mg/L             |
| Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ )      | (Miranda, 2010)        | Volumétrico/ EDTA     | mg/L             |
| Sólidos Totales                  | (Miranda, 2010)        | Colorimétrico         | mg/L             |
| Alcalinidad                      | (Miranda, 2010)        | Volumétrico/ MOHR     | mg/L             |
| Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )       | (Miranda, 2010)        | Volumétrico/ MOHR     | mg/L             |
| Sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ )     | (Miranda, 2010)        | Colorimétrico         | mg/L             |
| Hierro (Fe)                      | (Miranda, 2010)        | Colorimétrico         | mg/L             |
| Manganeso (Mn)                   | (Miranda, 2010)        | Colorimétrico         | mg/L             |

#### A. Determinación de coliformes totales

La cantidad de coliformes totales se determinó con el método Número Más Probable (NMP/100ml), según la Norma Mexicana (1987), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Preparar caldo lactosado verde brillante DOBLE y SIMPLE
2. Tomar 5 ml de solución de caldo verde brillante DOBLE y 5ml de muestra de agua para su inoculación en tubos de ensayo, en relación de 1 en 3.
3. Tomar 9.5 ml de solución de caldo verde brillante SIMPLE y 0.5ml de muestra de agua para su inoculación en tubos de ensayo, en relación 1 - 3.
4. Tomar 9.95 ml de solución de caldo verde brillante SIMPLE y 0.05ml de muestra de agua para su inoculación en tubos de ensayo, en relación 1 - 3.
5. Incubar a  $37\text{ }^\circ\text{C} \pm 1$  por 48 horas

6. Realizar la lectura (determinar la presencia de gas). Estas se observan en las campanas de durham.
7. Los tubos que sean positivos se realizara un análisis confirmativo (coliformes termotolerantes).

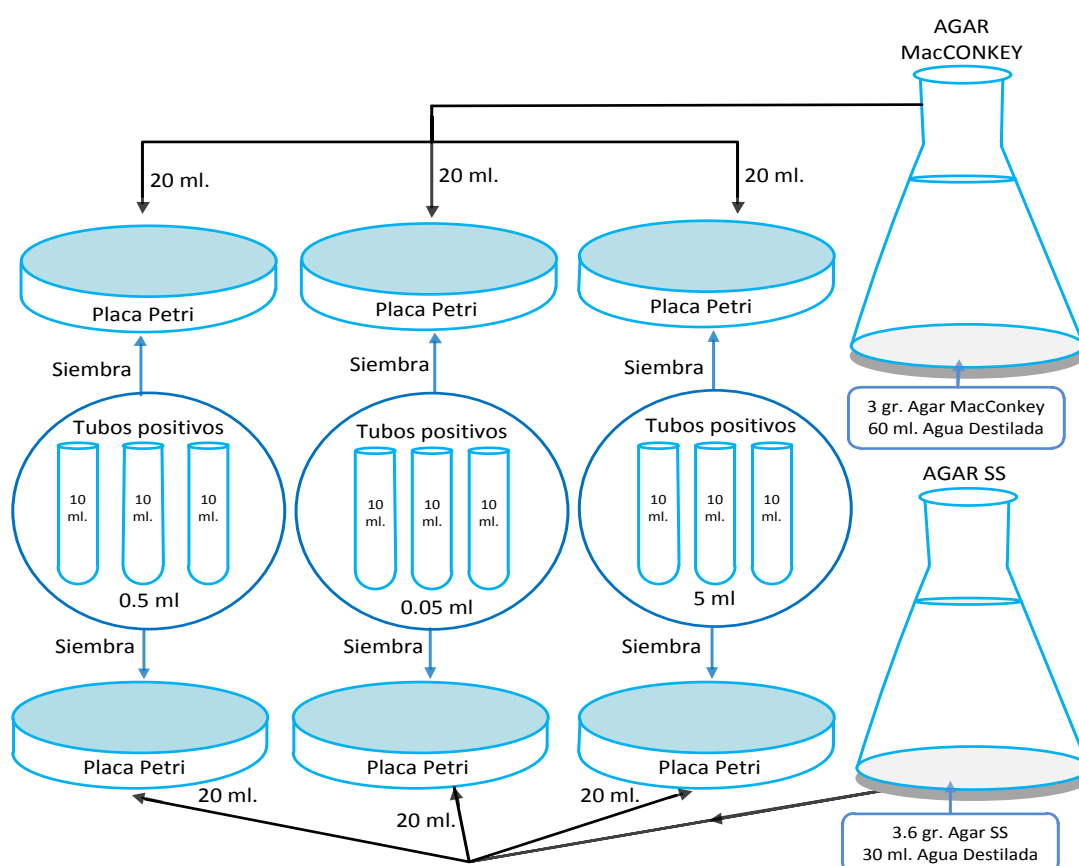


**Figura 7:** Método para Muestras Liquidas para Coliformes Totales

### B. Determinación de coliformes fecales

La cantidad de coliformes fecales se determinó con el método Número Más Probable (NMP/100ml), según la Norma Mexicana (1987), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Preparar el agar MacConkey y el agar SS
2. Autoclavar por 30 -40 minutos
3. Distribuir 20 ml del agar MacConkey y agar SS en placas de Petri
4. Sembrar los tubos positivos de la prueba de coliformes totales
5. Incubar a 44°C por 24 horas
6. Realizar el recuento de colonias (equipo contador de colonias)



**Figura 8:** Método para Muestras Líquidas para Coliformes Fecales y Bacterias Heterotróficas

### C. Determinación de bacterias heterotróficas

La cantidad de bacterias heterotróficas se determinó con el método Unidades Formadoras de Colonia (UFC/ml), según la Norma Mexicana (1987), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. El recuento de colonias de las bacterias heterotróficas se realizó conjuntamente con los coliformes fecales.

#### **D. Determinación de conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica se determinó con el método electroquímico, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Conectar el equipo Conductímetro y esperar su estabilización
2. Lavar los electrodos con agua destilada para cada análisis
3. Pipetear 10 ml de muestra
4. Determinar la conductividad eléctrica de la muestra

#### **E. Determinación de turbiedad**

La turbiedad se determinó con el método colorímetro, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Calibrar el equipo con solución estándar 0,10 y 500 NTU
2. Encender el equipo turbidímetro
3. En una cubeta de vidrio vertir 10 ml de muestra
4. Insertar la cubeta con la muestra en el equipo
5. Presionar la tecla READ para su cálculo

#### **F. Determinación de potencial de hidrogeno (pH)**

El potencial de hidrogeno (**pH**) se determinó con el método electroquímico, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Encender el equipo y esperar su estabilización
2. Calibrar el equipo con solución estándar buffer (pH 4-7)
3. Introducir el electrodo en la muestra a analizar y hacer la lectura
4. Lavar el electrodo con agua destilada para cada análisis

#### **G. Determinación de dureza total**

La dureza total se determinó con el método Volumétrico/ EDTA, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Tomar 25 ml de la muestra
2. Añadir 2 ml de solución tampón de  $\text{pH} 10 \pm 0.1$
3. Adicionar alrededor de 3 a 4 gotas del indicador negro de eriocromo T

4. Valorar con EDTA 0.0095M hasta que el líquido vire de rojo vino a azul violáceo
5. Anotar el gasto de EDTA y calcular con la siguiente formula:

$$mg/l CaCO_3 = \frac{(ml\ de\ EDTA)(M\ EDTA)(mmol\ CaCO_3)(10^6)}{ml\ muestra} \quad (\text{Ecuación N}^\circ\ 3)$$

### H. Determinación de calcio

La cantidad de calcio se determinó con el método Volumétrico/ EDTA, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Pipetear 25 ml de la muestra
2. Añadir 1 ml de NaOH 2N
3. Adicionar 0.05 g de purpurato de amonio (murexida)
4. Valorar con EDTA 0.0095M desde una microbureta de 10 ml, hasta que el líquido vire de rojo naranja a purpura.
5. Anotar el gasto de EDTA y calcular con la siguiente formula:

$$mg/l Ca = \frac{(ml\ de\ EDTA)(M\ de\ EDTA)(mmol\ Ca)(10^6)}{ml\ muestra} \quad (\text{Ecuación N}^\circ\ 4)$$

### I. Determinación de sólidos totales

La cantidad de sólidos totales se determinaron con el método colorímetro, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

- **Sólidos disueltos totales**

1. Limpiar el electrodo con agua destilada
2. Colocar el electrodo dentro de la muestra de agua
3. Presione el boten TDS
4. Tomar lectura

- **Sólidos en suspensión**

1. Presionar el botón PRGM, para escoger sólidos suspendidos
2. Llenar la cubeta de cristal con 25 ml de agua destilada, para su calibración



3. Agitar una cantidad razonable de la muestra por 2 minutos
4. Pipetear 25 ml de la muestra agitada en la cubeta
5. Colocar la muestra en el equipo
6. Presionar READ, se mostrara el resultado de SS en mg/L

$$ST = TDS + SS \quad \text{(Ecuación N° 5)}$$

Dónde:

- ST = Sólidos totales  
 TDS = Sólidos totales disueltos  
 SS = Sólidos suspendidos

### J. Determinación de alcalinidad

La alcalinidad se determinó con el método volumétrico/MOHR, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Pipetear 25 ml de muestra en un Erlenmeyer de 250 ml
2. Añadir 4 gotas de fenolftaleína, si se produce un color rosa valorar con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tipo 0.1103 normal hasta que el líquido vire de rosa a incoloro anotar el gasto del ácido
3. Agregar 3 gotas del indicador anaranjado de metilo a la solución incolora y continuar con la valoración hasta que el líquido vire de amarillo a naranja
4. Anotar el gasto total del ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y calcular con la siguiente formula:

$$mg/l CaCO_3 = \frac{(ml \text{ \acute{a}c.})(N \text{ del \acute{a}c.})(meq CaCO_3)(10^6)}{ml \text{ muestra}} \quad \text{(Ecuación N° 6)}$$

### K. Determinación de cloruros

Los cloruros se determinaron con el método volumétrico/MOHR, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Pipetear 25 ml de muestra en un Erlenmeyer de 250 ml
2. Adicionar 1 ml de solución indicadora de cromato de potasio K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>
3. Titular con la solución estándar de nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>) 0.02 N hasta un viraje de amarillo rojizo ladrillo
4. Anotar el gasto de nitrato de plata AgNO<sub>3</sub> y calcular con la siguiente formula.

$$mg/l Cl^{-} = \frac{(ml AgNO_3)(N de AgNO_3)(meq Cl^{-})(10^6)}{ml muestra} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 7)$$

### L. Determinación de sulfatos

Los sulfatos se determinaron con el método colorímetro, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Pipetear 25 ml de muestra en un Erlenmeyer de 250 ml
2. Agregar al matraz 75 ml de agua destilada
3. Agregar 1.00 mg de cloruro de bario ( $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ ) donde se apreciará un color blanco lechoso
4. Aforar el tubo de pirita con agua destilada y pasarlo a lectura en el colorímetro, programa 44; el tubo no debe contener ningún residuo adherido ya que puede causar inferencia en la lectura
5. Leer la absorbancia y corregir con el factor 40.337, calcular con la siguiente formula:

$$mg/l SO_4^{-} = \frac{(lectura tabla)(factor de corrección)(100)}{ml muestra} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 8)$$

### M. Determinación de hierro

La cantidad de hierro se determinó con el método colorímetro, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Pipetear 20 ml de muestra de agua en una fiola de 25ml
2. Añadir a la muestra 1 ml de acetato de sodio (solución reguladora de Fe), 1 ml de cloruro de hidroxilamina al 10 % y 1 ml de hortofenolftaleina al 0.1 %
3. Aforar a 25 ml con agua destilada y reposar por 15 minutos hasta aparecer un color naranja
4. Finalmente lecturar con el colorímetro programa 33; el resultado nos dará en absorbancia para luego corregir con el factor 2.38

## N. Determinación de manganeso

La cantidad de manganeso se determinó con el método colorímetro, según Miranda (2010), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Pipetear 50 ml de muestra de agua
2. Añadir a la muestra 0.25 gr de peryodato de potasio
3. Añadir 1 ml de ácido ortofosforico
4. Calentar a fuego lento hasta apreciar un cambio de color rosa, dejar enfriar
5. Lecturar con el colorímetro programa 41; el resultado nos dara en absorbancia para luego corregir con el factor 13

### 3.6. METODOLOGÍA PARA EL PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE CARGA MICROBIOLÓGICA

Para la determinación del porcentaje de eliminación de coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas, se tomó como concentración inicial los resultados del agua cruda de pozo (sin tratamiento) y como concentración final los resultados del agua potabilizada (tratada). Según Cuchimaque (2006), el cálculo se realizó con la siguiente formula:

$$\% E = \left( 1 - \frac{C_f}{C_0} \right) X 100 \quad (\text{Ecuación N}^\circ 9)$$

Donde:

$\%E$  = Porcentaje de eliminación

$C_f$  = Concentración final

$C_0$  = Concentración inicial

### 3.7. METODOLOGÍA PARA EL PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

Para la determinación del porcentaje de variación de pH, cloruros, calcio, alcalinidad, dureza total, sulfatos, turbidez, sólidos totales, conductividad, hierro y manganeso, se tomó como concentración inicial los resultados del agua cruda de pozo (sin tratamiento) y como concentración final los resultados del agua potabilizada (tratada). Según Cuchimaque (2006), el cálculo se realizó con la siguiente formula:

$$\% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_0}\right) X 100 \quad (\text{Ecuación N}^\circ 10)$$

Donde:

$\%V$  = Porcentaje de variación

$C_f$  = Concentración final

$C_0$  = Concentración inicial

### 3.8. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

El caudal se determinó con el método volumétrico, según MINAGRI (2015), para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Regular la presión a 100 Kpa
2. Conectar el sistema de filtración al caño
3. Colocar el filtro cerámico en sistema de filtración
4. con un cronometro y probeta tomar el tiempo (t) y volumen (v) respectivamente para cada filtro
5. Para su cálculo se utilizó el método volumétrico, usando la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V(L)}{t(s)} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 11)$$

Dónde:

Q = Caudal (L/s)

V = Volumen (litros)

t = Tiempo (segundos)

### 3.9. FACTORES DE ESTUDIO

#### A. Los factores de estudio para el primer objetivo fueron:

- agua cruda de pozo 500 ml (sin tratamiento).

#### B. Los factores de estudio para el segundo y tercer objetivo fueron:

- filtros cerámicos: filtro 01: 20 % jipi de quinua - 80% arcilla, filtro 02: 30 % jipi de quinua - 70% arcilla y filtro 03: 40 % jipi de quinua - 60% arcilla.
- concentraciones de plata coloidal: 20 ppm, 35 ppm y 55ppm.

**Tabla 7: Filtros cerámicos a diferentes concentraciones de plata coloidal**

| FILTROS                                  | N° DE FILTROS | [ ] DE PLATA COLOIDAL |
|--|---------------|-----------------------|
| F 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla)  | 3             | 20ppm                 |
|  |               | 35ppm                 |
|  |               | 55ppm                 |
| F 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla)  | 3             | 20ppm                 |
|  |               | 35ppm                 |
|  |               | 55ppm                 |
| F 03 (40 % jipi de quinua - 60% arcilla) | 3             | 20ppm                 |
|  |               | 35ppm                 |
|  |               | 55ppm                 |

**C. Los factores de estudio para el cuarto objetivo fueron:**

- 20%, 30% y 40% de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)
- 80%, 70% y 60% de arcilla

**Tabla 8: Proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla**

| FILTROS          | N° DE FILTROS | JIPI DE QUINUA<br>( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) | ARCILLA<br>(roja, amarilla y grava) |
|------------------|---------------|---|-------------------------------------|
| <b>Filtro 01</b> | 3             | 20%   | 80%                                 |
| <b>Filtro 02</b> | 3             | 30%   | 70%                                 |
| <b>Filtro 03</b> | 3             | 40%   | 60%                                 |

**3.10. VARIABLES DE RESPUESTA****A. Las variables de respuesta para el primer objetivo son:**

- Características microbiológicas: coliformes totales, coliformes fecales, bacterias heterotróficas. Características fisicoquímicos: pH, cloruros, calcio, alcalinidad, dureza total, sulfatos, turbidez, sólidos totales, conductividad, hierro, manganeso.

**Tabla 9: Parámetros microbiológicos y fisicoquímicos como variables de respuesta**

| PARÁMETROS                               | Unidad     | Comparación con LMP del reglamento DS N°031-2010-SA MINSA |
|--|------------|---|
| <b>MICROBIOLÓGICO</b>                    |            |   |
| Coliformes Totales                       | UFC/100 ml | 0   |
| Coliformes fecales                       | UFC/100 ml | 0   |
| Bacterias heterotróficas                 | UFC/ml     | 500   |
| <b>FISICOQUÍMICOS</b>                    |            |   |
| Conductividad                            | μS/cm      | 1500  |
| Turbiedad                                | NTU        | 5   |
| pH                                       |            | 6.5 - 8.5   |
| Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )        | mg/L       | 500   |
| Calcio (Ca <sup>++</sup> )               | mg/L       | 150   |
| Sólidos Totales                          | mg/L       | 1000  |
| Alcalinidad                              | mg/L       | 120   |
| Cloruro (Cl <sup>-</sup> )               | mg/L       | 250   |
| Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) | mg/L       | 250   |
| Hierro (Fe)                              | mg/L       | 0.3   |
| Manganeso (Mn)                           | mg/L       | 0.4   |

**B. Las variables de respuesta para el segundo objetivo son:**

- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Bacterias heterotróficas.

**Tabla 10: Parámetros microbiológicos como variables de respuesta**

| PARÁMETROS               | Unidad     | Comparación con LMP del reglamento DS N°031-2010-SA MINSA |
|--------------------------|------------|---|
| <b>MICROBIOLÓGICO</b>    |            |   |
| Coliformes Totales       | UFC/100 ml | 0   |
| Coliformes fecales       | UFC/100 ml | 0   |
| Bacterias heterotróficas | UFC/ml     | 500   |

**C. Las variables de respuesta para el tercer objetivo son:**

- pH, cloruros, calcio, alcalinidad, dureza total, sulfatos, turbidez, sólidos totales, conductividad, hierro, manganeso, en cuanto a su variación de los mismo y se calculó con la siguiente formula:

**Tabla 11: Parámetros fisicoquímicos como variables de respuesta**

| PARÁMETROS                               | Unidad | Comparación con LMP del<br>reglamento DS N°031-2010-<br>SA MINSA |
|--|--------|--|
| <b>FISICOQUÍMICOS</b>                    |        |  |
| Conductividad                            | uS/cm  | 1500   |
| Turbiedad                                | NTU    | 5  |
| pH                                       |        | 6.5 - 8.5  |
| Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )        | mg/L   | 500  |
| Calcio (Ca <sup>++</sup> )               | mg/L   | 150  |
| Sólidos Totales                          | mg/L   | 1000   |
| Alcalinidad                              | mg/L   | 120  |
| Cloruro (Cl <sup>-</sup> )               | mg/L   | 250  |
| Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) | mg/L   | 250  |
| Hierro (Fe)                              | mg/L   | 0.3  |
| Manganeso (Mn)                           | mg/L   | 0.4  |

**D. Las variables de respuesta para el segundo objetivo son:**

- Caudal (l/min.)

**Tabla 12: Variación de caudal de filtros cerámicos como variable de respuesta**

| FILTROS                                    | N° DE FILTROS | CAUDAL  |
|--|---------------|---------|
| F 01 (20 % jipi de quinua -80%<br>arcilla) | 3             | (l/min) |
|  |               | (l/min) |
|  |               | (l/min) |
| F 02 (30 % jipi de quinua -70%<br>arcilla) | 3             | (l/min) |
|  |               | (l/min) |
|  |               | (l/min) |
| F 03 (40 % jipi de quinua -60%<br>arcilla) | 3             | (l/min) |
|  |               | (l/min) |
|  |               | (l/min) |

### 3.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el segundo, tercero y cuarto objetivo, en la determinación de los efectos en los factores de estudio (concentración de plata coloidal 20, 35 y 55 ppm, proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80, 30/70 y 40/60 %), sobre las variables de respuesta para cada objetivo, se conducirá bajo el diseño completamente al azar DCA basado en un arreglo factorial de 3x3x3, con 3 filtros a diferentes proporciones jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla, 3 concentraciones de plata coloidal y 3 repeticiones, con 27 observaciones con un nivel de significancia al 5%. La efectividad se realizó con la prueba de análisis de varianza (ANVA) expresado en una ecuación lineal y con el método de comparación múltiples Duncan, para saber si existen diferencias significativas en los tratamientos.

Ecuación lineal:

$$Y = ax + b \quad (\text{Ecuación N}^\circ 12)$$

Donde:

$Y$  = Variables de respuesta

$x$  = Factores de estudio

$a.b$  = Coeficiente de regresión

**Tabla 13: Tratamientos para la variación de caudal, eliminación de carga microbiológica y la variación de características fisicoquímicas del agua cruda con filtros cerámicos impregnados con plata coloidal**

| FACTORES DE ESTUDIO   |                                 |              | REPETICIONES |    |    |
|---|---------------------------------|--------------|--------------|----|----|
| Filtros a diferentes proporciones de jipi de quinua y arcilla | Concentración de Plata Coloidal | TRATAMIENTOS | R1           | R2 | R3 |
| A1 = FILTRO 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla)             | B1 = 20 ppm                     | A1B1         |              |    |    |
|   | B2 = 35 ppm                     | A1B2         |              |    |    |
|   | B3 = 55 ppm                     | A1B3         |              |    |    |
| A2 = FILTRO 02 (30 % jipi de quinua - 70% arcilla)            | B1 = 20 ppm                     | A2B1         |              |    |    |
|   | B2 = 35ppm                      | A2B2         |              |    |    |
|   | B3 = 55 ppm                     | A2B3         |              |    |    |
| A3 = FILTRO 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla)             | B1 = 20 ppm                     | A3B1         |              |    |    |
|   | B2 = 30 ppm                     | A3B2         |              |    |    |
|   | B3 = 55 ppm                     | A3B3         |              |    |    |



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. EVALUACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA CRUDA DE POZO EN COMPARACIÓN CON EL REGLAMENTO MINSA DS N° 031-2010-SA

En la tabla 14 se muestra los resultados de la caracterización microbiológico y fisicoquímico del agua cruda de pozo en comparación con el reglamento MINSA DS N° 031-2010-SA.

**Tabla 14: Resultados obtenidos de la caracterización microbiológica y fisicoquímica del agua cruda de pozo en comparación con el reglamento MINSA.**

| Características microbiológicas y fisicoquímicas del agua cruda de pozo | Resultados Obtenidos | Límites Máximos Permisibles (LMP) | Reglamento Aplicado       |
|---|----------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Coliformes Totales (NMP/100 ml)   | 2400                 | 0                                 | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Coliformes fecales (NMP/100 ml)   | 1300                 | 0                                 | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Bacterias heterotróficas (UFC/ml)                                       | 675                  | 500                               | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Conductividad (μS/cm)   | 1650                 | 1500                              | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Turbiedad (NTU)   | 6.52                 | 5                                 | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| pH  | 8.8                  | 6.5 - 8.5                         | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Dureza Total (mg/L)   | 482                  | 500                               | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Calcio (mg/L)   | 125.20               | 150                               | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Sólidos Totales (mg/L)  | 670                  | 1000                              | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Alcalinidad (mg/L)  | 247                  | 120                               | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Cloruro (mg/L)  | 236                  | 250                               | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Sulfatos (mg/L)   | 105                  | 250                               | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Hierro (mg/L)   | 0.42                 | 0.3                               | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |
| Manganeso (mg/L)  | 0.70                 | 0.4                               | DS N°031-2010-SA<br>MINSA |

El contenido de carga microbiológica en el agua cruda de pozo (no tratada) como: coliformes totales 2400 NMP/100ml, coliformes fecales 1300 NMP/100ml y bacterias heterotróficas 650 UFC/ml, exceden los límites máximos permisibles (LMP) emitidos por el reglamento de calidad del agua MINSA DS N° 031-2010-SA, por consiguiente no son aptos para su consumo y utilización para procesos agroindustriales. Los resultados de la investigación en cuanto a la presencia de carga microbiológica en el agua cruda de pozo son superiores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Guevara (2000), en su estudio determinó las características microbiológicas de agua cruda de pozos en la localidad de Pilcuyo, durante el periodo seco reporto 120.73 NMP/100ml coliformes totales y 10.32 NMP/100ml coliformes termotolerantes, durante el periodo lluvioso reporto 108.48 NMP/100ml coliformes totales y 10.75 NMP/100ml coliformes termotolerantes. Así mismo Escalante (2015), en su estudio de tratamiento de aguas subterráneas y superficiales del Distrito de Huata, para la industria láctea, reporto coliformes totales 125 NMP/100ml, coliformes fecales 8 NMP/100ml y bacterias heterotróficas 2045 UFC/ml. Por otra parte, Calsin (2016), en su estudio de calidad físico, química y bacteriológica de aguas subterránea de consumo humano en el sector de Taparachi III de la Ciudad de Juliaca, reporto coliformes totales 628.91- 438.91 UFC/100ml; coliformes fecales 107.22 - 27.79 UFC/ml. Esta diferencia de los resultados de la investigación se debe a factores contaminantes por basura, descargas directas de aguas residuales y presencia de eses de animales domésticos, que son los principales causantes de la presencia de carga microbiana tal como reporta (Orozco , 2008). Como también la calidad microbiológica de las muestras se deben a la disposición inadecuada de letrinas, desechos domésticos, las prácticas de saneamiento en el lugar, entre otros tal como menciona (Pacheco, 2004).

El contenido de características fisicoquímicas en el agua cruda de pozo (no tratada) como: conductividad eléctrica 1650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbiedad 6.52 NTU, pH 8.8, dureza total 482 mg/L, calcio 125.2 mg/L, sólidos totales 670 mg/L, alcalinidad 247 mg/L, cloruros 236 mg/L, sulfatos 105 mg/L, hierro 0.42 mg/L y manganeso 0.7 mg/L, no cumplen con los límites máximos permisibles (LMP) emitidos por el reglamento de calidad del agua MINSA DS N° 031-2010-SA, por consiguiente no son aptos para su consumo y utilización para procesos agroindustriales. Los resultados de la investigación en cuanto a la presencia de características fisicoquímicas en el agua cruda de pozo son superiores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Escalante (2015), en su estudio de

tratamiento de aguas subterráneas y superficiales del Distrito de Huata, para la industria láctea, Reporto dureza total 156.07 mg/L, pH 7.5, cloruros 79.85 mg/L, sulfatos 10.69 mg/L, sólidos totales 213.15 mg/L, hierro 0.6 mg/L, manganeso 1.37 mg/L, turbiedad 9 NTU. Así como Curasi (2010), evaluó la calidad de agua subterráneas con fines de consumo doméstico de la ciudad de Puno, reporto pH 7.1 a 7.6 ligeramente alcalinas, conductividad eléctrica 0.95 a 7.18 mS/cm, dureza total 72.72 a 585.8 mg/L, alcalinidad 38.52 a 404.46 mg/L, cloruros 25.50 a 286.50 mg/L, sulfatos 16.0 a 218.00 mg/L, sólidos totales 263.20 a 267.21 mg/L. Por otra parte Los resultados de la investigación en cuanto a la presencia de características fisicoquímicas en el agua cruda de pozo son inferiores a los resultados reportados por Calsin (2016), en su estudio de calidad físico, química y bacteriológica de aguas subterránea de consumo humano en el sector de Taparachi III de la Ciudad de Juliaca, reporto sólidos totales disueltos 785.03-509.82mg/L, conductividad eléctrica 1636.25-1082.18  $\mu$ S/cm, turbiedad 2.15-203.09UNT, sulfatos 324.00-226.18mg/L, cloruros 206.50-134.31mg/L, dureza total 628.91- 438.91mg/L. La variación de los resultados para la conductividad eléctrica en pozos se debe a la contaminación de las aguas subterráneas relacionada principalmente con el nivel freático que es poco profundo, este riesgo para la calidad del agua se debe a que la comuna no cuenta con un drenaje sanitario, originando así el uso de pozos sépticos en las casas, gran parte de estas escurren o se infiltran hacia ellos tal como reporta Granel (2002). Como también la variación de turbiedad se debe a la presencia de materias en suspensión, como arcillas, lodo o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas y microorganismos tal como indica Marcó (2004). Así mismo la variación del pH en aguas subterráneas presenta valores de pH entre 6 y 9 debido a la presencia de carbonatos, bicarbonatos y contaminantes antropogénicos y que están también influyen en la variación de la alcalinidad como reportan Herrera & Quintero (2008). La variación de la dureza total se debe a la presencia en una proporción mayor de los minerales disueltos como sales de calcio, magnesio y sulfato de calcio tal como refiere Pacheco (2004). Para el efecto del incremento de sólidos totales en las aguas de pozos estaría directamente relacionado por el aporte de sólidos disueltos o salinidad y sólidos en suspensión, varía por efecto de dilución al momento en que la lluvia llega al suelo, así como diferentes factores comienzan a afectar su uso futuro como fuente de consumo humano tal como menciona Orozco (2008). La presencia de cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan en contacto con el agua, otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales; las heces humanas, tal

como refiere Metcalf (1995). Por otro lado los sulfatos se forman al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas, tal como mencionan Severiche & Gonzales (2012). La variación de concentraciones de hierro y manganeso, se debe a la disolución de rocas que los contengan o la oxidación de la materia orgánica por acción bacteriana o lixiviados generados a partir de la fertilización o excretas tal como menciona Vence (2009).

#### **4.2. DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LOS FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON CONCENTRACIONES DE PLATA COLOIDAL, EN CUANTO A LA ELIMINACIÓN DE CARGA MICROBIOLÓGICA DEL AGUA CRUDA**

Para el efecto del filtro cerámico y concentración de plata coloidal en la eliminación de carga microbiológica, se estudió tres proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla (20/80%, 30/70% y 40/60%) respectivamente y tres concentración de plata coloidal (20 ppm, 35ppm y 55ppm).

##### **A. Eliminación de coliformes totales**

En la Tabla 15, se observa un aumento gradual del porcentaje de eliminación de coliformes totales con la disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la eliminación de coliformes totales fue con el filtro 01 y filtro 02 a proporciones de 20/80%, 30/70% de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y de arcilla respectivamente e impregnados con 35 ppm y 55 ppm de plata coloidal, con una eliminación de coliformes totales a partir de una concentración inicial de 2400 NMP/100ml logrando una concentración final de 0 NMP/100ml, con un porcentaje de eliminación en un 100 %, removiendo así 2400 NMP/100ml de coliformes totales. Según MINSA (2011), indica 0 NMP/100 ml de coliformes totales como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos con el filtro 01 y 02 en la eliminación de coliformes totales, se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la eliminación de coliformes totales del agua tratada son mayores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Cartagena (2001), en su estudio “Prueba de la aceptación del filtro de cerámica con plata coloidal en el barrio el Ocotol de Guinope Honduras” reporto concentraciones de 2-5 NMP/100 ml de coliformes totales. Como

también Ludeña & Ticono (2010), en su investigación quienes cifran valores de 40-70 NMP/100ml de coliformes totales. Por otro lado el resultado de la investigación es similar a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Vidal (2010), que reporta 0 NMP/100 ml de coliformes totales en su investigación “Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua”. Como también Astudillo & Aviles (2005), en su investigación “Elaboración de un filtro cerámico como sistema de purificación de agua para el abastecimiento doméstico” donde reportan 0 NMP/100ML de coliformes totales. Por otro lado Lerma (2011), en su investigación “Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura” reporta una eliminación del 100 % de coliformes totales. Esta variación en los resultados de la investigación se debe al tratamiento del agua con filtros de arcilla mezclados con materia orgánica y gracias a un baño de plata coloidal en su elemento filtrante, provoca una reacción química que desactiva microorganismos patógenos dañinos para el organismo humano que pueden atravesar el filtro tal como reporta Vidal (2010). Así como a partir de una concentración mayor o igual a 32.3 ppm de plata coloidal la eliminación de coliformes totales y fecales es óptima tal como indica Lerma (2011). Por otro lado la eliminación de carga microbiológica se debe a la acción química de la plata coloidal. Donde plata coloidal se ata a la membrana celular de las bacterias. Las células sensitivas entonces incrementan su tamaño y contenido citoplásmico y las membranas celulares y estructuras celulares externas presentan anomalías. Estas anomalías resultan en lisis celular y la muerte tal como menciona Russell (1994).

**Tabla 15: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la eliminación de coliformes totales**

| Filtros                                      | [ ] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [ ] Inicial del agua cruda (NMP/100ml) | Promedio de la [ ] Final del agua tratada (NMP/100ml) | Cantidad de eliminación (NMP/100ml) | Promedio del porcentaje de eliminación<br>$\% E = \left(1 - \frac{C_f}{C_0}\right) \times 100$ |
|--|--------------------------|--------------|--|---|-------------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                       | A1B1         | 2400                                   | 180   | 2220                                | 92.5   |
|  | 35                       | A1B2         | 2400                                   | 0   | 2400                                | 100  |
|  | 55                       | A1B3         | 2400                                   | 0   | 2400                                | 100  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                       | A2B1         | 2400                                   | 420   | 1980                                | 82.5   |
|  | 35                       | A2B2         | 2400                                   | 0   | 2400                                | 100  |
|  | 55                       | A2B3         | 2400                                   | 0   | 2400                                | 100  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                       | A3B1         | 2400                                   | 1300  | 1100                                | 45.84  |
|  | 35                       | A3B2         | 2400                                   | 380   | 2020                                | 84.17  |
|  | 55                       | A3B3         | 2400                                   | 130   | 2270                                | 94.58  |

En el Anexo 04, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para la eliminación de coliformes totales. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 1227.75 >  $f_{0.05;8;18}$

= 2.51, entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que la eliminación de coliformes totales en NMP/100ml son diferentes.

En la tabla 16 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la eliminación de coliformes totales del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5% con un error de 0.7523 y grado de libertad de 18, donde se aprecia los siguientes tratamientos con resultados similares A1B3, A1B2, A2B3, A2B2 que no presentan diferencias estadísticamente significativas, es decir el porcentaje de eliminación de coliformes totales para estos tratamientos son superiores a los tratamientos A3B3, A1B1, A3B2, A2B1, A3B1 y que estas presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumenta, el porcentaje de eliminación de coliformes totales aumenta gradualmente. Presentándose como mejores resultados para los tratamientos A1B3, A1B2, A2B3, A2B2 con el filtro 01 y filtro 02 a proporciones de 20/80%, 30/70% de jipi de quinua y de arcilla respectivamente e impregnados con 35 ppm y 55 ppm de plata coloidal que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de eliminación de coliformes totales con resultados del 100%.

**Tabla 16: Análisis de comparación Duncan para la eliminación de coliformes totales**

| PRUEBA DE DUNCAN                |               |          |             |   |
|---------------------------------|---------------|----------|-------------|---|
| <i>Error : 0.7523    Gl: 18</i> |               |          |             |   |
| <i>Tratamientos</i>             | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i> |   |
| A1B3                            | 100.00        | 3        | 0.50        | A |
| A1B2                            | 100.00        | 3        | 0.50        | A |
| A2B3                            | 100.00        | 3        | 0.50        | A |
| A2B2                            | 100.00        | 3        | 0.50        | A |
| A3B3                            | 94.58         | 3        | 0.50        | B |
| A1B1                            | 92.50         | 3        | 0.50        | C |
| A3B2                            | 84.17         | 3        | 0.50        | D |
| A2B1                            | 82.50         | 3        | 0.50        | E |
| A3B1                            | 45.84         | 3        | 0.50        | F |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)



## B. Eliminación de coliformes fecales

En la Tabla 17, se observa un aumento gradual del porcentaje de eliminación de coliformes fecales con la disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de la concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la eliminación de coliformes fecales fue con el filtro 01 y filtro 02 que presentan proporciones de 20/80%, 30/70% de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y de arcilla respectivamente e impregnados con 35 ppm y 55 ppm de plata coloidal, con una eliminación de coliformes fecales a partir de una concentración inicial de 1300 NMP/100 ml logrando una concentración final de 0 NMP/100 ml, con un porcentaje de eliminación del 100 %, removiendo así 1300 NMP/100ml de coliformes fecales. Según (MINSA, 2011), indica 0 NMP/100 ml de coliformes fecales como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos con el filtro 01 y 02 en la eliminación de coliformes fecales, se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la eliminación de coliformes fecales del agua tratada son mayores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Ludeña & Ticono (2010), en su estudio “Formulación de pasta roja para la elaboración de un filtro purificador de agua y verificación de su efectividad filtrante” reportaron concentraciones de 2-14 NMP/100 ml de coliformes fecales. Por otro lado el resultado de la investigación es similar a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Astudillo & Aviles (2005), reportan 0 NMP/100 ml de coliformes fecales en su investigación “Elaboración de un filtro cerámico como sistema de purificación de agua para el abastecimiento doméstico”. Como también Vidal (2010), en su investigación “Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua” donde reportan 0 NMP/100ML de coliformes fecales. Por otro lado Campbel (2005), en su estudio reporta la capacidad de remoción en un 100% de coliformes fecales con vasijas de arcilla. Como también en su investigación Clasen (2004), reporta una eliminación del 100% de coliformes fecales. Esta variación en los resultados de la investigación se debe al tratamiento del agua en un lecho filtrante de arcilla mezclado con aserrín o materia orgánica y bañado en solución de plata coloidal, considerando su propiedad bactericida de la plata que permite descomponer los microorganismos patógenos como los coliformes totales y fecales a su estado más elemental, combinando el concepto de desinfección y filtración tal como reporta Campbel (2005). Así como la baja concentración de plata coloidal (7.88 ppm) en el filtro cerámico no tiene la capacidad total de remoción de microorganismos patógenos. Su capacidad de

remoción del filtro es a partir de 20 ppm de plata coloidal, inactivando microorganismos patógenos en su totalidad tal como reporta Vidal (2010). Por otro lado la presencia de plata coloidal cerca de un virus, un hongo, una bacteria o cualquier otro microorganismo patógeno unicelular, incapacita a su enzima del metabolismo del oxígeno, su pulmón químico, por decirlo así. Dentro de pocos minutos el microorganismo patógeno se sofoca y muere tal como indica Rivera (2001).

**Tabla 17: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la eliminación de coliformes fecales**

| Filtros                                      | [ ] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [ ] Inicial del agua cruda (NMP/100ml) | Promedio de la [ ] Final del agua tratada (NMP/100ml) | Cantidad de eliminación (NMP/100ml) | Promedio del porcentaje de eliminación<br>$\% E = \left(1 - \frac{C_f}{C_o}\right) \times 100$ |
|--|--------------------------|--------------|--|---|-------------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                       | A1B1         | 1300                                   | 36  | 1264                                | 97.20  |
|  | 35                       | A1B2         | 1300                                   | 0   | 1300                                | 100  |
|  | 55                       | A1B3         | 1300                                   | 0   | 1300                                | 100  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                       | A2B1         | 1300                                   | 140   | 1160                                | 89.23  |
|  | 35                       | A2B2         | 1300                                   | 0   | 1300                                | 100  |
|  | 55                       | A2B3         | 1300                                   | 0   | 1300                                | 100  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                       | A3B1         | 1300                                   | 230   | 1070                                | 82.31  |
|  | 35                       | A3B2         | 1300                                   | 120   | 1180                                | 90.77  |
|  | 55                       | A3B3         | 1300                                   | 64  | 1264                                | 95.08  |

En el Anexo 05, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para la eliminación de coliformes fecales. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 247.71 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que la eliminación de coliformes fecales en NMP/100ml son diferentes.

En la tabla 18 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la eliminación de coliformes fecales del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.4831 y grado de libertad 18. Donde se aprecia los siguientes tratamientos con resultados similares A1B3, A1B2, A2B3, A2B2 que no presentan diferencias estadísticamente significativas, es decir el porcentaje de eliminación de coliformes fecales para estos tratamientos son superiores a los tratamientos A1B1, A3B3, A3B2, A2B1, A3B1 y que estas presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Esta variación se debe por qué medida



que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumente, el porcentaje de eliminación de coliformes fecales aumenta gradualmente. Presentándose como mejores resultados para los tratamientos A1B3, A1B2, A2B3, A2B2 con el filtro 01 y filtro 02 a proporciones de 20/80%, 30/70% de jipi de quinua y de arcilla respectivamente e impregnados con 35 ppm y 55 ppm de plata coloidal que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de eliminación de coliformes fecales con resultados del 100% de eliminación.

**Tabla 18: Análisis de comparación Duncan para la eliminación de coliformes Fecales**

| PRUEBA DE DUNCAN      |        |   |      |   |
|-----------------------|--------|---|------|---|
| Error : 0.4831 Gl: 18 |        |   |      |   |
| Tratamientos          | Medias | n | E.E. |   |
| A1B3                  | 100.00 | 3 | 0.40 | A |
| A1B2                  | 100.00 | 3 | 0.40 | A |
| A2B3                  | 100.00 | 3 | 0.40 | A |
| A2B2                  | 100.00 | 3 | 0.40 | A |
| A1B1                  | 97.20  | 3 | 0.40 | B |
| A3B3                  | 95.08  | 3 | 0.40 | C |
| A3B2                  | 90.77  | 3 | 0.40 | D |
| A2B1                  | 89.23  | 3 | 0.40 | E |
| A3B1                  | 82.31  | 3 | 0.40 | F |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

### C. Eliminación de bacterias heterotróficas

En la Tabla 19, se observa un aumento gradual del porcentaje de eliminación de bacterias heterotróficas con la disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de la concentración de plata coloidal. El tratamiento óptimo en la eliminación de bacterias heterotróficas fue con el filtro 01 y filtro 02 que presentan proporciones de 20/80%, 30/70% de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y de arcilla respectivamente e impregnados con 35 ppm y 55 ppm de plata coloidal, con una eliminación de bacterias heterotróficas a partir de una concentración inicial de 675 UFC/ml logrando una concentración final de 0 UFC/ml, con un porcentaje de eliminación del 100 %, removiendo así 675 UFC/ml de bacterias heterotróficas. Según MINSA (2011), indica 500 UFC/ml de bacterias heterotróficas como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos de la eliminación de bacterias heterotróficas se encuentran dentro del límite máximo

permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la eliminación de bacterias heterotróficas del agua tratada son menores a los resultados reportados por otras investigaciones. Así como Cartagena (2001), en su estudio “Prueba de la aceptación del filtro de cerámica con plata coloidal en el barrio el Ocotol de Guinope Honduras” reporta una concentración 432 UFC/ml de bacterias heterotróficas. Como también Ludeña & Ticono (2010), en su investigación quienes cifran valores que oscilan entre 527 UFC/ml de bacterias heterotróficas. Por otro lado Vidal (2010), que realizó un estudio sobre la evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua, reporta 362 UFC/ml de bacterias heterotróficas. Esta variación en los resultados de la investigación se debe a que los filtros imposibilitan el paso de bacterias por sus microporos y la desinfección se da por la adición de plata coloidal que es útil en la eliminación de bacterias, parásitos, virus. La plata coloidal ayuda en gran medida en la esterilización de los filtros, sometidos a un pretratamiento con dicha sustancia antes de filtrar el agua contaminada tal como reporta Ludeña & Ticono (2010). Por otro lado la eliminación de carga microbiológica se debe a la acción química donde los iones de plata coloidal actúan alterando la función mesozonal de la célula. La mesozona es una parte de la barrera de la célula que es responsable de la respiración. Donde las bacterias se sofocan y mueren Rivera (2001).

**Tabla 19: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la eliminación de bacterias heterotróficas**

| Filtros                                      | [ ] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [ ] Inicial del agua cruda (UFC/ml) | Promedio de la [ ] Final del agua tratada (UFC/ml) | Cantidad de eliminación ((UFC/ml) | Promedio del porcentaje de eliminación $% E = \left(1 - \frac{C_f}{C_o}\right) \times 100$ |
|--|--------------------------|--------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                       | A1B1         | 675                                 | 21.3   | 653.7                             | 96.8   |
|  | 35                       | A1B2         | 675                                 | 0  | 675                               | 100  |
|  | 55                       | A1B3         | 675                                 | 0  | 675                               | 100  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                       | A2B1         | 675                                 | 65.7   | 609.3                             | 90.3   |
|  | 35                       | A2B2         | 675                                 | 0  | 675                               | 100  |
|  | 55                       | A2B3         | 675                                 | 0  | 675                               | 100  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                       | A3B1         | 675                                 | 363.3  | 311.7                             | 46.2   |
|  | 35                       | A3B2         | 675                                 | 120.7  | 554.3                             | 82.1   |
|  | 55                       | A3B3         | 675                                 | 51   | 624                               | 92.4   |

En el Anexo 06, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para la eliminación de bacterias heterotróficas. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 30435.67 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_o$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ )

entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que la eliminación de bacterias heterotróficas en UFC/ml son diferentes.

En la tabla 20 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la eliminación de bacterias heterotróficas del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.0299 y grado de libertad 18. Donde se aprecia los siguientes tratamientos con resultados similares A1B3, A1B2, A2B3, A2B2 que no presentan diferencias estadísticamente significativas, es decir el porcentaje de eliminación de bacterias heterotróficas para estos tratamientos son superiores a los tratamientos A1B1, A3B3, A3B2, A2B1, A3B1 y que estas presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Esta variación se debe por qué medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumente, el porcentaje de eliminación de bacterias heterotróficas aumenta gradualmente. Presentándose como mejores resultados para los tratamientos A1B3, A1B2, A2B3, A2B2 con el filtro 01 y filtro 02 a proporciones de 20/80%, 30/70% de jipi de quinua y de arcilla respectivamente e impregnados con 35 ppm y 55 ppm de plata coloidal que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de eliminación de bacterias heterotróficas con resultados del 100% de eliminación.

**Tabla 20: Análisis de comparación Duncan para la eliminación de bacterias heterotróficas**

| PRUEBA DE DUNCAN         |        |   |      |   |
|--------------------------|--------|---|------|---|
| Error : 0.0299    Gl: 18 |        |   |      |   |
| Tratamientos             | Medias | n | E.E. |   |
| A1B3                     | 100.00 | 3 | 0.10 | A |
| A1B2                     | 100.00 | 3 | 0.10 | A |
| A2B3                     | 100.00 | 3 | 0.10 | A |
| A2B2                     | 100.00 | 3 | 0.10 | A |
| A1B1                     | 96.84  | 3 | 0.10 | B |
| A3B3                     | 92.44  | 3 | 0.10 | C |
| A2B1                     | 90.27  | 3 | 0.10 | D |
| A3B2                     | 82.12  | 3 | 0.10 | E |
| A3B1                     | 46.18  | 3 | 0.10 | F |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

#### 4.3. DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LOS FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON CONCENTRACIONES DE PLATA COLOIDAL, EN CUANTO A LA VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA CRUDA

Para el efecto del filtro cerámico y concentración de plata coloidal en la variación de características fisicoquímicas, se estudió tres proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla (20/80%, 30/70% y 40/60%) respectivamente y tres concentración de plata coloidal (20 ppm, 35ppm y 55ppm).

##### A. Variación de la turbiedad

En la Tabla 21, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de la turbiedad con la disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de la concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la variación de la turbiedad fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80 % de arcilla e impregnado con 55 ppm de plata coloidal, con una variación de la turbiedad a partir de una concentración inicial de 6.52 NTU logrando una concentración final de 0.036 NTU, con un porcentaje de variación del 99.44%, removiendo así 6.48 NTU de turbiedad. Según MINSA (2011), indica 5 NTU de turbiedad como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe mencionar que el resultado obtenido de la variación de turbiedad (0.036 NTU) se encuentra dentro del límite máximo permisible indicado. El resultado de la investigación en cuanto a la variación de la turbiedad del agua es inferior a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Vidal (2010), en su estudio “Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua” reporta 1.26 NTU de turbiedad. Como también Cartagena (2001), en su investigación “Prueba de la aceptación del filtro de cerámica con plata coloidal en el barrio el Ocotol de Guinope Honduras” reporta como resultado 0.77 NTU de turbiedad. A la variación de los resultados de la investigación se le atribuye a la filtración y no a la plata coloidal, ya que la función de la filtración es atrapar partículas pequeñas presentes en el agua puesto que no tienen gran peso para decantarse, pero que son más grandes que los poros de los filtros y son fáciles de retener tal como indica Seoáñez (2004). Como también la remoción de la turbiedad no depende de la presencia de plata coloidal en los filtros cerámicos, puesto que a diferentes concentraciones de plata coloidal se presenta la misma remoción, por lo tanto se puede decir que su remoción obedece a un proceso físico de filtración tal como refiere Lerma (2011).

**Tabla 21: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de la turbiedad**

| Filtros                                      | [] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [] Inicial del agua cruda (NTU) | Promedio de la [] Final del agua tratada (NTU) | Cantidad de variación (NTU) | Promedio del porcentaje de variación<br>$\% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_o}\right) \times 100$ |
|--|-------------------------|--------------|---------------------------------|--|-----------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                      | A1B1         | 6.52                            | 0.038  | 6.48                        | 99.42  |
|  | 35                      | A1B2         | 6.52                            | 0.037  | 6.48                        | 99.43  |
|  | 55                      | A1B3         | 6.52                            | 0.036  | 6.48                        | 99.44  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                      | A2B1         | 6.52                            | 0.45   | 6.07                        | 93.05  |
|  | 35                      | A2B2         | 6.52                            | 0.45   | 6.07                        | 93.15  |
|  | 55                      | A2B3         | 6.52                            | 0.44   | 6.08                        | 93.20  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                      | A3B1         | 6.52                            | 3.12   | 3.40                        | 52.10  |
|  | 35                      | A3B2         | 6.52                            | 3.07   | 3.45                        | 52.86  |
|  | 55                      | A3B3         | 6.52                            | 3.07   | 3.45                        | 52.91  |

En el Anexo 07, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de la turbiedad. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 329990.91 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de la turbiedad en NTU son diferentes.

En la tabla 22 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de turbiedad del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.0044 y grado de libertad 18. donde se aprecia los siguientes tratamientos con resultados similares A1B3, A1B2 y A1B1; A2B3 y A2B2; A2B2 y A2B1; A3B3 y A3B2, que no presentan diferencias estadísticamente significativas, es decir el porcentaje la variación de la turbiedad para estos tratamientos son superiores al tratamiento A3B1 y que esta presenta diferencia estadísticamente significativa. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumente, el porcentaje de variación de la turbiedad aumenta gradualmente. Presentándose mejores resultados para los tratamientos A1B3, A1B2, A1B1, con el filtro 01 a una proporción de 20% de jipi de quinua y 80 % de arcilla con una concentración de 20 ppm, 35ppm y 55ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de variación de la turbiedad con resultados de 99.44 %, 99.43% y 99.41% respectivamente.

**Tabla 22: Análisis de comparación Duncan en la variación de la turbiedad**

| PRUEBA DE DUNCAN      |        |   |      |     |
|-----------------------|--------|---|------|-----|
| Error : 0.0044 Gl: 18 |        |   |      |     |
| Tratamientos          | Medias | n | E.E. |     |
| A1B3                  | 99.44  | 3 | 0.04 | A   |
| A1B2                  | 99.43  | 3 | 0.04 | A   |
| A1B1                  | 99.41  | 3 | 0.04 | A   |
| A2B3                  | 93.20  | 3 | 0.04 | B   |
| A2B2                  | 93.15  | 3 | 0.04 | B C |
| A2B1                  | 93.05  | 3 | 0.04 | C   |
| A3B3                  | 52.91  | 3 | 0.04 | D   |
| A3B2                  | 52.86  | 3 | 0.04 | D   |
| A3B1                  | 52.10  | 3 | 0.04 | E   |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

### B. Variación de conductividad eléctrica

En la Tabla 23, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de la conductividad eléctrica con el aumento de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y disminución de la concentración de plata coloidal. El tratamiento óptimo en la variación de conductividad eléctrica fue con el filtro 03 que presenta una proporción de 40% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 60% de arcilla e impregnado con 20 ppm de plata coloidal, con una variación de conductividad eléctrica a partir de una concentración inicial de 1650  $\mu\text{s/cm}$  logrando una concentración final de 830  $\mu\text{s/cm}$ , con un porcentaje de variación del 49.70 %, removiendo así 820  $\mu\text{s/cm}$  de conductividad eléctrica. Según MINSA (2011), indica 1500  $\mu\text{s/cm}$  de conductividad eléctrica como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe mencionar que los resultados obtenidos de la variación de conductividad eléctrica se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de conductividad eléctrica del agua tratada son mayores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Cartagena (2001), en su estudio “Prueba de la aceptación del filtro de cerámica con plata coloidal en el barrio el Ocotol de Guinope Honduras” reporta una concentración 133  $\mu\text{s/cm}$  de conductividad eléctrica. Como también Ludeña & Ticono (2010), en su investigación quienes cifran valores que oscilan entre 126.25  $\mu\text{s/cm}$  – 128.50  $\mu\text{s/cm}$  de conductividad eléctrica. Por otro lado Vidal (2010), que realizó un estudio sobre la evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua, reporta 142.24  $\mu\text{s/cm}$  de conductividad eléctrica. La variación de los resultados de la investigación se debe a la variación de sólidos totales

disueltos que son directamente proporcional a la conductividad eléctrica que siempre depende del movimiento de los iones de las impurezas presentes en el agua y que estas son retenidas por los filtros pero no es su totalidad tal como refiere Rigola (2000). Por otro lado la conductividad eléctrica varía con respecto al agua de entrada ya que la arcilla de los filtros se comporta igualmente que el suelo, el cual tiene sales y material orgánico, se encuentra que estas sales viajan con el agua a través del filtro y eventualmente varían el valor de los sólidos totales disueltos, pero en una muy baja escala, entre 10 y 20 ppm tal como reporta Lerma (2011).

**Tabla 23: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de conductividad eléctrica**

| Filtros                                      | [Ag+] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [σ] Inicial del agua cruda (μs/cm) | Promedio de la [σ] Final del agua tratada (μs/cm) | Cantidad de variación (μs/cm) | Promedio del porcentaje de variación<br>$% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_0}\right) \times 100$ |
|--|----------------------------|--------------|------------------------------------|---|-------------------------------|---|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                         | A1B1         | 1650                               | 886.7   | 763.3                         | 46.26   |
|  | 35                         | A1B2         | 1650                               | 893.3   | 756.7                         | 45.86   |
|  | 55                         | A1B3         | 1650                               | 900.0   | 750.0                         | 45.45   |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                         | A2B1         | 1650                               | 840.0   | 810.0                         | 49.09   |
|  | 35                         | A2B2         | 1650                               | 866.7   | 783.3                         | 47.47   |
|  | 55                         | A2B3         | 1650                               | 880.0   | 770.0                         | 46.67   |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                         | A3B1         | 1650                               | 830.0   | 820.0                         | 49.70   |
|  | 35                         | A3B2         | 1650                               | 850.0   | 800.0                         | 48.48   |
|  | 55                         | A3B3         | 1650                               | 886.7   | 763.3                         | 46.26   |

En el Anexo 08, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de la conductividad eléctrica. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 48.86 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de la conductividad eléctrica en μs/cm son diferentes.

En la tabla 24, se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de la conductividad eléctrica del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.1378 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que el tratamiento A2B2 presenta diferencia estadísticamente significativa frente a todos los tratamientos, es decir el porcentaje la variación de la



conductividad eléctrica para este tratamiento es inferior a los tratamientos A3B1 y A2B1; A2B1 y A3B, pero superior a los tratamientos A2B3 y A1B1; A1B1 y A3B3; A3B3 y A1B2; A1B2 y A1B3 y que estas no presentan diferencias estadísticamente significativas. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua aumenta y la concentración de plata coloidal disminuye, el porcentaje de variación de la conductividad eléctrica aumenta gradualmente. Presentándose mejores resultados para los tratamientos A3B1, A2B1, con el filtro 02 y filtro 03 a proporciones de 30/70%, 40/60% de jipi de quinua y de arcilla respectivamente e impregnados con 20 ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de variación de la conductividad eléctrica con resultados de 49.70 % y 49.09 % respectivamente.

**Tabla 24: Análisis de comparación Duncan en la variación de conductividad eléctrica**

| PRUEBA DE DUNCAN      |        |   |      |   |     |
|-----------------------|--------|---|------|---|-----|
| Error : 0.1378 Gl: 18 |        |   |      |   |     |
| Tratamientos          | Medias | n | E.E. |   |     |
| A3B1                  | 49.70  | 3 | 0.21 | A |     |
| A2B1                  | 49.09  | 3 | 0.21 | A | B   |
| A3B2                  | 48.48  | 3 | 0.21 |   | B   |
| A2B2                  | 47.47  | 3 | 0.21 |   | C   |
| A2B3                  | 46.67  | 3 | 0.21 |   | D   |
| A1B1                  | 46.26  | 3 | 0.21 |   | D E |
| A3B3                  | 46.26  | 3 | 0.21 |   | D E |
| A1B2                  | 45.86  | 3 | 0.21 |   | E F |
| A1B3                  | 45.50  | 3 | 0.21 |   | F   |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

### C. Variación del potencial de hidrogeno (pH)

En la Tabla 25, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación del pH con una disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y disminución de la concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la variación del pH fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80% de arcilla e impregnado con 20 ppm de plata coloidal, con una variación del pH a partir de una concentración inicial de 8.8 logrando una concentración final de 6.70, con un porcentaje de variación del 23.86 %, removiendo así 2.1 del pH. Según MINSA (2011), indica 6.5 - 8.5 de pH como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos de la variación del potencial de hidrogeno (pH) se encuentran dentro del límite máximo



permisible indicado. Los resultados de la investigación son semejantes a los reportados por Cartagena (2001), quien cifra valores que oscilan entre 6.70 - 6.88 unidades de pH y a los reportados por Ludeña & Ticono (2010), quienes obtuvieron valores de 6.71 - 7.80 unidades de pH; además por Vidal (2010), reporta valores entre 7.72 - 7.86 unidades de pH. La variación de los resultados obtenidos de la investigación se debe a que los filtros cerámicos que son hechas de arcilla, se comporta igualmente que el suelo, el cual tiene sales y material orgánico, las sales al disolverse se convierten en hidróxidos, lo que hace que varíe el pH tal como reporta Astudillo & Aviles (2005). Como también la variación de pH se debe a la reacción del agua con la arcilla que presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos tal como refiere Vidal (2010).

**Tabla 25: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal, en cuanto a la variación del potencial de hidrogeno (pH)**

| Filtros                                      | [] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [] Inicial del agua cruda | Promedio de la [] Final del agua tratada | Cantidad de variación | Promedio del porcentaje de variación<br>$\% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_o}\right) \times 100$ |
|--|-------------------------|--------------|---------------------------|--|-----------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                      | A1B1         | 8.80                      | 6.70                                     | 2.1                   | 23.86  |
|  | 35                      | A1B2         | 8.80                      | 6.80                                     | 2.0                   | 22.73  |
|  | 55                      | A1B3         | 8.80                      | 6.87                                     | 1.93                  | 21.97  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                      | A2B1         | 8.80                      | 6.80                                     | 2.0                   | 22.73  |
|  | 35                      | A2B2         | 8.80                      | 6.87                                     | 1.93                  | 21.97  |
|  | 55                      | A2B3         | 8.80                      | 7.07                                     | 1.73                  | 19.70  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                      | A3B1         | 8.80                      | 7.43                                     | 1.37                  | 15.53  |
|  | 35                      | A3B2         | 8.80                      | 7.60                                     | 1.2                   | 13.64  |
|  | 55                      | A3B3         | 8.80                      | 7.67                                     | 1.13                  | 12.88  |

En el Anexo 09, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación del potencial de hidrogeno (pH). Se ha encontrado que la prueba f (tratamiento) = 228.17 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación del potencial de hidrogeno (pH) son diferentes.

En la tabla 26 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación del pH del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.2441 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que el tratamiento A1B1 presenta diferencia estadísticamente significativa frente a todos los

tratamientos, como también los tratamientos A2B3, A3B1 presentan diferencia estadísticamente significativa, es decir el porcentaje la variación del pH para estos tratamientos es inferior a los tratamientos A2B1 y A1B2; A1B2 y A2B2; A2B2 y A1B3, pero superior a los tratamientos A3B2 y A3B3 y que estas no presentan diferencias estadísticamente significativas. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal disminuye, el porcentaje de variación del pH aumenta gradualmente. Presentándose mejor resultado para el tratamiento A1B1 con el filtro 01 a una proporción de 20% jipi de quinua y 80 % de arcilla con una concentración de 20 ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de variación del pH con resultado del 23.86% de variación.

**Tabla 26: Análisis de comparación Duncan en la variación del potencial de hidrogeno (pH)**

**PRUEBA DE DUNCAN**

**Error : 0.2441    Gl: 18**

| <b>Tratamientos</b> | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E.</b> |   |   |   |
|---------------------|---------------|----------|-------------|---|---|---|
| A1B1                | 23.86         | 3        | 0.29        | A |   |   |
| A2B1                | 22.73         | 3        | 0.29        |   | B |   |
| A1B2                | 22.73         | 3        | 0.29        |   | B |   |
| A2B2                | 21.97         | 3        | 0.29        |   | B |   |
| A1B3                | 21.97         | 3        | 0.29        |   | B |   |
| A2B3                | 19.71         | 3        | 0.29        |   |   | C |
| A3B1                | 15.53         | 3        | 0.29        |   |   | D |
| A3B2                | 13.64         | 3        | 0.29        |   |   | E |
| A3B3                | 12.88         | 3        | 0.29        |   |   | E |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

**D. Variación de la dureza total**

En la Tabla 27, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de dureza total con la disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la variación de la dureza total fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80% de arcilla e impregnado con 55 ppm de plata coloidal, con una variación de la dureza total a partir de una concentración inicial de 482 mg/L logrando una concentración final de 201.4 mg/L, con un porcentaje de variación del 58.22 %, removiendo así 280.6 mg/L de dureza total. Según MINSa (2011), indica 500 mg/L de dureza total como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe mencionar que los resultados obtenidos de la variación de dureza total se

encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de dureza total del agua tratada son menores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Cartagena (2001), en su estudio “Prueba de la aceptación del filtro de cerámica con plata coloidal en el barrio el Ocotal de Guinope Honduras” reporta una concentración de 385 mg/L de dureza total. Como también Ludeña & Ticono (2010), en su investigación quienes cifran un valor de 300 mg/L de dureza total. Por otro lado Vidal (2010), que realizó un estudio sobre la evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua reporta 460 mg/L de dureza total. La variación de los resultados de la investigación se debe a la forma estructural de los poros, donde algunos compuestos disueltos que por la presión y el tamaño de poro se quedan retenidos, lo cual obedece a un proceso físico de filtración tal como refiere Vidal (2010). Así como también con el tamaño de poro es posible remover no sólo bacterias sino variables físicas presentes en el agua, tales como turbiedad, dureza total, sólidos totales disueltos y nitritos. Donde la presencia de plata coloidal no afectó el cambio de estas variables tal como reporta Arboleda (2006).

**Tabla 27: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de dureza total**

| Filtros                                      | [ ] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [ ] Inicial del agua cruda (mg/L) | Promedio de la [ ] Final del agua tratada (mg/L) | Cantidad de variación (mg/L) | Promedio del porcentaje de variación<br>$\% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_o}\right) \times 100$ |
|--|--------------------------|--------------|-----------------------------------|--|------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                       | A1B1         | 482.0                             | 205.8  | 276.2                        | 57.30  |
|  | 35                       | A1B2         | 482.0                             | 203.3  | 278.7                        | 57.82  |
|  | 55                       | A1B3         | 482.0                             | 201.4  | 280.6                        | 58.22  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                       | A2B1         | 482.0                             | 215.3  | 266.7                        | 55.32  |
|  | 35                       | A2B2         | 482.0                             | 208.4  | 273.6                        | 56.77  |
|  | 55                       | A2B3         | 482.0                             | 205.2  | 276.8                        | 57.43  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                       | A3B1         | 482.0                             | 252.6  | 229.4                        | 47.60  |
|  | 35                       | A3B2         | 482.0                             | 247.7  | 234.3                        | 48.60  |
|  | 55                       | A3B3         | 482.0                             | 229.0  | 253.0                        | 52.50  |

En el Anexo 10, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de la dureza total. Se ha encontrado que la prueba f (tratamiento) = 1250.75 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_o$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes

concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de la dureza total en mg/L son diferentes.

En la tabla 28 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de dureza total del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.0370 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que los tratamientos A2B3 y A1B1 no presentan diferencia estadísticamente significativa, es decir el porcentaje la variación de la dureza total para estos tratamientos es inferior a los tratamientos A1B3, A1B2, pero superior a los tratamientos A2B2, A2B1, A3B3, A3B2, A3B1 y que estas presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumenta, el porcentaje de variación de dureza total aumenta gradualmente. Presentándose mejor resultado para el tratamiento A1B3 con el filtro 01 a una proporción de 20% de jipi de quinua y 80 % de arcilla con una concentración de 55 ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de variación de la dureza total con resultado del 58.22% de variación.

**Tabla 28: Análisis de comparación Duncan en la variación de la dureza total**

| <i>PRUEBA DE DUNCAN</i>         |               |          |             |   |
|---------------------------------|---------------|----------|-------------|---|
| <i>Error : 0.0370    Gl: 18</i> |               |          |             |   |
| <i>Tratamientos</i>             | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i> |   |
| A1B3                            | 58.22         | 3        | 0.11        | A |
| A1B2                            | 57.82         | 3        | 0.11        | B |
| A2B3                            | 57.43         | 3        | 0.11        | C |
| A1B1                            | 57.30         | 3        | 0.11        | C |
| A2B2                            | 56.77         | 3        | 0.11        | D |
| A2B1                            | 55.32         | 3        | 0.11        | E |
| A3B3                            | 52.50         | 3        | 0.11        | F |
| A3B2                            | 48.60         | 3        | 0.11        | G |
| A3B1                            | 47.60         | 3        | 0.11        | H |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

**E. Variación de calcio**

En la Tabla 29, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de calcio con la disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la variación de calcio fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua

(*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80% de arcilla e impregnado con 55 ppm de plata coloidal, con una variación de calcio a partir de una concentración inicial de 125.20 mg/L logrando una concentración final de 12.67 mg/L, con un porcentaje de variación del 89.88 %, removiéndose así 112.53 mg/L de calcio. Según MINSA (2011), indica 150 mg/L de calcio como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos de la variación de calcio se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de calcio del agua tratada son menores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Lerma (2011), en su estudio “Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura” reporta una concentración de 33 mg/L de calcio. Como también Ludeña & Ticono (2010), en su investigación quienes cifran un valor de 42 mg/L de calcio. Por otro lado Vidal (2010), que realizó un estudio sobre la evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua reporta 24.8 mg/L de calcio. Esta variación de los resultados de la investigación se le atribuye a la filtración y no a la plata, ya que la función de la filtración es atrapar partículas pequeñas presentes en el agua puesto que no tienen gran peso para decantarse, pero que son más grandes que los poros de los filtros, son fáciles de retener tal como menciona Seoáñez (2004). Así como también el medio filtrante remueve los sólidos en suspensión, sólidos disueltos y ciertos productos químicos, sabores y olores tal como reporta Arboleda (2006).

**Tabla 29: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de calcio**

| Filtros                                      | [] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [] Inicial del agua cruda (mg/L) | Promedio de la [] Final del agua tratada (mg/L) | Cantidad de variación (mg/L) | Promedio del porcentaje de variación<br>$\% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_o}\right) \times 100$ |
|--|-------------------------|--------------|----------------------------------|---|------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                      | A1B1         | 125.20                           | 25.20   | 100.00                       | 79.87  |
|  | 35                      | A1B2         | 125.20                           | 15.68   | 109.52                       | 87.48  |
|  | 55                      | A1B3         | 125.20                           | 12.67   | 112.53                       | 89.88  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                      | A2B1         | 125.20                           | 44.96   | 80.24                        | 64.09  |
|  | 35                      | A2B2         | 125.20                           | 35.33   | 89.87                        | 71.78  |
|  | 55                      | A2B3         | 125.20                           | 26.21   | 98.99                        | 79.06  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                      | A3B1         | 125.20                           | 62.81   | 62.39                        | 50.18  |
|  | 35                      | A3B2         | 125.20                           | 58.25   | 66.95                        | 53.47  |
|  | 55                      | A3B3         | 125.20                           | 49.89   | 75.31                        | 60.15  |

En el Anexo 11, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de calcio. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 2621.5 >  $f_{0.05;8;18} =$

2.51, entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de calcio en mg/L son diferentes.

En la tabla 30 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de calcio del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.2397 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que los tratamientos A1B1 y A2B3 no presentan diferencia estadísticamente significativa, es decir el porcentaje la variación del calcio para estos tratamientos es inferior a los tratamientos A1B3, A1B2, pero superior a los tratamientos A2B2, A2B1, A3B3, A3B2, A3B1 y que estas presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumenta, el porcentaje de variación del calcio aumenta gradualmente. Presentándose mejor resultado para el tratamiento A1B3 con el filtro 01 a una proporción de 20% de jipi de quinua y 80 % de arcilla con una concentración de 55 ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de variación del calcio con resultado del 89.88% de variación.

**Tabla 30: Análisis de comparación Duncan en la variación de calcio**

| <i>PRUEBA DE DUNCAN</i>         |               |          |             |   |
|---------------------------------|---------------|----------|-------------|---|
| <i>Error : 0.2397    Gl: 18</i> |               |          |             |   |
| <i>Tratamientos</i>             | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i> |   |
| A1B3                            | 89.88         | 3        | 0.28        | A |
| A1B2                            | 87.48         | 3        | 0.28        | B |
| A1B1                            | 79.87         | 3        | 0.28        | C |
| A2B3                            | 79.06         | 3        | 0.28        | C |
| A2B2                            | 71.78         | 3        | 0.28        | D |
| A2B1                            | 64.09         | 3        | 0.28        | E |
| A3B3                            | 60.15         | 3        | 0.28        | F |
| A3B2                            | 53.47         | 3        | 0.28        | G |
| A3B1                            | 50.18         | 3        | 0.28        | H |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

## F. Variación de sólidos totales

En la Tabla 31, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de sólidos totales con la disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de concentración de plata coloidal. El tratamiento óptimo en la variación de sólidos totales fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80% de arcilla e impregnado con 55 ppm de plata coloidal, con una variación de sólidos totales a partir de una concentración inicial de 670 mg/L logrando una concentración final de 420 mg/L, con un porcentaje de variación del 37.31 %, removiéndose así 250 mg/L de sólidos totales. Según MINSA (2011), indica 1000 mg/L de sólidos totales como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos de la variación de sólidos totales se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de sólidos totales del agua tratada son mayores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Vidal (2010), en su estudio “Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua” reporta una concentración de 108 mg/L de sólidos totales. Como también Cartagena (2001), en su investigación quien cifra un valor de 121 mg/L de sólidos totales. Los resultados promedios de la investigación son similares a lo investigado por Lerma (2011), que reporta 422 mg/L y menores al resultado de la investigación “Formulación de Pasta Roja para la Elaboración de un Filtro Purificador de Agua y Verificación de su Efectividad Filtrante” realizados por Ludeña & Ticono (2010), donde reportan 520 mg/L de sólidos totales. La variación de los resultados de la investigación se debe a que filtros separan materia sólida del líquido gracias a que tienen un poro muy fino, es decir, retienen partículas muy pequeñas tal como menciona Palacios & Torres (2007). Así como también la variación de la dureza se le atribuye a la filtración y no a la plata coloidal, ya que la función de la filtración es atrapar partículas disueltas y en suspensión debido al tamaño de los poros del filtro tal como refiere Seoáñez (2004).



**Tabla 31: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de sólidos totales**

| Filtros                                      | [] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [] Inicial del agua cruda (mg/L) | Promedio de la [] Final del agua tratada (mg/L) | Cantidad de variación (mg/L) | Promedio del porcentaje de variación<br>$\% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_0}\right) \times 100$ |
|--|-------------------------|--------------|----------------------------------|---|------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                      | A1B1         | 670.0                            | 440.00  | 230.00                       | 35.33  |
|  | 35                      | A1B2         | 670.0                            | 433.33  | 236.67                       | 35.66  |
|  | 55                      | A1B3         | 670.0                            | 420.00  | 250.00                       | 37.31  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                      | A2B1         | 670.0                            | 450.00  | 220.00                       | 32.84  |
|  | 35                      | A2B2         | 670.0                            | 443.33  | 226.67                       | 33.83  |
|  | 55                      | A2B3         | 670.0                            | 426.67  | 243.33                       | 36.32  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                      | A3B1         | 670.0                            | 476.67  | 193.33                       | 28.86  |
|  | 35                      | A3B2         | 670.0                            | 463.33  | 206.67                       | 30.84  |
|  | 55                      | A3B3         | 670.0                            | 453.33  | 216.67                       | 32.34  |

En el Anexo 12, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de sólidos totales. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 54.10 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de sólidos totales en mg/L son diferentes.

En la tabla 32 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de sólidos totales del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.4211 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que los tratamientos A1B3 y A2B3; A2B3 y A1B2; A1B2 y A1B1; A2B2 y A2B1; A2B1 y A3B3, no presentan diferencias estadísticamente significativas, es decir el porcentaje la variación de sólidos totales para estos tratamientos son superiores a los tratamientos A3B2, A3B1 y que estas presentan diferencias estadísticamente significativas frente a todo los tratamientos. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumente, el porcentaje de variación de sólidos totales aumenta gradualmente. Presentándose mejores resultados para los tratamientos A1B3 y A2B3, con el filtro 01 y filtro 02 a proporciones de 20/80%, 30/70% de jipi de quinua y de arcilla respectivamente e impregnados con 55 ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto



al porcentaje de variación de sólidos totales con resultados de 37.31 % y 36.32 % respectivamente.

**Tabla 32: Análisis de comparación Duncan en la variación de sólidos totales**

| <i>PRUEBA DE DUNCAN</i>         |               |          |             |          |          |
|---------------------------------|---------------|----------|-------------|----------|----------|
| <i>Error : 0.4211    Gl: 18</i> |               |          |             |          |          |
| <i>Tratamientos</i>             | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i> |          |          |
| <i>A1B3</i>                     | <i>37.31</i>  | <i>3</i> | <i>0.37</i> | <i>A</i> |          |
| <i>A2B3</i>                     | <i>36.32</i>  | <i>3</i> | <i>0.37</i> | <i>A</i> | <i>B</i> |
| <i>A1B2</i>                     | <i>35.66</i>  | <i>3</i> | <i>0.37</i> |          | <i>B</i> |
| <i>A1B1</i>                     | <i>35.33</i>  | <i>3</i> | <i>0.37</i> |          | <i>B</i> |
| <i>A2B2</i>                     | <i>33.83</i>  | <i>3</i> | <i>0.37</i> |          | <i>C</i> |
| <i>A2B1</i>                     | <i>32.84</i>  | <i>3</i> | <i>0.37</i> | <i>C</i> | <i>D</i> |
| <i>A3B3</i>                     | <i>32.34</i>  | <i>3</i> | <i>0.37</i> |          | <i>D</i> |
| <i>A3B2</i>                     | <i>30.84</i>  | <i>3</i> | <i>0.37</i> |          | <i>E</i> |
| <i>A3B1</i>                     | <i>28.86</i>  | <i>3</i> | <i>0.37</i> |          | <i>F</i> |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

### G. Variación de alcalinidad

En la Tabla 33, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de alcalinidad con la disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de concentración de plata coloidal. El tratamiento óptimo en la variación de alcalinidad fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80% de arcilla e impregnado con 55 ppm de plata coloidal, con una variación de alcalinidad a partir de una concentración inicial de 247.07 mg/L logrando una concentración final de 50.01 mg/L, con un porcentaje de variación del 79.76 %, removiendo así 197.06 mg/L de alcalinidad. Según MINSA (2011), indica 120 mg/L de alcalinidad como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos de la variación de alcalinidad se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de alcalinidad del agua tratada son mayores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Astudillo & Aviles (2005), en su estudio “Elaboración de un Filtro Cerámico Como Sistema de Purificación de Agua Para el Abastecimiento Domestico” reportaron una concentración de 33 mg/L de alcalinidad. Como también Ludeña & Ticono (2010) , en su investigación quienes cifran un valor de 36 mg/L de alcalinidad. El resultado promedio de la investigación es similar a lo investigado por Vidal (2010), que reporta 51 mg/L de alcalinidad en su investigación

“Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua” y menores al resultado de la investigación “Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura” realizados por Lerma (2011), donde reportan 66 mg/L de alcalinidad. La variación de los resultados de la investigación se debe a que los filtros cerámicos se comportan igualmente que el suelo, el cual tiene sales y material orgánico, las sales al disolverse se convierten en hidróxidos que es el causante de la alcalinidad tal como reporta Lerma (2011).

**Tabla 33: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de alcalinidad**

| Filtros                                      | [] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [] Inicial del agua cruda (mg/L) | Promedio de la [] Final del agua tratada (mg/L) | Cantidad de variación (mg/L) | Promedio del porcentaje de variación<br>$\% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_0}\right) \times 100$ |
|--|-------------------------|--------------|----------------------------------|---|------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                      | A1B1         | 247.07                           | 76.48   | 170.59                       | 69.05  |
|  | 35                      | A1B2         | 247.07                           | 58.83   | 188.24                       | 76.19  |
|  | 55                      | A1B3         | 247.07                           | 50.01   | 197.06                       | 79.76  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                      | A2B1         | 247.07                           | 111.78  | 135.29                       | 54.76  |
|  | 35                      | A2B2         | 247.07                           | 93.74   | 153.33                       | 62.06  |
|  | 55                      | A2B3         | 247.07                           | 84.48   | 162.59                       | 65.81  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                      | A3B1         | 247.07                           | 229.90  | 17.17                        | 6.95   |
|  | 35                      | A3B2         | 247.07                           | 211.78  | 35.29                        | 14.29  |
|  | 55                      | A3B3         | 247.07                           | 150.25  | 96.82                        | 39.19  |

En el Anexo 13, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de alcalinidad. Se ha encontrado que la prueba f (tratamiento) = 208562.00 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de alcalinidad en mg/L son diferentes.

En la tabla 34 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de alcalinidad del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.0085 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que hay diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos sobre la variación de alcalinidad. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua

disminuye y la concentración de plata coloidal aumente, el porcentaje de variación de alcalinidad aumenta gradualmente. Presentándose mejor resultado para el tratamientos A1B3, con el filtro 01 a una proporción de 20% de jipi de quinua y 80 % de arcilla con una concentración de 55 ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de variación de alcalinidad con resultado del 79.76 % de variación.

**Tabla 34: Análisis de comparación Duncan en la variación de alcalinidad**

| <i>PRUEBA DE DUNCAN</i>      |               |          |             |   |
|------------------------------|---------------|----------|-------------|---|
| <i>Error : 0.0085 Gl: 18</i> |               |          |             |   |
| <i>Tratamientos</i>          | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i> |   |
| A1B3                         | 79.76         | 3        | 0.05        | A |
| A1B2                         | 76.19         | 3        | 0.05        | B |
| A1B1                         | 69.05         | 3        | 0.05        | C |
| A2B3                         | 65.81         | 3        | 0.05        | D |
| A2B2                         | 62.06         | 3        | 0.05        | E |
| A2B1                         | 54.76         | 3        | 0.05        | F |
| A3B3                         | 39.19         | 3        | 0.05        | G |
| A3B2                         | 14.29         | 3        | 0.05        | H |
| A3B1                         | 6.95          | 3        | 0.05        | I |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

#### H. Variación de cloruros

En la Tabla 35, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de cloruros con la disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la variación de cloruros fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80% de arcilla e impregnado con 55 ppm de plata coloidal, con una variación de cloruros a partir de una concentración inicial de 236.0 mg/L logrando una concentración final de 123.40 mg/L, con un porcentaje de variación del 47.71 %, removiendo así 112.60 mg/L de cloruros. Según MINSA (2011), indica 250 mg/L de cloruros como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos de la variación de cloruros se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de cloruros del agua tratada son menores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Vidal (2010), en su estudio “Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua” reporto una concentración de 187 mg/L de cloruro. Como también Astudillo & Aviles (2005), en su investigación

“Elaboración de un Filtro Cerámico Como Sistema de Purificación de Agua Para El Abastecimiento Domestico” quienes cifran un valor de 202 mg/L de cloruros. La variación de los resultados de la investigación se debe a la porosidad del medio filtrante como también a la lixiviación de los elementos que componen la arcilla del filtro cerámico como silicio y oxígeno que son los componentes influyentes en la variación de cloruros tal como indica Lantagne (2001).

**Tabla 35: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de cloruros**

| Filtros                                      | [Ag] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [Cl] Inicial del agua cruda (mg/L) | Promedio de la [Cl] Final del agua tratada (mg/L) | Cantidad de variación (mg/L) | Promedio del porcentaje de variación<br>$\% V = \left(1 - \frac{C_t}{C_0}\right) \times 100$ |
|--|---------------------------|--------------|------------------------------------|---|------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                        | A1B1         | 236.0                              | 126.71  | 109.29                       | 46.31  |
|  | 35                        | A1B2         | 236.0                              | 125.29  | 110.71                       | 46.91  |
|  | 55                        | A1B3         | 236.0                              | 123.40  | 112.60                       | 47.71  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                        | A2B1         | 236.0                              | 133.33  | 102.67                       | 43.50  |
|  | 35                        | A2B2         | 236.0                              | 127.66  | 108.34                       | 45.91  |
|  | 55                        | A2B3         | 236.0                              | 124.82  | 111.18                       | 47.11  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                        | A3B1         | 236.0                              | 170.49  | 65.51                        | 27.76  |
|  | 35                        | A3B2         | 236.0                              | 154.82  | 81.18                        | 34.40  |
|  | 55                        | A3B3         | 236.0                              | 130.37  | 105.63                       | 44.76  |

En el Anexo 14, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de cloruros. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 564.88 >  $f_{0.05;8;18}$  = 2.51, entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de cloruros en mg/L son diferentes.

En la tabla 36 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de cloruros del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.2515 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que los tratamientos A1B3 y A2B3; A2B3 y A1B2; A1B2 y A1B1; A1B1 y A2B2, no presentan diferencias estadísticamente significativas, es decir el porcentaje la variación de cloruros para estos tratamientos son superiores a los tratamientos A3B3, A2B1, A3B2, A3B1 y que estas presentan diferencias estadísticamente significativas entre los

tratamientos. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumente, el porcentaje de variación de cloruros aumenta gradualmente. Presentándose mejores resultados para los tratamientos A1B3 y A2B3 con el filtro 01 y filtro 02 a proporciones de 20/80%, 30/70% de jipi de quinua y de arcilla respectivamente e impregnados con 55 ppm de plata coloidal, tienen un mayor rendimiento en cuanto a la variación de cloruros con resultados del 47.71 % y 47.11% de variación.

**Tabla 36: Análisis de comparación Duncan en la variación de cloruros**

| <i>PRUEBA DE DUNCAN</i>      |               |          |             |   |     |
|------------------------------|---------------|----------|-------------|---|-----|
| <i>Error : 0.2515 Gl: 18</i> |               |          |             |   |     |
| <i>Tratamientos</i>          | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i> |   |     |
| A1B3                         | 47.71         | 3        | 0.29        | A |     |
| A2B3                         | 47.11         | 3        | 0.29        | A | B   |
| A1B2                         | 46.51         | 3        | 0.29        |   | B C |
| A1B1                         | 45.91         | 3        | 0.29        |   | C   |
| A2B2                         | 45.91         | 3        | 0.29        |   | C   |
| A3B3                         | 44.76         | 3        | 0.29        |   | D   |
| A2B1                         | 43.50         | 3        | 0.29        |   | E   |
| A3B2                         | 34.40         | 3        | 0.29        |   | F   |
| A3B1                         | 27.76         | 3        | 0.29        |   | G   |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

**I. Variación de sulfatos**

En la Tabla 37, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de sulfatos con una disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la variación de sulfatos fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80% de arcilla e impregnado con 55 ppm de plata coloidal, con una variación de sulfatos a partir de una concentración inicial de 105 mg/L logrando una concentración final de 49.90 mg/L, con un porcentaje de variación del 52.48 %, removiendo así 55.1 mg/L de sulfatos. Según MINSa (2011), indica 250 mg/L de sulfato como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos de la variación de sulfatos se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de alcalinidad del agua tratada son mayores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Vidal (2010), en su estudio “Evaluación de la efectividad del

filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua” reporto una concentración de 36.6 mg/L de sulfatos. Como también Lerma (2011), en su investigación “Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura” quien cifra un valor de 40 mg/L de sulfatos y menores al resultado de la investigación “Formulación de Pasta Roja para la Elaboración de un Filtro Purificador de Agua y Verificación de su Efectividad Filtrante” realizados por Ludeña & Ticono (2010), donde reportan 98 mg/L de sulfatos. La variación de los resultados de la investigación se debe al contacto del agua con el medio filtrante que actúa igualmente que el suelo, el cual tiene sales y material orgánico. Como también se debe a la retención de sólidos disueltos por el medio filtrante tal como refiere Astudillo & Aviles (2005).

**Tabla 37: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de sulfatos**

| Filtros                                      | [] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [] Inicial del agua cruda (mg/L) | Promedio de la [] Final del agua tratada (mg/L) | Cantidad de variación (mg/L) | Promedio del porcentaje de variación<br>$\% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_0}\right) \times 100$ |
|--|-------------------------|--------------|----------------------------------|---|------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                      | A1B1         | 105.0                            | 56.28   | 48.72                        | 46.40  |
|  | 35                      | A1B2         | 105.0                            | 53.68   | 51.32                        | 48.88  |
|  | 55                      | A1B3         | 105.0                            | 49.90   | 55.1                         | 52.48  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                      | A2B1         | 105.0                            | 77.64   | 27.36                        | 26.06  |
|  | 35                      | A2B2         | 105.0                            | 72.07   | 32.93                        | 31.37  |
|  | 55                      | A2B3         | 105.0                            | 68.55   | 36.45                        | 34.72  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                      | A3B1         | 105.0                            | 95.25   | 9.75                         | 9.28   |
|  | 35                      | A3B2         | 105.0                            | 89.43   | 15.57                        | 14.83  |
|  | 55                      | A3B3         | 105.0                            | 88.16   | 16.84                        | 16.04  |

En el Anexo 15, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de sulfatos. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 7549.70 >  $f_{0.05;8;18}$  = 2.51, entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de sulfatos en mg/L son diferentes.

En la tabla 38 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de sulfatos del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.1046 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que hay diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos sobre la variación de

sulfatos. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumente, el porcentaje de variación de sulfatos aumenta gradualmente. Presentándose mejor resultado para el tratamientos A1B3, con el filtro 01 a una proporción de 20% de jipi de quinua y 80 % de arcilla con una concentración de 55 ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de variación de sulfatos con resultado del 52.48 % de variación.

**Tabla 38: Análisis de comparación Duncan en la variación de sulfatos**

| <i>PRUEBA DE DUNCAN</i>      |               |          |             |   |
|------------------------------|---------------|----------|-------------|---|
| <i>Error : 0.1046 Gl: 18</i> |               |          |             |   |
| <i>Tratamientos</i>          | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i> |   |
| A1B3                         | 52.48         | 3        | 0.19        | A |
| A1B2                         | 48.88         | 3        | 0.19        | B |
| A1B1                         | 46.40         | 3        | 0.19        | C |
| A2B3                         | 34.72         | 3        | 0.19        | D |
| A2B2                         | 31.37         | 3        | 0.19        | E |
| A2B1                         | 26.06         | 3        | 0.19        | F |
| A3B3                         | 16.04         | 3        | 0.19        | G |
| A3B2                         | 14.83         | 3        | 0.19        | H |
| A3B1                         | 9.28          | 3        | 0.19        | I |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

**J. Variación de hierro**

En la Tabla 39, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de hierro con una disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la variación de hierro fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80% de arcilla e impregnado con 55 ppm de plata coloidal, con una variación de hierro a partir de una concentración inicial de 0.420 mg/L logrando una concentración final de 0.041 mg/L, con un porcentaje de variación del 90.16 %, removiendo así 0.379 mg/L de hierro. Según MINSA (2011), indica 0.30 mg/L de hierro como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos de la variación de hierro se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de hierro del agua tratada son menores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Lerma (2011), en su estudio “Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura” reporta una concentración de 0.12 mg/L de hierro. Como también Ludeña & Ticono



(2010), en su investigación quienes cifran un valor de 0.49 mg/L de hierro. Por otro lado Vidal (2010), que realizo un estudio sobre la evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua, reporta 0.13 mg/L de hierro. La variación de los resultados de la investigación se debe al tamaño de los poros que son los suficientemente pequeños como para retenerla. Por otro lado las sales solubles de hierro en contacto con el oxígeno se oxidan y precipitan en forma de hidróxido férrico, que este es insoluble y es retenido en el medio filtrante tal como refiere Lerma (2011).

**Tabla 39: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de hierro**

| Filtros                                      | [] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [] Inicial del agua cruda (mg/L) | Promedio de la [] Final del agua tratada (mg/L) | Cantidad de variación (mg/L) | Promedio del porcentaje de variación<br>$% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_0}\right) \times 100$ |
|--|-------------------------|--------------|----------------------------------|---|------------------------------|---|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                      | A1B1         | 0.420                            | 0.153   | 0.267                        | 63.49   |
|  | 35                      | A1B2         | 0.420                            | 0.073   | 0.347                        | 82.54   |
|  | 55                      | A1B3         | 0.420                            | 0.041   | 0.379                        | 90.16   |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                      | A2B1         | 0.420                            | 0.308   | 0.112                        | 26.75   |
|  | 35                      | A2B2         | 0.420                            | 0.202   | 0.218                        | 51.82   |
|  | 55                      | A2B3         | 0.420                            | 0.122   | 0.298                        | 70.95   |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                      | A3B1         | 0.420                            | 0.364   | 0.056                        | 13.34   |
|  | 35                      | A3B2         | 0.420                            | 0.324   | 0.096                        | 22.86   |
|  | 55                      | A3B3         | 0.420                            | 0.305   | 0.115                        | 27.46   |

En el Anexo 16, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de hierro. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 80317.33 >  $f_{0.05;8;18}$  = 2.51, entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de hierro en mg/L son diferentes.

En la tabla 40 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de hierro del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.0311 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que hay diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos sobre la variación de hierro. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumenta, el porcentaje de variación de



hierro aumenta gradualmente. Presentándose mejor resultado para el tratamientos A1B3, con el filtro 01 a una proporción de 20% de jipi de quinua y 80 % de arcilla con una concentración de 55 ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de variación de hierro con resultado del 90.16 % de variación.

**Tabla 40: Análisis de comparación Duncan en la variación de hierro**

| <i>PRUEBA DE DUNCAN</i>      |               |          |             |   |
|------------------------------|---------------|----------|-------------|---|
| <i>Error : 0.0311 Gl: 18</i> |               |          |             |   |
| <i>Tratamientos</i>          | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i> |   |
| A1B3                         | 90.16         | 3        | 0.10        | A |
| A1B2                         | 82.54         | 3        | 0.10        | B |
| A2B3                         | 70.95         | 3        | 0.10        | C |
| A1B1                         | 63.49         | 3        | 0.10        | D |
| A2B2                         | 51.82         | 3        | 0.10        | E |
| A3B3                         | 27.46         | 3        | 0.10        | F |
| A2B1                         | 26.75         | 3        | 0.10        | G |
| A3B2                         | 22.86         | 3        | 0.10        | H |
| A3B1                         | 13.34         | 3        | 0.10        | I |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

**K. Variación de manganeso**

En la Tabla 41, se observa un aumento gradual del porcentaje de variación de manganeso con una disminución de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y aumento de concentración de plata coloidal. El tratamiento optimo en la variación de alcalinidad fue con el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 80% de arcilla e impregnado con 55 ppm de plata coloidal, con una variación de manganeso a partir de una concentración inicial de 0.70 mg/L logrando una concentración final de 0.038 mg/L, con un porcentaje de variación del 94.62 %, removiendo así 0.662 mg/L de manganeso. Según MINSA (2011), indica 0.40 mg/L de manganeso como límite máximo permisible para la calidad del agua potable, cabe indicar que los resultados obtenidos de la variación de manganeso se encuentran dentro del límite máximo permisible indicado. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de manganeso del agua tratada son menores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Vidal (2010), en su estudio “Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua” reporta una concentración de 0.15 mg/L de manganeso. Como también Ludeña & Ticono (2010), en su investigación quienes cifran un valor de 0.35 mg/L de manganeso. Por otro lado Lerma

(2011), que realizo un estudio sobre “Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura” reporta 0.17 mg/L de manganeso. La variación de los resultados de la investigación se debe a que el manganeso soluble en agua subterránea usualmente está en estado reducido, luego de la exposición con el aire u otros oxidantes se precipitan y debido al tamaño de los poros son retenidos tal como reporta Miranda (2010).

**Tabla 41: Valores de la efectividad de los filtros a diferentes concentraciones de plata coloidal en cuanto a la variación de manganeso**

| Filtros                                      | [] plata coloidal (ppm) | Tratamientos | [] Inicial del agua cruda (mg/L) | Promedio de la [] Final del agua tratada (mg/L) | Cantidad de variación (mg/L) | Promedio del porcentaje de variación $% V = \left(1 - \frac{C_f}{C_0}\right) \times 100$ |
|--|-------------------------|--------------|----------------------------------|---|------------------------------|--|
| Filtro 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla) | 20                      | A1B1         | 0.70                             | 0.089   | 0.611                        | 87.29  |
|  | 35                      | A1B2         | 0.70                             | 0.055   | 0.645                        | 92.09  |
|  | 55                      | A1B3         | 0.70                             | 0.038   | 0.662                        | 94.62  |
| Filtro 02 (30 % jipi de quinua -70% arcilla) | 20                      | A2B1         | 0.70                             | 0.374   | 0.326                        | 46.57  |
|  | 35                      | A2B2         | 0.70                             | 0.209   | 0.491                        | 70.19  |
|  | 55                      | A2B3         | 0.70                             | 0.145   | 0.555                        | 79.24  |
| Filtro 03 (40 % jipi de quinua -60% arcilla) | 20                      | A3B1         | 0.70                             | 0.548   | 0.152                        | 21.71  |
|  | 35                      | A3B2         | 0.70                             | 0.492   | 0.208                        | 29.72  |
|  | 55                      | A3B3         | 0.70                             | 0.438   | 0.262                        | 37.43  |

En el Anexo 17, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para el porcentaje de variación de manganeso. Se ha encontrado que la prueba f (tratamiento) = 14295.24 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente en combinación con diferentes concentraciones de plata coloidal 20 ppm, 35 ppm y 55ppm), esto implica que el porcentaje de variación de manganeso en mg/L son diferentes.

En la tabla 42 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de manganeso del agua cruda de pozo, al nivel de significancia de 5%, con un error de 0.1727 y grado de libertad 18. Donde se aprecia que hay diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos sobre la variación de manganeso. Esta variación se debe por qué a medida que la proporción de jipi de quinua disminuye y la concentración de plata coloidal aumente, el porcentaje de variación de manganeso aumenta gradualmente. Presentándose mejor resultado para el tratamientos A1B3, con el filtro 01 a una proporción de 20% de jipi de quinua y 80 % de arcilla con

una concentración de 55 ppm de plata coloidal, que tienen un mayor rendimiento en cuanto al porcentaje de variación de manganeso con resultado del 94.62 % de variación.

**Tabla 42: Análisis de comparación Duncan en la variación de manganeso**

| <i>PRUEBA DE DUNCAN</i>      |               |          |             |   |
|------------------------------|---------------|----------|-------------|---|
| <i>Error : 0.1727 Gl: 18</i> |               |          |             |   |
| <i>Tratamientos</i>          | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i> |   |
| A1B3                         | 94.62         | 3        | 0.24        | A |
| A1B2                         | 92.09         | 3        | 0.24        | B |
| A1B1                         | 87.29         | 3        | 0.24        | C |
| A2B3                         | 79.24         | 3        | 0.24        | D |
| A2B2                         | 70.19         | 3        | 0.24        | E |
| A1B1                         | 46.57         | 3        | 0.24        | F |
| A3B3                         | 37.43         | 3        | 0.24        | G |
| A3B2                         | 29.72         | 3        | 0.24        | H |
| A3B1                         | 21.71         | 3        | 0.24        | I |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla) (B1 = 20ppm, B2 = 35ppm, B3 = 55ppm)

#### **4.4. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS FILTROS A DIFERENTES PROPORCIONES DE JIPI DE QUINUA Y ARCILLA (20/80%, 30/70% y 40/60%), EN LA VARIACIÓN DEL CAUDAL**

Para la evaluación de la capacidad del filtro cerámico en la capacidad de variación del caudal, se estudió tres proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) (20%, 30%, 40%) y tres proporciones de arcilla (80%, 70%, 60%).

En la Tabla 43, se observa un aumento gradual de la variación del caudal con el incremento de la proporción de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) (20%, 30%, 40%) y la disminución de arcilla (80%, 70%, 60%). El filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua y 80% de arcilla, tuvo una menor variación de caudal con un promedio general de 0.474 L/min, el filtro 02 que presenta una proporción de 30% jipi de quinua y 70% arcilla, tuvo una variación media, con un promedio general de 0.718 L/min y el filtro 03 que presenta una proporción de 40% jipi de quinua y 60 % de arcilla, tuvo una mayor variación de caudal con un promedio general de 0.799 L/min. Con respecto a estos resultados, se demuestra que a mayor proporción de jipi de quinua mayor es la variación de caudal. Los resultados de la investigación en cuanto a la variación de caudal del agua son superiores a los resultados reportados por otras investigaciones, así como Vidal (2010), en su estudio de la efectividad del filtro a base de arcilla, en la potabilización de agua, reporto una velocidad de filtración de 1 a 1.5 L/h de agua tratada.

Así mismo Cartagena (2001), en su investigación “prueba de la aceptación del filtro de cerámica con plata coloidal en el barrio el Ocotol de Guinope Honduras” reporta un caudal promedio de 6.1 - 10 litros por día. Como también Lerma (2011) en su estudio “filtros cerámicos, una alternativa de agua segura” reporta como flujo de filtración de 1.5 l/h. por otra parte Ludeña & Ticono (2010) en su trabajo de investigación “elaboración de un filtro purificador de agua y verificación de su efectividad filtrante” reportaron un caudal de 0.0417 L/h. La variación del caudal es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica con respecto a la cantidad de arcilla presentes en el medio filtrante, donde resulta que mayor presencia de materia orgánica mayor es la tasa de filtración, debido a los poros generados por la materia orgánica en el proceso de cocción tal como reporta Ludeña & Ticono (2010). Como también el caudal del agua en el filtro, permite saber si éste cuenta con la porosidad suficiente como para obtener un flujo de agua eficiente, es decir, que el tiempo de filtrado no tarde demasiado como refiere Lerma (2011). Así mismo el flujo de agua constante en el filtro cerámico es determinante en la variación de la tasa de filtración, debido a la presión del agua constante en el filtro cerámico tal como reporta Astudillo & Aviles (2005).

**Tabla 43: Resultados de la capacidad de filtros a diferentes proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla en la variación del caudal**

| FILTROS                                       | N° DE FILTROS | TRATAMIENTOS | VOL. (L) | TIEMPO PROMEDIO (minutos) | CAUDAL PROMEDIO $\left[ Q = \frac{V(l)}{t(min)} \right]$ | PROMEDIO GENERAL (Q = L/min) |
|---|---------------|--------------|----------|---------------------------|--|------------------------------|
| FILTRO 01 (20 % jipi de quinua -80% arcilla)  | Filtro 01     | A1.1         | 1        | 2.14                      | 0.468  | 0.474                        |
|   | Filtro 02     | A1.2         | 1        | 2.09                      | 0.479  |                              |
|   | Filtro 03     | A1.3         | 1        | 2.11                      | 0.474  |                              |
| FILTRO 02 (30 % jipi de quinua - 70% arcilla) | Filtro 04     | A2.4         | 1        | 1.38                      | 0.725  | 0.718                        |
|   | Filtro 05     | A2.5         | 1        | 1.38                      | 0.727  |                              |
|   | Filtro 06     | A2.6         | 1        | 1.42                      | 0.702  |                              |
| FILTRO 03 (40 % jipi de quinua - 60% arcilla) | Filtro 07     | A3.7         | 1        | 1.23                      | 0.813  | 0.799                        |
|   | Filtro 08     | A3.8         | 1        | 1.28                      | 0.783  |                              |
|   | Filtro 09     | A3.9         | 1        | 1.25                      | 0.802  |                              |

En el Anexo 18, se presenta el análisis de varianza (ANVA), para la variación de caudal del agua. Se ha encontrado que la prueba  $f$  (tratamiento) = 13004.56 >  $f_{0.05;8;18} = 2.51$ , entonces se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto se encontró diferencia estadística altamente significativa ( $P \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos (proporciones de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arcilla 20/80%, 30/70% y 40/60% respectivamente), esto implica que la variación de caudal en l/s son diferentes.

En la tabla 44 se muestra, el método de comparación múltiple de Duncan, en comparación de las medias en la variación de caudal del agua, al nivel de significancia de 5% y con un grado de libertad 18. Donde se aprecia tratamientos con resultados similares que son los tratamientos A2.5, A2.4 que estas no presentan diferencias estadísticamente significativas, es decir el porcentaje de variación del caudal para estos tratamientos son superiores a los tratamientos A2.6, A1.2, A1.3, A1.1, pero inferiores a los tratamientos A3.7, A3.9, A3.8 y que estas presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Esta variación se debe por que a medida que la proporción de jipi de quinua aumenta y la proporción de arcilla disminuye, el porcentaje de variación de caudal aumenta gradualmente. Presentándose como mejor resultado para el tratamiento A3.7 con el filtro 03 a una proporción de 40% de jipi de quinua y 60 % de arcilla que tiene un mayor rendimiento en cuanto a la variación de caudal con 0.813 L/min.

**Tabla 44: Análisis de comparación Duncan en la variación de caudal**

| <i>PRUEBA DE DUNCAN</i>      |               |          |              |          |
|------------------------------|---------------|----------|--------------|----------|
| <i>Error : 0.0000 GI: 18</i> |               |          |              |          |
| <i>Tratamientos</i>          | <i>Medias</i> | <i>n</i> | <i>E.E.</i>  |          |
| <i>A3.7</i>                  | <i>0.813</i>  | <i>3</i> | <i>0.001</i> | <i>A</i> |
| <i>A3.8</i>                  | <i>0.802</i>  | <i>3</i> | <i>0.001</i> | <i>B</i> |
| <i>A3.9</i>                  | <i>0.783</i>  | <i>3</i> | <i>0.001</i> | <i>C</i> |
| <i>A2.5</i>                  | <i>0.727</i>  | <i>3</i> | <i>0.001</i> | <i>D</i> |
| <i>A2.4</i>                  | <i>0.725</i>  | <i>3</i> | <i>0.001</i> | <i>D</i> |
| <i>A2.6</i>                  | <i>0.702</i>  | <i>3</i> | <i>0.001</i> | <i>E</i> |
| <i>A1.2</i>                  | <i>0.479</i>  | <i>3</i> | <i>0.001</i> | <i>F</i> |
| <i>A1.3</i>                  | <i>0.474</i>  | <i>3</i> | <i>0.001</i> | <i>G</i> |
| <i>A1.1</i>                  | <i>0.468</i>  | <i>3</i> | <i>0.001</i> | <i>H</i> |

(A1 = filtro 01 a 20% jipi de quinua – 80% arcilla) (A2 = filtro 02 a 30% jipi de quinua – 70% arcilla) (A3 = filtro 03 a 40% jipi de quinua – 70% arcilla)

## CONCLUSIONES

En la caracterización del agua cruda de pozo (no tratada), se determinó que las características microbiológicas (coliformes totales, coliformes fecales, bacterias heterotróficas) y características fisicoquímicas (conductividad eléctrica, turbiedad, dureza total, calcio, sólidos totales, alcalinidad, cloruros, sulfatos, hierro y manganeso), los cuales no cumplen los límites máximos permisibles que el reglamento MINSA DS N°031-2010-SA establece, por tanto no es apto para su consumo, tampoco para su utilización en procesos agroindustriales.

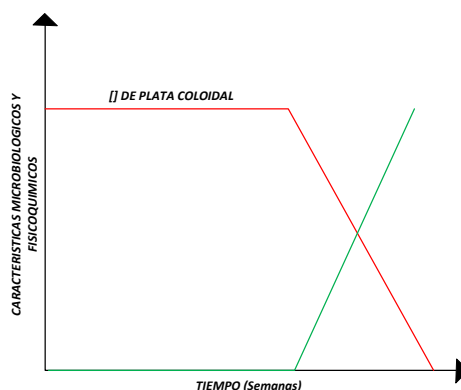
El filtro cerámico (filtro 01) impregnado con plata coloidal a concentración de 55 ppm tienen una mayor efectividad en la eliminación de carga microbiológica del agua cruda de pozo (no tratada), con una eliminación del 100% de coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas. El agua tratada cumple con los límites máximos permisibles que el reglamento MINSA DS N°031-2010-SA exige, obteniendo una buena alternativa para implementarla en la potabilización del agua cruda de pozo para procesos agroindustriales.

En el análisis de efectividad de filtros cerámicos impregnados con plata coloidal a diferentes proporciones de jipi de quinua y arcilla, se determinó que el filtro 01 que presenta una proporción de 20% jipi de quinua y 80 % de arcilla, tiene una mayor efectividad en la variación de características fisicoquímicas del agua cruda de pozo (no tratada). Cumpliendo con los límites máximos permisibles que el reglamento MINSA DS N°031-2010-SA exige. Obteniendo una buena alternativa para implementarla en la potabilización del agua cruda de pozo para procesos agroindustriales.

Se evaluaron la capacidad de los filtros cerámicos a diferentes proporciones de jipi de quinua y arcilla en la variación de caudal, donde se determinaron que los filtros cerámicos tienen las siguientes capacidades de variación de caudal: filtro 01 (20% jipi de quinua - 80% arcilla) tiene en promedio una variación de caudal de 0.474 L/min, filtro 02 (30% jipi de quinua - 70% arcilla) tiene en promedio una variación de caudal de 0.718 L/min y filtro 03 (40% jipi de quinua - 60% arcilla) que tiene en promedio una variación de caudal de 0.799 L/min. Donde se demuestra que a mayor porcentaje de jipi de quinua mayor es la variación de caudal.

## RECOMENDACIONES

Para garantizar la inocuidad de la fuente potabilizada, se recomienda realizar control y monitoreo en un diagrama de calidad fisicoquímica y microbiológica con respecto al tiempo de efectividad de la concentración de plata coloidal.



Para la homogeneidad de jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la formulación, se recomienda utilizar el método de granulometría, ya que de esto depende la porosidad y a su vez el flujo de filtración.

Se recomienda evaluar a escala de laboratorio especializado, el tamaño de porosidad apropiada y homogénea en la elaboración del filtro cerámico.

Se recomienda investigar y analizar el sistema de tratamiento del filtro cerámico impregnado con plata coloidal, en la aplicación para tratamiento de aguas residuales de la agroindustria.

Se recomienda investigar la cantidad y el tiempo de contacto, de la plata coloidal en la eliminación de carga microbiológica y variación fisicoquímica.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANA. (2010). Reglamento de la Ley de Recursos Hidricos Ley N° 29339. *Definicion de Uso Conjunto de Agua Superficial y Subterránea.*, Recuperado el 20 de Enero del 2018, de: <http://ww.ana.gob.pe/media/1097010/reglamento%20lrh%20-%20n%C2%BA%2029338.pdf>.
- Arboleda, J. (2006 ). Eficiencia de los tratamientos físico químicos en la remoción de patógenos del agua. *Metodos de tratamiento de agua.*
- Astudillo O., S., & Aviles A., M. (2005). Elaboración de un filtro cerámico como sistema de purificación de agua para el abastecimiento domestico. *calidad de agua*, Pag. 32. recuperada el 20 de enero del 2018 de: <dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23277/3/tesis.pdf>.
- Bernardo, L. (1993). *Métodos y técnicas de tratamiento de agua*. Rio de Janeiro: ABES S.A. Volumen II.
- Brown, J. M. (2007). effectiveness of ceramic filtration for drinking water treatment in cambodia. *chapel hill*.
- Bruguera, J. (1986). *Manual Práctico de Cerámica*. Barcelona: Ediciones OMEGA S.A.
- Calsin, K. (2016). Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno – 2016. *Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Biología, Facultad de Ciencias Biologicas. Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú*, Pag. 64 p. Recuperado el 15 de Marzo del 2018, de repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano puno.
- Calsina, C. G. (2015). Digestibilidad y valor energético de residuos de quinua “Jipi” En Cuyes”. Recuperado el 12 de Febrero del 2018 de: Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Campbel, E. (2005). Study on life span of ceramic filter colloidal silver pot shaped(CSP) model, Nicaragua. *Potters for Peace*.
- Cañas, R. (1998). Alimentacion y nutrición animal. Colección en Agricultura. *Facultad de agronomía Pontificia Universidad Catolica de Chile*, Pg. 18 – 30.
- Cartagena Baide, J. M. (2001). Prueba de la aceptacion del filtro de cerámica con plata coloidal en el barrio el ocotal de Guinope Honduras. *Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar el titulo de Ingeniero Agrónomo*.
- Casani, S. R. (2005). A Discussion Paper On Challenges And Lim- Itations To Water Use And Hygiene In The Food Industry. *Water Research.*, Pag. 38,1134-1146.

- Clasen, T. F. (2004). Reducing diarrhea through the use of household-based ceramic water filters: a randomized, controlled trial in rural Bolivia. *Am.J. Trop. Med. Hyg.*, cap. 6 - pag. 70.
- Codex Alimentarius - FAO/OMS. (2011). Leche y productos lácteos. *Código de práctica de higiene para la leche y los productos lácteos CAC/RCP 57 - 2004.*, Recuperado el 26 de Enero del 2018: <http://www.fao.org/docrep/015/i2085s/i2085s00.pdf>.
- Coutiño, R., & Pérez, A. (2007). Los compuestos de plata y la salud. Available from: <http://132.248.9.34/hevila/Altepepaktli/2007/vol3/no5/5.pdf>.
- Crites, R. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. *Bogotá-Colombia: Mc Graw*.
- Cuchimaque, C. (2006). Remoción de hierro y manganeso en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre zeolita natural tipo clinoptilalita. recuperado el 22 de enero del 2018, de: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/512/2/119498.pdf>.
- Curasi, L. (2010). Evaluación de la calidad de agua subterránea con fines de consumo doméstico de la ciudad de Puno. *Tesis para optar el título profesional, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Puno - Perú*, Pag. 172.
- Eawag, s. (2003). Desinfección Solar del Agua. *Sodis*, Pag. 19-21. Recuperado el 08 de Febrero del 2018 de: [https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente\\_material/manual\\_s.pdf](https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_s.pdf).
- Escalante, A. L. (2015). Tratamiento de aguas subterráneas y superficiales de Huata, para la Industria de Lácteos. *Tesis para optar el título profesional, Facultad Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú*.
- Fernández, C. (2005). *Filtro cerámico condorhuasi descontaminante de aguas*. Buenos Aires (República Argentina): Ediciones Condorhuasi. Tomo 6. Pag. 157.
- García Miniet, M. (2006). Gestión del agua enfocada a la producción más limpia en la Industria Alimentaria. *Instituto de investigaciones para la Industria Alimenticia*, 04-05.
- Glynn, J. H., & Gary, W. H. (2000). *Ingeniería Ambiental*. México D. F.: Editorial Prentice Hall.
- Granel, C. (2002). Deterioro de la calidad de agua subterránea por el desarrollo poblacional. *Ingeniería, Cancún, Quintana Roo*, 6, 41 – 53.
- Guevara, M. (2000). Evaluación bacteriológica de la calidad de agua de pozos para consumo humano de la localidad de Pilcuyo. *Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno*, Pag. 78.

- Herrera, I., & Quintero, D. (2008). *Microbiología de aguas subterráneas en la Región Sur del Municipio de Valledupar-Cesar*. México : Editorial prentice hall; México, D. F.:
- Hugo, W. (1995). *Inhibition and destruction of the microbial Cell* . London, New York.: Academic Press.
- INEI. (2018). Peru: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Basico. *Acceso a agua para consumo humano, medicion del nivel cloro en el agua que procede de red publica , agua potable por red publica, frecuencia de acceso a agua por red publica, formas de acceso a saneamiento Basico.*, Pag. 5-17. Recuperado el 12 de Agosto del 2018, de: [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe).
- INIA. (2000). Ministerio de Agricultura Chile. Boletin N° 28. *Medición de Presión y Caudal. metodo volumetrico*, Pag. 9 -13. Recuperado el 08 de Febrero del 2018 de: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25635.pdf>.
- Kirby, R. M. (2003). Control de alimentos. *El Agua en la producción y el precesamiento de los alimentos: Preocupaciones de cantidad y calidad.*, Pag. 14, 283- 299.
- Lantagne, D. S. (2001). Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter . *Report 1: Intrinsic Effectiveness. Allston, US*.
- Lerma Arias, D. A. (2011). Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura. *Facultad Ciencias Ambientales Maestria en Ecotecnologia*, Pag. 49.
- Lindemann, P. (2009). *A Closer Look At Colloidal Silver*. from <http://www.elixa.com/silver/lindmn.htm>.
- Ludeña, G. J., & Ticono, T. F. (2010). Formulación de pasta roja para la elaboración de un filtro purificador de agua y verificación de su efectividad filtrante. *revista universitaria tecnica particular de loja*, Pag.4 - 9.
- Madigan, M. (1997). *Biología de los microorganismos*. Madrid: Pretince Hall, Octava edición, pág 986.
- Magdaleno, E. (2007). Sulfanilpropenoatos de plata y oro con potencial actividad farmacológica. Compostela USd, editor.
- Mahlangu, O. M. (2012). Efficiency of silver impregnated porous pot (sipp) filters for production of clean potable water. *Int. J. Environ. Res. Public Health*.
- Marca, S. V. (2011). Comportamiento actual de los agentes de la cadena productiva de quinua en la región Puno. *Dirección Regional Agraria Puno Perú*, Pag. 08.
- Marcó, L. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. *Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción Uruguay*.
- Mayer, L. (1997). "Industria Quimico Organica". . Parte 2da Ed. Roberte S.A. Mexico.

- Metcalf, E. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Madrid: 3ª ed. Mc Graw-Hill.
- MINAGRI. (2015). Manual N° 5. *Medición del Agua. Metodo Volumetrico*, Pag.12. Recuperado el 08 de Febrero del 2018 de: <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>.
- MINAM. (2017). Normas de Estandares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua DS. N° 004-2017. *ECA para Agua, Parametros y Valores Consolidados para Agua Potable.*, Recuperado el 25 de Enero del 2018 de: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>.
- MINSA. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N°031-2010-SA. *Fiscalizacion Sanitaria, Requisitos Sanitarios, Limites Maximos Permisibles.*, Pag. 22 - 28. Recuperado el 18 de Enero del 2018 de Ministerio de Salud: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento\\_calidad\\_agua.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf).
- Miranda Zea, N. (2010). *Tecnología de aguas, tratamiento y control de calidad*. Puno - Perú: Ed. Econocopy.
- Mwabi, J. (2011). a solution to the production of safe drinking water by the low-income communities of southern africa. *Household Water treatment systems*, 1120-1128.
- Norma Mexicana. (1987). Calidad del agua determinación del numero mas probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva. *secretaria de comercio y fomento industrial Norma Mexicana NMX-AA-42-1987. direccion general de normas*.
- OMS . (2003). Oganizacion Mundial de la Salud. *Obtenido de Iron in drinking-water. Documento de referencia para la elaboracion de las guias de la OMS para la calidad deel agua potable*, Ginebra (Suiza): [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf).
- Orozco , M. (2008). Aguas subterráneas de pozos artesanales y efluentes hídricos de la costa de Chiapas (México). *Hig Sanid Ambient*, 348 - 354.
- Otero, M. (1988). Composicao Química dos Materiais Lignocelulósicos. En *celulose e Papel. Vol. I: Tecnologia de Fabricacao da Pasta celulósica*, 45 -106.
- Pacheco, J. (2004). Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán. *México*.
- Padoa, L. (1990). *La Cocción de Productos Cerámicos*. Barcelona : Ediciones OMEGA, S.A.
- Palacios Sanchez, K., & Torres Herrera , L. (2007). Evaluacion de la eficiencia del filtro de cerámica utilizado para la depuración del agua de consumo en la comunidad

- de chacraseca – sector raul cabezas del municipio de leon. *Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua, Leon Facultad de Ciencias, Departamento de Biologia.*
- Pancorbo, F. (1996). Desinfección del agua mediante procedimientos electrofísicos de iones de cobre/plata. p. 125-132.
- Pancorbo, F. (2016). Desinfección del agua mediante procedimientos electrofísicos cobre/plata. Available from: <http://docplayer.es/9610468-Desinfeccion-del-agua-mediante-procedimientoselectrofisicos-cobre-plata.html>.
- Paredes, D. (2011). Estudio del efecto antibacteriano de nanoparticulas de plata sobre Escherichia coli y Staphylococcus aereus. Universidad Industrial de Santander. *Facultad de Ciencia, escuela de química. Bucaramanga, Colombia*, p. 52-54.
- Pauta, G. (2000). *manual de teoría y prácticas de analisis de aguas* . Ecuador .
- Rado, P. (1997). *Introducción a la Tecnología de la Cerámica*. Barcelona: Ediciones OMEGA S.A.
- Reasoner, D. (2015). Curso de Certificacion de Microbiologia (OPS). Recuperado el 22 de Enero del 2018.
- Rigola, L. (2000). Tratamiento de Aguas Industriales. En *Aguas de Proceso y Residuales. Parametros de la Calidad de Aguas*. Mexico D.F.: Ediciones Alfaomega.
- Rivera, R. (2001). Plata coloidal. *Potters For Peace. Correspondencia personal*.
- Rodier, J. (1998). *Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. España: Ediciones Omega S.A.
- Rodriguez, V. F. (2003). *Procesos de potabilizacion del agua. desinfeccion de agua y tratamientos de agua*. España: Ediciones Dias Santos S.A.
- Ros Moreno, A. (2010). H<sub>2</sub>O - EL AGUA. En *parametros de calidad del agua* (págs. 24 - 51). Barcelona: Ed. Reverte S.A.
- Russell, A. D. (1994). Anttimicrobial Activity an Action of Silver. *Progress in Medicinal Chemistry*, Volume 31.
- Salle, A. J. (2000). Bacteriología. *Segunda edición Revolucionaria la Habana.*, Pág. 591.
- Santiago, F. (2000). Manual de potabilización de aguas. *Centro de información de agua y saneamiento*, Ed. Academia.
- Sarmiento, A. (2002). Investigacion de trihalometanos en agua potable del Estado Carabobo, Venezuela. *Centro de Investigaciones Toxicológicas de la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela*.
- Seoáñez, M. (2004). *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*. Madrid: Grupo Mundi Prensa.

- Severiche, C., & Gonzales, H. (2012). Evaluacion analitica para la determinacion de sulfatos en agua por método turbidimétrico modificado. *Colombia: USBmed*.
- Severiche, C., & González, U. (2012). *Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado*. Colombia: Aguas de Cartagena SA. Vol. 3, No. 2.
- Sierra Ramirez, C. A. (2011). *Calidad del agua, evaluacion y diagnostico*. Colombia: Universidad de Medellín.: (L. D. López Escobar, Ed.).(primera ed.).
- Ticona, M. (2003). Alternativas de fertilización y abonamiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Tesis de grado. Universidad Nacional del Altiplano*.
- Tinoco Martínez, G. (2016). El agua en la industria alimentaria. *Ciencia y tecnología de los alimentos*.
- Valero, M. (2001). La Desalación como Alternativa al Plan Hidrológico Nacional. *CIRCE-Universidad de Zaragoza*.
- Vence, L. (2009). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz San Diego, Colombia. *Revista Agro Ambiental* , 3(2).
- Vidal Henao, S. M. (2010). Evaluacion de la efectividad del filtro a base de arcilla y plata coloidal en la potabilizacion de agua. *Universidad Tecnológica de Pereira Programa de Tecnología Química*.
- Vittel, C. (1998). *Cerámica (Pastas y Vidriados)*. Madrid: Ediciones PARANINFO S.A.
- Walker, L., & Wilson, D. (1991). Enzymatic Hydrolysis of Cellulose. *An Overview, Bioresource Technology*, Pág. 36, 3-14.
- Webb, J. L. (1997). *Enzyme and Metabolic Inhibitors: General Principles of Inhibition*. Academic Ress, New York an London: Volume 1.



## ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS RECOPIADOS DE ELIMINACIÓN DE CARGA  
MICROBIOLÓGICA DEL AGUA CRUDA DE POZO

## A. COLIFORMES TOTALES

Tabla 45: Datos de eliminación de coliformes totales

| REPETICION | COLIFORMES TOTALES ( NMP/100 ml) |      |      |               |      |      |               |      |      |
|------------|----------------------------------|------|------|---------------|------|------|---------------|------|------|
|            | TRATAMIENTO 1                    |      |      | TRATAMIENTO 2 |      |      | TRATAMIENTO 3 |      |      |
|            | A1B1                             | A1B2 | A1B3 | A2B1          | A2B2 | A2B3 | A3B1          | A3B2 | A3B2 |
| R-1        | 210                              | 0    | 0    | 380           | 0    | 0    | 1300          | 380  | 130  |
| R-2        | 210                              | 0    | 0    | 440           | 0    | 0    | 1300          | 380  | 130  |
| R-3        | 120                              | 0    | 0    | 440           | 0    | 0    | 1300          | 380  | 130  |
| PROMEDIO   | 180                              | 0    | 0    | 420           | 0    | 0    | 1300          | 380  | 130  |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de ecología acuática de Biología, (2018).

Tabla 46: Datos del porcentaje de eliminación de coliformes totales

| REPETICION | COLIFORMES TOTALES (%) |      |      |               |      |      |               |       |       |
|------------|------------------------|------|------|---------------|------|------|---------------|-------|-------|
|            | TRATAMIENTO 1          |      |      | TRATAMIENTO 2 |      |      | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|            | A1B1                   | A1B2 | A1B3 | A2B1          | A2B2 | A2B3 | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1        | 91.25                  | 100  | 100  | 84.17         | 100  | 100  | 45.84         | 84.17 | 94.58 |
| R-2        | 91.25                  | 100  | 100  | 81.67         | 100  | 100  | 45.84         | 84.17 | 94.58 |
| R-3        | 95.00                  | 100  | 100  | 81.67         | 100  | 100  | 45.84         | 84.17 | 94.58 |
| PROMEDIO   | 92.50                  | 100  | 100  | 82.50         | 100  | 100  | 45.84         | 84.17 | 94.58 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de ecología acuática de Biología, (2018).

## B. COLIFORMES FECALES

Tabla 47: Datos de eliminación de coliformes fecales

| REPETICION | COLIFORMES FECALES ( NMP/100ml) |      |      |               |      |      |               |      |      |
|------------|---------------------------------|------|------|---------------|------|------|---------------|------|------|
|            | TRATAMIENTO 1                   |      |      | TRATAMIENTO 2 |      |      | TRATAMIENTO 3 |      |      |
|            | A1B1                            | A1B2 | A1B3 | A2B1          | A2B2 | A2B3 | A3B1          | A3B2 | A3B2 |
| R-1        | 43                              | 0    | 0    | 120           | 0    | 0    | 240           | 120  | 64   |
| R-2        | 43                              | 0    | 0    | 150           | 0    | 0    | 210           | 120  | 64   |
| R-3        | 23                              | 0    | 0    | 150           | 0    | 0    | 240           | 120  | 64   |
| PROMEDIO   | 36.33                           | 0    | 0    | 140           | 0    | 0    | 230           | 120  | 64   |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de ecología acuática de Biología, (2018).

Tabla 48: Datos del porcentaje de eliminación de coliformes fecales

| REPETICION | COLIFORMES FECALES (%) |      |      |               |      |      |               |       |       |
|------------|------------------------|------|------|---------------|------|------|---------------|-------|-------|
|            | TRATAMIENTO 1          |      |      | TRATAMIENTO 2 |      |      | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|            | A1B1                   | A1B2 | A1B3 | A2B1          | A2B2 | A2B3 | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1        | 96.69                  | 100  | 100  | 90.77         | 100  | 100  | 81.54         | 90.77 | 95.08 |
| R-2        | 96.69                  | 100  | 100  | 88.46         | 100  | 100  | 83.85         | 90.77 | 95.08 |
| R-3        | 98.23                  | 100  | 100  | 88.46         | 100  | 100  | 81.54         | 90.77 | 95.08 |
| PROMEDIO   | 97.20                  | 100  | 100  | 89.23         | 100  | 100  | 82.31         | 90.77 | 95.08 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de ecología acuática de Biología, (2018).



## C. BACTERIAS HETEROTRÓFICAS

Tabla 49: Datos de eliminación de bacterias heterotróficas

| REPETICION | BACTERIAS HETEROTRÓFICAS (UFC/ml) |      |      |               |      |      |               |        |      |
|------------|-----------------------------------|------|------|---------------|------|------|---------------|--------|------|
|            | TRATAMIENTO 1                     |      |      | TRATAMIENTO 2 |      |      | TRATAMIENTO 3 |        |      |
|            | A1B1                              | A1B2 | A1B3 | A2B1          | A2B2 | A2B3 | A3B1          | A3B2   | A3B2 |
| R-1        | 20                                | 0    | 0    | 65            | 0    | 0    | 360           | 120    | 52   |
| R-2        | 22                                | 0    | 0    | 66            | 0    | 0    | 365           | 120    | 50   |
| R-3        | 22                                | 0    | 0    | 66            | 0    | 0    | 365           | 122    | 51   |
| PROMEDIO   | 21.33                             | 0    | 0    | 65.67         | 0    | 0    | 363.33        | 120.67 | 51   |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de ecología acuática de Biología, (2018).

Tabla 50: Datos del porcentaje de eliminación de bacterias heterotróficas

| REPETICION | BACTERIAS HETEROTRÓFICAS (%) |      |      |               |      |      |               |       |       |
|------------|------------------------------|------|------|---------------|------|------|---------------|-------|-------|
|            | TRATAMIENTO 1                |      |      | TRATAMIENTO 2 |      |      | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|            | A1B1                         | A1B2 | A1B3 | A2B1          | A2B2 | A2B3 | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1        | 97.04                        | 100  | 100  | 90.37         | 100  | 100  | 46.67         | 82.22 | 92.30 |
| R-2        | 96.74                        | 100  | 100  | 90.22         | 100  | 100  | 45.93         | 82.22 | 92.59 |
| R-3        | 96.74                        | 100  | 100  | 90.22         | 100  | 100  | 45.93         | 81.93 | 92.44 |
| PROMEDIO   | 96.84                        | 100  | 100  | 90.27         | 100  | 100  | 46.18         | 82.12 | 92.44 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de ecología acuática de Biología, (2018).

## ANEXO 2: RESULTADOS RECOPIADOS DE LA VARIACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA CRUDA DE POZO

## A. TURBIEDAD

Tabla 51: Datos de la variación de turbiedad

| REPETICION | TURBIEDAD (NTU) |       |       |               |      |      |               |      |      |
|------------|-----------------|-------|-------|---------------|------|------|---------------|------|------|
|            | TRATAMIENTO 1   |       |       | TRATAMIENTO 2 |      |      | TRATAMIENTO 3 |      |      |
|            | A1B1            | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2 | A2B3 | A3B1          | A3B2 | A3B2 |
| R-1        | 0.038           | 0.037 | 0.036 | 0.45          | 0.44 | 0.44 | 3.12          | 3.07 | 3.07 |
| R-2        | 0.038           | 0.038 | 0.036 | 0.45          | 0.45 | 0.45 | 3.12          | 3.07 | 3.07 |
| R-3        | 0.039           | 0.037 | 0.037 | 0.46          | 0.45 | 0.44 | 3.13          | 3.08 | 3.07 |
| PROMEDIO   | 0.038           | 0.037 | 0.036 | 0.45          | 0.45 | 0.44 | 3.12          | 3.07 | 3.07 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

Tabla 52: Datos del porcentaje de variación de la turbiedad

| REPETICION | TURBIEDAD (%) |       |       |               |       |       |               |       |       |
|------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|            | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|            | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1        | 99.42         | 99.43 | 99.45 | 93.10         | 93.25 | 93.25 | 52.15         | 52.91 | 52.91 |
| R-2        | 99.42         | 99.42 | 99.45 | 93.10         | 93.10 | 93.10 | 52.15         | 52.91 | 52.91 |
| R-3        | 99.40         | 99.43 | 99.43 | 92.94         | 93.10 | 93.25 | 51.99         | 52.76 | 52.91 |
| PROMEDIO   | 99.41         | 99.43 | 99.44 | 93.05         | 93.15 | 93.20 | 52.10         | 52.86 | 52.91 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**B. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA****Tabla 53: Datos de la variación de conductividad eléctrica**

| CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|---|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION  | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|   | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1   | 900.0         | 880.0 | 900.0 | 840.0         | 860.0 | 880.0 | 830.0         | 850.0 | 880.0 |
| R-2   | 880.0         | 900.0 | 900.0 | 840.0         | 870.0 | 880.0 | 830.0         | 850.0 | 890.0 |
| R-3   | 880.0         | 900.0 | 900.0 | 840.0         | 870.0 | 880.0 | 830.0         | 850.0 | 890.0 |
| <b>PROMEDIO</b>                                     | 886.7         | 893.3 | 900.0 | 840.0         | 866.7 | 880.0 | 830.0         | 850.0 | 886.7 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**Tabla 54: Datos del porcentaje de variación de conductividad eléctrica**

| CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (%) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION                  | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                             | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1                         | 45.45         | 46.67 | 45.5  | 49.09         | 47.88 | 46.67 | 49.70         | 48.48 | 46.67 |
| R-2                         | 46.67         | 45.45 | 45.5  | 49.09         | 47.27 | 46.67 | 49.70         | 48.48 | 46.06 |
| R-3                         | 46.67         | 45.45 | 45.5  | 49.09         | 47.27 | 46.67 | 49.70         | 48.48 | 46.06 |
| <b>PROMEDIO</b>             | 46.26         | 45.86 | 45.45 | 49.09         | 47.47 | 46.67 | 49.70         | 48.48 | 46.26 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**C. POTENCIAL DE HIDROGENO****Tabla 55: Datos de la variación de potencial de hidrogeno**

| POTENCIAL DE HIDROGENO |               |      |      |               |      |      |               |      |      |
|------------------------|---------------|------|------|---------------|------|------|---------------|------|------|
| REPETICION             | TRATAMIENTO 1 |      |      | TRATAMIENTO 2 |      |      | TRATAMIENTO 3 |      |      |
|                        | A1B1          | A1B2 | A1B3 | A2B1          | A2B2 | A2B3 | A3B1          | A3B2 | A3B2 |
| R-1                    | 6.7           | 6.8  | 6.8  | 6.8           | 6.9  | 7.1  | 7.4           | 7.6  | 7.6  |
| R-2                    | 6.7           | 6.8  | 6.9  | 6.8           | 6.9  | 7.1  | 7.4           | 7.6  | 7.7  |
| R-3                    | 6.7           | 6.8  | 6.9  | 6.8           | 6.8  | 7.0  | 7.5           | 7.6  | 7.7  |
| <b>PROMEDIO</b>        | 6.70          | 6.80 | 6.87 | 6.80          | 6.87 | 7.07 | 7.43          | 7.60 | 7.67 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**Tabla 56: Datos del porcentaje de variación del potencial de hidrogeno**

| POTENCIAL DE HIDROGENO (%) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|----------------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION                 | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                            | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1                        | 23.86         | 22.73 | 22.73 | 22.73         | 21.59 | 19.32 | 15.91         | 13.64 | 13.64 |
| R-2                        | 23.86         | 22.73 | 21.59 | 22.73         | 21.59 | 19.32 | 15.91         | 13.64 | 12.50 |
| R-3                        | 23.86         | 22.73 | 21.59 | 22.73         | 22.73 | 20.5  | 14.77         | 13.64 | 12.50 |
| <b>PROMEDIO</b>            | 23.86         | 22.73 | 21.97 | 22.73         | 21.97 | 19.70 | 15.53         | 13.64 | 12.88 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

## D. SÓLIDOS TOTALES

Tabla 57: Datos de la variación de sólidos totales

| REPETICION      | SÓLIDOS TOTALES (mg/L) |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|------------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                 | TRATAMIENTO 1          |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1                   | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 440.0                  | 440.0 | 420.0 | 450.0         | 440.0 | 430.0 | 470.0         | 470.0 | 460.0 |
| R-2             | 440.0                  | 430.0 | 420.0 | 450.0         | 440.0 | 430.0 | 480.0         | 460.0 | 450.0 |
| R-3             | 440.0                  | 430.0 | 420.0 | 450.0         | 450.0 | 420.0 | 480.0         | 460.0 | 450.0 |
| <b>PROMEDIO</b> | 440.0                  | 433.3 | 420.0 | 450.0         | 443.3 | 426.7 | 476.7         | 463.3 | 453.3 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

Tabla 58: Datos del porcentaje de variación de sólidos totales

| REPETICION      | SÓLIDOS TOTALES (%) |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|---------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                 | TRATAMIENTO 1       |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1                | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 35.33               | 35.33 | 37.31 | 32.84         | 34.33 | 35.82 | 29.85         | 29.85 | 31.34 |
| R-2             | 35.33               | 35.82 | 37.31 | 32.84         | 34.33 | 35.82 | 28.36         | 31.34 | 32.84 |
| R-3             | 35.33               | 35.82 | 37.31 | 32.84         | 32.84 | 37.31 | 28.36         | 31.34 | 32.84 |
| <b>PROMEDIO</b> | 35.33               | 35.66 | 37.31 | 32.84         | 33.83 | 36.32 | 28.86         | 30.84 | 32.34 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

## E. DUREZA TOTAL

Tabla 59: Datos de la variación de dureza total

| REPETICION      | DUREZA TOTAL CaCO <sub>3</sub> (mg/L) |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|---------------------------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                 | TRATAMIENTO 1                         |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1                                  | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 205.2                                 | 203.3 | 201.4 | 216.6         | 209.0 | 205.2 | 252.3         | 248.0 | 229.0 |
| R-2             | 205.2                                 | 203.3 | 201.4 | 216.6         | 209.0 | 205.2 | 252.3         | 247.2 | 229.0 |
| R-3             | 207.1                                 | 203.3 | 201.4 | 212.8         | 207.1 | 205.2 | 253.2         | 248.0 | 228.9 |
| <b>PROMEDIO</b> | 205.8                                 | 203.3 | 201.4 | 215.3         | 208.4 | 205.2 | 252.6         | 247.7 | 229.0 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

Tabla 60: Datos del porcentaje de variación de dureza total

| REPETICION      | DUREZA TOTAL CaCO <sub>3</sub> (%) |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|------------------------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                 | TRATAMIENTO 1                      |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1                               | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 57.43                              | 57.82 | 58.22 | 55.06         | 56.64 | 57.43 | 47.66         | 48.55 | 52.49 |
| R-2             | 57.43                              | 57.82 | 58.22 | 55.06         | 56.64 | 57.43 | 47.66         | 48.71 | 52.49 |
| R-3             | 57.03                              | 57.82 | 58.22 | 55.85         | 57.03 | 57.43 | 47.47         | 48.55 | 52.51 |
| <b>PROMEDIO</b> | 57.30                              | 57.82 | 58.22 | 55.32         | 56.77 | 57.43 | 47.60         | 48.60 | 52.50 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

## F. CALCIO

Tabla 61: Datos de la variación de calcio

| CALCIO $Ca^{++}$ (mg/L) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-------------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION              | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                         | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1                     | 25.20         | 15.68 | 12.92 | 44.96         | 35.84 | 25.20 | 62.56         | 58.00 | 50.40 |
| R-2                     | 25.20         | 15.68 | 12.92 | 44.96         | 35.84 | 26.72 | 62.56         | 58.00 | 50.40 |
| R-3                     | 25.20         | 15.68 | 12.16 | 44.96         | 34.32 | 26.72 | 63.32         | 58.76 | 48.88 |
| <b>PROMEDIO</b>         | 25.20         | 15.68 | 12.67 | 44.96         | 35.33 | 26.21 | 62.81         | 58.25 | 49.89 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

Tabla 62: Datos del porcentaje de variación de calcio

| CALCIO $Ca^{++}$ (%) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|----------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION           | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                      | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1                  | 79.87         | 87.48 | 89.68 | 64.09         | 71.37 | 79.87 | 50.56         | 53.67 | 59.74 |
| R-2                  | 79.87         | 87.48 | 89.68 | 64.09         | 71.37 | 78.66 | 50.56         | 53.67 | 59.74 |
| R-3                  | 79.87         | 87.48 | 90.29 | 64.09         | 72.59 | 78.66 | 49.42         | 53.07 | 60.96 |
| <b>PROMEDIO</b>      | 79.87         | 87.48 | 89.88 | 64.09         | 71.78 | 79.06 | 50.18         | 53.47 | 60.15 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

## G. ALCALINIDAD

Tabla 63: Datos de la variación de alcalinidad

| ALCALINIDAD (mg/L) |               |       |       |               |       |       |               |        |        |
|--------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|--------|--------|
| REPETICION         | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |        |        |
|                    | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2   | A3B2   |
| R-1                | 76.48         | 58.83 | 50.01 | 111.78        | 92.95 | 84.48 | 229.90        | 211.78 | 150.25 |
| R-2                | 76.48         | 58.83 | 50.01 | 111.78        | 94.13 | 84.48 | 229.90        | 211.78 | 150.25 |
| R-3                | 76.48         | 58.83 | 50.01 | 111.78        | 94.13 | 84.48 | 229.90        | 211.78 | 150.25 |
| <b>PROMEDIO</b>    | 76.48         | 58.83 | 50.01 | 111.78        | 93.74 | 84.48 | 229.90        | 211.78 | 150.25 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

Tabla 64: Datos del porcentaje de variación de alcalinidad

| ALCALINIDAD (%) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION      | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 69.05         | 76.19 | 79.76 | 54.76         | 62.38 | 65.81 | 6.95          | 14.29 | 39.19 |
| R-2             | 69.05         | 76.19 | 79.76 | 54.76         | 61.90 | 65.81 | 6.95          | 14.29 | 39.19 |
| R-3             | 69.05         | 76.19 | 79.76 | 54.76         | 61.90 | 65.81 | 6.95          | 14.29 | 39.19 |
| <b>PROMEDIO</b> | 69.05         | 76.19 | 79.76 | 54.76         | 62.06 | 65.81 | 6.95          | 14.29 | 39.19 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**H. CLORURO****Tabla 65: Datos de la variación de cloruro**

| CLORURO Cl <sup>-</sup> (mg/L) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|--------------------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION                     | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                                | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1                            | 127.7         | 126.2 | 123.4 | 136.2         | 127.7 | 124.8 | 170.5         | 154.8 | 132.8 |
| R-2                            | 126.2         | 124.8 | 123.4 | 133.3         | 127.7 | 124.8 | 170.5         | 154.8 | 129.2 |
| R-3                            | 126.2         | 124.8 | 123.4 | 130.5         | 127.7 | 124.8 | 170.5         | 154.8 | 129.2 |
| <b>PROMEDIO</b>                | 126.7         | 125.3 | 123.4 | 133.3         | 127.6 | 124.8 | 170.5         | 154.8 | 130.4 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**Tabla 66: Datos del porcentaje de variación de cloruro**

| CLORURO Cl <sup>-</sup> (%) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION                  | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                             | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1                         | 45.91         | 46.51 | 47.71 | 42.30         | 45.91 | 47.11 | 27.76         | 34.40 | 43.72 |
| R-2                         | 46.51         | 47.11 | 47.71 | 43.50         | 45.91 | 47.11 | 27.76         | 34.40 | 45.28 |
| R-3                         | 46.51         | 47.11 | 47.71 | 44.71         | 45.91 | 47.11 | 27.76         | 34.40 | 45.28 |
| <b>PROMEDIO</b>             | 46.31         | 46.91 | 47.71 | 43.50         | 45.91 | 47.11 | 27.76         | 34.40 | 44.76 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**I. SULFATOS****Tabla 67: Datos de la variación de sulfatos**

| SULFATOS (mg/L) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION      | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 56.28         | 53.68 | 50.13 | 77.64         | 72.20 | 67.88 | 95.20         | 88.72 | 88.77 |
| R-2             | 56.28         | 53.68 | 49.78 | 77.64         | 72.00 | 68.88 | 95.20         | 89.78 | 87.85 |
| R-3             | 56.28         | 53.68 | 49.78 | 77.64         | 72.00 | 68.88 | 95.35         | 89.78 | 87.85 |
| <b>PROMEDIO</b> | 56.28         | 53.68 | 49.90 | 77.64         | 72.07 | 68.55 | 95.25         | 89.43 | 88.16 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**Tabla 68: Datos del porcentaje de variación de sulfatos**

| SULFATOS (%)    |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION      | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 46.40         | 48.88 | 52.26 | 26.06         | 31.24 | 35.35 | 9.33          | 15.50 | 15.46 |
| R-2             | 46.40         | 48.88 | 52.59 | 26.06         | 31.43 | 34.40 | 9.33          | 14.50 | 16.33 |
| R-3             | 46.40         | 48.88 | 52.59 | 26.06         | 31.43 | 34.40 | 9.19          | 14.50 | 16.33 |
| <b>PROMEDIO</b> | 46.40         | 48.88 | 52.48 | 26.06         | 31.37 | 34.72 | 9.28          | 14.83 | 16.04 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**J. HIERRO****Tabla 69: Datos de la variación de hierro**

| REPETICION      | HIERRO (mg/L) |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                 | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 0.153         | 0.074 | 0.041 | 0.308         | 0.202 | 0.122 | 0.365         | 0.324 | 0.305 |
| R-2             | 0.154         | 0.073 | 0.041 | 0.308         | 0.203 | 0.122 | 0.365         | 0.324 | 0.304 |
| R-3             | 0.153         | 0.073 | 0.042 | 0.307         | 0.202 | 0.122 | 0.362         | 0.324 | 0.305 |
| <b>PROMEDIO</b> | 0.153         | 0.073 | 0.041 | 0.308         | 0.202 | 0.122 | 0.364         | 0.324 | 0.305 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**Tabla 70: Datos del porcentaje de variación de hierro**

| REPETICION      | HIERRO (%)    |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                 | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 63.57         | 82.38 | 90.24 | 26.67         | 51.90 | 70.95 | 13.10         | 22.86 | 27.38 |
| R-2             | 63.33         | 82.62 | 90.24 | 26.67         | 51.67 | 70.95 | 13.10         | 22.86 | 27.62 |
| R-3             | 63.57         | 82.62 | 90.00 | 26.90         | 51.90 | 70.95 | 13.81         | 22.86 | 27.38 |
| <b>PROMEDIO</b> | 63.49         | 82.54 | 90.16 | 26.75         | 51.82 | 70.95 | 13.34         | 22.86 | 27.46 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**K. MANGANESO****Tabla 71: Datos de la variación de manganeso**

| REPETICION      | MANGANESO (mg/L) |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                 | TRATAMIENTO 1    |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1             | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 0.089            | 0.055 | 0.038 | 0.374         | 0.209 | 0.146 | 0.548         | 0.502 | 0.438 |
| R-2             | 0.089            | 0.056 | 0.037 | 0.374         | 0.208 | 0.145 | 0.548         | 0.487 | 0.438 |
| R-3             | 0.089            | 0.055 | 0.038 | 0.374         | 0.209 | 0.145 | 0.548         | 0.487 | 0.438 |
| <b>PROMEDIO</b> | 0.089            | 0.055 | 0.038 | 0.374         | 0.209 | 0.145 | 0.548         | 0.492 | 0.438 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**Tabla 72: Datos del porcentaje de Variación de Manganeso**

| REPETICION      | MANGANESO (%) |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                 | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1B1          | A1B2  | A1B3  | A2B1          | A2B2  | A2B3  | A3B1          | A3B2  | A3B2  |
| R-1             | 87.29         | 92.14 | 94.57 | 46.57         | 70.14 | 79.14 | 21.71         | 28.29 | 37.43 |
| R-2             | 87.29         | 92.00 | 94.71 | 46.57         | 70.29 | 79.29 | 21.71         | 30.43 | 37.43 |
| R-3             | 87.29         | 92.14 | 94.57 | 46.57         | 70.14 | 79.29 | 21.71         | 30.43 | 37.43 |
| <b>PROMEDIO</b> | 87.29         | 92.09 | 94.62 | 46.57         | 70.19 | 79.24 | 21.71         | 29.72 | 37.43 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**ANEXO 3: RESULTADOS RECOPIADOS DE LA VARIACIÓN DE CAUDAL DEL AGUA A DIFERENTES TRATAMIENTOS**

**Tabla 73: Datos obtenidos de la variación del caudal del agua**

| CAUDAL (l/min.) |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
|-----------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| REPETICION      | TRATAMIENTO 1 |       |       | TRATAMIENTO 2 |       |       | TRATAMIENTO 3 |       |       |
|                 | A1.1          | A1.2  | A1.3  | A2.1          | A2.2  | A2.3  | A3.1          | A3.2  | A3.3  |
| R-1             | 0.467         | 0.478 | 0.474 | 0.725         | 0.725 | 0.704 | 0.813         | 0.781 | 0.800 |
| R-2             | 0.469         | 0.478 | 0.474 | 0.725         | 0.730 | 0.699 | 0.813         | 0.781 | 0.800 |
| R-3             | 0.467         | 0.481 | 0.474 | 0.725         | 0.725 | 0.704 | 0.813         | 0.787 | 0.806 |
| <b>PROMEDIO</b> | 0.468         | 0.479 | 0.474 | 0.725         | 0.727 | 0.702 | 0.813         | 0.783 | 0.802 |

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos de Agronomía, (2018).

**ANEXO 4: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE COLIFORMES TOTALES**

**Tabla 74: Análisis de varianza para la eliminación de coliformes totales**

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                          |                           |                        |          |                |             |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------|----------------|-------------|
| <i>Factor de varianza</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Cuadrado medios</i> | <i>F</i> | <i>P-Valor</i> | <i>Sig.</i> |
| <i>Tratamientos</i>       | 7366.46                  | 8                         | 920.81                 | 1227.75  | < 0.0001       | **          |
| <i>Error</i>              | 13.54                    | 18                        | 0.75                   |          |                |             |
| <i>Total</i>              | 7380.00                  | 26                        |                        |          |                |             |

**ANEXO 5: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE COLIFORMES FECALES**

**Tabla 75: Análisis de varianza para la eliminación de coliformes fecales**

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                          |                           |                        |          |                |             |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------|----------------|-------------|
| <i>Factor de varianza</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Cuadrado medios</i> | <i>F</i> | <i>P-Valor</i> | <i>Sig.</i> |
| <i>Tratamientos</i>       | 951.19                   | 8                         | 118.90                 | 247.71   | < 0.0001       | **          |
| <i>Error</i>              | 8.70                     | 18                        | 0.48                   |          |                |             |
| <i>Total</i>              | 959.89                   | 26                        |                        |          |                |             |

**ANEXO 6: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE BACTERIAS HETEROTRÓFICAS**

**Tabla 76: Análisis de varianza para la eliminación de bacterias heterotróficas**

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                          |                           |                        |          |                |             |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------|----------------|-------------|
| <i>Factor de varianza</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Cuadrado medios</i> | <i>F</i> | <i>P-Valor</i> | <i>Sig.</i> |
| <i>Tratamientos</i>       | 7304.53                  | 8                         | 913.07                 | 30435.67 | < 0.0001       | **          |
| <i>Error</i>              | 0.54                     | 18                        | 0.03                   |          |                |             |
| <i>Total</i>              | 7305.07                  | 26                        |                        |          |                |             |



**ANEXO 7: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LA TURBIEDAD**

**Tabla 77: Análisis de varianza para la variación de la turbiedad**

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                          |                           |                        |                  |                    |             |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|--------------------|-------------|
| <i>Factor de varianza</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Cuadrado medios</i> | <i>F</i>         | <i>P-Valor</i>     | <i>Sig.</i> |
| <i>Tratamientos</i>       | <i>11615.65</i>          | <i>8</i>                  | <i>1451.96</i>         | <i>329990.91</i> | <i>&lt; 0.0001</i> | <i>**</i>   |
| <i>Error</i>              | <i>0.08</i>              | <i>18</i>                 | <i>0.0044</i>          |                  |                    |             |
| <i>Total</i>              | <i>11615.73</i>          | <i>26</i>                 |                        |                  |                    |             |

**ANEXO 8: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

**Tabla 78: Análisis de varianza para la variación de conductividad eléctrica**

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                          |                           |                        |              |                    |             |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|--------------|--------------------|-------------|
| <i>Factor de varianza</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Cuadrado medios</i> | <i>F</i>     | <i>P-Valor</i>     | <i>Sig.</i> |
| <i>Tratamientos</i>       | <i>54.71</i>             | <i>8</i>                  | <i>6.84</i>            | <i>48.86</i> | <i>&lt; 0.0001</i> | <i>**</i>   |
| <i>Error</i>              | <i>2.48</i>              | <i>18</i>                 | <i>0.14</i>            |              |                    |             |
| <i>Total</i>              | <i>57.19</i>             | <i>26</i>                 |                        |              |                    |             |

**ANEXO 9: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DEL POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)**

**Tabla 79: Análisis de varianza para la variación del potencial de hidrogeno (pH)**

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                          |                           |                        |               |                    |             |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|---------------|--------------------|-------------|
| <i>Factor de varianza</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Cuadrado medios</i> | <i>F</i>      | <i>P-Valor</i>     | <i>Sig.</i> |
| <i>Tratamientos</i>       | <i>438.07</i>            | <i>8</i>                  | <i>54.76</i>           | <i>228.17</i> | <i>&lt; 0.0001</i> | <i>**</i>   |
| <i>Error</i>              | <i>4.39</i>              | <i>18</i>                 | <i>0.24</i>            |               |                    |             |
| <i>Total</i>              | <i>442.46</i>            | <i>26</i>                 |                        |               |                    |             |

**ANEXO 10: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LA DUREZA TOTAL**

**Tabla 80: Análisis de varianza para la variación de la dureza total**

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                          |                           |                        |                |                    |             |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|--------------------|-------------|
| <i>Factor de varianza</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Cuadrado medios</i> | <i>F</i>       | <i>P-Valor</i>     | <i>Sig.</i> |
| <i>Tratamientos</i>       | <i>400.24</i>            | <i>8</i>                  | <i>50.03</i>           | <i>1250.75</i> | <i>&lt; 0.0001</i> | <i>**</i>   |
| <i>Error</i>              | <i>0.67</i>              | <i>18</i>                 | <i>0.04</i>            |                |                    |             |
| <i>Total</i>              | <i>400.91</i>            | <i>26</i>                 |                        |                |                    |             |

**ANEXO 11: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE  
CALCIO**

**Tabla 81: Análisis de varianza para la variación de calcio**

| ANÁLISIS DE VARIANZA          |                              |                                   |                            |          |                |             |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|----------------|-------------|
| <i>Factor de<br/>varianza</i> | <i>Suma de<br/>cuadrados</i> | <i>Grados<br/>de<br/>libertad</i> | <i>Cuadrado<br/>medios</i> | <i>F</i> | <i>P-Valor</i> | <i>Sig.</i> |
| Tratamientos                  | 5033.27                      | 8                                 | 629.16                     | 2621.5   | < 0.0001       | **          |
| Error                         | 4.32                         | 18                                | 0.24                       |          |                |             |
| Total                         | 5037.59                      | 26                                |                            |          |                |             |

**ANEXO 12: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE  
SOLIDOS TOTALES**

**Tabla 82: Análisis de varianza para la variación de sólidos totales**

| ANÁLISIS DE VARIANZA          |                              |                                   |                            |          |                |             |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|----------------|-------------|
| <i>Factor de<br/>varianza</i> | <i>Suma de<br/>cuadrados</i> | <i>Grados<br/>de<br/>libertad</i> | <i>Cuadrado<br/>medios</i> | <i>F</i> | <i>P-Valor</i> | <i>Sig.</i> |
| Tratamientos                  | 181.77                       | 8                                 | 22.72                      | 54.10    | < 0.0001       | **          |
| Error                         | 7.58                         | 18                                | 0.42                       |          |                |             |
| Total                         | 189.35                       | 26                                |                            |          |                |             |

**ANEXO 13: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE  
ALCALINIDAD**

**Tabla 83: Análisis de varianza para la variación de alcalinidad**

| ANÁLISIS DE VARIANZA          |                              |                                   |                            |           |                |             |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------|----------------|-------------|
| <i>Factor de<br/>varianza</i> | <i>Suma de<br/>cuadrados</i> | <i>Grados<br/>de<br/>libertad</i> | <i>Cuadrado<br/>medios</i> | <i>F</i>  | <i>P-Valor</i> | <i>Sig.</i> |
| Tratamientos                  | 16684.97                     | 8                                 | 2085.62                    | 208562.00 | < 0.0001       | **          |
| Error                         | 0.15                         | 18                                | 0.01                       |           |                |             |
| Total                         | 16685.12                     | 26                                |                            |           |                |             |

**ANEXO 14: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE  
CLORUROS**

**Tabla 84: Análisis de varianza para la variación de cloruros**

| ANÁLISIS DE VARIANZA          |                              |                                   |                            |          |                |             |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|----------------|-------------|
| <i>Factor de<br/>varianza</i> | <i>Suma de<br/>cuadrados</i> | <i>Grados<br/>de<br/>libertad</i> | <i>Cuadrado<br/>medios</i> | <i>F</i> | <i>P-Valor</i> | <i>Sig.</i> |
| Tratamientos                  | 1129.79                      | 8                                 | 141.22                     | 564.88   | < 0.0001       | **          |
| Error                         | 4.53                         | 18                                | 0.25                       |          |                |             |
| Total                         | 1134.32                      | 26                                |                            |          |                |             |

**ANEXO 15: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE  
SULFATOS**

**Tabla 85: Análisis de varianza para la variación de sulfatos**

| <b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>   |                              |                                   |                            |          |                |             |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|----------------|-------------|
| <b>Factor de<br/>varianza</b> | <b>Suma de<br/>cuadrados</b> | <b>Grados<br/>de<br/>libertad</b> | <b>Cuadrado<br/>medios</b> | <b>F</b> | <b>P-Valor</b> | <b>Sig.</b> |
| Tratamientos                  | 6039.74                      | 8                                 | 754.97                     | 7549.70  | < 0.0001       | **          |
| Error                         | 1.88                         | 18                                | 0.10                       |          |                |             |
| Total                         | 6041.63                      | 26                                |                            |          |                |             |

**ANEXO 16: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE  
HIERRO**

**Tabla 86: Análisis de varianza para la variación de hierro**

| <b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>   |                              |                                   |                            |          |                |             |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|----------------|-------------|
| <b>Factor de<br/>varianza</b> | <b>Suma de<br/>cuadrados</b> | <b>Grados<br/>de<br/>libertad</b> | <b>Cuadrado<br/>medios</b> | <b>F</b> | <b>P-Valor</b> | <b>Sig.</b> |
| Tratamientos                  | 19276.17                     | 8                                 | 2409.52                    | 80317.33 | < 0.0001       | **          |
| Error                         | 0.56                         | 18                                | 0.03                       |          |                |             |
| Total                         | 19276.73                     | 26                                |                            |          |                |             |

**ANEXO 17: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE  
MANGANESO**

**Tabla 87: Análisis de varianza para la variación de manganeso**

| <b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>   |                              |                                   |                            |          |                |             |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|----------------|-------------|
| <b>Factor de<br/>varianza</b> | <b>Suma de<br/>cuadrados</b> | <b>Grados<br/>de<br/>libertad</b> | <b>Cuadrado<br/>medios</b> | <b>F</b> | <b>P-Valor</b> | <b>Sig.</b> |
| Tratamientos                  | 19441.56                     | 8                                 | 2430.19                    | 14295.24 | < 0.0001       | **          |
| Error                         | 3.11                         | 18                                | 0.17                       |          |                |             |
| Total                         | 19444.67                     | 26                                |                            |          |                |             |

**ANEXO 18: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DEL  
CAUDAL**

**Tabla 88: Análisis de varianza para la variación de caudal**

| <b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>   |                              |                                   |                            |          |                |             |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|----------------|-------------|
| <b>Factor de<br/>varianza</b> | <b>Suma de<br/>cuadrados</b> | <b>Grados<br/>de<br/>libertad</b> | <b>Cuadrado<br/>medios</b> | <b>F</b> | <b>P-Valor</b> | <b>Sig.</b> |
| Tratamientos                  | 0.52                         | 8                                 | 0.07                       | 13004.56 | < 0.0001       | **          |
| Error                         | 9.0E-05                      | 18                                | 5.0E-06                    |          |                |             |
| Total                         | 0.52                         | 26                                |                            |          |                |             |



**ANEXO 18: FOTOGRAFÍAS**

**A. ELABORACIÓN DE FILTRO**



**Figura 9: Jipi de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)**



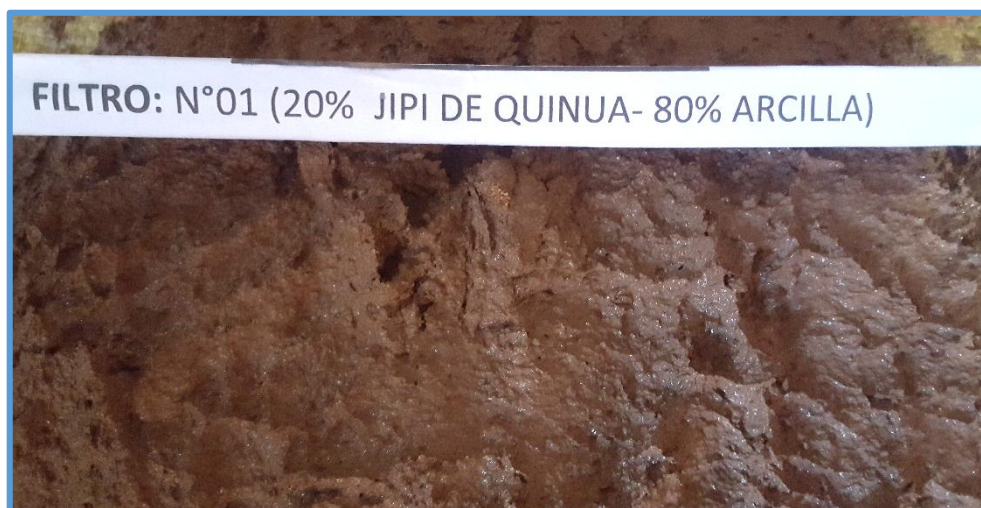
**Figura 10: Arcilla (roja, amarilla, relavo)**



**Figura 11: Formulación de jipi de quinua y arcilla**

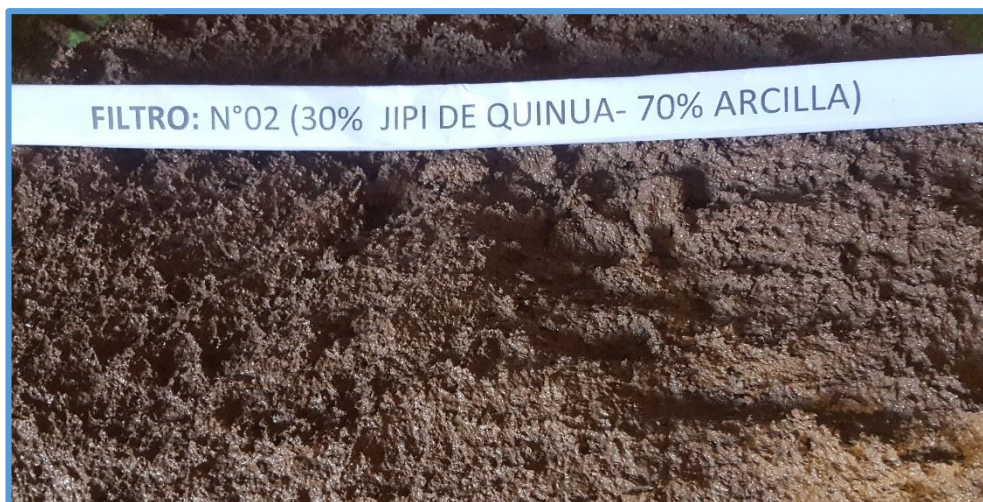


**Figura 12: Mezclado de formulación**

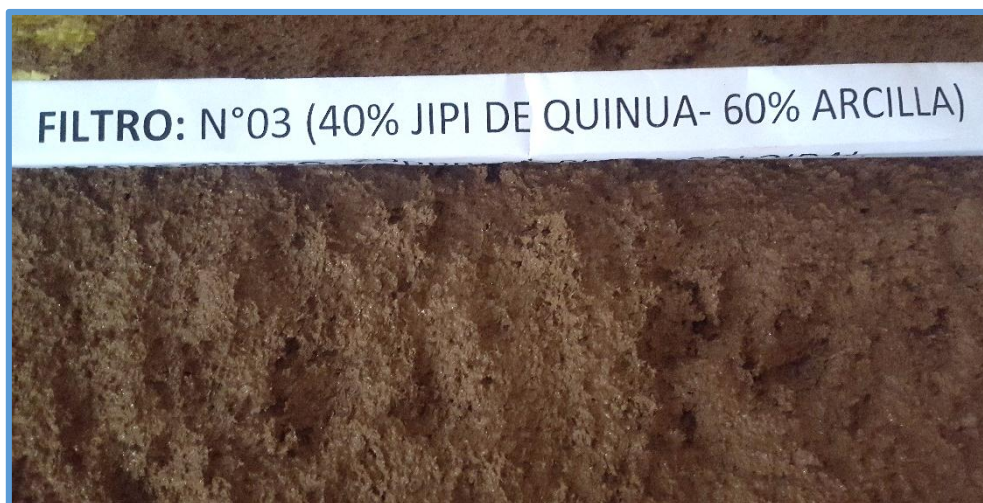


**Figura 13: Fermentado de pasta, 20% jipi de quinua y 80% arcilla**





**Figura 14: Fermentado de pasta, 30% jipi de quinua y 70% arcilla**



**Figura 15: Fermentado de pasta, 40% jipi de quinua y 60% arcilla**



**Figura 16: Torneado filtros cerámicos**





**Figura 17: Secado de Filtros Cerámicos**



**Figura 18: Quemado de Filtros Cerámicos**

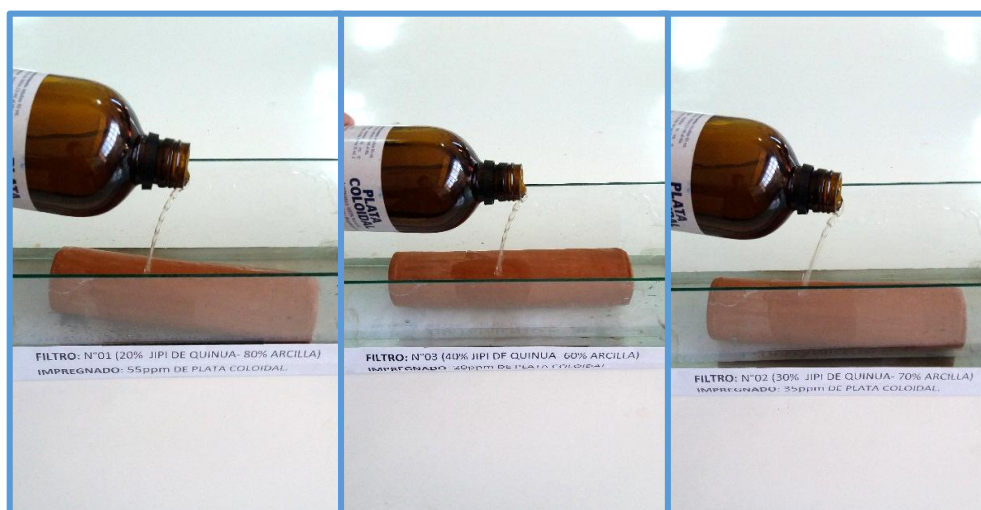
**B. IMPREGNADO DE FILTROS CON PLATA COLOIDAL**



**Figura 19: Plata coloidal 20 ppm, 35 ppm, 55 ppm de concentración**



**Figura 20: Filtro 01, 02, 03 a diferentes concentraciones de plata coloidal**



**Figura 21: Vertido de plata coloidal a recipiente**



**Figura 22: Filtro 01 impregnado con plata coloidal de 55 ppm**





**Figura 23: Filtro 02 impregnado con plata coloidal de 35 ppm**



**Figura 24: Filtro 03 impregnado con plata coloidal de 20 ppm**

**C. CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO DEL AGUA CRUDA**



**Figura 25: Muestreo de agua cruda**



Figura 26: Preparado de caldo lactosado verde brillante

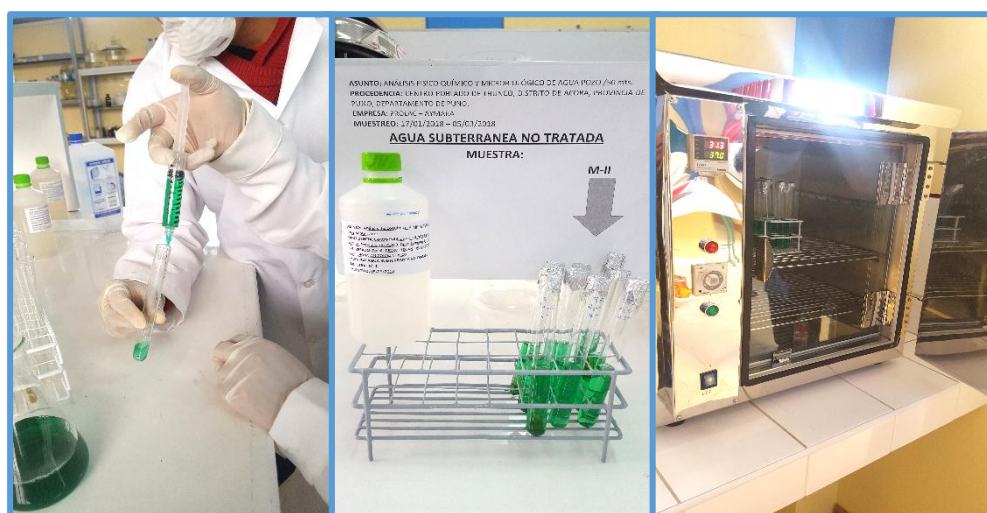


Figura 27: inoculado e incubado de muestra



Figura 28: Preparado de AGAR y autoclavado





Figura 29: Siembra de tubos positivos



Figura 30: Recuento de coliformes totales, fecales y bacterias heterotróficas

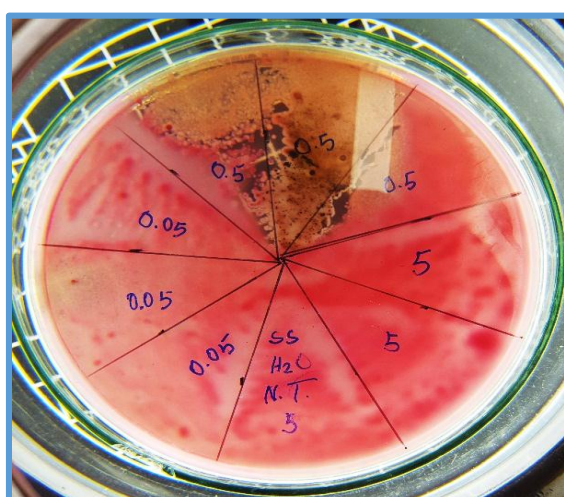


Figura 31: Coliformes Totales presentes en el agua cruda (no tratada)

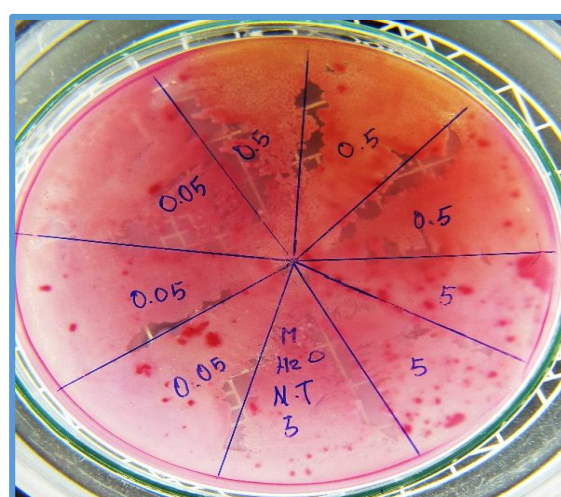


Figura 32: Coliformes Fecales presentes en el agua cruda (no tratada)





Figura 33: análisis C. E. y sólidos totales



Figura 34: Análisis potencial de hidrogeno



Figura 35: análisis dureza total, alcalinidad, cloruros, calcio y sulfatos



Figura 36: Determinación de turbiedad

**D. DETERMINACIÓN DE VARIACIÓN DE CAUDAL**



Figura 37: Toma de presión de agua en campo y laboratorio





**Figura 38: Determinación del caudal de agua con filtros cerámicos**

**E. EFECTIVIDAD DE FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL EN LA ELIMINACIÓN DE CARGA MICROBIOLÓGICO**



**Figura 39: Filtros cerámicos impregnados con plata coloidal**



**Figura 40: Filtros de tratamiento I**



**Figura 41: Filtros de tratamiento II**



**Figura 42: Filtros de tratamiento III**





**Figura 43: Muestreo de agua potabilizada (tratada)**



**Figura 44: Preparado de caldo lactosado verde brillante**



**Figura 45: Inoculado de muestra**





Figura 46: Muestra inoculada, tratamiento I



Figura 47: Muestra inoculada, tratamiento II



Figura 48: Muestra inoculada, tratamiento III





Figura 49: Incubado de muestras

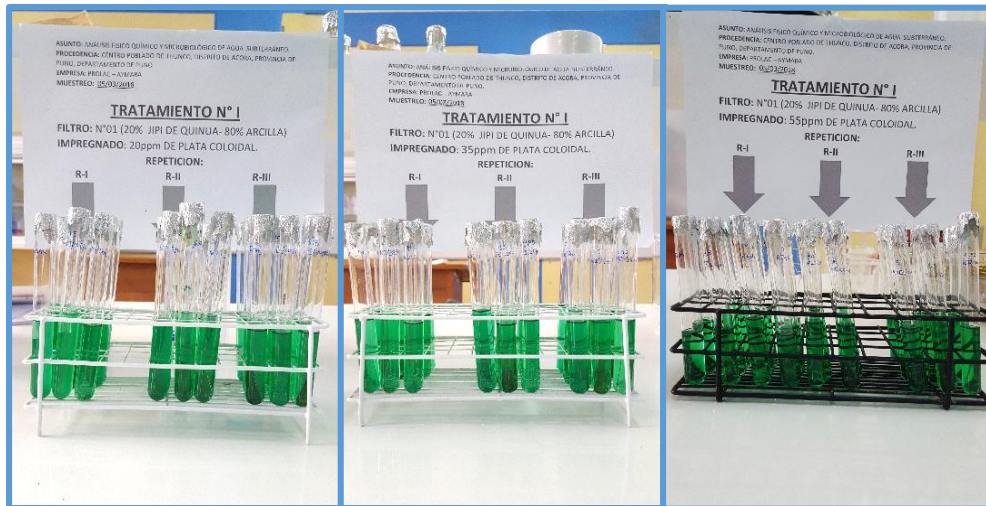


Figura 50: Tubos positivos, tratamiento I



Figura 51: Tubos positivos, tratamiento II





Figura 52: Tubos positivos, tratamiento III



Figura 53: Preparado de AGAR



Figura 54: Autoclavado





**Figura 55: Siembra de tubos positivos**



**Figura 56: Incubado**



**Figura 57: Recuento de colonias**



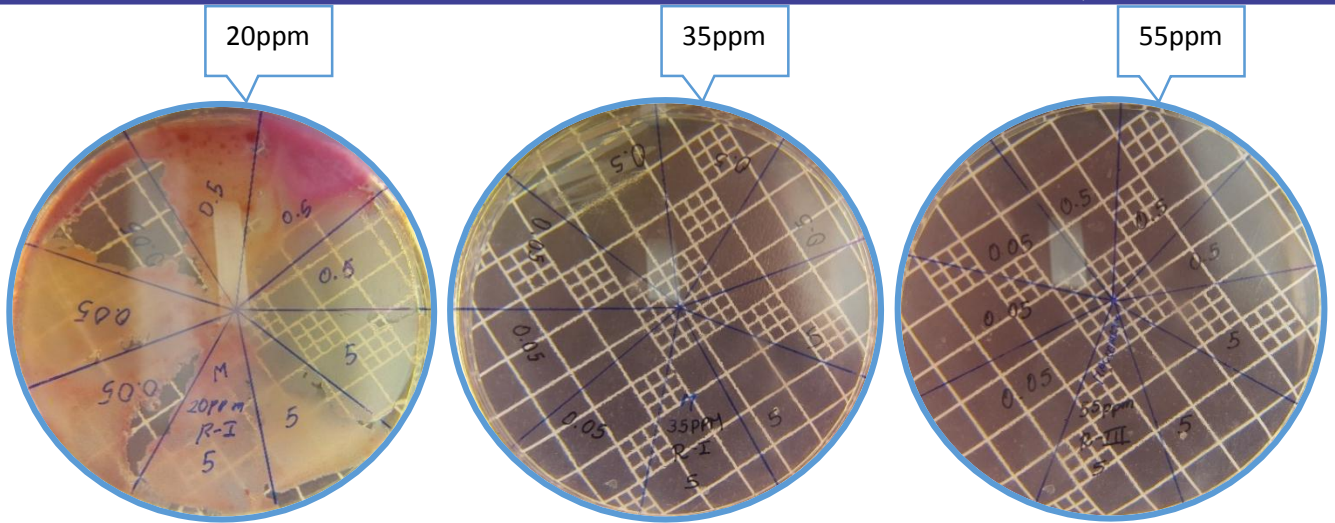


Figura 58: Tratamiento I (filtro 01: 20% jipi de quinua – 80% arcilla)

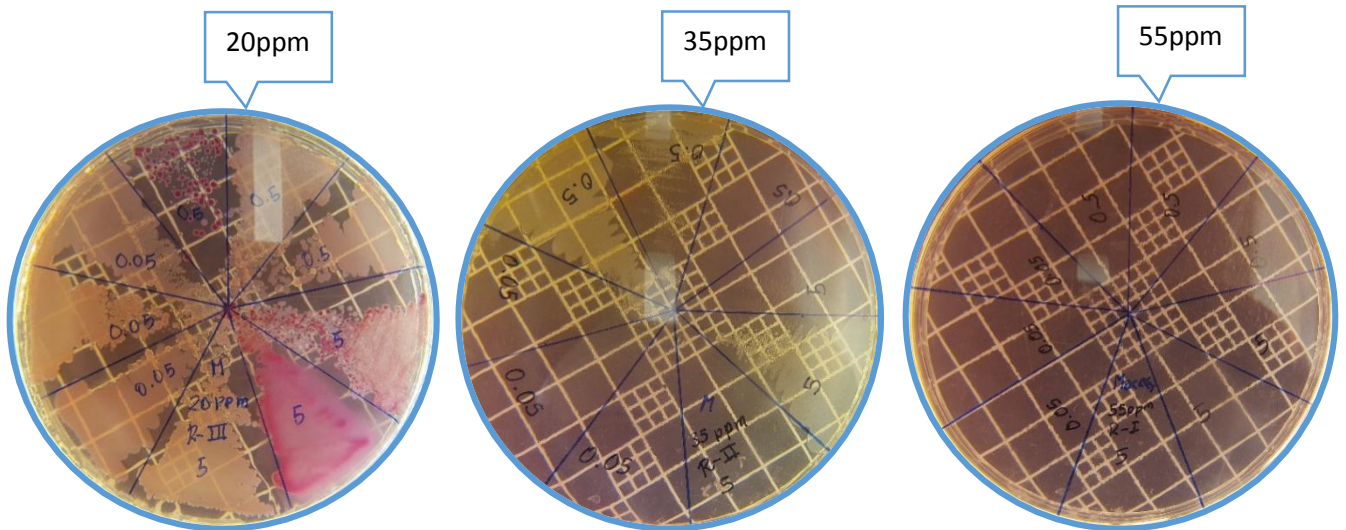


Figura 59: Tratamiento II (filtro 02: 30% jipi de quinua – 70% arcilla)

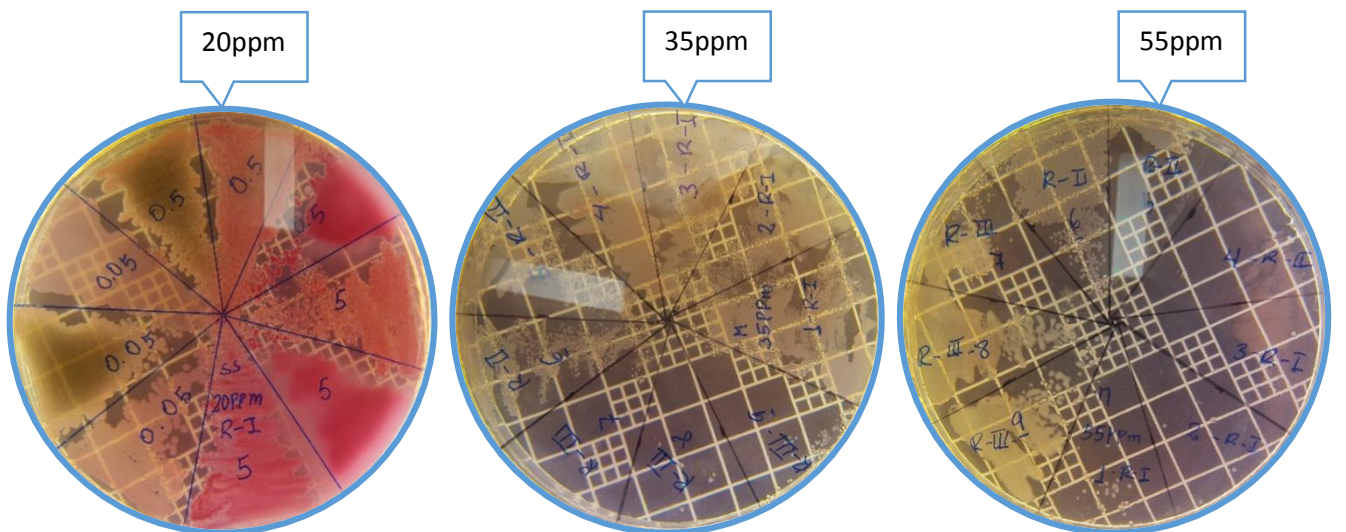


Figura 60: Tratamiento III (filtro 03: 40% jipi de quinua – 60% arcilla)



**F. EFECTIVIDAD DE FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL EN LA VARIACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICOS**



**Figura 61: Muestras – Tratamiento I**



**Figura 62: Muestras – Tratamiento II**



**Figura 63: Muestras – Tratamiento III**





**Figura 64: Tratamiento I: Análisis de conductividad eléctrica y sólidos totales**



**Figura 65: Tratamiento II: Análisis de conductividad eléctrica y sólidos totales**



**Figura 66: Tratamiento III: Análisis de conductividad eléctrica y sólidos totales**





Figura 67: Análisis de turbiedad



Figura 68: Tratamiento I: Análisis de potencial de hidrogeno

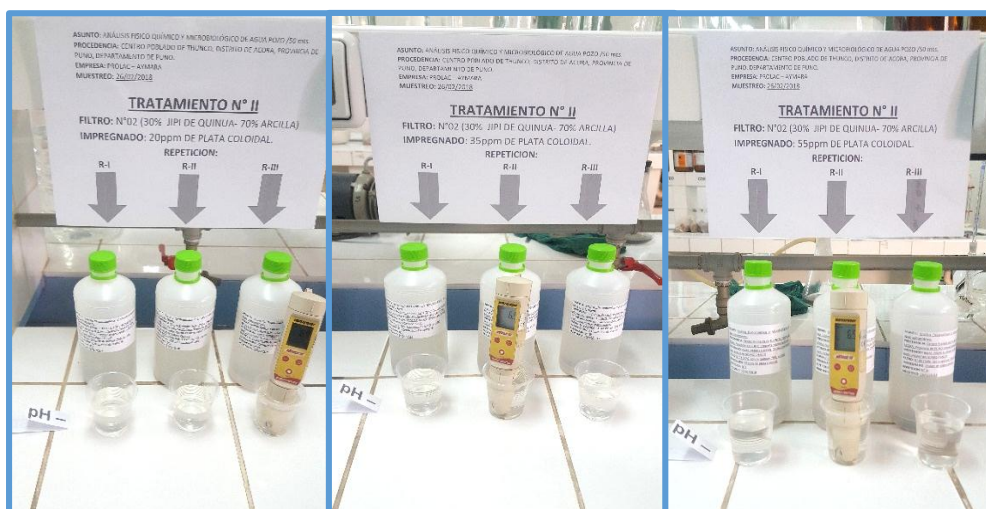


Figura 69: Tratamiento II: Análisis de potencial de hidrogeno



**Figura 70: Tratamiento III: Análisis de potencial de hidrogeno**



**Figura 71: Tratamiento I: Análisis de dureza total, alcalinidad, cloruros, calcio y sulfatos**



**Figura 72: Tratamiento II: Análisis de dureza total, alcalinidad, cloruros, calcio y sulfatos**





**Figura 73: Tratamiento III: Análisis de dureza total, alcalinidad, cloruros, calcio y sulfatos**

**ANEXO 19: CERTIFICADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y FÍSICOQUÍMICO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA ACUÁTICA**



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**ASUNTO : ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**  
**MUESTRA: AGUA CRUDA DE POZO TUBULAR SUBTERRANEA SIN TRATAR**

PROCEDENCIA : C.P. Thunco, Dpto. Acora, Prov. Puno, Depto. Puno.  
 EMPRESA : AGROINDUSTRIAS AYMARA S.R.L.  
 PROYECTO DE TESIS : "ESTUDIO DE FILTROS CERÁMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS AGROINDUSTRIALES"  
 INTERESADOS : Bach. PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS  
 Bach. JHONATAN GOMEZ CHALCO  
 MUESTREO : 17/01/2018 (por el Interesado)  
 ANÁLISIS : 17/01/2018

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS:**

| ENSAYOS                  | UNIDADES  | RESULTADOS |
|--------------------------|-----------|------------|
| Coliformes Totales       | NMP/100ml | 2400       |
| Coliformes Fecales       | NMP/100ml | 1300       |
| Bacterias Heterotróficas | UFC/ml    | 675        |

**CONCLUSIÓN:** las muestras de agua fueron analizadas por el método del Número Más Probable y Recuento de bacterias heterotróficas.

**OBSERVACIÓN:** la muestra fue recepcionada en el laboratorio.

Balbino Jorgio Palacios Frisancho  
 F. 17/01/2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
 M.Sc. Alfredo L. Loza Del Carpio  
 FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
 Asesado



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA ACUÁTICA**



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**ASUNTO : ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**  
**MUESTRA: AGUA CRUDA DE POZO TUBULAR SUBTERRANEA TRATADA**

PROCEDENCIA : C.P. Thunco, Dtto. Acora, Prov. Puno, Depto. Puno.  
 EMPRESA : AGROINDUSTRIAS AYMARA S.R.L.  
 PROYECTO DE TESIS : "ESTUDIO DE FILTROS CERAMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS AGROINDUSTRIALES"  
 INTERESADOS : Bach. PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS  
 Bach. JHONATAN GOMEZ CHALCO  
 TRATAMIENTO : T-1  
 SUBTRATAMIENTO : 1- 2 - 3  
 FILTRO : 01 (20% de Jipi de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) - 80% de Arcilla)  
 PLATA COLOIDAL : 20 ppm, 35 ppm y 55 ppm.  
 MUESTREO : 05/03/2018 (por el Interesado)  
 ANALISIS : 05/03/2018

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS:**

| ENSAYOS                  | UNIDADES  | TRATAMIENTO 1    |                  |                  |
|--------------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|
|                          |           | T-1.1/F-01/20ppm | T-1.2/F-01/35ppm | T-1.3/F-01/55ppm |
| Coliformes Totales       | NMP/100ml | 180              | 0                | 0                |
| Coliformes Fecales       | NMP/100ml | 36               | 0                | 0                |
| Bacterias Heterotróficas | UFC/ml    | 21               | 0                | 0                |

**CONCLUSIÓN:** las muestras de agua fueron analizadas por el método del Número Más Probable y Recuento de bacterias heterotróficas.

**OBSERVACIÓN:** la muestra fue recepcionada en el laboratorio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
  
 M.Sc. Alfredo L. Loza Del Carpio  
 FACULTAD CIENCIAS BIOLÓGICAS  
 Prof. Asociado T.C.

Baltazar Lorgio Palacios Frisancho  
 BIÓLOGO  
 C.B.P. N° 2125





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA ACUÁTICA**



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**ASUNTO : ANALISIS MICROBIOLÓGICO**  
**MUESTRA: AGUA CRUDA DE POZO TUBULAR SUBTERRANEA TRATADA**

---

PROCEDENCIA : C.P. Thunco, Dpto. Acora, Prov. Puno, Depto. Puno.  
 EMPRESA : AGROINDUSTRIAS AYMARA S.R.L.  
 PROYECTO DE TESIS : "ESTUDIO DE FILTROS CERAMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS AGROINDUSTRIALES"  
 INTERESADOS : Bach. PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS  
 : Bach. JHONATAN GOMEZ CHALCO  
 TRATAMIENTO : T-2  
 SUBTRATAMIENTO : 4 - 5 - 6  
 FILTRO : 02 (30% de Jipi de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) - 70% de Arcilla)  
 PLATA COLOIDAL : 20 ppm, 35 ppm y 55 ppm.  
 MUESTREO : 26/02/2018 (por el Interesado)  
 ANALISIS : 26/02/2018

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS:**

| ENSAYOS                  | UNIDADES  | TRATAMIENTO 2    |                  |                  |
|--------------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|
|                          |           | T-2.4/F-02/20ppm | T-2.5/F-02/35ppm | T-2.6/F-02/55ppm |
| Coliformes Totales       | NMP/100ml | 420              | 0                | 0                |
| Coliformes Fecales       | NMP/100ml | 140              | 0                | 0                |
| Bacterias Heterotróficas | UFC/ml    | 66               | 0                | 0                |

**CONCLUSIÓN:** las muestras de agua fueron analizadas por el método del Número Más Probable y Recuento de bacterias heterotróficas.

**OBSERVACIÓN:** la muestra fue recepcionada en el laboratorio.

*[Firma]*  
 Baiton...  
 G.B.P. N° 2125

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
*[Firma]*  
 M.Sc. Alfredo L. Loza Del Carpio  
 LABORATORIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA ACUÁTICA**



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**ASUNTO : ANALISIS MICROBIOLÓGICO**  
**MUESTRA: AGUA CRUDA DE POZO TUBULAR SUBTERRANEA TRATADA**

PROCEDENCIA : C.P. Thunco, Dpto. Acora, Prov. Puno, Depto. Puno.  
 EMPRESA : AGROINDUSTRIAS AYMARA S.R.L.  
 PROYECTO DE TESIS : "ESTUDIO DE FILTROS CERAMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS AGROINDUSTRIALES"  
 INTERESADOS : Bach. PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS  
 Bach. JHONATAN GOMEZ CHALCO  
 TRATAMIENTO : T-3  
 SUBTRATAMIENTO : 7 - 8 - 9  
 FILTRO : 03 (40% de Jipi de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) - 60% de Arcilla)  
 PLATA COLOIDAL : 20 ppm, 35 ppm y 55 ppm.  
 MUESTREO : 21/02/2018 (por el Interesado)  
 ANALISIS : 21/02/2018

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS:**

| ENSAYOS                  | UNIDADES  | TRATAMIENTO 3    |                  |                  |
|--------------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|
|                          |           | T-3.7/F-03/20ppm | T-3.8/F-03/35ppm | T-3.9/F-03/55ppm |
| Coliformes Totales       | NMP/100ml | 1300             | 380              | 130              |
| Coliformes Fecales       | NMP/100ml | 230              | 120              | 64               |
| Bacterias Heterotróficas | UFC/ml    | 363              | 121              | 51               |

**CONCLUSIÓN:** las muestras de agua fueron analizadas por el método del Número Más Probable y Recuento de bacterias heterotróficas.

**OBSERVACIÓN:** la muestra fue recepcionada en el laboratorio.

Balbino Lorigo Palacios Frisancho  
 BIÓLOGO  
 C.B.P. N° 2125

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
 El Sr. Pedro L. Lora Del Carpio  
 FAC. DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

ASUNTO : ANALISIS FISICOQUÍMICO  
 MUESTRA: AGUA CRUDA DE POZO TUBULAR SUBTERRANEA SIN TRATAR

PROCEDENCIA : C.P. Thunco, Dtto. Acora, Prov. Puno, Depto. Puno.  
 EMPRESA : AGROINDUSTRIAS AYMARA S.R.L.  
 PROYECTO DE TESIS : "ESTUDIO DE FILTROS CERAMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS AGROINDUSTRIALES"  
 INTERESADOS : Bach. PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS  
 Bach. JHONATAN GOMEZ CHALCO  
 MUESTREO : 17/01/2018 (por el Interesado)  
 ANALISIS : 17/01/2018

**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:**

Aspecto : Límpido transparente  
 Color : Incoloro  
 Olor : Inodoro  
 Sabor : Insípido

**CARACTERÍSTICAS FISICO - QUÍMICOS:**

pH : 8.8                      C.E. : 1650 µS/cm                      Turbiedad : 6.52 NTU

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:**

Dureza total (como CaCO<sub>3</sub>) : 482.00 mg/l  
 Alcalinidad (como CaCO<sub>3</sub>) : 247.00 mg/l  
 Cloruros (como Cl<sup>-</sup>) : 236.00 mg/l  
 Sulfatos (como SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) : 105.00 mg/l  
 Calcio (como Ca<sup>++</sup>) : 125.20 mg/l  
 Sólidos totales : 670.00 mg/l  
 Hierro : 0.42 mg/l  
 Manganeseo : 0.70 mg/l

**INTERPRETACION (Según Normas de ECAs)**

Las características físico-químicas del agua no se encuentran dentro de los límites establecidos. Las características químicas se encuentran dentro de los límites establecidos por las Normas Técnicas a excepción del manganeso y hierro.

**DICTAMEN**

El Agua analizada requiere tratamiento con respecto al pH, C.E, Turbiedad, Hierro y Manganeseo





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

ASUNTO : ANALISIS FISICOQUÍMICO  
 MUESTRA: AGUA CRUDA DE POZO TUBULAR SUBTERRANEA TRATADA

PROCEDENCIA : C.P. Thunco, Dpto. Acora, Prov. Puno, Depto. Puno.  
 EMPRESA : AGROINDUSTRIAS AYMARA S.R.L.  
 PROYECTO DE TESIS : "ESTUDIO DE FILTROS CERAMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS AGROINDUSTRIALES"  
 INTERESADOS : Bach. PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS  
 Bach. JHONATAN GOMEZ CHALCO  
 TRATAMIENTO : T-1  
 SUBTRATAMIENTO : 1- 2 - 3  
 FILTRO : O1 (20% de Jipi de Quinoa (*chenopodium quinoa willd*) - 80% de Arcilla)  
 PLATA COLOIDAL : 20 ppm, 35 ppm y 55 ppm.  
 MUESTREO : 05/03/2018 (por el Interesado)  
 ANALISIS : 05/03/2018

**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:**

Aspecto : Límpido transparente  
 Color : Incoloro  
 Olor : Inodoro  
 Sabor : Insípido

**CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICOS:**

| ENSAYOS                               | UNIDADES | TRATAMIENTO 1    |                  |                  |
|---------------------------------------|----------|------------------|------------------|------------------|
|                                       |          | T-1.1/F-01/20ppm | T-1.2/F-01/35ppm | T-1.3/F-01/55ppm |
| Conductividad eléctrica               | µS/cm    | 886.7            | 893.3            | 900.0            |
| Turbiedad                             | NTU      | 0.038            | 0.037            | 0.036            |
| pH                                    |          | 6.70             | 6.80             | 6.87             |
| Dureza Total CaCO <sub>3</sub>        | mg/L     | 205.8            | 203.3            | 201.4            |
| CalcioCa <sup>++</sup>                | mg/L     | 25.20            | 15.68            | 12.67            |
| Solidos Totales                       | mg/L     | 440.0            | 433.33           | 420.0            |
| Alcalinidad                           | mg/L     | 76.48            | 58.83            | 50.01            |
| Cloruro cl <sup>-</sup>               | mg/L     | 126.71           | 125.29           | 123.40           |
| SulfatosSO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | mg/L     | 56.28            | 53.68            | 49.90            |
| Hierro                                | mg/L     | 0.153            | 0.073            | 0.041            |
| Manganeso                             | mg/L     | 0.089            | 0.055            | 0.038            |

**INTERPRETACION (Según Normas de ECAs)**

Las características físico-químicas del agua son normales.  
 Las características químicas se encuentran dentro de los límites establecidos por las Normas Técnicas.

**DICTAMEN**

El Agua analizada se encuentra dentro de los límites permisibles por lo tanto es **APTO** para consumo humano.

Ing. Benito Espinoza Collopa  
 ANALISTA EN CALIDAD DE AGUAS  
 PUNTO DE MUESTREO Y FERTILIZANTES

Ing. M. Sr. Angel Carr Choquehuancu  
 JEFE DE LABORATORIO DE AGUAS, SUELOS Y TIERRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**ASUNTO : ANALISIS FISICOQUÍMICO**

**MUESTRA: AGUA CRUDA DE POZO TUBULAR SUBTERRANEA TRATADA**

|                   |  |
|-------------------|--|
| PROCEDENCIA       | : C.P. Thunco, Dtto. Acora, Prov. Puno, Depto. Puno.   |
| EMPRESA           | : AGROINDUSTRIAS AYMARA S.R.L.   |
| PROYECTO DE TESIS | : "ESTUDIO DE FILTROS CERAMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS AGROINDUSTRIALES" |
| INTERESADOS       | : Bach. PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS<br>Bach. JHONATAN GOMEZ CHALCO   |
| TRATAMIENTO       | : T-2  |
| SUBTRATAMIENTO    | : 4 - 5 - 6  |
| FILTRO            | : 02 (30% de Jipi de Quínoa ( <i>chenopodium quinoa willd</i> ) - 70% de Arcilla   |
| PLATA COLOIDAL    | : 20 ppm, 35 ppm y 55 ppm.   |
| MUESTREO          | : 26/02/2018 (por el Interesado)   |
| ANALISIS          | : 26/02/2018   |

**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:**

|         |                        |
|---------|------------------------|
| Aspecto | : Límpido transparente |
| Color   | : Incoloro             |
| Olor    | : Inodoro              |
| Sabor   | : Insípido             |

**CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICOS:**

| ENSAYOS                               | UNIDADES | TRATAMIENTO 2    |                  |                  |
|---------------------------------------|----------|------------------|------------------|------------------|
|                                       |          | T-2.4/F-02/20ppm | T-2.5/F-02/35ppm | T-2.6/F-02/55ppm |
| Conductividad eléctrica               | µS/cm    | 840.0            | 866.7            | 880.0            |
| Turbiedad                             | NTU      | 0.45             | 0.45             | 0.44             |
| pH                                    |          | 6.80             | 6.87             | 7.07             |
| Dureza Total CaCO <sub>3</sub>        | mg/L     | 215.3            | 208.4            | 205.2            |
| Calcio Ca <sup>++</sup>               | mg/L     | 44.96            | 35.33            | 26.21            |
| Solidos Totales                       | mg/L     | 450.0            | 443.33           | 426.67           |
| Alcalinidad                           | mg/L     | 111.78           | 93.74            | 84.48            |
| Cloruro cl <sup>-</sup>               | mg/L     | 133.33           | 127.66           | 124.82           |
| Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | mg/L     | 77.64            | 72.07            | 68.55            |
| Hierro                                | mg/L     | 0.308            | 0.202            | 0.122            |
| Manganeso                             | mg/L     | 0.374            | 0.209            | 0.145            |

**INTERPRETACION (Según Normas de ECAs)**

Las características físico-químicas del agua son normales.  
Las características químicas se encuentran dentro de los límites establecidos por las Normas Técnicas.

**DICTAMEN**

El Agua analizada se encuentra dentro de los límites permisibles por lo tanto es **APTO** para consumo humano.

Dr. Domingo Portuondo  
ANALISTA DE AGUAS Y SUELOS  
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Ing. M. C. Ampel Carr Choquevalencia  
JEFE DE LABORATORIO  
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

ASUNTO : ANALISIS FISICOQUÍMICO  
 MUESTRA: AGUA CRUDA DE POZO TUBULAR SUBTERRANEA TRATADA

PROCEDENCIA : C.P. Thunco, Dpto. Acora, Prov. Puno, Depto. Puno.  
 EMPRESA : AGROINDUSTRIAS AYMARA S.R.L.  
 PROYECTO DE TESIS : "ESTUDIO DE FILTROS CERAMICOS IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PROCESOS AGROINDUSTRIALES"  
 INTERESADOS : Bach. PEDRO ELISBAN CHURA CONTRERAS  
 Bach. JHONATAN GOMEZ CHALCO  
 TRATAMIENTO : T-3  
 SUBTRATAMIENTO : 7 - 8 - 9  
 FILTRO : 03 (40% de Jipi de Quinoa (*chenopodium quinoa willd*) - 60% de Arcilla)  
 PLATA COLOIDAL : 20 ppm, 35 ppm y 55 ppm.  
 MUESTREO : 21/02/2018 (por el Interesado)  
 ANALISIS : 21/02/2018

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:**

Aspecto : Límpido transparente  
 Color : Incoloro  
 Olor : Inodoro  
 Sabor : Insípido

**CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICOS:**

| ENSAYOS                               | UNIDADES | TRATAMIENTO 3    |                  |                  |
|---------------------------------------|----------|------------------|------------------|------------------|
|                                       |          | T-3.7/F-03/20ppm | T-3.8/F-03/35ppm | T-3.9/F-03/55ppm |
| Conductividad eléctrica               | µS/cm    | 830.0            | 850.0            | 886.7            |
| Turbiedad                             | NTU      | 3.12             | 3.07             | 3.07             |
| pH                                    |          | 7.43             | 7.60             | 7.67             |
| Dureza Total CaCO3                    | mg/L     | 252.6            | 247.7            | 229.0            |
| Calcio Ca <sup>++</sup>               | mg/L     | 62.81            | 58.25            | 49.89            |
| Solidos Totales                       | mg/L     | 476.67           | 463.33           | 453.33           |
| Alcalinidad                           | mg/L     | 229.90           | 211.78           | 150.25           |
| Cloruro Cl <sup>-</sup>               | mg/L     | 170.49           | 154.82           | 130.37           |
| Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | mg/L     | 95.25            | 89.43            | 88.16            |
| Hierro                                | mg/L     | 0.364            | 0.324            | 0.305            |
| Manganeso                             | mg/L     | 0.548            | 0.492            | 0.438            |

**INTERPRETACION (Según Normas de ECAs)**

Las características físico-químicas del agua son normales.  
 Las características químicas se encuentran dentro de los límites establecidos por las Normas Técnicas.

**DICTAMEN**

El Agua analizada se encuentra dentro de los límites permisibles por lo tanto es **APTO** para consumo humano.

ANALISTA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
 LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

Jefe de Laboratorio de Aguas y Suelos  
 LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS