

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“MODELAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL  
CULTIVO DE LA CEBADA EN LA LOCALIDAD DE CUSCO”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. DADY MAJAYANA QUISPE QUISPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2011**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA

“APROVECHAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL CULTIVO DE  
LA CEBADA EN LA LOCALIDAD DE CUSCO”

TESIS

PRESENTADA POR:

DADY MAJAYANA QUISPE QUISPE

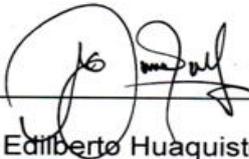
PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

PRESENTADO A LA COORDINACIÓN DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD  
DE INGENIERIA AGRICOLA COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO  
PROFESIONAL.

JURADO REVISOR

PRESIDENTE:

  
Ing. Edilberto Huaquisto Ramos

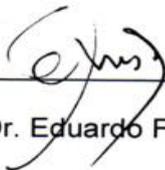
1° MIEMBRO:

\_\_\_\_\_  
Ing. Percy A. Ginez Choque

2° MIEMBRO:

  
Ing. Roberto Alfaro Alejo

DIRECTOR:

  
Dr. Eduardo Flores Condori



ÁREA : Ingeniería y Tecnología

TEMA: Reúso de aguas residuales

LÍNEA: Ingeniería de Infraestructura Rural

## DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por saber que existo, por brindarme la sabiduría y el conocimiento de su palabra, y que el vivir es servir con amor.

A la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por haberme acogido en sus aulas y darme la oportunidad de culminar mi profesión.

Con mucho cariño a mis padres: julio y presentación, por el apoyo incondicional que con su esfuerzo y gratitud, hicieron posible la culminación de mis estudios.

A mis hermanos. Richard, José luís, Marco, David y Marleny, por su constante apoyo durante mi formación profesional en la UNA Puno.

## AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional del Altiplano por acogerme; a la Facultad de Ingeniería Agrícola, que con su personal docente aportaron los conocimientos más secos y frescos de la ciencia que tomo parte de mi formación profesional.
- Al Dr. Eduardo flores Condori, Director del presente trabajo de investigación por dirigirme a través de sus consejos y sugerencias, cumpliendo su labor de buen maestro.
- A los miembros del jurado: Ing. Edilberto Huaquisto Ramos, Ing. Percy A. Gines Choque y al Ing. Roberto Alfaro Alejo, por brindarme el apoyo con sus consejos, correcciones y criticas que son el resultado del presente trabajo de investigación, por que el aporte de la experiencia de los maestros nos hace mejores para encontrarnos con la eficacia y la eficiencia en nuestra vida profesional.

## INDICE

|   | pág. |
|---|------|
| RESUMEN   |      |
| I. INTRODUCCIÓN.....  | 1    |
| 1.1. Generalidades.....   | 1    |
| 1.2. Antecedentes.....  | 2    |
| 1.3. Objetivos.....   | 3    |
| 1.4. Hipótesis.....   | 4    |
| II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....                                     | 5    |
| 2.1. Planta De Tratamiento De Aguas Residuales.....                 | 5    |
| 2.1.1. Lodos Activados.....   | 5    |
| 2.1.2. Biofiltro Percolador.....                                    | 7    |
| 2.2. Parámetros Recomendados Para El Reuso De Aguas Residuales..... | 8    |
| 2.3. Tratamiento De Aguas Residuales.....                           | 10   |
| 2.3.1. Aguas Residuales.....  | 10   |
| 2.3.2. Fases para el Tratamiento De Aguas Residuales.....           | 10   |
| 2.4. Características De La Calidad De Las Aguas Residuales.....     | 14   |
| 2.4.1. Características Físicas.....                                 | 15   |
| 2.4.2. Características Químicas.....                                | 18   |
| 2.4.3. Características Biológicas.....                              | 24   |
| 2.5. Reuso De Las Aguas Residuales en la Agricultura.....           | 26   |
| 2.6. Reuso De Las Aguas Residuales en el Perú.....                  | 31   |
| 2.7. Reuso De Las Aguas Residuales en Otros Países.....             | 36   |
| 2.8. Actividad Agrícola.....  | 37   |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS.....                                      | 41   |
| 3.1. Ubicación y Extensión.....                                     | 41   |
| 3.2. Materiales y Equipos.....                                      | 42   |
| 3.3. Métodos y Parámetros Determinados en Laboratorio.....          | 44   |
| 3.3.1. Parámetros Físicos.....                                      | 44   |
| 3.3.2. Parámetros Químicos.....                                     | 47   |
| 3.3.3. Parámetros Microbiológicos.....                              | 54   |
| 3.3.4. Análisis Bromatológico del Cultivo.....                      | 54   |

|  |    |
|--|----|
| 3.4. Procedimiento Comparativo del Desarrollo Y Producción Del Cultivo.....    | 55 |
| 3.4.1. Factor en estudio.....  | 55 |
| 3.4.2. Extensión y Ubicación de las Parcelas.....                              | 55 |
| 3.5. Metodología Utilizada para el Análisis Estadístico.....                   | 57 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....  | 60 |
| 4.1. Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos Determinadas.....               | 60 |
| 4.1.1. Valores físicos.....  | 60 |
| 4.1.2. Valores químicos.....   | 62 |
| 4.1.3. Valores microbiológicos.....  | 66 |
| 4.1.4 Valor bromatológico del cultivo.....                                     | 69 |
| 4.2. Desarrollo, Rendimiento y su análisis estadístico (ANVA) del Cultivo..... | 70 |
| 4.3. Diseño Agronómico Para Riego En Surcos.....                               | 77 |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 82 |
| 5.1. Conclusiones.....   | 82 |
| 5.2. Recomendaciones.....  | 83 |
| VI. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....  | 84 |
| ANEXOS.....  | 87 |

## RESUMEN

El departamento de Cusco la mayor parte de sus tierras están dedicadas a la agricultura, dependiendo siempre de los sistemas de riego que tiene, por el cual se pone como alternativa el reuso de las aguas residuales tratadas en esta zona.

El estudio consiste en el aprovechamiento de reuso de las aguas residuales tratadas, provenientes de la planta de tratamiento de de San Jeronimo - Cusco, para el riego de una parcela de cultivo de cebada que se realizó en la comunidad de Ccollana, que esta ubicada geográficamente, en altitud sur:  $13^{\circ} 30' 45''$ , Longitud oeste:  $71^{\circ} 58' 33''$  y Altitud (Ccollana): 3,198.27 m.s.n.m; con el objetivo de evaluar los efectos de esta práctica sobre las características físicas y químicas del suelo, y sobre los rendimientos obtenidos en cuanto al sembrío del cultivo. El manejo que se dio al cultivo fue el que tradicionalmente realizan los agricultores de la zona excepto que no se aplicó ningún fertilizante para aprovechar el nutriente contenido en el agua residual tratada. El monitoreo de las características del suelo se realizaron en una etapa inicial, una etapa final del ciclo del cultivo, y también se monitoreo el desarrollo del cultivo en sus etapas, inicial, intermedia y final. Por lo que los resultados obtenidos indican que estadísticamente las variaciones experimentadas en las características del suelo en la parcela de estudio no fueron significativas, Y en cuanto a su análisis bromatológico del cultivo determinado se observo que sus nutrientes bajaron esto debido a que los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual tratada están dentro de los limites y a la vez ligeramente altos a los limites recomendados por las normas nacionales "Estándares De Calidad Ambiental (ECA)", Limites Máximos Permisibles (LMP), e internacionales "OMS".

La práctica del riego con aguas residuales tratadas es aceptada por los agricultores de la zona por sus bondades visibles en los nutrientes que pueda aportar estas aguas tratadas, sin embargo, hay aspectos negativos como la inexperiencia en cuanto estas aguas están ligeramente contaminadas y que pueden causa toxicidad en los animales menores que los consumen, por lo que el reuso de estas aguas debe considerarse como beneficioso pero es necesario un tratamiento terciario para bajar los parámetros analizados (físicos - químicos).

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES

El crecimiento poblacional del sector urbano exige cada vez más atención para el manejo de los desechos sólidos y sobre todo de las aguas residuales ya que aún bajo tratamiento, estas llegarán finalmente a cuerpos de agua superficiales dentro de una cuenca.

Por otro lado el aprovechamiento de las aguas residuales para la agricultura una vez tratadas, se ha considerado una alternativa viable ya que no solo se buscaría asegurar las cosechas en una pequeña zona ante la variabilidad climática, sino que también se tendría un destino provechoso para los efluentes principalmente en el verano que es cuando los cuerpos de aguas superficiales tienen menor capacidad auto depurativa por la disminución de sus caudales.

Es necesario aclarar que, la aplicación de riego en los cultivos agrícolas con aguas residuales es una práctica común en países en desarrollo. Las aguas residuales pueden constituir una alternativa en las zonas semiáridas donde hay escasez de este recurso, no sólo por ser una fuente de agua para los cultivos, sino por el aporte de nutrientes que mejoran la fertilidad del suelo, dado los altos contenidos de materia orgánica usualmente presentes en la misma. No obstante, su uso sin un tratamiento previo puede ocasionar problemas debido al alto contenido de sales, contaminación con metales pesados y la presencia de algunos microorganismos patógenos al hombre. Por ello es necesario evaluar su uso cuantificando su efecto sobre las propiedades químicas del suelo, con el fin de garantizar que su utilización no sólo mejore la fertilidad y productividad del suelo, sino que conlleve a mantener la calidad de este recurso, garantizando que no ocasionen problemas ambientales, ni de salud pública.

En la ciudad del Cusco, las aguas servidas son evacuadas a través de alcantarillas a las plantas de tratamiento que están ubicadas en el distrito de San Jerónimo lugar Ccollana, cuyo efluente final tratado es derivada al Río Huatanay.

Es por eso que la presente investigación se basó en el estudio para la reutilización de estos efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cusco - San Jerónimo para la irrigación de una pequeña área cultivada con cebada forrajera (*Hordeum vulgare*). Los principales parámetros evaluados fueron los cambios en las propiedades Físicas, Químicas y Microbiológicas del agua residual tratada, durante el inicio, a mediados y al final, para de esa manera verificar el efecto de los nutrientes del agua sobre el crecimiento y rendimiento de la planta de cebada forrajera en verde; y también se evaluó las propiedades físicas y químicas del suelo durante el principio y al final que duro el estudio.

## 1.2. ANTECEDENTES

El porcentaje de agua residual (cruda o tratada) que se dedica a la reutilización es muy elevado en las zonas áridas y semiáridas del país, una tendencia muy diferente a la que se observa tradicionalmente en los países húmedos e industrializados.

Los primeros indicios de sistemas de evacuación de aguas residuales y pluviales datan del siglo V A.C. en Turquía. El más impresionante de los sistemas antiguos es la Cloaca Máxima en Roma, construida en el siglo V A.C. por ingenieros etruscos. Las obras de drenaje construidas en las ciudades de las colonias romanas son un signo de avances sanitarios sin precedentes.

Durante los siglos XVI al XIX, en China y Japón, los residuos fecales humanos y animales eran cuidadosamente almacenados para, durante la época de verano, utilizarlos como fertilizante en los campos de cultivo. Según los misioneros Portugueses que se instalaron en Macao en el siglo XVI, los hedores y fluidos que se desprendían de los campos de cultivo de arroz hacía que la gente se enfermara.

A nivel internacional ya desde el comienzo de la agricultura, el uso de aguas residuales para el riego ha sido una eficaz forma de reciclado de nutrientes y de reutilización. Sin embargo, la concentración de la población en las ciudades ha

traído consigo la acumulación de los vertidos en unos pocos puntos y la dificultad de deshacerse de ellos en forma eficaz.

A nivel nacional e internacional, se tiene instituciones que están a cargo del tratamiento en aguas residuales, como es, la Institución Superintendencia De Servicios De Saneamiento (SUNASS), que es el ente rector en el sector saneamiento; el Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria Y Ciencias Del Ambiente (CEPIS), que es el centro de tecnología ambiental de la Organización Panamericana De Salud (OPUS), y los parámetros que son recomendadas para el reuso de las agua residuales, según la Oficina Regional Para Las Américas, de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los Estándares De Calidad Ambiental (ECA) según D.L 002 – 2008 - MINAM y los Limites Máximos Permisible (LPM) según D.L 003 – 2010 - MINAM

El CEPIS ha elaborado el proyecto de uso de aguas residuales en lima, “San Juan De Miraflores”, en Tacna y proyecto regional, donde enfatizan el uso de la aguas residuales y también el programa REUSO; dichos estudios servirán de base para el presente trabajo de investigación.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Realizar el estudio para el aprovechamiento del agua residual tratada de la planta de tratamiento de San Jerónimo – Cusco, para el riego del cultivo de cebada, determinando la ventaja que existe en la producción y crecimiento de dicho cultivo.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar los valores físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales tratadas para fines de riego del cultivo de cebada.
- Evaluar el crecimiento y producción del cultivo de la cebada bajo riego convencional con agua residual tratada.

## 1.4. HIPOTESIS

### 1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

- Las aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento San Jerónimo – Cusco, son aptas para el riego y trae incrementos en la producción del cultivo de la cebada forrajera en verde, sin hacer daño al medio ambiente.

### 1.4.2 HIPÓTESIS ESPECIFICA

- Los valores físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales tratadas son aptas para fines de riego del cultivo de cebada y el mejoramiento de la producción agrícola
- Al evaluar el crecimiento y producción del cultivo de la cebada bajo riego convencional con agua residual tratada es óptima según los parámetros establecidos por la “OMS”.

## CAPITULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TIPO LODOS ACTIVADOS (AEROBIO) Y BIOFILTRO (AEROBIO)

##### 2.1.1 LODOS ACTIVADOS

En 1883, Sir Thomas Bowden publica en Inglaterra un escrito sobre la operación de los denominados tanques con lodos activos para el tratamiento “avanzado” de aguas residuales. Estos eran tanques que operaban por lotes de aguas residuales y, una vez tratada el agua, se permitía que los microorganismos sedimentaran antes de extraer el agua por la parte superior.

**Vladimir, (2010):** los lodos activados desde 1923 ha sufrido innovaciones que se basan en dos aspectos principales: el conocimiento de los diferentes tipos de reactores (completamente mezclados y tubulares) y, de manera especial, en el conocimiento de la complicada microbiología y bioquímica. Tomando en cuenta que el sistema de lodos activados fue concebido para eliminar sólidos en suspensión y contaminantes orgánicos disueltos, y son utilizados como un tratamiento biológico en el cual se agita y aérea una mezcla de agua de desecho y un lodo de microorganismos, y de la cual los sólidos se remueven y recirculan posteriormente al proceso de aireación, según se requiera. El pase de burbujas de aire a través de las aguas de desecho coagula los coloides y la grasa, satisface parte de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), y reduce un poco el nitrógeno amoniacal.

En el proceso de lodos activados, los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aeradores superficiales, sopladores, etc.) los cuales tiene doble función: 1) producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle.

### 2.1.1.1 Proceso De Tratamiento De Los Lodos Activados Por Sedimentación

**Gerard Kiely, (1999):** El tratamiento estándar es el conjunto de procesos unitarios que reducen el color, la turbidez y las impurezas particulares a niveles aceptables. Al hacerlo así, se producen ventajas adicionales, tales como reducción en hierro y manganeso, reducción en algas, en patógenos, etc. Se puede considerar que el tratamiento estándar consiste en los siguientes procesos:

#### Sedimentación

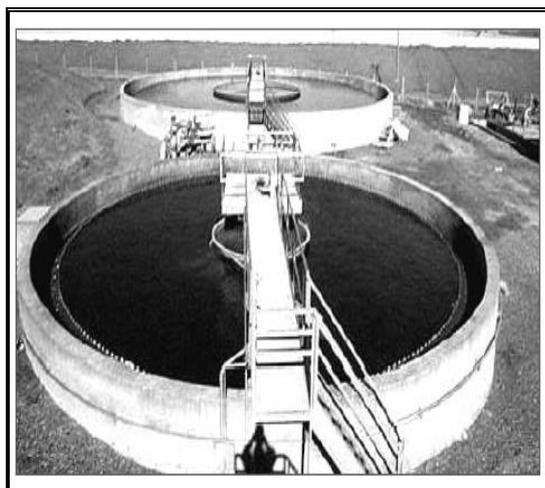
**Gerard Kiely, (1999):** La sedimentación es por definición “la separación sólido-liquido” en una decantación por gravedad para separar los sólidos en suspensión. En tratamiento de aguas, los procesos de sedimentación utilizadas son:

**Tipo I:** para sedimentar partículas no floculadas en una suspensión diluida. Esto puede presentarse debido a la simple decantación de aguas superficiales antes del tratamiento por filtración de arena.

**Tipo II:** para sedimentar partículas floculadas en una suspensión diluida. Esto puede presentarse después de la coagulación química y floculación donde a las partículas no discretas se les ayuda químicamente a coagular.

- **Sedimentación De Partículas Discretas: Tipo I:** los tanques o cubas de decantación son de dos tipos: rectangulares y circulares.
  - ✓ **El tanque de decantador circular:** El agua entra en la poceta central bien por la parte superior o hacia arriba a través de una tubería central. A medida que el agua afluyente se remansa, se extiende y una rasqueta de lodos que empuja a estos hacia la tolva central de extracción de lodos a nivel del piso. El agua clarificada sale por encima de un vertedero a lo largo del perímetro del tanque a nivel de la superficie.

**FIGURA Nº 1: MODELO DE UNA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS  
(DECANTADOR CIRCULAR)**



### 2.1.2. BIOFILTRO O FILTRO PERCOLADOR (AEROBIO)

**Gerard Kiely, (1999):** Los filtros percoladores han sido utilizados para el tratamiento biológico del agua residual durante casi 100 años. Los filtros percoladores modernos están formados por un lecho de medio filtrante tal como piedras, formas de plástico o tablillas de madera sobre el que se distribuye continuamente el agua residual. Los microorganismos se adhieren al medio filtrante y forman una capa biológica. La materia orgánica contenida en las aguas residuales se difunde en el medio filtrante donde es metabolizada. Normalmente se abastece oxígeno al sistema para mantener condiciones aerobias.

Tanque normalmente cilíndrico relleno de un material inerte sobre el que se rocía el agua a tratar. Se efectúa una ventilación por tiro natural o forzado para favorecer el aporte del oxígeno necesario para mantener la microflora en un medio aerobio. Sobre el material inerte se forma una película bacteriana, que según el espesor puede desarrollar bajo la capa aerobia otra capa anaerobia adicional a la primera. Medio filtrante de piedra gruesa o material sintético, se desarrolla una película de microorganismos que degradan la materia orgánica del agua residual.

En esta unidad de proceso biológico se oxigena el líquido en forma permanente con la recirculación del mismo desde el sedimentador secundario, en la superficie de las piedras esponjosas se adhieren los microorganismos patógenos que

realizan la depuración del líquido contaminado por estos mismos microorganismos patógenos, los cuales requieren una humedad permanente, para su proceso de degradación de los contaminantes, esta es la razón que requiere la constante recirculación del líquido, con esta finalidad se requiere la recirculación, utilizando la electrobomba de 1,2 de 100 HP, y de 60 01 HP, de la siguiente forma.

**FIGURA N° 2. MODELO DE UN BIOFILTRO O FILTRO PERCOLADOR**



## **2.2.- PARÁMETROS RECOMENDADOS PARA EL REUSO DE AGUAS RESIDUALES**

### **2.2.1.- ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) SEGÚN D.S. 002-2008-MINAM**

**Juan Ocola (2010):** El (ECA) es la medida de la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no presenta riesgo significativo para la salud para las personas ni al medio ambiente.

Son Normas, directrices, prácticas, procesos e instrumentos establecidos por la autoridad competente con el propósito de promover políticas de prevención, reciclaje, reutilización y control de la contaminación, destinados a proteger la salud humana y la calidad del ambiente, que incluyen los límites permisibles y otras normas técnicas a juicio de la autoridad ambiental competente.

### 2.2.2.- LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) SEGÚN D.S. 003-2010-MINAM

**Juan Ocola (2010):** El (LMP) es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción son establecidos por dicho Ministerio.

El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no se exceda la capacidad de carga de los ecosistemas, de acuerdo con las normas sobre la materia.

Los LMP sirven para el control y fiscalización de los agentes que producen efluentes y emisiones, a efectos de establecer si se encuentran dentro de los parámetros considerados inocuos para la salud, el bienestar humano y el ambiente. Excederlos acarrea responsabilidad administrativa, civil o penal, según el caso. Resulta fundamental al momento de elaborar los Estudios de Impacto Ambiental o PAMA porque los impactos ambientales provocados sin exceder los LMP se consideran, en principio, social y ambientalmente tolerables.

La falta de LMP es realmente preocupante, sólo el Subsector Minería cuenta con dos de tres LMP aplicables a dicha actividad, correspondientes a calidad de agua y de aire. Los demás sectores no cuentan a la fecha con parámetros de medición y control de emisiones, efluentes y ruidos. La consecuencia es la pérdida de eficacia del marco jurídico y administrativo fiscalizador y represivo ambiental, ya que las sanciones administrativas y penales a los potenciales infractores están generalmente referenciadas a los parámetros de medición de contaminantes. Es por ello fundamental acometer con urgencia la tarea de aprobación de los LMP correspondientes a todos los sectores productivos.

## 2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### 2.3.1. Aguas Residuales

**Alejandro, (2005):** Se denomina aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones del agua del terreno.

**Mariano, (1999):** Indica que, las aguas residuales, son el conjunto de aguas que son contaminadas durante su empleo en actividades realizadas por las personas, en las labores domésticas, sobre todo con residuos fecales y detergentes.

Otra fuente de contaminación de las aguas es la industria. Muchas de ellas, como la papelera, textil y siderúrgica, necesita agua para desarrollar su actividad. La consecuencia es el vertido de aguas residuales cargadas de materia orgánica, metales, aceites industriales e incluso radiactividad.

**Pelczar Y Col, (1981):** Las aguas residuales son aguas procedentes de las viviendas; oficinas y edificios comerciales, ya usadas del abastecimiento de una población, formadas por aguas domésticas cargadas de heces, orina y otros desperdicios; toda esta masa esta mas o menos diluida por el agua de lavado de servicios públicos y aguas pluviales que se vierten sobre un deposito de agua natural.

### 2.3.2. Fases Para El Tratamiento De Aguas Residuales

**Manson, (1984):** Hace aproximadamente 200 años, el deterioro de los cursos de agua debido a la contaminación orgánica no era importante por que la población humana era reducida y dispersa y los desechos que se arrojaban a los ríos y lagos, se depuran gracias a alas propiedades purificadoras naturales del agua.

La contaminación empezó a preocupar al hombre con la industrialización y el aumento tan rápido de la población mundial.

**Palacios, (1991):** La función del tratamiento de aguas residuales, según diferentes autores, consiste en la separación de los sólidos suspendidos sedimentables, la eliminación de la materia orgánica biodegradable por descomposición o estabilización; y se complementa con un proceso de filtración a trabes del flujo por medios porosos, este conjunto de operaciones se pueden clasificar como tratamiento primario, secundario y terciario.

a) **Pre tratamiento.**

**Gerard Kiely, (1999):** El pretratamiento de las aguas residuales normalmente es solo físico, es decir equilibrado de caudales, separación en rejillas y separación de arena.

Es la remoción de residuos de tamaño grande encontrados con frecuencia en el desagüe crudo, tales como piedras, ramas, raíces, plásticos y trapos. Comúnmente se utilizan cámaras de rejas para retener todo tipo de material grueso indeseable en el tratamiento posterior.

**Rigola, (1981):** Destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación. En el desbaste se retiene los sólidos de mayor tamaño, que podrían provocar un mal funcionamiento de los equipos posteriores, y pueden utilizarse distintos tipos de equipos, rejas, tamices autolimpiantes, microfiltros, etc. La homogenización tiene por objeto uniformizar los caudales y características del afluente, cuando los vertidos son irregulares, discontinuos o diferentes de unos momentos a otros, evitando que las descargas pueden afectar todos los procesos posteriores.

**Ruddy Noriega, (1999):** El propósito del pretratamiento, es la remoción de sólidos gruesos y materiales flotantes que normalmente se encuentra en el desagüe. Cuando las aberturas de las rejas son muy pequeñas (menos de 6mm), se produce una cierta eliminación de  $DBO_5$  y sólidos suspendidos, con la eliminación de sólidos, también se logra una cierta reducción de bacterias.

**b) Tratamiento primario:**

**Ruddy Noriega, (1999):** (operaciones unitarias físicas), su objetivo es la remoción por sedimentación de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, así como de espuma y otros materiales flotantes, aproximadamente entre el 25 – 50% de la  $DBO_5$  y el 50 – 70% de sólidos suspendidos, así como el 65% de aceites y grasas pueden ser removidos con este tratamiento. Los sedimentadores primarios o clarificadores, son tanques circulares o rectangulares de 3 – 5m de profundidad, con un periodo de retención hidráulico de 2 – 3 horas, los sólidos sedimentados o lodos primario, son removidos del fondo por medio de raspado, siendo concentrados en una tolva central.

**Metcalf Y Eddy, (1998):** Es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos por sedimentación, y la retención de material flotante, donde la sedimentación consiste en la separación por acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales.

**Gerard, (1999):** Se denomina clarificación, sedimentación o decantación. En este proceso unitario el agua residual se deja decantar durante un periodo (2 horas) en un tanque de decantación y producir así un efluente líquido clarificado y un fango líquido solidó (denominado fango primario).

En el tratamiento primario se lleva acabo una sedimentación en reposo con recogida de la materia flotante y grasa así como la eliminación del lecho de fango sedimentado.

**Rigola, (1981):** Este tratamiento esta constituido por procesos a la eliminación de la mayor parte de materiales sólidos en el agua y rebajar moderadamente la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ). Posee decantadores primarios y son utilizados para separar los sólidos en suspensión por un proceso de sedimentación; así las partículas mas densas que el agua se separan por acción de la gravedad por lo tanto el mayor tamaño de floculo formando ayuda a decantar mejor, este fenómeno se aprovecha para inducir a las partículas difícilmente decantables.

**c) tratamiento secundario**

**Ruddy Noriega, (1999):** Se refiere a un grupo de procesos capaces de eliminar el  $\text{DBO}_5$  y los sólidos suspendidos. Este proceso normalmente utiliza altas concentraciones de microorganismos para convertir la Materia Orgánica biodegradable en masa celular y productos derivados, los que luego son eliminados mediante sedimentación y otra meta física.

**Tyler, (1994); Metcalf Y Col, (1995):** Esta principalmente encaminado a la eliminación de sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables. Este tratamiento consiste en la oxidación de sustancias orgánicas disueltas y coloidales en presencia de microorganismos como bacterias aerobias en un primer paso para remover hasta el 90% de los desechos que exigen. La aeración se pueden lograr por medio de: fangos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lenguaje, sedimentación y estanques de oxidación.

**Gerard Kiely, (1999):** El objetivo principal de este tratamiento es la reducción del valor de  $\text{DBO}_5$  que no se beneficia de la decantación primaria.

El tratamiento secundario debe ser un proceso capaz de biogradar la materia orgánica en producto no-contaminantes, como por ejemplo  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  y biomasa (o fangos). El producto efluente líquido final debe de estar bien estabilizado o bien oxigenado de tal manera que no proporcione un afluente de alimentación para las bacterias aerobias en el medio acuático receptor. Así que la descarga a un medio receptor debería conducir a poca o ninguna eliminación de oxígeno disuelto por la acción bacteriana.

**Rigola Miranda, (1981):** El tratamiento secundario más común es un tratamiento biológico aeróbico seguido de una decantación secundaria. En un tratamiento biológico, las bacterias y otros microorganismos destruyen y metabolizan las materias orgánicas solubles y coloidales, reduciendo la Demanda Bioquímica De Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) y la Demanda Química De Oxígeno (DQO) a lo valores inferiores a 100 mg/litros. Los tratamientos aeróbicos son aquellos en que la biomasa esta constituida por microorganismos aerobios o facultativos consumidores de oxígeno y el

carbono de la materia orgánica disuelta en el agua se convierte parcialmente en CO<sub>2</sub> con producción de energía esta es en parte anabolizada para sintetizar material celular bacteriano; existen bastante tipos de procesos aerobios, cuya selección depende del volumen, concentración, características de la sustancias disueltas.

#### d) **Tratamiento Terciario.**

**Joaquín, (2003).** El objetivo del tratamiento terciario es eliminar la carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente. La cloración es parte del tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr un agua más pura, incluso hasta llegar a potabilizarla si se desea.

**Palacios, (1991):** Fase final del proceso de purificación y limpieza de aguas residuales, tiene el propósito de eliminar al máximo las sustancias orgánicas e inorgánicas que hayan pasado las estructuras del tratamiento secundario; concentraciones de nutrientes orgánicos, metales pesados y sustancias tóxicas.

## 2.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES

**Meclaf Y Eddy, (1995):** El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental.

**Cepis, (2001):** Las características de las aguas residuales son las siguientes:

- Están constituidas por un gran volumen de agua y una pequeña cantidad de sólidos en forma de sedimentos y en estado de disolución y suspensión.
- Del total de concentración de desechos sólidos, contenidos en las aguas residuales domésticas, generalmente un 60% corresponde a los desechos orgánicos biodegradables y el resto 40% son desechos de origen inorgánico.

- Por la relación anterior se observa que el contenido de agua es mucho mayor que los sólidos en las aguas residuales, lo que nos permite aplicar las mismas formulas hidráulicas establecidas para las aguas corrientes.

#### 2.4.1. Características Físicas

Las características físicas incluyen la totalidad de los sólidos en suspensión y las sustancias orgánicas disueltas. Que pueden taponar los poros del suelo, revestir con esas sustancias la superficie del terreno y reducir la aireación y penetración del agua, así como obstruir el sistema de riego. Uno de los objetivos fundamentales de las depuradoras es la eliminación de los sólidos contenidos en el agua residual.

**Mariano Seoanez, (1999):** Son adquiridos en su mayor parte, según sea el contenido total de sólidos en sus diferentes variantes de materiales flotantes, sustancias coloidales y productos disueltos.

**Metclaf Y Eddy, (1998):** Los más importantes son el contenido total de sólidos, términos que engloban la materia en suspensión, la materia sediméntable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, densidad, el color y la turbiedad, tenemos:

- **Color y Olor:** El color se refiere a la edad del agua residual que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color cambia gradualmente a gris oscuro, sin embargo como quiera los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro.

**Mariano Seoanez, (1999):** El olor es formado por los gases liberados de la descomposición de la materia orgánica. El olor es debido, sobre todo, a la presencia de ácido sulfhídrico, indol, escatoles, mercaptanos y otras

sustancias volátiles, y es eliminado por aireación o por aspersión del agua en los diferentes sistemas biológicos que se están tratando.

### ➤ **Temperatura**

**Ramos Cordova, (2002):** La temperatura juega un papel muy importante en el comportamiento de ciertos parámetros del agua, tales como solubilidad de las sales, solubilidad de los gases, en la conductividad eléctrica, sobre el pH y el conocimiento del origen del agua, así como sobre el metabolismo bacteriano. Según el rango de temperatura (10 – 14°C), esta no causa efectos negativos sobre la vida del microorganismo que intervienen en la eficiencia del sistema de tratamiento.

El aumento de temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica, aumenta el consumo de oxígeno para la oxidación y disminuye la solubilidad del oxígeno y otros gases. Otro papel importante de la temperatura es que mientras mayor sea, existe más crecimiento de algas, por lo tanto a un aumento en la concentración de algas mejorará la eficiencia del tratamiento a la remoción de bacterias.

### ➤ **Potencial de hidrogeniones (pH)**

**Hach Company, (2000):** La medición del pH es una de las pruebas más importantes y utilizadas con más frecuencia en los análisis de la calidad del agua. El pH influye en las concentraciones de equilibrio de muchos compuestos en agua; por consiguiente, la medición y el control del pH son componentes importantes en la purificación del agua, en el tratamiento de las aguas residuales, en la producción de alimentos, en la fabricación de productos, en platinados mediante electrolisis y en muchos procesos más

**Pescod, (1992):** El pH es una medida del grado de acidez o de alcalinidad de un agua. Diferentes investigaciones sugieren que los valores de pH que se aproximan a 9 ó más podrían desempeñar un papel crítico en el aceleramiento del decaimiento bacteriano, algunas veces se ha reportado 9.5 es letal para los coliformes fecales. Pero también por debajo de este nivel pueden ocurrir reducciones considerables de coliformes fecales y se

puede encontrar una relación entre el incremento de la velocidad del decaimiento bacteriano y el elevado nivel de pH.

**Consejería De Salud, (2007):** El pH representa la medida de la acidez o alcalinidad del agua. El intervalo normal para agua de riego oscila entre pH 6,5 a 8, y el agua residual urbana ya sea bruta o tratada sin vertidos industriales en condiciones normales se encuentra en un intervalo ideal para su uso para riego.

Sin embargo, cuando se encuentra fuera de este rango indica que algo anormal ocurre; ya sea referente a la calidad del agua o a la presencia de algún ión tóxico. Cuando sucede esto último el pH sirve como advertencia de que hay que realizar una rigurosa analítica del agua, y que el control de pH se hace necesario tanto para evitar daños en cultivos, en tratamiento biológico, etc.

#### ➤ **Conductividad Eléctrica**

**Consejería De Salud, (2007):** La C.E., es una de las determinaciones que se utilizan con mayor frecuencia, indica la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua, de forma que cuando mayor sea el contenido de sales solubles ionizadas, mayor será el valor de aquella. Técnica y prácticamente se ha demostrado que la cantidad de sales disueltas ionizadas en el agua es proporcional a la C.E. La salinidad del agua de riego se determina midiendo su conductividad eléctrica (C.E.), concentración de boro, cloruro, bicarbonatos.

Esta característica o propiedad nos indica el contenido de sustancias presentes en dicha agua. Así tendremos que un agua con un alto valor de conductividad eléctrica tendrá un alto contenido de sólidos disueltos y un agua con una conductividad eléctrica baja tendrá un escaso contenido de sólidos disueltos o sea una baja concentración de éstos.

**Maas, (1990):** Es un elemento que nos indica el contenido de sales, dice que pueden presentarse problemas por salinidad del agua de riego, cuando su conductividad eléctrica es superior a 2dS/m (equivale a la unidad antigua de 1mmhos/cm). Corresponde a un contenido aproximado de 1,3 g/l, y valores

superiores a 2 g/l, producen disminuciones importantes de producción en la mayoría de los casos.

#### ➤ **Sólidos Suspendidos Sedimentables**

**Rigola Miranada, (1981):** son partículas más densas que el agua se separan por acción de la gravedad. Los sólidos pueden plantear problemas cuando las aguas residuales son tratadas mediante sistemas agrarios, debido a su capacidad de ocluir los poros del suelo y poder llegar a establecer costras impermeables sobre la superficie de los terrenos.

#### ➤ **Materia Orgánica**

**Meclal Y Eddy, (1995):** Se dice que el 75 % de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxigeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes y otros elementos como el azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presente en el agua residual son las proteínas (40 a 60 %), hidratos de carbono (25-50 %), grasas y aceites (10 %). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina.

#### **2.4.2. Características Químicas**

**Pelczar Y Col (1981):** Contienen la materia orgánica (proteínas, carbohidratos, grasas, etc.), el agua residual esta formada de aproximadamente 99,9% de agua y 0,02 a 0,03 % de sólidos en suspensión y otras sustancias. La medición del contenido orgánico (DBO<sub>5</sub>), la materia inorgánica (pH, cloruros, alcalinidad, nitrógeno, fósforo y metales pesados), y los gases presentes en el agua residual (oxigeno disuelto, sulfuros de hidrogeno y metano).

**Mariano Seoanez, (1999):** las propiedades químicas de las aguas residuales son proporcionadas por componentes que podemos agrupar en tres categorías,

según su naturaleza: materia orgánica, compuestos inorgánicos y componentes gaseosos; conjunto que podemos reunir a su vez en dos grandes grupos: sólidos en suspensión y compuestos en disolución.

➤ **Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

**Rolim, (2000):** La (DBO<sub>5</sub>) es la cantidad de oxígeno usada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones determinadas de tiempo y temperatura, es la primera prueba usada para la evaluación de la naturaleza del agua residual.

Es el parámetro universal para determinar el grado de contaminación orgánica aplicado tanto en aguas superficiales y en aguas residuales, el cual indica la cantidad aproximada de oxígeno que se necesita para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, así como para dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, para medir su eficacia del sistema de tratamiento y para controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

**Cepis, (2002):** La (DBO<sub>5</sub>) señala la masa de oxígeno molecular que requieren los microorganismos para la descomposición o estabilización de las sustancias orgánicas que contienen el agua residual, bajo ciertas condiciones específicas y en un periodo determinado (por eso el subíndice indica los días u horas). Para determinar el DBO<sub>5</sub> se deja que ocurra la descomposición bacteriana en botellas de condiciones controladas; luego se determina la cantidad de oxígeno consumido, expresándole en mg/l, sería necesario un estudio de varias semanas para medir la totalidad de la DBO<sub>5</sub> del agua residual.

**Fair – Séller – Gkun, (1981) citado por Palacios F:** Dentro de los parámetros de contaminación de las aguas; la DBO<sub>5</sub> es el parámetro que determina el grado de contaminación de las aguas residuales y cuantifica el contenido de materia orgánica presentes en el Agua Residual; es por eso, generalmente se realice un monitoreo antes de realizar el tratamiento, aunque hay que tener presente que las variaciones de la DBO<sub>5</sub> depende de la duración de la descomposición de la materia orgánica biodegradable, de

la misma temperatura, de la acción de la luz, de la clase de microorganismos, etc.

#### ➤ Oxígeno Disuelto

**Jairo Alberto, (1999):** Es un factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas en un medio particular, y es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. El oxígeno disuelto en las aguas es la cantidad de este gas en estado libre que se halla disuelto en esa agua, sin formar combinaciones con otros elementos químicos

Se presenta en cantidades variables y vagas en el agua, su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico presente y es, por ello, un factor muy importante en la autopurificación de los ríos.

#### ➤ Alcalinidad

**Jairo Alberto, (1999):** Capacidad para neutralizar un ácido fuerte a un pH determinado como punto final de reacción, como su capacidad para reaccionar con iones hidrogeno, como su capacidad para aceptar protones o como la mediada de su contenido total de sustancias alcalinas (OH).

**Mecalf Y Eddy, (1998):** La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producido por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos.

#### ➤ Nitrógeno Total

**Gerard Kiely, (1999):** El nitrógeno en las aguas puede presentarse tanto en forma orgánica como inorgánica. Las formas inorgánicas están constituidas por el amonio, el nitrito y el nitrato. Tanto el nitrógeno orgánico como el inorgánico se presentan en altas concentraciones en las aguas residuales como resultado de la presencia de residuos orgánicos y de la descomposición de éstos. Otras aguas residuales, como las pecuarias por ejemplo, presentan altas concentraciones de nitrógeno en sus diferentes formas.

El nitrógeno es esencial para el crecimiento biológico, y para la síntesis de proteínas. Tiene efectos en el ambiente acuático (eutrofización). En principio, el riesgo de toxicidad por el uso de nitrógeno es muy pequeño, pues si el volumen y frecuencia de aplicación de las aguas residuales urbanas es bajo, el nitrógeno aportado es similar en cantidad al que pudiera aplicarse una fertilización convencional.

El exceso de nitrógeno se desplaza a través del suelo. Con lo que el elemento disponible para las plantas es muy difícil que provoque fitotoxicidad. Su carencia se manifiesta mediante clorosis (amarilleamiento) de las hojas por falta de clorofila.

### ➤ **Nitrógeno Amoniacal**

**Jairo Alberto, (1999):** El amoniaco ( $\text{NH}_4^+$ ) es un producto resultante de la actividad microbiana sobre el nitrógeno orgánico que al final éstos producen como residuo el amonio; y a medida que transcurre el tiempo, en condiciones aeróbicas, el nitrógeno amoniacal es oxidado en nitritos y esta a nitratos, los cuales son el producto final de la descomposición del nitrógeno orgánico.

Son el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir los organismos. Además, los datos de nitrógeno son usados para el control del proceso de aireación de plantas de lodos activados.

Aguas con altas concentraciones de nitrógeno amoniacal presentas serios problemas de purificación, generalmente están asociadas con altas concentraciones de hierro y color, así como una alta demanda de cloro.

### ➤ **Nitratos**

**Jairo Alberto, (1999):** Los nitratos formados sirven como fertilizantes para las plantas y son convertida en proteínas. El proceso se conoce como nitrificación y se usa como primera etapa en el tratamiento de aguas residuales que contienen nitrógeno amoniacal, cuando se requiere remoción biológica de nitrógeno.

### ➤ Fósforo

**Jairo Alberto, (1999):** Es un elemento esencial en el crecimiento de las plantas y animales, actualmente es considerada como una de los nutrientes que controla el crecimiento de las algas, un exceso de fósforo produce un desarrollo exorbitado de algas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua.

El uso de detergentes, los cuales contiene grandes cantidades de fósforo, ha aumentado el contenido de fosfato en las aguas residuales domesticas y contribuye al problema de incremento del mismo en las fuentes receptoras.

La descarga de 1g de fósforo, en un lago, puede permitir la formación de mas de 100g de biomasa (materia orgánica), la cual puede presentar un DBO<sub>5</sub> de 150g de oxigeno para su oxidación aerobia completa, además de los problemas de eutrofización y crecimiento de fitoplancton. El fósforo como fosfato es un nutriente de los microorganismos en el tratamiento biológico de aguas residuales.

**Gerard Kiely, (1999):** El exceso de fósforo que aportará una sobrecarga correspondiente al agua residual, acelerará la maduración de los vegetales, y su carencia provocará defectos en el crecimiento de raíz, tallo y hojas.

### ➤ Hierro

**Tebbut, (1990):** En suelos airados no es toxico para las plantas, pero puede contribuir a la acidificación del suelo y ala perdida de la escasa disponibilidad del fósforo y del molibdeno necesario.

**Gerard Kiely, (1999):** El hierro actúa como microelemento, con efectos normales de exceso o de carencia y como elemento importante en la fijación simbiótica del nitrógeno.

Su falta genera inhibiciones de la respiración y problemas bioquímicos complejos en la fotosíntesis. O se manifiesta mediante amarilleo foliar en las plantas. El exceso de hierro es muy raro, ocurriendo solamente en algún caso de aplicación de aguas residuales urbanas en suelos muy ácidos, o cuando estas contienen cantidades exageradas en sales solubles, siendo toxicidad para las plantas.

➤ **Cloruros Y Sulfatos**

**Jairo Alberto, (1999):** Los cloruros se encuentran en la materia orgánica de excremento de humanos, alimentos, etc. Por consiguiente, los efluentes de aguas residuales añaden cantidades considerables de cloruros a las fuentes receptoras. Muchos residuos industriales contienen cantidades apreciables de cloruros. Los cloruros en cantidades razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales. Concentraciones elevadas de cloruro en el agua de riego pueden producir problemas de toxicidad en los cultivos.

**Seoanez, (1995):** Los sulfatos tienen gran importancia en desagües y desechos industriales, por que ellos son indirectamente responsables de los serios problemas (olores y corrosión de desagüe), frecuentemente asociados con el manejo y tratamiento de desagües.

➤ **Cobre, Cromo, Plomo, Cadmio, Mercurio y Arsénico.**

**Ruddy Noriega, (1999):** En concentraciones bajas afectan a la biota y al hombre que se acumulan en el organismo y producen infecciones crónicas difíciles de reconocer, provienen de la industria química y farmacéutica en general.

En las aguas residuales suele ser más elevado que en las aguas normales, concentraciones excesivas de algunos elementos como: plomo, cadmio, cromo, mercurio, cobre y arsénico, pueden presentar problemas de toxicidad para las plantas.

**Mecalf Y Eddy, (1998):** Muchos de estos metales están catalogados como contaminantes prioritarios, algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, la ausencia de cantidades suficientes de ellos podrían limitar el crecimiento de las algas, y concentraciones excesivas de estos electos pueden presentar problemas de toxicidad para las plantas. Es por ello que, a menudo, resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas substancias.

El mercurio es un elemento Tóxico para los seres humanos y Tóxico para la vida acuática si pasa su valor dado.

**Gerard Kiely, (1999):** El exceso de cobre puede manifestarse por una clorosis férrica inducida y por bajas en el crecimiento. Al aplicarse vertidos intensos de aguas residuales que puedan contener fuertes concentraciones de este elemento, puede causar problemas de toxicidad para las plantas y también afectan al hombre, el metal se fija y se acumula en los primeros 10 cm de suelo.

El plomo a concentraciones muy elevadas, puede inhibir el crecimiento celular de las plantas.

El cadmio en sus límites recomendados son conservadores debido a su capacidad para acumularse en el suelo y en las plantas hasta concentraciones que pueden ser perjudiciales para las personas.

### 2.4.3. Características Biológicas

**Ramalho, (2001):** Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso de:

- Agua residual domestica: el principal objetivo es disminuir el contenido orgánico.
- Agua que ha de ser usada para fines agrícolas: se pretende eliminar los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo, que son capaces de estimular el crecimiento de plantas acuáticas.
- Aguas residuales industriales: la finalidad es reducir la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos.

**Metclaf Y Eddy, (1995):** Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales son las bacterias, hongos, algas, protozoos, plantas y animales. Las bacterias desempeñan un papel amplio y de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento.

**Mariano Seoanez, (1999):** El componente biología es básico en las aguas residuales, habida cuenta de su capacidad metabólica y en consecuencia de su potencialidad de transformación de los restos químicos, orgánicos y físicos, es claro que el componente orgánico de las aguas residuales es un medio de

cultivo que permite el desarrollo de los microorganismos que cierran los ciclos químicos, bioquímicas de elementos , (azufre, carbono, nitrógeno, fósforo, etc.), entrando en competencia y eliminando los elementos patógenos que se pueden encontrar en el medio.

Este componente se manifiesta fundamentalmente en cinco áreas diferentes:

- a) Descomposición de los compuestos orgánicos: Contenidos en aguas residuales.
- b) Eliminación de determinados compuestos orgánicos que sean tóxicos para los vegetales y microorganismos del suelo.
- c) Desaparición de microorganismos patógenos.
- d) Participación de los ciclos bioquímicas del N. P. S., elementos fundamentales cuando se presentan como nitratos, fósforo, sulfatos en el movimiento y asimilación por el suelo y los vegetales.
- e) Reacción de la materia orgánica transformada y del componente mineral del suelo.

Estas características se relacionan con bacterias, virus y otros organismos causantes de enfermedades transmisibles como el cólera y la tifoidea. Antes de ser tratadas, las aguas residuales tendrán toda clase de microorganismos, muchos de los cuales son patógenos, es decir, causantes de enfermedades. El grado de desinfección dependerá del tratamiento usado, la utilización que se prevé y los requisitos sanitarios.

**Tebbut, (1990):** Los microorganismos indicadores de contaminación, son los aspectos sanitarios del problema de contaminación, suelen dividirse, en cuanto a los diferentes riesgos que suponen para la salud pública, en tres apartados; a) bacterias, virus patógenos y organismos parasitológicos, b) compuestos químicos que suponen peligro para la salud, c) propagación de insectos que pueden ser vectores en la transmisión de enfermedades; entre los indicadores mas frecuentes se tiene:

➤ **Coliformes Totales**

**OMS, (1989):** Los coliformes totales pueden hallarse tanto en las heces como en el medio ambiente (aguas ricas en nutrientes, suelos, materias

fecales en descomposición). La prueba de los coliformes puede utilizarse como indicador de la eficiencia de tratamiento, y es útil para vigilar la calidad microbiana del agua. Este grupo comprende los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*.

Las bacterias coliformes existentes se pueden determinar de diversos métodos estándar para su estimación, como son:

- a) Número más probable (NMP).
- b) Métodos basados en filtración de membrana (FM).
- c) Métodos basados en presencia – ausencia (P/A)
- d) Métodos cromogénicos y/o fluorogénicos basados en reacciones específicas de los microorganismos.

#### ➤ **Coliformes Fecales**

**OMS, (1995):** Los coliformes fecales presentan una fracción de los coliformes totales, abarca a todas las bacterias aerobias o anaerobias facultativas, de forma bacilar, gran negativas, no esporuladas, y se diferencian debido a la capacidad que presentan algunos para desarrollarse a temperaturas elevadas. Y pueden fermentar la lactosa a una temperatura de 44 – 45 °C.

Comprende el género *Escherichia*, y en menor grado especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*.

**Jairo Alberto, (1999):** su presencia en el agua es considerada como un índice evidente de la ocurrencia de contaminación fecal y por lo tanto de contaminación con organismos patógenos.

## 2.5 REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES, EN LA AGRICULTURA

### 2.5.1 Reutilización Agrícola Y Forestal

El uso de aguas residuales para la agricultura y la acuicultura se está incrementando tanto en los países en desarrollo como en los industrializados y las principales fuerzas motrices son:

- Incremento de la tensión y escasez de agua y la degradación de los recursos de agua dulce resultante de la disposición inapropiada de aguas residuales, excretas y aguas grises.

- Un reconocimiento creciente del valor del agua residual y de los nutrientes que esta contiene.

La reutilización en el ámbito agrícola y forestal de las Aguas Residuales depuradas contribuye a aumentar la productividad y en consecuencia la calidad de Reutilización agrícola en:

- En cultivos alimenticios
- En cultivos no alimenticios

Además de estas ventajas la reutilización ayuda a evitar la contaminación ambiental y proteger el abastecimiento de agua potable en el medio rural.

El uso del Agua Residual depuradas en la agricultura es la forma más eficiente para reciclar los nutrientes que contiene, reducir la contaminación de las aguas superficiales y conservar este recurso para otros usos. Con frecuencia esta es la única opción con la que cuentan los agricultores de los países en vías de desarrollo.

### 2.5.2 Calidad De Las Aguas Residuales

La verificación de la calidad de las aguas residuales antes y después del tratamiento, es obligatorio y permite conocer los parámetros de contaminación que deben ser controlados. En la tabla N° 1, se muestra los valores límites permisibles de los parámetros del agua residual doméstica cruda y tratada para su reutilización para el riego, según las normas nacionales (ECA) y los (LMP) para aguas residuales las cuales están dentro del D.S. 002-2008-MINAN, e Internacional (OMS).

El Decreto Supremo N°002-2080-MINAM, tiene la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en efluentes o emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente.

**Palacios, (1991):** Los parámetros siguientes: coliformes totales, coliforme fecales, *Vibrio cholerae*, pH, Oxígeno Disuelto, DBO<sub>5</sub>, nitratos, sólidos sedimentales, sólidos totales y grasas; como los parámetros primordiales en los análisis; por cuanto son los parámetros básicos indicadores para reconocer la calidad de las aguas residuales y el nivel de contaminación de la misma. En base a los resultados de estos análisis, se diseñarán las técnicas de tratamiento.

**TABLA N° 1: PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA CRUDA Y TRATADA, PARA REUSO EN LA AGRICULTURA**

| PARÁMETROS                         | VALORES LIMITES PERMISIBLES |           |           |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|
|                                    | LMP                         | ECA       | OMS       |
| Coliformes Totales (NMP/100 ml)    | 1x10 <sup>9</sup>           | 5000      | 5,000     |
| Coliformes Fecales (NMP/100 ml)    | 1x10 <sup>8</sup>           | 1000      | 1,000     |
| Nematodos (N° Huevos/l)            | 1,000                       | 1         | 1         |
| Sólidos suspendidos sed (ml/l/h)   | 150                         | 0.5       | 0.5       |
| Sólidos Totales (mg/l)             | 150                         | 150       | 100       |
| Aceites y Grasas (mg/l)            | 20                          | 1         | 0.5       |
| Vibrium Cholerae (%)               | 0                           | 0         | 0         |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)            | 100                         | 15        | 10        |
| pH (1 a 14)                        | 6.5 a 8.5                   | 6.5 a 8.5 | 5 a 9     |
| Temperatura (°C)                   | < 35                        | 35        | 20        |
| Oxigeno Disuelto (mg/l)            | 20                          | 4         | 3         |
| Alcalinidad (mg/l)                 | 200                         | 10        | 10        |
| Dureza Total (mg/l)                | 500                         | 56        | 56        |
| Materia Orgánica (mg/l)            | 500                         | 25        | 25        |
| Nitrógeno Amoniacal (mg/l)         | 5                           | 0.02      | 0.5       |
| Nitrógeno Total (mg/l)             | 30                          | 1.6       | 2         |
| Fósforo (mg/l)                     | 3                           | 1         | 0.2       |
| Nitrato (mg/l)                     | 2                           | 10        | 0.1       |
| Conductividad Eléctrica (mmhos/cm) | 1.4                         | 0.7       | 0.7       |
| Sulfatos                           | 250                         | 300       | 300       |
| cloruros                           | 200                         | 100 a 700 | 100 a 700 |
| Plomo (mg/l)                       | 0.2                         | 0.05      | 0.1       |
| Cadmio (mg/l)                      | 0.05                        | 0.005     | 0.5       |
| Cromo (mg/l)                       | 0.1                         | 1         | 1         |
| Mercurio (mg/l)                    | 0.002                       | 0.001     | 0.01      |
| Cobre (mg/l)                       | 0.5                         | 0.2       | 1         |
| Arsénico (mg/l)                    | 0.1                         | 0.05      | 0.2       |
| Hierro (mg/l)                      | 2                           | 1         | 1         |

Fuente: (ECA) D.S. 002-2008 - MINAM, (LMP) D.S. 003-2010 - MINAM Y D.S. 010-2010 - MINAM e Internacional (OMS).

### 2.5.3 Normas Para El Reuso Del Agua Residual En Riego

**Cepis, (2002):** Existen normas para el reuso de las aguas residuales tratadas y lodos; con valores límites permisibles de sus parámetros. El control de contaminación indica que; los efluentes no deben ser un peligro para el hombre y su medio ambiente, ni deben producir efectos de salinidad, obligando realizar su tratamiento para su purificación y limpieza.

**Superintendencia Nacional De Servicios De Saneamiento, (1995):** La calidad del agua residual tratada y suministrada para uso agrícola, acuícola, municipal, recreacional, forestal o industrial, conjuntamente con su forma de manipular y emplear, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El agua no debe contener ningún elemento, organismo o sustancia (bien sea o no un parámetro reglamentario) a una concentración o valor que en conjunción con cualquier otro elemento, puede resultar un peligro a la salud de los usuarios y/o consumidores de los productos que hayan sido obtenidos a través del empleo de estas aguas residuales.
- b) Los resultados de los análisis físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos, en el total de muestras tomadas de las plantas de tratamiento ya sea estanques de almacenamiento o regulación, no deben exceder las concentraciones o valores reglamentados por la OMS, ECA y límites máximos permisibles (LMP).

**OMS, (1995):** El reuso seguro de las aguas residuales, excreta y aguas grises para fines de agricultura, acuicultura y recreativos, están normadas por la Organización Mundial De Salud (OMS), para proteger la salud cuando se reusan, recordando métodos de tratamiento como: la clarificación en tanques de sedimentación en un mayor tiempo posible, purificarse biológicamente cuando menos en forma parcial, someterse a los procesos de filtración, para cumplir con los criterios sanitarios exigidos.

Las directrices sanitarias sobre el reuso de las aguas residuales en la agricultura, están contenidas en el informe 778 de la OMS. 1989, en la tabla N° 02, contiene dichas directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales.

**TABLA N° 2: DIRECTRICES DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y PARASITOLÓGICA RECOMENDADAS PARA EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA (OMS, 1989)**

| Cate-<br>goría   | Condiciones<br>de<br>Reutilización   | Grupo<br>Expuesto                 | Nematodos<br>Intestinales<br>(N°<br>Aritmético<br>Promedio de<br>Huevos por<br>Litro 3) | Coliformes<br>Fecales (N°<br>Geométrico<br>Promedio por<br>100 ml 3) | Tratamiento de Aguas<br>Residuales para el<br>Alcance de la Calidad<br>Microbiológica<br>Requerida                                |
|--|--|-----------------------------------|---|--|---|
| A  | Irrigación de cultivos probablemente consumidos crudos, campos de deporte y parques públicos.          | Campesinos consumi-dores publicos | ≤ 1   | ≤ 1000   | Una serie de lagunas de estabilización proyectadas para alcanzar la calidad microbiológica indicada o un tratamiento equivalente. |
| B  | Irrigación de cereales, cultivos industriales, forrajes, pastos y árboles                              | campesinos                        | ≤ 1   | No existen normas recomendadas                                       | Retención en laguna de estabilización durante 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coniformes fecales             |
| C  | Irrigación localizada de cultivos en la categoría B sino están expuestos los trabajadores y el publico | Ninguno                           | No aplicable  | No aplicable   | Pretratamiento como lo requiere la tecnología de irrigación, pero por lo mínimo una sedimentación                                 |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1 En casos específicos, los tractores locales epidemiológicos, socio cultural y ambiental deben ser tomados en cuenta y las directrices modificadas conformemente.</li> <li>2 Especies de ascaris, trichuris y anquilostoma.</li> <li>3 Durante el periodo de riego.</li> <li>4 Una directriz más rigurosa (≤ 200coliformes fecales por 100 ml) es apropiada para céspedes públicos, tales como céspedes de hoteles, con las cuales el público entra en contacto directo.</li> <li>5 En el caso de arboles frutales se debe suspender el riego dos semanas antes de la recolección de las frutas, y no se deben recoger frutas del suelo. También se debe evitar el riego por aspersión.</li> </ol> |  |                                   |   |  |   |

Fuente: informe técnico 778 de la OMS, 1989, directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales.

## 2.6 REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN PERÚ

**Moscoso, (2004):** El tratamiento y reuso de las aguas residuales se inicia en el Perú en la década de los 60, se ha venido aplicando al 78% de las plantas existentes en el país. Sin embargo, la cobertura de tratamiento solo llega al 17.6% de las aguas residuales generadas, ya que la crisis económica ha limitado las inversiones en este rubro.

En América Latina, el 84% del volumen total de aguas residuales se arrojan a ríos, lagunas y océanos; en el Perú solo el 35% de aguas residuales recolectadas en alcantarillados pasan por alguna forma de tratamiento, el otro 65% se descargan infectando playas y puntos vitales de nuestras aguas dulces.

Así mismo en el Perú citado por Sáenz F. indica que. De una evaluación de 177 localidades en las cuales se reúsan aguas residuales, solo 32 localidades (18%) presentan sistemas de tratamiento. En las 145 localidades restantes (82%), las aguas residuales reusadas no cuentan con algún tipo de infraestructura de tratamiento (esto en referencia a nivel nacional).

En la costa peruana existen mas de 4,300.00 Ha agrícolas regadas con aguas residuales, 86% de ellas sin ningún tratamiento. Otras 125,000.00 Ha agrícolas reciben aguas de ríos con niveles de contaminación superiores a los aceptables. La restricción de cultivos y la implementación de plantas de tratamiento podrían reducir el alto riesgo para la salud pública.

**Ministerio De Agricultura, (1992) citado por Palacio:** En el Perú se están reusando, aguas residuales no tratadas, en una extensión de 3,643 Has, frente a las reuso de las aguas residuales tratadas con una extensión de 549 Hás. Esto obligo a que en ese mismo año sea presente el proyecto nacional de aprovechamiento de las aguas residuales tratadas con fines de riego, con el cual se realizo diagnostico del uso de los afluentes en el Perú.

**Tabla N° 3: Riego Con Aguas Residuales En La Costa Del Perú**

| CIUDADES                           | SUPERFICIE REGADA (Has)        |                          |               |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------|
|                                    | AGUA<br>RESIDUAL SIN<br>TRATAR | AGUA RESIDUAL<br>TRATADA |               |
|                                    |                                | ACTUAL                   | PROYECTADA    |
| 1. Lima (14.50 m3/s)               |                                |                          |               |
| 1.1 bocanegra: chillon, santa rosa | 2,822                          | -                        | 2,822         |
| 1.2 ventanilla                     | 55                             | -                        | 495           |
| 1.3 villa el salvador              | 116                            | 75                       | 75            |
| 1.4 san bartola                    | -                              | -                        | 4,300         |
| 2. ica (0.15 m3/s)                 | -                              | 200                      | 450           |
| 3 piura (0.88 m3/s)                | -                              | 116                      | 1,000         |
| 4. Chiclayo (1.23 m3/s)            | 390                            | -                        | 1,300         |
| 5. Trujillo (0.60 m3/s)            | 260                            | -                        | 1,386         |
| 6. tacna (0.26 m3/s)               | -                              | 200                      | 260           |
| <b>Total (17.62 m3/s)</b>          | <b>3,643</b>                   | <b>594</b>               | <b>12,566</b> |

Fuente: ministerio de agricultura 1991.

### 2.6.1. Reuso Del Agua Residual Con Relación al Aspectos Salud

**Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338:** Para la concesión de aguas negras, establece que el concesionario o arrendario, según los casos, esta obligado a preservar la salud del personal que labora en las faenas agrícolas de los terrenos con aguas negras.

**Ley General de Salud N° 26842 (1993):** El abastecimiento del agua, alcantarillado, disposición de excretas, reuso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones de la Salud competente.

**Moscoso Y Saco, (1983):** La evaluación de riesgos para la salud por el uso de las aguas residuales en agricultura (CEPIS, 1990) concluye que es posible obtener verduras sin salmonella si se riegan con aguas residuales con niveles menores a 1,000 coliformes fecales/100ml.

**Moscoso, (2004):** Se sabe que los agricultores que riegan con aguas residuales sin tratamiento, están expuestas a un alto riesgo de infestación con bacterias, virus patógenos y parásitos, a lo que se suma la deficiente higiene personal que

mantiene este grupo humano. Solo algunos agricultores tratan de evitar el contacto directo con las aguas y acostumbran a lavarse las manos después del riego.

**José Manga; Nelson Molinares; Jorge Arrieta, (2007):** Como es debido, la actividad agrícola produce alimentos básicos para el ser humano. Es por eso que a todo costo debe evitarse el riesgo de contaminación con patógenos como las bacterias de origen fecal y los nematodos intestinales que habitan en los intestinos del ser humano.

La OMS 1989. Establece los lineamientos para las concentraciones permisibles de coliformes fecales y huevos de helmintos en aguas destinadas al riego de diversas clases de cosecha. Acorde con la organización Environmental Protection Agency (EPA), y la Union Europea.

Los parámetros microbiológicos son para proteger la salud humana; sin embargo, para proteger el rendimiento de las cosechas y la salud de las plantas deben de seguir algunas recomendaciones referentes al contenido de la salinidad, y de algunos cationes y metales pesados.

La mayoría de las cultivos se ven afectados por concentraciones de nitrógeno total de hasta 30 mg/l sin tratamiento, sin embargo, se deberá de revisar cada especie, algunos cultivos son sensibles solo resisten concentraciones hasta 5mg/l.

### **2.6.2 Reuso Del Agua Residual Con Relación Al Aspecto Ambiental**

**Ley general del ambiente, ley N° 27446, (2009).** El cumplimiento del deber a contribuir a un efectivo gestión ambiental y de proteger el ambiente, lo mismo que sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

**Ministerio De Agricultura PRONADRET, (1992):** El ministerio de agricultura viene desarrollando un programa nacional de rehabilitación de la tierras agrícolas con problemas de drenaje y salinidad, acción que es posible dentro de los márgenes económicos normales.

La costumbre del riego por inundación, fuertemente arraigada en los agricultores, ha ocasionado uno de los mayores problemas que afrontan las

tierras costeras: la salinización y el mal drenaje, que afecta aproximadamente a 300,000 Ha, es equivalente a casi el 40% del área cultivada.

### **2.6.3 Normas Ambientales Para Aguas Receptoras**

Las normas peruanas sobre la calidad del agua para las aguas receptoras se indican en la Tabla 4. Estas normas clasifican a las corrientes por su uso en seis categorías:

- I. Abastecimiento de agua sin tratamiento para el consumo doméstico.
- II. Fuentes de abastecimiento de agua tratada.
- III. Agua de riego para cultivos alimenticios que generalmente se comen crudos.
- IV. Aguas usadas para recreación donde hay contacto corporal con el agua.
- V. Aguas usadas para el cultivo de mariscos.
- VI. Aguas usadas para la recreación sin contacto corporal y protección general del ambiente.

En general las normas peruanas son consistentes con otras normas internacionales. Sin embargo, las normas peruanas no hacen una distinción explícita entre agua marina y agua fresca. Las Clases I, II y III se aplican claramente a aguas frescas.

**TABLA Nº 4: RESUMEN DE LAS NORMAS PERUANAS PARA AGUAS RECEPTORAS**

| Parámetros y otras necesidades                             | Clase I<br>Fuente de abastecimiento sin tratar | Clase II<br>Fuentes de abastecimiento tratadas | Clase III<br>Riego de cultivos alimenticios que se comen crudos | Clase IV<br>Agua para recreación de contacto directo | Clase V<br>maricultura | Clase VI<br>Recreación general y protección ambiental |
|--|--|--|---|--|------------------------|---|
| Coniformes fecales, NMP/100 ml (80% de muestras mensuales) | 0  | 4,000  | 1,000   | 1,000  | 200                    | 4,000   |
| Coniformes totales, NMP/100 ml (80% de muestras mensuales) | 8.8  | 20,000   | 5,000   | 5,000  | 1,000                  | 1000  |
| Oxígeno disuelto mg/l                                      | 3  | 3  | 3   | 3  | 5                      | 4   |
| DBO, total, mg/l   | 5  | 5  | 15  | 10   | 10                     | 10  |
| Metales, mg/l  |  |  |   |  |                        |   |
| Cromo(+6)  | 0.05   | 0.05   |   | n/a  | 0.05                   | 0.05  |
| Mercurio   | 0.002  | 0.002  | 0.01  | n/a  | 0.0001                 | 0.0002  |
| Cobre  | 1.0  | 1.0  | 0.2   | n/a  | 0.01                   | 2   |
| Plomo  | 0.05   | 0.05   | 0.05  | n/a  | 0.01                   | 0.01  |
| Cadmio   | 0.01   | 0.01   | 0.01  | n/a  | 0.0002                 | 0.004   |
| Níquel   | 0.002  | 0.002  | 0.05  | n/a  | 0.002                  | 96 hlc50 x 0.02                                       |
| Cianuro (CN)   | 0.2  | 0.2  |   |  | 0.005                  | 0.005   |
| Fenoles  | 0.0005   | 0.001  |   |  | 0.001                  | 0.10  |
| Bifenilos policlorinados (PCB)                             |  |  |   |  |                        |   |

Fuente: Decretos Supremos Nº. 002-2008-MINAM (ECA o LMP)

## 2.7 REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN OTROS PAÍSES

**OMS (1995).** En el mundo se utilizan las aguas residuales para diversos propósitos; conociéndose esta tecnología con los términos de: reciclaje, recirculación, reuso, reutilización o recuperación. En los países en vías de desarrollo, se obliga reusar las aguas residuales en condiciones mínimas de tratamiento; especialmente para fines agrícolas, sin embargo los mejores resultados se han logrado reusando para irrigar zonas forestales; lo que justifica su reuso para las arborizaciones. En regiones con pocos recursos hídricos, especialmente en las zonas áridas, las aguas residuales tratadas se están reusando en zonas de recreación, para irrigar campos de golf, parques y jardines, aeropuertos y otras áreas públicas.

Elaboraron un informe técnico, sobre el reuso de aguas residuales en países en vías de desarrollo; publicando en la tabla N° 5, a los países que están reusando las aguas residuales con fines de riego; observándose de esta forma:

**Tabla N° 5: Datos Sobre La Superficie Regada Con Agua Residual Tratada  
En países en Vías de Desarrollo**

| PAISES                     | PORCENTAJE (%) | SUPERFICIE (Has)    |
|----------------------------|----------------|---------------------|
| China                      | 76.39          | 1'330,000.00        |
| México                     | 14.36          | 250,000.00          |
| India                      | 4.19           | 73,000.00           |
| Chile                      | 0.92           | 16,000.00           |
| EE.UU                      | 0.77           | 13,475.00           |
| Kuwait                     | 0.69           | 12,000.00           |
| Australia                  | 0.57           | 10,000.00           |
| Israel                     | 0.51           | 8,800.00            |
| Tunes                      | 0.25           | 4,450.00            |
| Perú                       | 0.24           | 4,237.00            |
| Argentina                  | 0.21           | 3,700.00            |
| Republica Federala Alemana | 0.18           | 3,000.00            |
| Arabia Saudita             | 0.17           | 2,850.00            |
| Sudan                      | 0.16           | 2,800.00            |
| Sudáfrica                  | 0.1            | 1,800.00            |
| Otros países               | 0.29           | 5,000.00            |
| <b>TOTAL MUNDIAL</b>       | <b>100</b>     | <b>1'714,112.00</b> |

Fuente: Bartolone y Artosoroffs, (1987)

## 2.8 ACTIVIDAD AGRÍCOLA

**José Manga; Nelson Molinares; Jorge Arrieta, (2007):** Es una tendencia bastante generalizada desde hace algunos años, el empleo del efluente para riego de cultivos de diversa clase. Esta se debe no solo a la disponibilidad del agua, si no también a su importante contenido de nutrientes básicos. Como son el nitrógeno y el fósforo. Estos nutrientes mejoran el rendimiento del crecimiento de las plantas y reducen los costos asociados a la fertilización de los suelos.

La concentración de los nutrientes y de algunos microorganismos patógenos debe ser estrictamente controlada para evitar que alcancen niveles tóxicos que pudieren arruinar las cosechas y ocasionar enfermedades en la población relacionada directamente e indirectamente con la actividad, por consiguiente se debe revisar tanto parámetros microbiológicos como parámetros fisicoquímicos.

Las aguas residuales en riego de principales cultivos según Superintendencia Nacional De Servicios De Saneamiento, son las siguientes y clasificadas según su categoría.

**TABLA Nº 6: CLASIFICACIÓN DE USOS DE AGUAS RESIDUALES**

| TIPO       | CATEGORIA | APLICACIONES  |
|------------|-----------|---|
| AGRICOLA   | A         | - productos de aprovechamiento humano de consumo crudo  |
|            | B         | - hortalizas y frutas para envasados.<br>Cultivos industriales procesados por calor.<br>Arboles frutales (a).<br>Tubérculos<br>Forrajes de consumo Fresco (b).<br>Productos de aprovechamiento humano con cascara y consumo crudo o cocido. |
|            | C         | - Algodón, maíz, Trigo, Cebada, caña de azúcar, producción de fibras y forraje deseado (c).   |
| MUNICIPAL  | A         | - Riego de campos de golf, parques, prados de libre acceso al público y lavado de calles.   |
|            | B         | - Riego de parques cerrados y acantilados.  |
| ACUÍCOLA   |           | - Crianza de tilapia y/o carpas   |
| RECREACIÓN | A         | - Contacto primario (baño, pesca y natación).   |
|            | B         | - Navegación  |
| FORESTAL   |           | - Sivicultura   |
| INDUSTRIAL |           | - Refrigeración (d).  |

Fuente: Superintendencia Nacional De Servicios De Saneamiento  
"Reglamento De Aprovechamiento De Aguas Residuales"

**Tabla N° 7: Mayor Rendimiento De Los Cultivos Regados Con Aguas Residuales Tratadas**

| CULTIVO         | RENDIMIENTO EN Ton/Ha |               |
|-----------------|-----------------------|---------------|
|                 | AGUAS NEGRAS          | AGUAS BLANCAS |
| Alfalfa         | 120                   | 70            |
| Maíz            | 5                     | 2             |
| Fríjol          | 1                     | 1.3           |
| Trigo           | 23                    | 11.8          |
| Cebada          | 44                    | 22            |
| Avena forrajera | 48                    | 20            |
| Tomate          | 35                    | 18            |
| Ají             | 12                    | 7             |

Fuente: Ministerio De Agricultura 1991.

### 2.8.1. Normas Técnicas Al Nivel De Tolerancia A La Salinidad

**Ley General De Aguas (D. L. 17752):** Se empleará como referencia inmediata la norma técnica de saneamiento SO.090 “Plantas de tratamiento de aguas residuales”, emitida por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción (MTCVC, 1997). Se tomarán pautas referenciales para la calidad del efluente según la Ley General de Aguas (D. L. 17752).

El contenido de sales suele ser peligroso cuando pasa por encima de 100 mg/l, contabilizándose en esta cifra todos los iones existentes en el agua. La salinidad del agua de riego se determina midiendo su conductividad eléctrica (C.E.), concentración de boro, cloruro, bicarbonatos.

**Tabla 8: Nivel De Tolerancia A La Salinidad De Algunos Cultivos Agrícolas**

| TOLERANTES | SEMI-TOLERANTES | SENSIBLES  |
|------------|-----------------|------------|
| Cebada     | Avena           | Frijoles   |
| Algodón    | Soya            | Lentejas   |
| Betarraga  | Trigo           | Zanahoria  |
| Alfalfa    | Sorgo           | Cebolla    |
| Espárrago  | Caña de azúcar  | Maíz       |
| Hortalizas | Frutales        | Tubérculos |

Fuente: norma técnica de saneamiento SO.090 “Plantas de Tratamiento de aguas residuales”.

## 2.8.2. El Cultivo De La Cebada

### A) Origen

La cebada es originaria de Asia. Se cultivó en la China 2.800 A de C y se utilizaba como alimento de hombres y bestias. Con iguales fines se cultivó en Egipto.

**Caplan, Patricia:** La cebada pertenece al género *Hordeum vulgare*, de la familia de las Gramíneas (*Gramineae*), es una planta monocotiledónea anual, a su vez, es un cereal de gran importancia tanto para animales como para humanos y actualmente el quinto cereal más cultivado en el mundo

El grano, la paja, el heno y varios subproductos de la cebada tienen valor alimenticio. El grano se usa en la elaboración de bebidas a base de malta (véase Cerveza) y para cocinar. Como otros cereales, la cebada contiene una elevada proporción de hidratos de carbono (67%) y proteínas (12,8%).

### B) Morfología Y Taxonomía

Morfológicamente hablando, el grano de cebada es fusiforme. Las cubiertas, lemma y palea, sobre todo la primera, se arrugan durante la época de maduración en aquellas variedades de cascarilla fina, muchas de las cuales son muy útiles en maltería.

### C) Aplicaciones

- La cebada es utilizada actualmente en países desarrollados en 75 a 80 por ciento para alimentación animal y entre un 20 y 25 % para la elaboración de malta, de alto consumo en la fabricación de cerveza.
- El 85% de la producción nacional es utilizada por la industria cervecera y maltera, el 10% por parte de los molinos de perlados y harinas para consumo humano y animal y un 5% se vende a los agricultores como semilla.

#### **D) Germinación Y Desarrollo**

Podemos analizar el fenómeno de la germinación distinguiendo dos tipos de cambios en el grano: morfológicos y biológicos.

- Desde el punto de vista morfológico, podemos apreciar la absorción de agua desde el 10 a 11% de las semilla sembrada hasta un 40% final hace hincharse el grano y volverse turgente al embrión.
- Desde el punto de vista bioquímica podemos decir que la desagregación o degradación del endospermo comienza en la zona continua al escualo y procede hacia el ápice del grano.

El desarrollo de una planta de cebada, en el lapso de tiempo transcurrido desde la emergencia de una plántula de cebada hasta la madurez de la misma en condiciones de la península ibérica es variable.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

##### 3.1.1 UBICACIÓN POLÍTICA

- Región : cusco
- Departamento : Cusco
- Provincia : Cusco
- Distritos : San Jerónimo
- Lugar : CC Qollana Chahuan Qosqo Kayra

##### 3.1.2 LIMITES

- Norte : Provincias de Urubamba y Calca
- Sur : Provincia de Paruro y Acomayo
- Este : Provincia de Paucartambo y Quispicanchi
- Oeste :Provincia de Anta

##### 3.1.3 TERRITORIO, (SUPERFICIE TERRITORIAL)

###### ▪ UBICACIÓN GEOGRAFICA

- Latitud sur : 13° 30' 45"
- Longitud oeste : 71° 58' 33"
- Superficie : 543.08 km<sup>2</sup>
- Altitud (san jeronimo) : 3,350 m.s.n.m.
- Altitud (Qollana) : 3,198.27 m.s.n.m

###### ▪ CLIMA

- Diciembre a marzo Lluvioso-húmedo; 746 mm de precipitación pluvial promedio.
- Abril a agosto: Seco 99.8 mm de precipitación pluvial promedio.
- Agosto a noviembre Intermedio, denominado de transición; características climatológicas de consumo y recarga son equilibradas.

### 3.1.4 VÍAS DE ACCESO Y/O COMUNICACIÓN

El proyecto esta ubicada en el distrito de san jerónimo a 30 Km. De la ciudad de cusco.

| Vías de acceso                 | Distancia (km) |
|--------------------------------|----------------|
| Sicuani – cusco                | 200            |
| Cusco – san jerónimo           | 20             |
| San jerónimo – lugar (Qollana) | 10             |

## 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

### 3.2.1 Materiales De Gabinete

- Computadora
- Documentación logística (expediente técnico, normas de calidad de aguas residuales para el reuso en el riego).
- Materiales de escritorio (papel bond de 80gr;cuadernos)
- Impresoras

### 3.2.2. Equipos De Campo

- Teodolito
- Dinamómetros
- Wincha de 20 a 50m
- Cronometro
- Cámara fotográfica
- Carta nacional
- Tubos de ensayo
- Tractor para el roturado de tierra
- Motobomba y accesorios de riego

### 3.2.3 Equipos de laboratorio

- instrumento HANNA HI 98129 WATERPOOL mide (pH, T° y C.E.)
- Vaso de precipitación
- Pipetas 10ml, 15ml, 30ml y 25ml
- Matraz aforado de 100ml

- SPECTRONI Calibrador en 440 y 420
- Digestor de gas
- Valón Micro Kjeldhal
- Probetas
- Matraz de fondo plano de 25ml, 125ml
- Campana de vidrio (deseccador)
- Capsulas pequeñas
- Crisoles grandes
- Pinza
- Horno
- Balanza eléctrica SARTONUS BP 301S
- Plancha eléctrica
- Placa petri
- Esteroscopio
- Tubos de 10 ml
- Caldo lactosado
- Campanilla de duran
- Gradillas
- Soporte universal
- Mechero

#### **Material de Análisis De Suelo y Cultivo (CEBADA)**

- Papel filtro
- Balanza eléctrica
- Horno
- Campana de vidrio
- Balón micro jkeldahl
- Pipeta de 10ml
- Matraz de fondo plano de 500ml
- Tamiz N° 10
- Probeta 100cm<sup>3</sup>
- Digestor de gas

- Hidrómetro
- Probeta graduada
- Mortero
- Mechero

### 3.3. MÉTODOS Y PARÁMETROS DETERMINADOS EN LABORATORIO

#### 3.3.1. Parámetros Físicos.

**a) Olor:** Se determina in situ mismo sitio de las pozas decantadoras circulares, con el olfato humano, y es característico por causas de los gases formados en el proceso de descomposición.

**b) Color Y Aspecto:** Se determina in situ mismo sitio, donde se recoge la muestra de las pozas decantadoras circulares, que normalmente es desagradable en apariencia y en extremo peligroso, esto por el contenido de organismos patógenos, y el color indica el contenido de microorganismos.

**c) Temperatura:** Esta medida se determino con el instrumento HANNA HI 98129 WATERPOOL portátil; este parámetro juega un rol importante en el comportamiento de: solubilidad de las sales, gases, en la conductividad eléctrica, sobre el pH y así como sobre el metabolismo bacteriano.

Es importante conocer la temperatura del agua en el sitio de la prueba porque puede ayudar a predecir y/o confirmar otras condiciones del agua. Por ejemplo, la temperatura del agua tiene influencia directa en otros factores de la calidad del agua tales como el oxígeno disuelto (OD), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y al supervivencia de algunas especies acuáticas.

Procedimiento:

- Se midió la temperatura del agua en el mismo sitio donde se toma la muestra.
- Asegurar que el instrumento este cuantas pulgadas por debajo de la superficie del agua y tomar la lectura cuando la temperatura se haya estabilizado.
- Registrar la temperatura en grados Celsius (°C)

**d) pH:** Se mide con el instrumento HANNA HI 98129 WATERPOOL portátil (mediante electrones).

Procedimiento:

- Sacar el equipo para la prueba del pH. Y cuando recoja la muestra, asegúrese que este por debajo de la superficie del agua.
- El pH debe medirse en le mismo sitio donde se toma la muestra porque los cambios de temperatura afectan el valor del pH.

El pH mide la acidez relativa del agua. Donde un nivel de pH de 7.0 se considera neutro. El agua pura tiene un pH de 7.0, el agua con un pH menor de 7.0 se considera acida. Entre mas bajo el pH, mas acida es el agua. El agua con un pH mayor a 7.0 se considera alcalina o base. Entre mayor el pH. Mayor es la alcalinidad.

**e) Conductividad Eléctrica:** Es un elemento que nos indica el contenido de sales, el cual se determino su valor con el equipo HANNA HI 98129 WATERPOOL portátil, en la unidad de mmhos/cm.

Procedimiento:

- se mide en el mismo lugar, para su medición es necesario evitar la polarización de electrodos, cuando un electrodo sumergido en una solución electrolítica se excita mediante una corriente continua, como resultado se produce electrólisis y se desprenden burbujas de gases (hidrogeno en el cátodo y oxigeno en el ánodo). Es necesario ajustar las características de la excitación en cuanto a voltajes, frecuencia y forma de onda para evitar la electrolisis.

**F) Sólidos En Suspensión:** materia que se obtiene como residuos después de someterse a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C. Para su determinación utilizando el Método de Estufa seco y calcinación.

Procedimiento:

- Secar las capsulas y crisoles en el horno durante 15 min., luego llevarlo al desecador campana de vidrio durante 10 a 20min., esto permitirá que el medio ambiente no altere lo realizado.
- Sacar los crisoles de la campana de vidrio con una pinza, luego llevarlos a pesar, después de su peso, se echa una cantidad de agua residual de 10ml a cada crisol y luego pesarlos con muestras y todo.
- Sacar las capsulas de la campana de vidrio con una pinza, luego llevarlos a pesar, después de su peso, se echa una cantidad de agua residual de 25ml a cada capsula y luego pesarlos con muestras y todo.
- Llevar todos las capsulas y crisoles a la plancha eléctrica hasta que el agua se evapore a 103 °C y quede el sólido al final de la evaporación del agua residual, sacarlo y llevarlo de nuevo a la campana de vidrio durante 10min.
- Pesar el sólido quedado en la balanza eléctrica.

**g) Materia Orgánica:** Se determino por el método clásico volumétrico por Titulación con Dicromato de Potasio, en mg/l. Para que un sistema reaccionante sea susceptible debe ser utilizado como método volumétrico, este debe cumplir lo siguiente:

Procedimiento:

- La reacción entre el constituyente analizado y el agente titulante, debe ser sencilla, estequiométrica y perfectamente definida.
- La reacción de valoración debe ser rápida, con objeto de que la valoración pueda realizarse en poco tiempo. Aunque la mayor parte de las reacciones iónicas son tan rápidas que pueden considerarse instantáneas, muchas de las reacciones Redox son lentas, es estos casos se utilizan catalizadores para adecuarlas a los propósitos volumétricos.
- Debe existir un indicador que señale el punto final de la valoración.

Calculo volumétrico:

Los cálculos del análisis volumétrico son muy sencillos. Están basados en que el punto final de valoración, el número de equivalentes de la disolución valorada (1) es igual al número de equivalentes de la sustancia a titular (2).

$$\begin{aligned} \text{Normalidad (N)} &= \text{N}^\circ \text{ de equivalentes/l} \\ \text{Volumen (V)} &= \text{litros} \\ \text{N}^\circ \text{ de equivalentes (1)} &= \text{N}^\circ \text{ de equivalentes de (2)} \end{aligned}$$

### 3.3.2. Parámetros Químicos

- a) **DBO<sub>5</sub>**: Se define con la cantidad aproximada de oxígeno que necesita los microorganismos para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20 °C), y en la obscuridad.

Para ciertas materias presentes en el agua, principalmente para asegurar su degradación por vía biológica. La medida de la cantidad de oxígeno consumido, se sigue en una solución que contenga o no oxígeno. Y se mide en la unidad de mg/l.

Procedimiento:

- Cloruro de manganeso (II): disolver 80g de cloruro de manganeso (II) en un litro de agua destilada
- Hidróxido de sodio con yoduro de potasio: disolver en un litro de agua 36g de hidróxido de sodio, 20g de yoduro de potasio.
- Tiosulfato de sodio 0,0125 N.
- Con esta agua se llenan 2 frascos, y se añaden 2 ml. De cloruro de manganeso (II) y 2 ml. De hidróxido de sodio con yoduro de potasio.
- Valorar con tiosulfato de sodio 0.0125 N.
- En estos frascos restantes introducir un volumen conocido de agua a analizar.
- Llenar con la muestra de agua de dilución en un frasco de 300 ml., hacer pasar por ella oxígeno durante unos diez minutos.
- Homogeneizar
- Verificar que el pH este comprendido en 6 a 8

- Llenar completamente un frasco con esta solución y tapanlo sin que entre burbujas de aire.
- Prepara una serie de diluciones sucesivas tal que el consumo de O<sub>2</sub> este próxima al 50% del contenido inicial (en nuestro caso hicimos diluciones de 1/20, 1/40, 1/60 Y 1/80).
- Conservar los frascos a 20 °C y en la oscuridad
- Medir el oxígeno disuelto por el método directo subsistente al cabo de 5 días

### Interpretación de los resultados:

Do: contenido de O<sub>2</sub> en mg/l de agua de dilución al principio del ensayo

D<sub>5</sub>: Contenido medio de O<sub>2</sub> en mg/l de agua de dilución al cabo de 5 días de incubación

To: Contenido de O<sub>2</sub> en mg/l de unas diluciones de la muestra al principio del ensayo

T<sub>5</sub>: contenido de O<sub>2</sub> en mg/l de una de las diluciones de la muestra al cabo de 5 días de incubación

F: factor de dilución tal que:

$$0,4 T_o < T_o - T_5 < 0,6T_o$$

La DBO<sub>5</sub> expresada en mg de O<sub>2</sub>/litro es:

$$DBO_5 = F ((T_o - T_5) - (F - 1)(D_o - D_5))$$

- b) Oxígeno Disuelto:** el método para determinar es el winkler, en la unidad de mg/l, factor necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, su determinación sirve como base para la cuantificación del DBO<sub>5</sub>.

### Procedimiento

- Llenar el frasco Winkler con la muestra de agua del grifo, teniendo cuidado la exposición al aire. Si es agua presurizada, esta se introduce mediante un tubo que llegue al fondo del frasco. Cuando el agua se desborde, sacar el tubo con cuidado y cerrar la botella, sin

introducir burbujas de aire, con el tapón adecuado. Tome la temperatura al agua en el menor tiempo posible.

- Abrir y adicionar rápidamente, por debajo de la superficie (con un cuenta gotas), 1 ml de disolución de  $MnSO_4$  (sulfato de manganeso II), de la misma manera introducir 1 ml de la disolución de KI, NaOH (yoduro de potasio, hidróxido de sodio), y (usar guantes).
- Tapar el frasco con cuidado de no atrapar aire y limpiarlo externamente con un papel, todo ello usando guantes.
- Una vez que el precipitado se ha sedimentado por lo menos 3 cm por debajo del tapón, añadir 1 ml de  $H_2SO_4$  18 molar, también con un cuenta gotas y por debajo de la superficie. Volver a tapar y mezclar hasta que el precipitado se disuelva.
- Tomar con una probeta 50 ml exactamente de la disolución acidulada e introducirlos en un matraz erlenmeyer de 100 ml. Valorar rápidamente con  $Na_2S_2O_3$  (tiosulfato de sodio 0,01N) hasta que el color de yodo palidezca. En ese momento añadir 5 ml de indicador de almidón y completar la valoración hasta decoloración. Anotar en este punto el volumen de tiosulfato gastado,  $V_{st}$ , para valorar los 50 ml de muestra.
- Realizar la valoración dos veces. Si los resultados son muy distintos, realizarla una tercera vez y desechar el valor erróneo.

**c) Alcalinidad:** su determinación se realizó por el Método “Titulación Con Acido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ )”, ya que la alcalinidad tiene una capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH).

Procedimiento:

- En un vaso de precipitación de echara 25ml de agua residual.
- Echar 2ml de solución tampón y de 2 a 3 gotas de erio cromonegrot.
- Ya realizada toda la mezcla, se realizara la valoración con acido sulfúrico hasta que cambie aun color anaranjado.

- d) Dureza Total:** su determinación se realizó por el Método EDTA (Ethylene Dinitrolo Tetraacetic Acid), (Tritanol Amino Acético  $(\text{HOCOCH}_2)_2 \text{N}(\text{CH}_2)_2 \text{N}(\text{HOCOCH}_2)_2$ ); ya que se considera que la dureza de un agua es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

En términos de dureza las aguas se pueden clasificar en: blanda de 0 – 75mg/l, moderadamente dura de 75 – 150mg/l, dura de 150 – 300mg/l y muy dura > 300mg/l.

Procedimiento:

- En un vaso de precipitación se echó 25ml de agua residual.
- Echar 2ml de solución tampón y de 2 a 3 gotas de erio cromonegot.
- Ya realizada toda esta mezcla, se realizó la valoración con EDTA hasta que cambie a un color azul.

Se calcula:

Dureza mg/l como  $\text{CaCO}_3 = M^{++} (\text{mg/l}) * 50/\text{Masa eq. De } M^{++}$

Donde:

$M^{++}$  = representa cualquier ion metálico divalente causante de dureza.

- e) Nitrógeno Total:** su método de determinación es el Micro – Kjeldahl, en el laboratorio en la unidad de mg/l, el nitrógeno juntamente con el fósforo son los principales elementos que influyen directamente el crecimiento de los protistas y plantas, el nitrógeno es el elemento esencial para la síntesis de las proteínas y su presencia es importante en el tratamiento de aguas residuales como nutrientes para la planta.

Procedimiento:

- Echar 2ml de agua residual al balón microkjeldahl
- Llevar al digestor de gas durante 2 a 5 horas hasta que tenga un color celeste.

### Destilamiento Del Nitrógeno Total

- En un matraz de 25ml; echar 15ml de ácido bórico  $H_3BO_3$  al 2%.
- Echar 3 a 5 gotas de Indicador Tachiro, el cual lo vuelve a un color morado oscuro.
- En la muestra llevada al digestor de gas, ahí se le echará 15ml de agua destilada y 15ml de hidróxido de sodio, los cuales harán cambiar a un color negro, eso permitirá que ebulle la muestra,
- Al ebullición la muestra, destilará la muestra que está en el matraz, que era en un principio de un color morado oscuro, esto cambia a un color azul.
- La muestra destilada que está ya de color azul, se le valoriza con ácido sulfúrico, el cual la muestra cambiará a un color final que es el violeta.

**f) Nitrógeno Amoniacal:** el método para determinar es clásico "Volumétrico", Titulación Con Nitrato De Plata en el laboratorio en la unidad de mg/l.

Procedimiento:

- En un matraz del equipo de destilamiento, colocar 100ml de muestra, añadir óxido de calcio y 3,5 ml de agente anti espumante.
- Destilar sobre 2,5 ml de ácido bórico con indicador mixto. Conectar el destilado hasta obtener un volumen de 50ml.
- Proceder a titular el destilado con ácido sulfúrico hasta viraje de color.
- Realizar la misma operación con un testigo preparado a partir de un volumen hasta obtener un volumen de 5 ml. De solución de ácido bórico.

Calculo:

$$\text{Nitrógeno amoniacal (mg/l): } \frac{(V_1 - V_0) \cdot 0.1 \times 1000 \times 14}{V_2}$$

Donde:

$V_1$ : volumen del ácido sulfúrico gastado en la titulación de muestra (ml)

$V_2$ : volumen de muestra (ml)

$V_0$ : volumen del ácido sulfúrico gastado en la titulación del testigo (ml)

- g) fósforo:** se determina por el método Fotoespectrometro en la unidad de mg/l. el aporte de fósforo por las aguas residuales es bastante inferior al del nitrógeno (aproximadamente una cuarta parte).

El exceso de fósforo que aportará una sobrecarga correspondiente al agua residual, acelerará la maduración de los vegetales, y su carencia provocará defectos en el crecimiento de raíz, tallo y hojas.

Procedimiento:

- En un matraz aforado echar 10ml de agua residual.
- Llenar con agua destilada hasta donde se esta la marca del matraz aforado.
- Ya realizada toda la mezcla, se echa 5ml de Metavanadato De Amonio, llevar hacer la respectiva lectura en el espectrómetro la cual esta calibrada en 440.

- h) Nitratos:** ha sido determinada por el método clásico “volumétrica”, Titilación Con Nitrato De Plata, en el laboratorio en la unidad de mg/l, la concentración de estos nutrientes demuestran que las aguas residuales han sufrido una nitrificación en la biodegradación de la materia orgánica, el nitrato también sirve como fertilizante para las plantas y son convertidas en proteínas.

Se calcula:



Procedimiento:

- Saque el equipo para pruebas de nitrato – nitrógeno. Siga cuidadosamente las instrucciones que vienen con el equipo.  
Donde: las concentraciones de nitratos generalmente se expresan como nitrato – nitrógeno ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) y no como nitrato ( $\text{NO}_3$ ).
- Cuando reporte sus resultados para este proyecto, las mediciones del nitrato deben reportarse como nitrato – nitrógeno (mg/l).

- i) **Cloruro:** se determina por el método clásico “Volumétrico”, Titulación Con Nitrato De Plata ( $\text{AgNO}_3$ ), en mg/l. concentraciones elevadas de cloruro en el agua de riego pueden producir problemas de toxicidad en los cultivos. Los cloruros son descargas de aguas residuales domesticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales. Las heces humanas, por ejemplo, suponen unos 6g de cloruros por persona y día. En general, las aguas con un contenido de cloruro inferior a 100 mg/l no presentan problemas y valores superiores a 700 mg/l pueden ocasionar problemas de toxicidad graves.

Procedimiento.

- En un vaso de precipitación echar 25ml de agua residual.
- Echar 2ml de solución tampón y de 2 a 3 gotas de erio cromonegot.
- Ya realizada toda la mezcla, se realizara la valoración con nitrato de plata hasta que cambie aun color rojo ladrillo.

- j) **SULFATOS:** se determina por el Método Fotoespectrometro, en mg/l; ya que es un factor muy importante para la determinación de los problemas que puedan surgir por olor y corrosión de las alcantarillas.

Procedimiento:

- En un matraz aforado echar 25ml de agua residual.
- Echar 75ml de agua destilada
- Ya realizada toda la mezcla, se echa 5ml de Metavanadato De Amonio, llevar hacer la respectiva lectura en el espectrómetro la cual esta calibrada en 420.

- k) **Plomo, cadmio, cromo, mercurio, cobre, arsénico y fierro:** Todos estos parámetros se determinan por el método titulación, en unidad de mg/l. El contenido de estos elementos en las aguas residuales suele ser más elevado que en las aguas normales, concentraciones excesivas de algunos elementos, pueden presentar problemas de toxicidad para las plantas.

### 3.3.3. Parámetros Microbiológicos

#### a) Coliformes Totales, Coliformes Fecales y Nematodos

Su análisis se realizó en la FMVZ, utilizando el método de Número Más Probable (NMP). Estos grupos de coliformes se toman como indicadores de contaminación, entre ellos, los coliformes totales que agrupa todas las enterobacterias, mientras los coliformes fecales los E.coli, principalmente son organismos indicadores de contaminación fecal.

Procedimiento:

La preparación de medio de cultivo se realizó de la siguiente forma:

- ❖ Se utilizara caldo lactosado Bilis Verde Brillante, con producción de ácido y gas a 37 °C en un tiempo máximo de 48 horas, para su determinación de presencia cuantitativa de coliformes totales y coliformes fecales.
- ❖ Poner 60ml de caldo lactosado simple y 10ml de caldo lactosado doble en 3 tubos, se esteriliza y se pone en la campanilla de Doran. se mezcla y se hace enfriar a unos 45 °C (tibio), después de eso:
- ❖ Sembrar en los 3 dobles primeros 10ml de agua residual con 10 ml de caldo lactosado.
- ❖ Sembrar en los 3 siguientes simples 1ml de agua residual con 10 ml de caldo lactosado.
- ❖ Sembrar en los 3 siguientes 0.1ml de agua residual con 10 ml de caldo lactosado
- ❖ Encubar durante 24 horas a 37 °C, o si no esperar otros 24 horas para ver el resultado de su análisis.

### 3.3.4. Análisis Bromatológico Del Cultivo De La Cebada Forrajera (verde)

La bromatología estudia los alimentos y su nutrición.

Su análisis se realizó en la F.C.A, utilizando métodos como destilación (grasa), secado (ceniza), y otros.

Procedimiento:

- Pesar una cantidad considerable del cultivo, llevarlo a seca al horno durante (estufa) , durante 24h.

- Sacarlo del horno y ponerlo en un crisol de vidrio, y luego llevarlo a la campana de vidrio durante 3min.
- Sacarlo y triturar todo el cultivo seco en un mortero, luego tamizarlo en tamiz N° (427 -60), luego pesar un crisol vacío y después ponerle 20gr de muestra del cultivo y pesarlo.
- Luego llevarlo al horno, durante 2-3 horas, luego sacarlo y llevarlo a la campana de virio para evitar que la humedad del ambiente altere su valoración.
- Destilar la muestra del cultivo, echándole ether etílico 250 ml; haciendo que la muestra se sifone con el ether.
- Su destilamiento se realizara durante 2 horas o hasta que el agua destila que pasa por ahí cambie a color claro, ya que al inicio del destilado el color es oscuro.
- Luego del destilado, sacarlo y llevarlo al horno durante 24h.

### **3.4. PROCEDIMIENTO COMPARATIVO DEL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE LA CEBADA FORRAJERA EN VERDE**

#### **3.4.1. Factor en Estudio**

El factor en estudio son los tipos de agua a utilizar en el riego por gravedad del cultivo de la cebada forrajera las cuales son: tratamiento T-1 (riego con agua residual tratada) y T-2 (tratamiento con agua de manantial).

#### **3.4.2. Extensión Y Ubicación De Las Parcelas**

Este estudio se realizo en la misma institución del SEDACUSCO “Planta De Tratamiento de San Jeronimo-Cusco”.

El factor experimental es comprobar las ventajas del uso de ambos tratamientos, donde las parcelas sembradas con el cultivo de la cebada serán regadas por gravedad, estas parcelas están ubicadas en la misma zona de la planta de tratamiento, a unos 15 m del sedimentador secundario, y a 5 m del pozo de agua “manantial”, en donde se opto por utilizar el “DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR” (DCA).

**Cuadro N° 9 Dimensiones De la Parcela**

| REPRESENTACIONES            | TRATAMIENTOS<br>“AGUAS” |      |
|-----------------------------|-------------------------|------|
|                             | T1                      | T2   |
| Área neta (m <sup>2</sup> ) | 200                     | 200  |
| Nº de surcos                | 26                      | 26   |
| Distancia entre surcos (m)  | 0.25                    | 0.25 |

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. Proyecto Experimental y Parámetros a Evaluar

La unidad experimental se hizo con 2 parcelas divididas en 8 unidades experimentales en total, y para el DCA se hicieron cuatro repeticiones en los dos tratamientos a utilizar.

El diseño de las parcelas se hizo homogéneo y dentro de los valores recomendados por calzada B. para experimentos de esta naturaleza.

**Tabla N° 10: Diseño De Parcela para su Análisis de Desarrollo**

| DESCRIPCION | TRATAMIENTOS |    |
|-------------|--------------|----|
|             | T1           | T2 |
| R1          |              |    |
| R2          |              |    |
| R3          |              |    |
| R4          |              |    |

Fuente: Elaboración propia

Donde:

T1: tratamiento 1 (Riego con agua residual tratada)

T2: tratamiento 2 (Riego con agua de manantial)

R1, R2, R3: Repeticiones

El cultivo y variedad de semilla utilizada en el experimento es la cebada, la cual se adquirió del mercado; dicho cultivo será regada por gravedad utilizando los dos tipos de tratamientos.

Los parámetros (agronómicos) a evaluarse fueron:

- La altura de la planta en la fase de germinación (inicial), en su fase de desarrollo (media y final), donde la cebada solo será utilizada como forraje en verde.
- Peso del cultivo en su etapa de cosecha utilizando el sistema de cegado en cada tratamiento y repeticiones, se evaluara el análisis bromatológico de la cebada después de haber sido cegado para determinar los nutrientes de la cebada forrajera en verde.

### 3.5. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CULTIVO

**Ezequiel López Bautista:** Se utilizara la metodología para experimentos realizados mediante un proceso completamente al azar.

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el análisis estadístico “ANDEVA” de acuerdo al siguiente esquema.

Modelo estadístico:  $Y_{ij} = \mu + t_{ij} + e_{ij}$

Hipótesis:

Hipótesis nula  $H_0: t = t_1$

Hipótesis alterna  $H_a: t_1 \neq t_2$

**Tabla Nº 11 Formula De Análisis De Varianza “ANDEVA”**

| FUENTE DE VARIACION | GRADOS DE LIBERTAD (GL) | SUMA DE CUADRADOS (SC)                                     | CUADRADOS MEDIOS (CM)       | VALOR (Fc)                  |
|---------------------|-------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| TRATAMIENTOS        | $t - 1$                 | $\sum_{n=1}^t \frac{Y_i^2}{r} - \frac{Y^2}{tr}$            | $\frac{SC_{tra}}{GL_{tra}}$ | $\frac{CM_{trat}}{CM_{ee}}$ |
| ERROR               | $t(r-1)$                | $SC_{total} - SC_{trat}$                                   | $\frac{SC_{ee}}{GL_{ee}}$   |                             |
| TOTAL               | $t*r - 1$               | $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{ij}^2}{tr}$ |                             |                             |

Fuente: Ezequiel López Bautista

### 3.5.1. Técnicas Complementarias Para Riego Convencional

El campesino realiza riegos en forma tradicional, para ellos no existe el diseño, metodología y técnica para el riego, en donde el cultivo de la cebada forrajera en verde para animales menores, tiene su periodo vegetativo que es de 01 a 04 meses, siendo su siembra bajo riego en los meses de mayo a octubre y con lluvias desde el mes de noviembre a febrero.

#### a) Etapas para el riego convencional

- **Primer riego:** se realizo en el mes de Abril del 2010 en todo el predio, solo con agua de manantial la cual esta ubicada a 5 m de la parcela, se regó mediante una tubería de 2" de diámetro, desde la cabecera hasta mojar toda el área a sembrar.

El tiempo de riego se realizó aproximadamente de 2.5 a 3 horas consecutivas preferentemente en las primeras horas del día, después de 2 días se realiza el roturado del terreno.

La roturación del terreno se realizo con maquinaria agrícola, empleando un arado de disco, la roturación se realizo con la finalidad de eliminar las malezas y la aireación del terreno.

- **Segundo riego:** se realizo después de haber sacado todas las malezas de las parcelas, y se regó a mediados de semana del mes de Abril en cada área, el tiempo de riego de cada área fue de 2 horas, para una parcela de 400 m<sup>2</sup>, donde se realizo a primeras horas del día.

La preparación final del terreno para la siembra del cultivo se realizo, utilizando una maquinaria empleando una rastra de disco, realizando un deslizamiento de forma cruzada, ya que ello permite un desterronamiento general del terreno.

Antes de la siembra se realizo el diseño de las parcelas, en la cual se obtuvo 8 parcelas y cada parcela mide 4.85 m de ancho y 10 m de largo, en donde el primer área (T1) se regó con agua residual tratada, el segundo área (T2) se regó con agua del manantial.

- **Tercer riego:** se realizo con 2 tipos de agua: agua residual tratada (T1) la cual fue conducida mediante tuberías PVC ( $\varnothing 4''$ ) hasta llegar a la cabecera y el agua de manantial (T2), la cual también fue conducida por una manguera de ( $\varnothing 2''$ ) hasta la cabecera de la parcela. Después de 1 día se hace el respectivo sombrío del cultivo de la siguiente forma:
- Siembra: La siembra de la cebada se hace en todo el año calendario ya que se utiliza como forraje en verde para animales menores.
  - Semilla: Se emplearon semilla de mercado, lo cual no se vio su nivel germinativo, siendo solo en el momento de la siembra.
  - Cantidad de semilla: La cantidad de semilla que se utiliza es de 120 y 160 Kg/ha.
  - Surcado: Se realizo en paralelo a la siembra, en donde se apertura surcos mediante yuntas o personas, la distancia fue de 20 a 25 cm.
  - Método de siembra: La siembra se ejecuto manualmente, al voleo.
  - Tapado: El tapado de la semilla se realiza mediante una pasada de picos o rastra manualmente, en donde la profundidad sea de 5 a 8 cm.
- De siembra.
- **Cuarto riego:** se realiza a una semana después de la siembra, y con los mismo procedimientos anteriores ,las cuales son regar, el primer área con el agua residual tratada (T1), la cual fue conducida mediante tuberías PVC ( $\varnothing 4''$ ) hasta llegar a la cabecera de la parcela, donde seguidamente se regó por gravedad y el segundo área fue regada con agua de manantial (T2), la cual también fue conducida por una manguera de ( $\varnothing 2''$ ) hasta la cabecera de la parcela que fue regada por gravedad.
- Los siguientes riegos se realizaran dependiendo de la absorción del agua en el suelo, a la evaporación o cuando se ve que el suelo esta seco, se debe de regar nuevamente, y durante el periodo vegetativo del cultivo.
- **Cosecha:** La cosecha se realiza con fines de forraje en verde para los animales menores, se realizo en forma manual segando la cebada al ras del suelo cuando este se encuentra en plena floración y cuando su espiga esta desarrollada (Solo lechoso).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DETERMINADOS

A continuación se describe los parámetros y sus discusiones en base a criterios y resultados obtenidos en laboratorio, en aquellos aspectos más importantes para su reutilización para el riego de cultivos.

##### 4.1.1 Valores Físicos

- a) **Olor:** se determina in situ de las pozas, con el olfato humano, y es característico de las causas de los gases formados en el proceso de descomposición.
- b) **Color y Sabor:** se determina en el mismo lugar donde se recogió la muestra del decantador circular secundario, que normalmente es desagradable en apariencia y en extremo peligroso, esto por el contenido de organismos patógenos, y el color indica el contenido de microorganismos.
- c) **Temperatura:** se determino con en el mismo lugar con el instrumento HANNA HI 98129 WATERPOOL portátil, obteniendo un valor de 16.1 °C, esto significa que no causa efectos negativos sobre la vida del microorganismo que intervienen en la eficiencia del sistema de tratamiento, ya que este parámetro juega un rol importante en el comportamiento de ciertos parámetros del agua, tales como, la solubilidad de las sales y gases, en la conductividad eléctrica, sobre el pH y así como sobre el metabolismo bacteriano.
- d) **pH:** Se midió con el instrumento HANNA HI 98129 WATERPOOL portátil (mediante electrones), en el mismo sitio donde se toma la muestra, obteniendo un valor de 7.42, el cual esta dentro del rango, que viene ha ser neutro ligeramente alcalino. Ya que este parámetro mide la acidez, la

alcalinidad del agua y favorece en la proliferación y desarrollo de los organismos acuáticos.

- e) **Conductividad Eléctrica:** se determino en el mismo lugar donde se toma la muestra, su análisis se realizo con el equipo HANNA HI 98129 WATERPOOL portátil, obteniendo un valor de 1.50 mmhos/cm, este resultado esta dentro de los parámetros permisibles, OMS y ECA; y esto nos indica que el agua residual tiene una salinidad ligeramente alta, que a base de esto se aconseja que el suelo tenga buena permeabilidad y el cultivo seleccionado es tolerante a la salinidad.

MAAS: dice que pueden presentarse problemas por salinidad del agua de riego, cuando su conductividad eléctrica es superior a 1mmhos/cm. Esta conductividad eléctrica corresponde a un contenido aproximado de 1,3g/l. valores de conductividad eléctrica superiores a unos 2g/l, producen disminuciones muy importantes de producción en la mayoría de los casos.

El uso de estas aguas residuales tratadas producen un incremento en su contenido de sales en el suelo; la conductividad eléctrica es de 1.50 mg/l, y el contenido de sales por litro es de 2.145 gr./l, en donde nuestra necesidad de agua para riego , en un área de 400 m<sup>2</sup>, y en todo su periodo vegetativo del cultivo que es de 4 meses, según el calculo de la demanda de agua que fue de 548.993 lt; por lo tanto la aportación de sales en el predio mencionado fue de 1177.59 gr. Que equivale a 1.18 kg de sal, que al final constituye un problema de salinización y esto requiere una lixiviación de sales.

- f) **Sólidos totales:** materia que se obtiene como residuos después de someterse a un proceso de evaporación y secado entre 103 y 105 °C, su valor incluyen los materiales disueltos y no disueltos (sólidos suspendidos). Se determino en la F.C.A., obteniendo un valor de 163.72 mg/l, esto significa que puede existir problemas de que estos sólidos ocluyan los poros del suelo ya que constituye una medida aproximada de la cantidad de fango que se oxida a través de la descomposición biológica.

**g) Materia Orgánica:** se determinó en la F.C.A.; por el método clásico “volumétrico” por titulación con dicromato de potasio, obteniendo un valor de 0.15 mg/l, este resultado está dentro de los parámetros permisibles recomendados según la ECA y OMS.

Los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales urbanas suelen degradarse en el suelo mientras los detergentes son lentos en su degradación, donde nuestra agua residual utilizada para riego se observó que es probable que no contenga exceso de detergente, ya que no se observó ningún tipo de espuma que tiene un indicador de detergentes.

#### 4.1.2 Valores Químicos

**a) DBO<sub>5</sub>:** fue determinado en el laboratorio de la F.C.A., donde se obtuvo un valor de 79.00 mg/l, dicho valor no está dentro del límite permisible según la OMS y ECA. Esto indica que su grado de contaminación del agua residual es ligeramente alta, lo que es necesario un tratamiento terciario ya que el DBO<sub>5</sub> determina el grado de contaminación orgánica que tiene el agua residual y la cantidad de oxígeno usada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones determinadas de tiempo y temperatura.

**b) Oxígeno Disuelto, y Dureza Total:** fueron determinados en la F.C.A. obteniendo valores que se muestra en el cuadro N° 1, estos resultados no están dentro de los límites permisibles, para riego según OMS y ECA, ya que el O.D. es un factor necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, para la autopurificación del agua, y sirve también como base para la cuantificación del DBO<sub>5</sub>. y su resultado no afecta en nada el uso de estas aguas para el riego.

La dureza total indica que el agua residual es muy dura por su valor dado.

**c) Alcalinidad:** fue determinado en el laboratorio de la F.C.A, por el método Titulación Con Acido Sulfúrico, obteniendo un valor de 505.79 mg/l. Ya que la alcalinidad regula los cambios del Ph producidos por la adición de ácidos, y tiene la capacidad de neutralizar los ácidos. y su valor no afecta en el riego del cultivo.

**d) Nitrógeno total:** se determinado en el laboratorio de la F.C.A, por el método Microkjeldahl, obteniendo un valor de 0.32 mg/l. este valor están dentro de los limites permisibles, para riego según OMS y ECA, este valor es ligeramente bajo, lo que nos indica que no existe problemas de toxicidad y que su deficiencia de este parámetro puede provocar clorosis (amarilleamiento) ligero de las hojas por falta de clorofila.

El riesgo de toxicidad por el uso de nitrógeno es muy pequeño, pues si el volumen y frecuencia de aplicación de las aguas residuales urbanas es bajo, el nitrógeno aportado es similar en cantidad al que pudiera aplicarse una fertilización convencional, ya que es un nutriente para la planta.

**e) Nitrógeno Amoniacal:** se determinado en el laboratorio de la F.C.A, por el método Volumetría, obteniendo un valor de 0.012 mg/l. este valor esta dentro de los limites permisibles, para riego según OMS y ECA, por lo que no afecta a las plantas, ya que este parámetro es oxidado en nitritos y esta a nitratos, siendo el final una descomposición del nitrógeno orgánico, y es importante por que determina si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir los organismos.

**f) Nitrato:** se determinado en el laboratorio de la F.C.A, por el método Volumétrico "Titulación Con Nitrato De Plata", obteniendo un valor de 0.60 mg/l. este valor esta dentro de los limites permisibles, para riego según OMS, ECA. Ya que el nitrato sirve como fertilizante para las plantas y son convertidas en proteínas. Y se dice que la concentración de estos nutrientes demuestran que las aguas residuales han sufrido una nitrificación en la biodegradación de la materia orgánica.

**g) Fosforo:** se determinado en el laboratorio de la F.C.A, por el método Fotoespectometro, obteniendo un valor de 19.76 mg/l. este valor no esta dentro de los limites permisibles y es alta su concentración, para riego según OMS, ECA. Esto nos indica que puede existir una aceleración de maduración del cultivo. Siendo necesario un tratamiento mas eficaz para evitar que acelere la maduración de los cultivos y exista toxicidad.

- e) cloruro:** fue determinado en el laboratorio de la F.C.A.; por el método volumétrico “Titulación Con Nitrato De Plata”, obteniendo un valor de 161.70 mg/l. este valor esta dentro de los limites permisibles , para riego según OMS, ECA. Esto nos indica que no existe peligro de toxicidad, ya que es un elemento esencial para la planta como nutriente.  
Concentraciones elevadas de cloruro en el agua de riego pueden producir problemas de toxicidad en los cultivos.
- f) Sulfatos:** fue determinada en el laboratorio de la F.C.A. por el método volumétrico “Titulación Con Nitrato De Plata”, obteniendo un valor de 208.00 mg/l. este valor esta dentro de los limites permisibles, para riego según OMS, ECA. Esto nos indica que no existe problemas de olores. Y que su valor no afecta al cultivo.
- g) Fierro:** se determinado en el laboratorio de la F.C.A, por el método Titulación , obteniendo un valor de 19.76 mg/l. este valor esta dentro de los limites permisibles , para riego según OMS, ECA. Este valor es ligeramente bajo, lo que nos indica que no existe problemas de toxicidad y que su carencia puede generar inhibiciones (comportamientos) de las respiraciones y problemas bioquímicos complejos en la fotosíntesis.
- h) plomo, cadmio, cromo, mercurio, cobre, arsénico y fierro:** todos estos parámetros se determinaron en el laboratorio de la F.C.A., por el método Titulación en mg/l, como se aprecia en el cuadro N° 1, alguno de estos resultados están dentro de los parámetros, y algunos son ligeramente superiores a los valores limites permisibles para el riego según ECA, LMP y OMS, por lo tanto no existirá problemas de toxicidad considerables para la planta de cebada forrajera en verde, pero si es recomendable su uso, pero siendo necesario un tratamiento terciario para de esta manera bajar los valores de estos parámetros.  
El contenido de estos elementos traza (metales pesados), en las aguas residuales suele ser más elevada que en las aguas normales, concentraciones excesivas de algunos elementos, pueden presentar problemas de toxicidad para las plantas.

**Cuadro N° 1: Resultados de Laboratorio del Análisis de sus Parámetros Físicos, Químicos, de la Calidad Del Agua Residual Tratada, Para su Reuso En La Agricultura, De La Planta De Tratamiento de San Jerónimo- Cusco, (Muestra N° 3)**

| PARÁMETROS                         | VALORES<br>ANALIZADOS EN<br>LABORATORIO |
|------------------------------------|---|
|                                    | Agua Residual<br>Tratada                |
| DBO5 (mg/l)                        | 79.00                                   |
| pH (1 a 14)                        | 7.42                                    |
| Temperatura (°C)                   | 16.10                                   |
| Oxígeno Disuelto (mg/l)            | 17.2                                    |
| Alcalinidad (mg/l)                 | 505.79                                  |
| Dureza Total (mg/l)                | 604.20                                  |
| Materia Orgánica (mg/l)            | 0.15                                    |
| Nitrógeno Amoniacal (mg/l)         | 0.012                                   |
| Nitrógeno Total (mg/l)             | 0.32                                    |
| Fósforo (mg/l)                     | 19.76                                   |
| Nitrato (mg/l)                     | 0.60                                    |
| Conductividad Eléctrica (mmhos/cm) | 1.50                                    |
| Plomo (mg/l)                       | 0.12                                    |
| Cadmio (mg/l)                      | 0.35                                    |
| Cromo (mg/l)                       | 0.9                                     |
| Mercurio (mg/l)                    | 0.0                                     |
| Cobre (mg/l)                       | 1.15                                    |
| Arsénico (mg/l)                    | 0.15                                    |
| Fierro (mg/l)                      | 0.10                                    |
| Cloruros (mg/l)                    | 161.70                                  |
| Sulfatos (mg/l)                    | 208.00                                  |

Fuente: información propia, análisis de agua residual tratada en el Laboratorio De Ciencias Agrarias de la UNA-PUNO, en fecha 06/08/2010

### 4.1.3 Valores Microbiológicos

El análisis se realizó en la facultad de F.M.V.Z; la cual se determinó por el método Número Más Probable (NMP), los parámetros como los coliformes totales, coliformes fecales y nematodos analizados se obtuvieron resultados que están dentro o son ligeramente superiores a los límites establecidos para riego según, OMS y ECA como se muestra en el cuadro N° 2.

Esto significa que es apto para el riego de nuestro cultivo de cebada forrajera (en verde) y que se realizaría sin temor a ningún problema de salud y ambiental,

Por otro lado, teniendo antecedentes en la revisión bibliográfica citado por Palacios: indica que los parámetros establecidos en las normas son para el riego de los cultivos de consumo crudo y forrajes.

**Cuadro N° 2: Resultado de Laboratorio de los Parámetros Microbiológicos Del Agua Residual Tratada, Para su Reuso En La Agricultura De La Planta De Tratamiento San Jerónimo – Cusco, “Decantador Circular”. (Muestra N° 1)**

| PARÁMETROS                      | VALORES ANALIZADOS EN LABORATORIO |
|---------------------------------|-----------------------------------|
|                                 | Agua Residual Tratada             |
| Coliformes Totales (NMP/100 ml) | 2400                              |
| Coliformes Fecales (NMP/100 ml) | 15                                |
| Nematodos (N° Huevos/l)         | 2                                 |

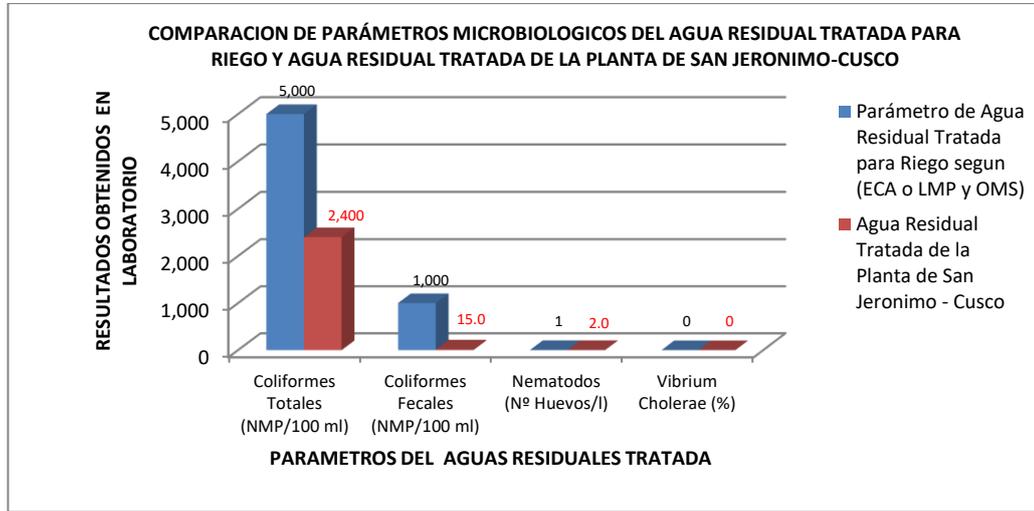
Fuente: información propia, análisis de agua residual Tratada en el Laboratorio de la facultad MVZ de la UNA-PUNO, en fecha 03/06/2010

**Cuadro N° 3: Cuadro Final De Comparación de los Parámetros Físicos, Químicos Y Microbiológicos analizados en laboratorio, del Agua Residual Tratada y lo Recomendado para su Reuso en La Agricultura.**

| PARÁMETROS                         | VALORES LIMITES PERMISIBLES PARA AGUA RESIDUAL TRATADA |                   |           | VALORES DE LABORATORIO (muestra N° 3)      |
|------------------------------------|--|-------------------|-----------|--|
|                                    | ECA  | LMP               | OMS       | (Planta De Tratamiento San Jerónimo-Cusco) |
| Coliformes Totales (NMP/100 ml)    | 5000   | 1X10 <sup>9</sup> | 5,000     | 2,400                                      |
| Coliformes Fecales (NMP/100 ml)    | 1000   | 1X10 <sup>8</sup> | 1,000     | 15.0                                       |
| Nematodos (N° Huevos/l)            | 1  | 1000              | 1         | 2.0  |
| Vibrium Cholerae (%)               | 0  | 0                 | 0         | 0  |
| Sólidos suspendidos sed (ml/l/h)   | 0.5  | 150               | 0.5       | 163.72                                     |
| pH (1 a 14)                        | 6.5 a 8.5  | 6.5 a 8.5         | 5 a 9     | 7.42                                       |
| Temperatura (°C)                   | 35   | <35               | 20        | 16.2                                       |
| Aceites y Grasas (mg/l)            | 1  | 20                | 0.5       | 0  |
| Conductividad Eléctrica (mmhos/cm) | 0.7  | 1.4               | 0.7       | 1.50                                       |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)            | 15   | 100               | 10        | 79.0                                       |
| Sólidos Totales (mg/l)             | 150  | 150               | 100       | 163.72                                     |
| Oxígeno Disuelto (mg/l)            | 4  | 20                | 3         | 17.2                                       |
| Alcalinidad (mg/l)                 | 10   | 200               | 10        | 505.79                                     |
| Dureza Total (mg/l)                | 56   | 500               | 56        | 604.2                                      |
| Materia Orgánica (mg/l)            | 25   | 500               | 25        | 0.15                                       |
| Nitrógeno Amoniacal (mg/l)         | 0.02   | 5                 | 0.5       | 0.012                                      |
| Nitrógeno Total (mg/l)             | 1.6  | 30                | 2         | 0.032                                      |
| Fósforo (mg/l)                     | 1  | 3                 | 0.2       | 19.76                                      |
| Nitrato (mg/l)                     | 10   | 2                 | 0.1       | 0.60                                       |
| Plomo (mg/l)                       | 0.05   | 0.2               | 0.1       | 0.12                                       |
| Cadmio (mg/l)                      | 0.005  | 0.05              | 0.5       | 0.35                                       |
| Cromo (mg/l)                       | 1  | 0.1               | 1         | 0.9  |
| Mercurio (mg/l)                    | 0.001  | 0.002             | 0.01      | 0.0  |
| Cobre (mg/l)                       | 0.2  | 0.5               | 1         | 1.15                                       |
| Arsénico (mg/l)                    | 0.05   | 0.1               | 0.2       | 0.15                                       |
| Hierro (mg/l)                      | 1  | 2                 | 1         | 0.08                                       |
| cloruros (mg/l)                    | 100 - 700  | 250               | 100 - 700 | 161.70                                     |
| sulfatos (mg/l)                    | 300  | 200               | 300       | 208.00                                     |

Fuente: información propia, análisis de agua residual tratada en el Laboratorio MVZ y FCA. De la UNA-PUNO. En fecha 06/08/2010

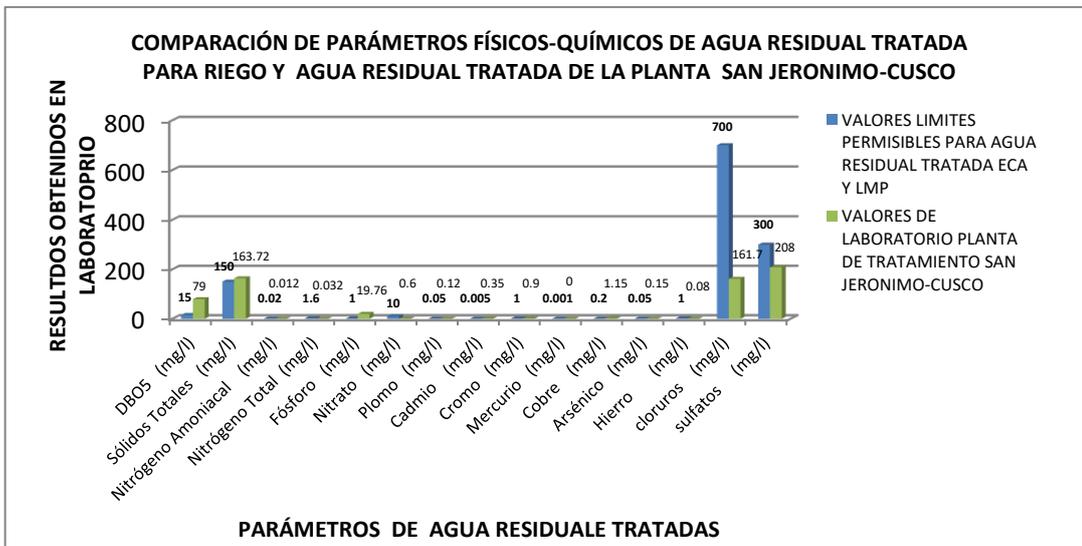
**FIGURA Nº 1: COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS BIOLÓGICAS PERMISIBLES RECOMENDADOS PARA RIEGO Y RESULTADOS DE LABORATORIO**



Fuente: Elaboración Propia

Este grafico nos indica que los parámetros analizados en laboratorio del agua residual proveniente de la planta de tratamiento de San Jeronimo – Cusco, están dentro de lo recomendado por la OMS, ECA y LMP; y no existe problemas de contaminación bacteriológico para el riego de nuestro cultivo y el consumo que tendrá ya sea en forraje en verde o seco no será peligroso.

**FIGURA Nº 2: COMPARACIÓN DE LOS PARAMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS PERMISIBLES RECOMENDADOS PARA RIEGO Y RESULTADOS DE LABORATORIO**



Fuente: Elaboración Propia

Este grafico nos indica que los parámetros analizados en laboratorio del agua residual proveniente de la planta de tratamiento de San Jeronimo – Cusco, tiene diferencias y que algunos de estos parámetros están dentro y a la vez son ligeramente altos, a lo recomendado por el ECA, LMP y la OMS; Lo que nos indica que puede existir problemas de contaminación ligeros para el riego del cultivo de la cebada forraje en verde, y que su consumo para los animales menores tendría contaminación en bajo porcentaje, lo que es necesario un tratamiento terciario, para de esa manera bajar sus valores de estos parámetros, para evitar la contaminación toxica al regar con estas aguas residuales.

#### 4.1.4. Valores Bromatológicos De La Cebada Forrajera (verde)

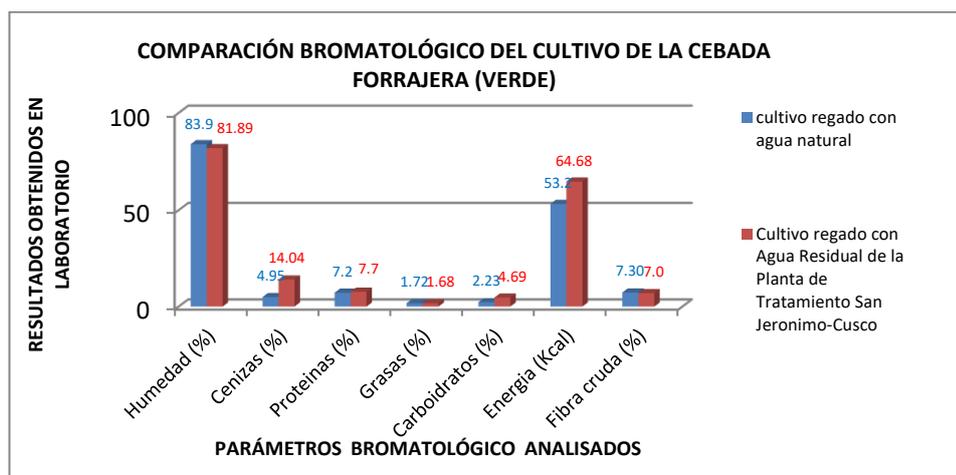
Fue determinado en el laboratorio de la F.C.A; por el método calcinación y destilado, obteniendo valores las cuales se muestran en el siguiente cuadro.

**Cuadro Nº 4: Cuadro Final De Comparación Del Análisis Bromatológico de la Cebada Forrajera En Verde al regar con agua residual tratada.**

| PARÁMETROS        | Valores analizados en laboratorio<br>UNA -PUNO |   |
|-------------------|--|---|
|                   | Cultivo regado con agua<br>Natural             | Cultivo Regado con Agua<br>Residual Tratada |
| Humedad (%)       | 83.9   | 81.89                                       |
| Cenizas (%)       | 4.95   | 14.04                                       |
| Proteínas (%)     | 7.2  | 7.70  |
| Grasas (%)        | 1.72   | 1.68  |
| Carbohidratos (%) | 2.23   | 4.69  |
| Energía (%)       | 53.2   | 64.68                                       |
| Fibra cruda (%)   | 7.30   | 7.0   |

Fuente: información propia, Análisis Bromatológico del cultivo Cebada, en el Laboratorio de la F.C.A., en fecha 03/09/2010

**FIGURA Nº 3: COMPARACIÓN DE PARÀMETROS BROMATOLÓGICOS**



Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados nos indica que existe peligro de toxicidad, en un nivel no considerable esto debido a que su materia orgánica es alto, la cual esta determinada en las cenizas; ocasionando que su nivel nutricional baje, esto debido a que algunos parámetros analizados (físico –químico), como el DBO<sub>5</sub>, Fosforo, Nitrato, plomo y el Cobre no están dentro a lo establecido por la ECA, LMP y la OMS. Por lo que es necesario un tratamiento terciario

#### 4.2 DESARROLLO, RENDIMIENTO Y SU ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANVA) DE LA CEBADA FORRAJERA EN VERDE

##### 4.2.1 Diseño de la Parcela

Se trabajo con dos tipos de aguas las cuales son: el agua residual tratada (T1) y agua de manantial (T2), el segundo se tomo como testigo y cuatro repeticiones, y tomando un diseño completamente al azar.

La aplicación de riego fue por gravedad, utilizando una motobomba acoplado tuberías PVC (ø 4”), hasta llegar a la cabecera de la parcela.

Cuadro N° 5: Diseño De Las Parcelas

| DESCRIPCION | TRATAMIENTOS |    |
|-------------|--------------|----|
|             | T1           | T2 |
| R1          |              |    |
| R2          |              |    |
| R3          |              |    |
| R4          |              |    |

Fuente: información propia

Donde:

T1 = Tratamiento con agua residual

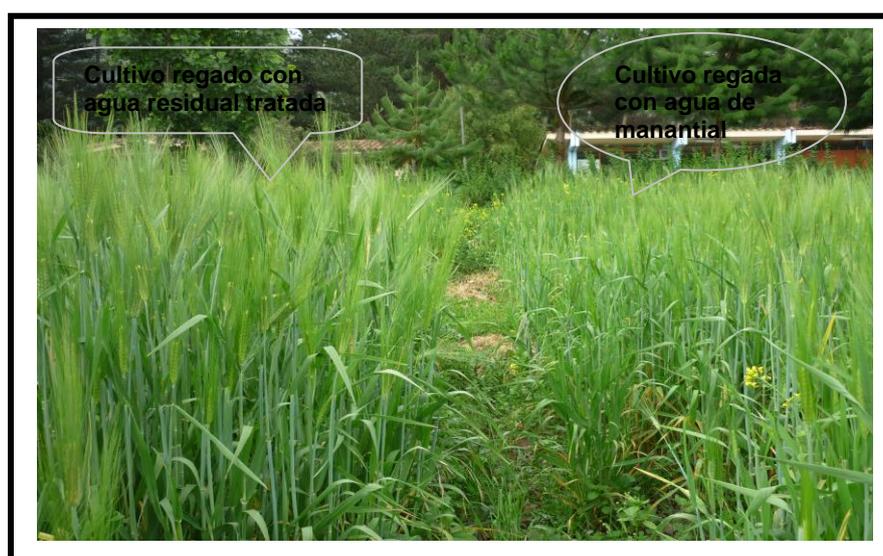
T2 = Tratamiento con agua de manantial

R = Repeticiones

**a) Desarrollo De la Planta**

La altura de los cultivos, son alturas registradas durante su germinación a los 5 días, desarrollo a los 55 y 85 días y su cosecha en verde a los 127 días.

El diseño completamente al azar utiliza fue el “ANDEVA”, obteniendo sus cálculos ya determinadas resultado levemente significativo para un 99% y 95% nivel de confianza en las 4 mediciones de la planta, lo que nos indica que existe diferencia de alturas estadísticamente.



Diferencia De Desarrollo del cultivo

**b) Determinación del ANVA en sus fases de desarrollo del cultivo**

Cuadro N° 6: Atura De La Planta “cm” Fase Germinación (5dias)

| DESCRIPCION     | TRATAMIENTOS |             |
|-----------------|--------------|-------------|
|                 | T1           | T2          |
| R1              | 5.0          | 4.5         |
| R2              | 5.5          | 4.0         |
| R3              | 4.6          | 3.8         |
| R4              | 5.8          | 4.0         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>20.9</b>  | <b>16.3</b> |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>5.23</b>  | <b>4.08</b> |

Fuente: información propia

Análisis De Varianza “ANDEVA”

| F. de V.     | G.L.     | S.C.        | C.M.  | Fc    | P     |
|--------------|----------|-------------|-------|-------|-------|
| TRAT.        | 1        | 2.645       | 2.645 | 14.23 | 0.009 |
| ERROR        | 6        | 1.115       | 0.186 |       |       |
| <b>TOTAL</b> | <b>7</b> | <b>3.76</b> |       |       |       |

Cuadro N° 7: Atura De La Planta “cm” Fase De Desarrollo (25 DIAS)

| DESCRIPCION     | TRATAMIENTOS |              |
|-----------------|--------------|--------------|
|                 | T1           | T2           |
| R1              | 49.0         | 46.2         |
| R2              | 40.0         | 32.5         |
| R3              | 41.3         | 37.5         |
| R4              | 37.8         | 36.2         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>168.1</b> | <b>152.4</b> |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>42.03</b> | <b>38.10</b> |

Fuente: información propia

Análisis De Varianza “ANDEVA”

| F. de V.     | G.L.     | S.C.          | C.M.     | Fc     | P     |
|--------------|----------|---------------|----------|--------|-------|
| TRAT.        | 1        | 30.81         | 30.81125 | 1.0744 | 0.340 |
| ERROR        | 6        | 172.07        | 28.6779  |        |       |
| <b>TOTAL</b> | <b>7</b> | <b>202.88</b> |          |        |       |

Cuadro N° 7: Atura De La Planta “cm” Fase De Desarrollo (55 DIAS)

| DESCRIPCION     | TRATAMIENTOS  |              |
|-----------------|---------------|--------------|
|                 | T1            | T2           |
| R1              | 100.0         | 90.0         |
| R2              | 95.0          | 86.0         |
| R3              | 102.0         | 96.3         |
| R4              | 104.0         | 92.5         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>401.0</b>  | <b>364.8</b> |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>100.25</b> | <b>91.20</b> |

Fuente: información propia

Análisis De Varianza “ANDEVA”

| F. de V.     | G.L.     | S.C.          | C.M.   | Fc   | P     |
|--------------|----------|---------------|--------|------|-------|
| TRAT.        | 1        | 163.81        | 163.81 | 9.74 | 0.021 |
| ERROR        | 6        | 100.93        | 16.82  |      |       |
| <b>TOTAL</b> | <b>7</b> | <b>264.74</b> |        |      |       |

Cuadro N° 8: Atura De La Planta “cm” Fase De Desarrollo (85 DIAS)

| DESCRIPCION     | TRATAMIENTOS  |               |
|-----------------|---------------|---------------|
|                 | T1            | T2            |
| R1              | 135.0         | 126.0         |
| R2              | 140.0         | 150.0         |
| R3              | 142.0         | 130.0         |
| R4              | 156.0         | 133.0         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>573.0</b>  | <b>539.0</b>  |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>143.25</b> | <b>134.75</b> |

Fuente: información propia

Análisis De Varianza “ANDEVA”

| F. de V.     | G.L.     | S.C.          | C.M.  | Fc   | P     |
|--------------|----------|---------------|-------|------|-------|
| TRAT.        | 1        | 144.50        | 144.5 | 1.50 | 0.266 |
| ERROR        | 6        | 577.50        | 96.25 |      |       |
| <b>TOTAL</b> | <b>7</b> | <b>722.00</b> |       |      |       |

Cuadro N° 9: Atura De Planta “cm” Fase De Cosecha (127 DIAS)

| DESCRIPCION     | TRATAMIENTOS  |               |
|-----------------|---------------|---------------|
|                 | T1            | T2            |
| R1              | 150.0         | 146.0         |
| R2              | 152.0         | 150.0         |
| R3              | 158.0         | 142.0         |
| R4              | 156.0         | 135.0         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>616.0</b>  | <b>573.0</b>  |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>154.00</b> | <b>143.25</b> |

Fuente: información propia

Análisis De Varianza “ANDEVA”

| F. de V.     | G.L. | S.C.   | C.M.    | Fc     | P     |
|--------------|------|--------|---------|--------|-------|
| <b>TRAT.</b> | 1    | 231.13 | 231.125 | 8.5207 | 0.027 |
| <b>ERROR</b> | 6    | 162.75 | 27.1250 |        |       |
| <b>TOTAL</b> | 7    | 393.88 |         |        |       |

c) peso del cultivo en verde (Kg.)

El peso del cultivo se realizo por metro cuadrado de área, el análisis estadístico utilizado fue el ANDEVA.

Cuadro N° 10: Peso De La Planta “Kg.”

| DESCRIPCION     | TRATAMIENTOS  |               |
|-----------------|---------------|---------------|
|                 | T1            | T2            |
| R1              | 215           | 115           |
| R2              | 210           | 100           |
| R3              | 233           | 152           |
| R4              | 215           | 200           |
| <b>TOTAL</b>    | <b>873</b>    | <b>567</b>    |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>218.25</b> | <b>141.75</b> |

Fuente: información propia

Análisis De Varianza “ANDEVA”

| F. de V.     | G.L. | S.C.     | C.M.      | Fc      | P     |
|--------------|------|----------|-----------|---------|-------|
| <b>TRAT.</b> | 1    | 11704.50 | 11704.5   | 11.2121 | 0.015 |
| <b>ERROR</b> | 6    | 6263.50  | 1043.9167 |         |       |
| <b>TOTAL</b> | 7    | 17968    |           |         |       |

El diseño completamente al azar utilizada fue el “ANDEVA”, que mediante los cálculos resulto significativo para un 99% y 95% nivel de significancia, esto nos indica que existe diferencia en peso del cultivo.

#### d) Diferencia en su Análisis Bromatológico del Cultivo

El análisis bromatológico se realizó en laboratorio en una cantidad de 100g, el análisis estadístico utilizado fue el ANDEVA.

Cuadro N° 11: Bromatología De La Planta “%.”

| valor nutricional | T1           | T2           | total        |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| Humedad (%)       | 81.89        | 83.9         | 165.79       |
| Cenizas (%)       | 14.04        | 4.95         | 18.99        |
| Proteínas (%)     | 7.7          | 7.2          | 14.9         |
| Grasas (%)        | 1.68         | 1.72         | 3.4          |
| Carbohidratos (%) | 4.69         | 2.23         | 6.92         |
| Fibra cruda (%)   | 7            | 7.3          | 14.3         |
| <b>TOTAL</b>      | <b>117</b>   | <b>107.3</b> | <b>224.3</b> |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>19.50</b> | <b>17.88</b> | <b>37.38</b> |

Fuente: información propia

Análisis De Varianza “ANDEVA”

| F. de V.     | G.L. | S.C.     | C.M.    | Fc     | P     |
|--------------|------|----------|---------|--------|-------|
| <b>TRAT.</b> | 1    | 11.761   | 11.76   | 0.0089 | 0.928 |
| <b>ERROR</b> | 6    | 7912.404 | 1318.73 |        |       |
| <b>TOTAL</b> | 7    | 7924.16  |         |        |       |

#### e) Costo Y Beneficio Del Cultivo De Cebada Forrajera En Verde

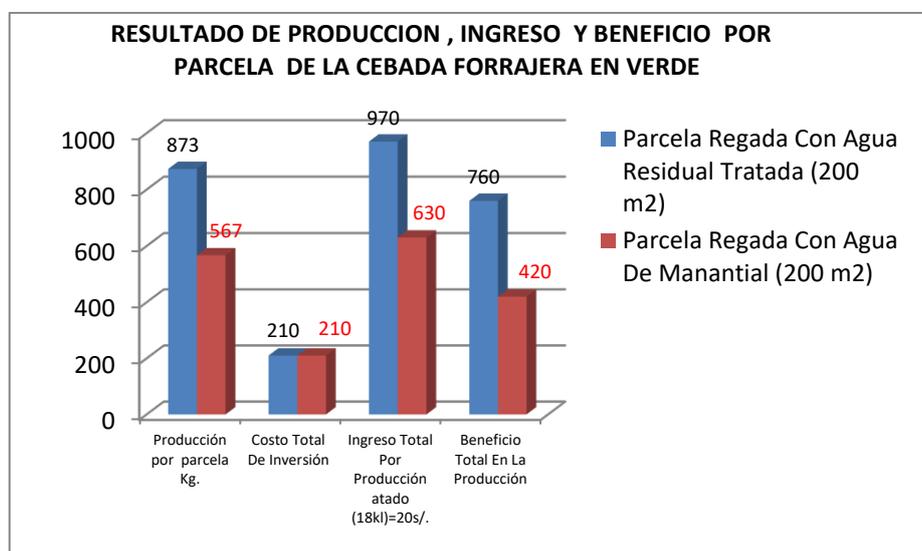
La producción de este cultivo “cebada forrajera en verde”, en la localidad de cusco son constantes ya que son utilizadas para la alimentación de animales menores, es por el cual se realizó este experimento para así determinar la calidad de producción que se obtuviese por estos dos tipos de riego, en el cuadro N° 9, se muestran los siguientes resultados.

**Cuadro Nº 12: COSTO Y BENEFICIO DEL CULTIVO DE CEBADA FORRAJERA EN VERDE (CUSCO – SAN JERONIMO)**

| TRATAMIENTOS   | Rendimiento total Tn/ha       | Producción por Parcela Kg. | Costo Total De Inversión | Ingreso Total Por Producción Atado (18 kl) = 20S/. | Beneficio Total En La Producción |
|--|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|--|----------------------------------|
| Parcela Regada Con Agua Residual Tratada (200 m <sup>2</sup> ) | 43.65                         | 873                        | 210                      | 970.0  | 760.0                            |
| Parcela Regada Con Agua De Manantial (200 m <sup>2</sup> )     | 28.35                         | 567                        | 210                      | 630  | 420.0                            |
| Área Total   | 400 m <sup>2</sup> = 0.04 Has |                            |                          |  |                                  |

Fuente: información propia

**FIGURA Nº 4 COMPARACIÓN FINAL EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO (VERDE)**



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en la producción del cultivo, después de haberse regado con los dos tipos de tratamiento se obtuvo que el regado con agua residual tratada tiene un rendimiento de mayor peso y mayor ingreso, ya que los parámetros analizados tienen fertilizantes considerables que son importantes para

los cultivo. En cuanto al regado con agua de manantial se obtuvieron rendimientos normales e ingresos normales ya que sus nutrientes son los normales y no se utilizaron fertilizantes en este tratamiento. Esto indica que es significativa la diferencia en peso y producción.

#### 4.3.- DISEÑO AGRONÓMICO PARA RIEGO POR SURCO “METODOLOGIA”

##### 4.3.1 Diseño De Riego Por Surco

###### ❖ Espaciamiento entre surcos: (E)

$$E = Cs * Pr \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

Cs = constante del suelo (valores aproximados: arcilla 2.5, franco 1.5 y arena 0.5)

Pr = profundidad de raíces (cm)

###### ❖ Numero de surcos:

$$N^{\circ} \text{ de surcos} = \text{ancho} / \text{espaciamiento entre surcos} \dots \dots \dots (2)$$

###### ❖ Caudal no erosivo: Según criddle y otros (1956) indica:

$$Q_{\max} = 0.63/S$$

Donde:

$Q_{\max}$  = caudal máximo no erosivo en surcos (lt/s)

S = pendiente del fondo del surco o melga (%)

##### 4.3.2. Cantidad De Agua Para Riego Por Gravedad

La cantidad de agua necesaria para el riego del cultivo, se determinaron algunos parámetros y procesos para obtener la necesidad de agua las cuales se muestran a continuación:

###### a) Propiedades Físicas Del Suelo:

- **Textura del suelo:** el análisis que se obtuvo en laboratorio nos demostró que el suelo contiene, 57.89% de Arena, 25.10% de Arcilla y 17.01% de Limo, según el triangulo textural es un suelo FRANCO ARENOSO, la cual es optimo para nuestra investigación.

**b) disponibilidad de agua en el suelo**

Según Absalon Vázquez V.: la cantidad disponible de agua en el suelo a ser utilizada por las plantas, esta comprendida entre el rango de humedad a capacidad de campo (CC, 0.33 bares) y el punto de marchites permanente (PMP, 15 bares), en donde se tiene:

❖ **Lámina Neta o Humedad Aprovechable Total (Ln ó HAT).**

Es la cantidad de agua que debe quedar en la zona de raíces.

$$Ln = HAT = \left( \frac{\theta_{CC} - \theta_{PMP}}{100} \right) * Da * Prof \dots\dots\dots (3)$$

❖ **Lámina De Riego:**

Para el diseño en riego de los cultivos no se debe de permitir un agotamiento mayor de 40% al 60% de HAT, por tanto se utiliza el promedio de 50% de HAT o Ln.

$$L \text{ riego} = 0.5 HAT \dots\dots\dots (4)$$

❖ **Lámina Bruta (Lb):**

La lamina de riego bruta se consigue castigando ala lamina entre la eficiencia.

$$Lb = Ln / Ea \dots\dots\dots (5)$$

**Determinación de la Ea:** según la FAO mediante el centro interamericano de desarrollo integral de aguas y tierra, indica que se puede calcular mediante la ecuación N° 6 y 7.

$$Ea = (Ln / Lb^*) * 100 \dots\dots\dots (6)$$

$$Lb^* = \left( \frac{Qe * Tr}{A} \right) \dots\dots\dots (7)$$

**Tiempo de riego (Tr):**

$$Tr = Ti + Ta \dots\dots\dots (8)$$

**Tiempo de avance del agua en el riego “prueba de avance”**

El avance del agua durante el riego por gravedad es importante conocerlo, ya que permite efectuar un diseño apropiado del sistema de riego.

$$X = p*(Tx)^m \dots\dots\dots (9)$$

Por la técnica de los mínimos cuadrados, se tiene que:

$$m = \frac{n \sum YiZi - \sum Yi \sum Zi}{n \sum Zi^2 - (\sum Zi)^2} \dots\dots\dots (9.1)$$

$$N = \frac{\sum Yi}{n} - \frac{m \sum Zi}{n} = Yprom - mZprom \dots\dots\dots (9.2)$$

$$P = AntLogN \dots\dots\dots (9.3)$$

**Tiempo de infiltración (Ti)**

$$Iacum = A (Ti)^B \dots\dots\dots (10)$$

Por la técnica de los mínimos cuadrados se tiene:

$$B = \frac{n (\sum Xi * Yi) - (\sum Xi) (\sum Yi)}{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \dots\dots\dots (10.1)$$

El parámetro A, se calcula de la siguiente forma:

$$A_0 = \frac{\sum Yi}{n} - \frac{B \sum Xi}{n} \dots\dots\dots (10.2)$$

Donde:

$$A = \text{AntLog } A_0 \dots \dots \dots (10.3)$$

❖ **Función De La Velocidad De Infiltración:** este método se determino con los cilindros infiltrómetros.

$$I = a (T_0)^b \dots \dots \dots (11)$$

Por la técnica de los mínimos cuadrados se tiene:

$$b = \frac{n (\sum X_i * Y_i) - (\sum X_i * \sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \dots \dots \dots (11.1)$$

El parámetro A, se calcula de la siguiente forma:

$$a_0 = \frac{\sum Y_i}{n} - \frac{b \sum X_i}{n} \dots \dots \dots (11.2)$$

Donde:

$$a = \text{AntLog } a_0$$

❖ **Frecuencia de riego (Fr):**

$$Fr = Lr / \text{ETA} \dots \dots \dots (12)$$

c) **Evapotranspiración potencial (ETP).** Método de hargreaves, en base de la temperatura es:

$$\text{ETP} = \text{MF} * \text{TMF} * \text{CH} * \text{CE} \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{CH} = 0.166 * (100 - \text{HR})^{1/2}, \text{ si } \text{HR} > 64\%$$

$$\text{CH} = 1 \text{ si } \text{HR} < 64\%$$

$$\text{CE} = 1.0 + 0.04 * (\text{E}/200) \dots \dots \dots (14)$$

o **Evapotranspiración real o actual (ETA).** También es llamada uso consuntivo.

$$\text{ETA} = K_c * \text{ETP} \dots \dots \dots (15)$$

#### 4.4. CÁLCULO DE LA PROPUESTA TÉCNICA PARA RIEGO POR SURCOS

Cuadro N° 13: Resultado final del análisis de suelo en laboratorio

| PARÁMETROS                           | ANALISIS FISICO - QUIMICO<br>MUYESTRA 1 |
|--------------------------------------|---|
| Capacidad De Campo %                 | 20.16                                   |
| Punto de Marchites %                 | 10.04                                   |
| Densidad Aparente gr/cm <sup>3</sup> | 1.20                                    |
| Arena %                              | 57.89                                   |
| Arcilla %                            | 25.13                                   |
| Limo %                               | 17.01                                   |
| Clase Textural                       | Franco Arenoso                          |

Fuente: información propia

|                                      |       |                           |
|--------------------------------------|-------|---------------------------|
| dimensiones de parcela               | Ancho | 6.5 m                     |
|                                      | Largo | 10 m                      |
| espaciamiento entre surcos           |       | 25 cm                     |
| profundidad de rices                 |       | 50 cm                     |
| numero de surcos                     |       | 26                        |
| pendiente de terreno (S)             |       | 5.80 %                    |
| caudal máximo no erosivo (Qe)        |       | 10.86 lt/sg               |
| 1.- lamina neta                      | Ln    | 6.07 cm                   |
| 2.- lamina de riego                  | Lr    | 3.04 cm                   |
| 3.- lamina bruta                     | Lb    | 1.26 cm                   |
| 4.- eficiencia de aplicación         | Ea    | 241.49 %                  |
| 4.1.- lamina bruta (Lb*)             |       | 2.51 cm                   |
| caudal de entrada (Qe)               |       | 10.86 lt/seg              |
| tiempo de riego (Tr)                 |       | 15.44 minutos             |
| área regada (A)                      |       | 4000000.0 cm <sup>2</sup> |
| 4.1.1.- tiempo de riego              | Tr    | 15.44 minutos             |
| tiempo de infiltración (Ti)          |       | 15.079 minutos            |
| $Ln = lacum = 0.76395 (Ti)^{0.764}$  |       |                           |
| tiempo de avance (Ta)                |       | 0.357 minutos             |
| $X = 14.40124 * (Tx)^{0.5706}$       |       |                           |
| 5.- frecuencia de riego              | Fr    | 7.8 día                   |
| Evapotranspiración actual (ETA) máx. |       | 3.89 mm/día               |

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- 1) Durante nuestra investigación de campo y laboratorio, se observaron los efectos negativos y positivos que se obtuvieron en la aplicación del agua residual tratada en el riego del cultivo de la cebada forrajera (verde), obteniendo ventajas en el crecimiento y producción en las tres fases estudiadas (inicial, intermedia y final) de dicho cultivo.
- 2) Los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos analizados en el laboratorio de la UNA – PUNO, del agua residual tratada proveniente de la planta de tratamiento de San Jerónimo - Cusco, se obtuvieron resultados en donde el , DQO<sub>5</sub>, sólidos totales, alcalinidad, fosforo, plomo, cadmio, cobre y arsénico, están fuera de los limites recomendado por las normas nacionales (ECA y LMP), e internacionales (OMS), en cuanto al los demás parámetros están dentro de los limites recomendados, y en cuanto al análisis microbiológico no existe problemas de contaminación con microorganismos, por lo que nuestro cultivo en forraje verde será ligeramente contaminante para el consumo de los animales menores, por lo que es necesario un tratamiento terciario.
- 3) Durante el periodo de desarrollo de nuestro cultivo se observaron diferencias de alturas al regar con los dos tipos de tratamiento, obteniendo con el primer tratamiento, en la fase de germinación una altura de 20.9 cm, fase de desarrollo = 401.0 cm y en fase de cosecha = 616.0 cm, y en cuanto al regado con agua de manantial se obtuvo una altura en fase germinación = 16.3 cm, fase desarrollo = 364.8 cm y en su fase de cosecha = 573 cm, existiendo una diferencia de desarrollo del cultivo estadísticamente.

Los rendimientos obtenidos en la producción del cultivo de cebada forrajera en verde, regadas con agua residual se obtuvo una producción de 43.65 ton/ha, y el regado con agua de manantial obteniendo 28.35 tn/ha, donde se refleja un incremento del 65% con respecto al testigo que se puede traducir que es debido a las aplicaciones de nutrientes que tienen las aguas residuales, mientras que en el testigo no se tubo ninguna aplicación de nutrientes y/o fertilizantes, resultando una diferencia significativa según el Análisis Estadístico De Varianza.

- 4) El uso de aguas residuales para riego en el cultivo de la cebada forrajera en verde (*Zea mays L.*) con los efluentes de la Planta de Tratamiento de la ciudad de Cusco, no representó para el suelo variaciones significativas en sus características físicas y químicas evaluadas, según análisis de suelos.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- 1) Impulsar a nivel experimental estudios de reúso de aguas residuales con otros cultivos que tradicionalmente se desarrollan en la zona, bajo la restricción de cultivos cuyo fruto no tenga contacto con el agua, para conocer las bondades de esta práctica, sus oportunidades y limitaciones.
- 2) Que las autoridades competentes al área de tratamiento de aguas residuales, deben de realizar un tratamiento optimo asegurando que todos los parámetros establecidos estén dentro de lo recomendado por las instituciones nacional e internacionales, evitando así que estas aguas contaminen al ser humano con bacterias u otro tipo de contaminante.
- 3) Establecer planes de capacitación sobre la práctica del riego con aguas residuales en la zona para los agricultores que potencialmente se pueden involucrar en esta actividad, tomando en cuenta para ello tanto los aspectos técnicos como los aspectos sanitarios.

## VI REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA

1. ALEJANDRO MARSILLI (2005). "Tratamiento de Aguas Residuales urbanas". Editorial
2. CONSEJERÍA DE SALUD (2007). "Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas". Acerca de Wikilibros.
3. GERARD KIELY (1999). "Ingeniería Ambiental, Fundamentos, Entornos, Tecnologías Y Sistemas De Gestión". Editorial Mc Grow – Hill/ Interamericana España.
4. LIC. JOAQUÍN GUTIÉRREZ (2003). "Reuso de agua y nutrientes. Cuba: Medio ambiente y Desarrollo".
5. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). (2002). "Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Eds. J Moscoso; L Egocheaga. Lima Perú.
6. HACH COMPANY (1997-2000) "Manual Del Análisis De Agua" segunda edición.
7. JAIRO ALBERTO, ROMERO ROJAS (1999) "Calidad Del Agua", 2da Edición, Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería.
8. JOSÉ MANGA CERTAIN; NELSON MOLINARES ARAYA. Y JORGE ARRIETA PEARSON (2007) "Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Lagunaje", ediciones uninorte Barranquilla.
9. LEY GENERAL DE AGUAS (D. L. 17752)
10. Lic. JUAN JOSÉ OCOLA SALAZAR (2010): Área de Gestión de la Calidad del Agua, (ECA Y LMP), Lima.
11. MAAS E.V. (1990) "Crop salt tolerance. En: Agricultural Salinity Assessment And Management. K.K. Tanji ed, am. Soc. Civil Eng; Manual y Rep. On Eng. N° 71, New York, pp. 262-304.
12. MARIANO SEOANEZ CALVO (1999). "Ingeniería Medio Ambiental", "Aguas Residuales Urbanas", 2da edición, editorial Aedos.
13. METCALF & EDDY, (1998). "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización". 3ª Ed. Editorial McGraw-Hill.

14. METCALF Y. EDDY (1995). "Aguas Residuales Tratamiento Vertido Y Reutilización" Editorial Interamericana Madrid-España.
15. METCAF-EDDY (1995). "Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales". Editorial España.
16. MINISTERIO DE AGRICULTURA (1992) citado por PALACIOS F. "Programa Nacional De Aguas Residuales Para Riego Agrícola. Programa Nacional De Recuperación De Tierras (PRONADRET)", Lima-Perú.
17. MOSCOSO C. J. Y SACO S. I: (1983). "Evaluación Del Potencial Psicológica De Chancamayo Y Satipo". Universidad Agraria la Molina, Lima – Perú.
18. MOSCOSO C. J. (2004). "Reuso De Las Aguas Residuales En Perú" (Profesor Principal De La Universidad Nacional Agraria La Molina), CEPIS/OPS. Lima – Perú.
19. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD "OMS" (1989). "Directrices Sanitarias Sobre El Uso De Aguas Residuales En La Agricultura Y Acuicultura".
20. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD "OMS" (1995). "Guías Para La Calidad De Agua Potable" Volumen I y IV Segunda Edición Ginebra.
21. PALACIOS, F. S. (1991) "Proyecto Ecológico e Hidráulico Del Tratamiento De Aguas Residuales".
22. PESCOD M.M. (1992), "Wastewater Treatment And Use In Agricultura". FAO Irrigación Y Drenaje.
23. PELCZAR M.J. y Col (1981). "Ingeniería de aguas residuales y reutilización", Editorial reverté S.A. España.
24. RAMOS CORDOBA. Riego Con Aguas Residuales, "Aprovechamiento Del Agua Depuradora En La Comunidad De Valenciana", Editorial Generalitat Valenciana.
25. RIGOLA, M. (1981) "Tratamiento De Aguas Industriales: Aguas De Procesos Residuales" Editorial Portabella. Barcelona España.
26. ROLIM M. S. (2000). "Sistemas De Lagunas De Estabilización", Editorial MCGRAW – WILL Interamericana S.A Colombiana.
27. DR. ING. RUDDY NORIEGA PISSANI (1999). "Manual De Tratamiento De Aguas Residuales" Imprenta Del Ejército
28. R.S. RAMALHO. "Tratamiento de Aguas Residuales" Lima –Perú.

29. SEDAPAL (1990) citado por ZAENZ F. R (2001). "Uso De Las Aguas Residuales Tratadas En La Agricultura" (Modernización En El Uso De Las Aguas Negras Para La Irrigación), CEPIS/OPS. Lima – Perú.
30. SEOANEZ M. (1995). "Aguas Residuales Urbanas, Tratamiento Natural De Costo Y Aprovechamiento" Editorial Mundi – Prensa, Madrid - España.
31. SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO (1995). "Reglamento De Aprovechamiento De Aguas Residuales"
32. TEBBUT T. (1990) "Fundamentos Del Control De Calidad De Aguas" Editorial Limusa, Noriega –México.

#### PAGINAS DE INTERNET

- [http:// www.Tratamientos de aguas - tratamiento aguas residuales.htm](http://www.Tratamientos.de.aguas-tratamiento.aguas.residuales.htm).
- [www.ingenieriaquimica.org](http://www.ingenieriaquimica.org)
- [www.tierramor.org](http://www.tierramor.org)
- [www.minan.gob.pe](http://www.minan.gob.pe)
- [http://cybertesis.upc.edu.pe/upc/2004/arana\\_ve/pdf/arana\\_ve-TH.2.pdf](http://cybertesis.upc.edu.pe/upc/2004/arana_ve/pdf/arana_ve-TH.2.pdf).
- VLADIMIR ARANA YSA (2009). GUITAR. "Guia Para La Toma De Decisiones En La Selección De Sistemas De Tratamiento De Aguas Residuales No Convencionales" FORO CIUDADES PARA LA VIDA, Primera Edición Enero 2010, Lima – Perú. ( Web: [www.ciudad.org.pe](http://www.ciudad.org.pe) )
- <http://www.medioambiente.cu/revistama/articulo41.htm>
- <http://tajoabierto.blogspot.com/2010/09/que-es-un-limite-maximo-permisible-lmp.html>
- [http://www.peruecologico.com.pe/glosario\\_e.htm](http://www.peruecologico.com.pe/glosario_e.htm)

# ANEXOS

# **ANEXO - A**

## **CERTIFICADOS DE LABORATORIO**



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Ciudad Universitaria s/n - Telefax (051) 366080 - Casilla 291 e-mail: fca-una@eudoramail.com



**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**

**ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE SUELOS**

**INFORMACIÓN GENERAL**

Solicitante : Bach. Dady M. Quispe Quispe  
 Procedencia : Sector Ccollana San Jeronimo – Cusco  
 Análisis solicitado : Fertilidad Y Físico  
 Fecha de análisis : 15/04/2010  
 Fecha de emisión : 20/04/2010

| Nº Mu-<br>estra | PH   | C.E<br>MMOHOS/C<br>M. | C:E(e)<br>mS/cm | ELEMENTOS<br>DISPONIBLES |          | CATIONES CAMBIABLES<br>Meg/100 g suelo |                  |                |                 |                  | CIC<br>me/100g |
|-----------------|------|-----------------------|-----------------|--------------------------|----------|--|------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|
|                 |      |                       |                 | P<br>ppm                 | K<br>ppm | Ca <sup>2+</sup>                       | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> |                |
| 01              | 6.36 | 0.25                  | 2.05            | 12.10                    | 355      | 7.36                                   | 1.15             | 0.11           | 0.10            | 0.00             | 13.24          |

| Nº Mu-<br>estra | ANÁLISIS MECÁNICO |              |           | Clase<br>Textural | CO <sub>3</sub> % | M.O.<br>% | N<br>total<br>% | Capacidad<br>de campo<br>% | Punto de<br>marchitez<br>% | Densidad<br>aparente % |
|-----------------|-------------------|--------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|-----------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
|                 | Arena<br>%        | Arcilla<br>% | Limo<br>% |                   |                   |           |                 |                            |                            |                        |
| 01              | 57.89             | 25.13        | 17.01     | F. Ar.            | 1.00              | 2.58      | 0.05            | 20.16                      | 10.03                      | 1.20                   |

**OBSERVACIONES:**

pH = Reacción Del Suelo, C.E.= Conductividad Eléctrica, C.E.(e) = Conductividad Eléctrica Del Extracto, P = Fósforo Disponible, K = Potasio Disponible, Ca<sup>2</sup> = Calcio Cambiable, Mg<sup>2</sup> = Magnesio Cambiable, K<sup>+</sup> = Potasio Cambiable, Na<sup>+</sup> = Sodio Cambiable, Al<sup>3+</sup> = Aluminio Cambiable, CIC = Capacidad De Intercambio, CO<sub>3</sub> = Carbonatos, M.O. = Materia Orgánica N = Nitrógeno Total, F. Ar. = Franco Arenoso y mS/cm = milimhos por centímetro



*[Signature]*  
**M. Sc. Daniel Canaza Mamani**  
 Jefe De Laboratorio De Aguas Y Suelos  
 UNA-PUNO



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Ciudad Universitaria s/n - Telefax: (051) 366080 - Casilla 291 e-mail: fca-una@eudoramail.com



LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE SUELOS

INFORMACIÓN GENERAL

Solicitante : Bach. Dady M. Quispe Quispe  
 Procedencia : Sector Ccollana San Jeronimo – Cusco  
 Análisis solicitado : Fertilidad Y Físico  
 Fecha de análisis : 30/08/2010  
 Fecha de emisión : 04/09/2010

| Nº Mu-<br>estra | PH   | C.E<br>mmhos/c<br>m. | C:E(e)<br>mS/cm | ELEMENTOS<br>DISPONIBLES |          | CACIONES CAMBIABLES<br>meg/100 g suelo |                  |                |                 |                  | CIC<br>me/100g |
|-----------------|------|----------------------|-----------------|--------------------------|----------|--|------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|
|                 |      |                      |                 | P<br>ppm                 | K<br>ppm | Ca <sup>2+</sup>                       | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> |                |
| 01              | 7.69 | 0.78                 | 3.9             | 17.96                    | 475      | 11.98                                  | 2.42             | 0.18           | 0.17            | 0.00             | 17.8           |

| Nº Mu-<br>estra | ANÁLISIS MECÁNICO |              |           | Clase<br>Textural | CO <sub>3</sub> % | M.O.<br>% | N<br>total<br>% | Capacidad<br>de campo<br>% | Punto de<br>marchitez<br>% | Densidad<br>aparente<br>% |
|-----------------|-------------------|--------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                 | Arena<br>%        | Arcilla<br>% | Limo<br>% |                   |                   |           |                 |                            |                            |                           |
| 01              | 57.99             | 25.90        | 16.11     | F.Ar              | 1.1               | 3.18      | 0.08            | 30.48                      | 15.20                      | 1.20                      |

OBSERVACIONES:

pH = Reacción Del Suelo, C.E.= Conductividad Eléctrica, C.E.(e) = Conductividad Eléctrica Del Extracto, P = Fósforo Disponible, K = Potasio Disponible, Ca<sup>2</sup> = Calcio Cambiable, Mg<sup>2</sup> = Magnesio Cambiable, K<sup>+</sup> = Potasio Cambiable, Na<sup>+</sup> = Sodio Cambiable, Al<sup>3+</sup> = Aluminio Cambiable, CIC = Capacidad De Intercambio, CO<sub>3</sub> = Carbonatos, M.O. = Materia Orgánica N = Nitrógeno Total, F. Ar. = Franco Arenoso y mS/cm = mili siemens por centímetro



M. Sc. Daniel Canaza Mamani  
 Jefe De Laboratorio De Aguas Y Suelos  
 UNA-PUNO



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Ciudad Universitaria s/n - Telefax (051) 366080 - Casilla 291 e-mail: fca-una@eudoramail.com



LABORATORIO DE AGUA Y SUELO

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

MUESTRA Nº 2

INFORMACIÓN GENERAL

Solicitante : Bach. Dady M. Quispe Quispe  
 Procedencia : Sector Ccollana San Jeronimo – Cusco  
 Análisis solicitado : Físico - Químico  
 Fecha de análisis : 31/05/2010  
 Fecha de emisión : 04/06/2010

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

Color : Gris Oscuro  
 Olor : Moho  
 Aspecto : Desagradable

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Temperatura : 16.1 °C  
 pH : 7.18  
 Conductividad Eléctrica : 1.48 mmhos/cm.  
 Materia Orgánica : 0.30 mg/l.  
 Sólidos Totales : 98.40 mg/l.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

|                      |          |       |
|----------------------|----------|-------|
| DBO <sub>5</sub>     | : 88     | mg/l. |
| OXIGENO DISUELTO     | : 17.1   | mg/l. |
| ALCALINIDAD          | : 523.86 | mg/l. |
| DUREZA TOTAL         | : 638.40 | mg/l. |
| NITROGENO AMONIAICAL | : 0.018  | mg/l. |
| NITROGENO TOTAL      | : 0.16   | mg/l. |
| FOSFORO              | : 21.95  | mg/l. |
| NITRATO              | : 0.80   | mg/l. |
| PLOMO                | : 0.14   | mg/l. |
| CADMIO               | : 0.50   | mg/l. |
| CROMO                | : 1.08   | mg/l. |
| MERCURIO             | : 0.01   | mg/l. |
| COBRE                | : 1.00   | mg/l. |
| ARSENICO             | : 0.25   | mg/l. |
| FIERRO               | : 0.047  | mg/l. |
| CLORUROS             | : 163.12 | mg/l. |
| SULFATOS             | : 218    | mg/l. |

NOTA: los metales pesados fueron determinadas por el método por valoración (titulación)



M. Sc. DANIEL CANAZA MAMANI  
 JEFE DE LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS  
 UNA - PUNO



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Ciudad Universitaria s/n - Telefax (051) 366080 - Casilla 291 e-mail: fca-una@eudoramail.com



LABORATORIO DE AGUA Y SUELO

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

MUESTRA Nº 1

INFORMACIÓN GENERAL

Solicitante : Bach. Dady M. Quispe Quispe  
 Procedencia : Sector Ccollana San Jeronimo – Cusco  
 Análisis solicitado : Físico - Químico  
 Fecha de análisis : 24/04/2010  
 Fecha de emisión : 30/04/2010

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

Color : Gris Oscuro  
 Olor : Moho  
 Aspecto : Desagradable

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Temperatura : 16.1 °C  
 pH : 7.19  
 Conductividad Eléctrica : 1.66 mmhos/cm.  
 Materia Orgánica : 0.20 mg/l.  
 Sólidos Totales : 49.54 mg/l.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

|                    |          |       |
|--------------------|----------|-------|
| DBO <sub>5</sub>   | : 95     | mg/l. |
| OXIGENO DISUELTO   | : 17.2   | mg/l. |
| ALCALINIDAD        | : 514.82 | mg/l. |
| DUREZA TOTAL       | : 691.60 | mg/l. |
| NITROGENO AMONICAL | : 0.015  | mg/l. |
| NITROGENO TOTAL    | : 0.011  | mg/l. |
| FOSFORO            | : 26.78  | mg/l. |
| NITRATO            | : 0.85   | mg/l. |
| PLOMO              | : 0.17   | mg/l. |
| CADMIO             | : 0.45   | mg/l. |
| CROMO              | : 0.78   | mg/l. |
| MERCURIO           | : 0.01   | mg/l. |
| COBRE              | : 1.02   | mg/l. |
| ARSENICO           | : 0.18   | mg/l. |
| FIERRO             | : 0.076  | mg/l. |
| CLORUROS           | : 161.70 | mg/l. |
| SULFATOS           | : 204    | mg/l. |

NOTA: los metales pesados fueron determinadas por el método por valoración (titulación)



M. Sc. DANIEL CANAZA MAMANI  
 JEFE DE LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS  
 UNA - PUNO



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Ciudad Universitaria s/n - Telefax (051) 366080 - Casilla 291 e-mail: fca-una@eudoramail.com



LABORATORIO DE AGUA Y SUELO

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

MUESTRA N° 3

INFORMACIÓN GENERAL

Solicitante : Bach. Dady M. Quispe Quispe  
 Procedencia : Sector Ccollana San Jeronimo – Cusco  
 Análisis solicitado : Físico - Químico  
 Fecha de análisis : 26/07/2010  
 Fecha de emisión : 03/08/2010

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

Color : Gris Oscuro  
 Olor : Moho  
 Aspecto : Desagradable

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Temperatura : 16.1 °C  
 pH : 7.42  
 Conductividad Eléctrica : 1.50 mmhos/cm.  
 Materia Orgánica : 0.15 mg/l.  
 Sólidos Totales : 163.72 mg/l.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

|                     |          |       |
|---------------------|----------|-------|
| DBO <sub>5</sub>    | : 79     | mg/l. |
| OXIGENO DISUELTO    | : 17.2   | mg/l. |
| ALCALINIDAD         | : 505.79 | mg/l. |
| DUREZA TOTAL        | : 604.20 | mg/l. |
| NITROGENO AMONIACAL | : 0.012  | mg/l. |
| NITROGENO TOTAL     | : 0.32   | mg/l. |
| FOSFORO             | : 19.76  | mg/l. |
| NITRATO             | : 0.60   | mg/l. |
| PLOMO               | : 0.12   | mg/l. |
| CADMIO              | : 0.35   | mg/l. |
| CROMO               | : 0.90   | mg/l. |
| MERCURIO            | : 0.00   | mg/l. |
| COBRE               | : 1.15   | mg/l. |
| ARSENICO            | : 0.15   | mg/l. |
| FIERRO              | : 0.10   | mg/l. |
| CLORUROS            | : 161.70 | mg/l. |
| SULFATOS            | : 208    | mg/l. |

NOTA: los metales pesados fueron determinadas por el método por valoración (titulación)



M. Sc. DANIEL CANAZA MAMANI  
 JEFE DE LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS  
 UNA - PUNO



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia



## CERTIFICADO DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO

Muestra : Agua Residual  
 Procedencia : Planta de tratamiento de San Jerónimo- CUSCO  
 Interesado : Bach. Dady M. Quispe Quispe  
 Motivo : Tesis "Aprovechamiento de aguas residuales por riego  
 En cultivo de cebada forrajera  
 Análisis Solicitado : Bacteriológico de Agua  
 Fecha de Recepcion : 22-09-09  
 Fecha de  
 Certificación : 26-10-09

### RESULTADOS

- Numeración de coliformes totales > 2400/100 ml.  
 - Numeración de *Escherichia coli* 15/100 ml  
 - Numeración de Nemátodos 2 / 1ml.

**OBSERVACIONES .-** Los resultados a los que se refiere en el presente Certificado de Análisis es únicamente a la muestra recepcionada en el laboratorio.

### CONCLUSIÓN:

La muestra de agua analizada se encuentra dentro de los límites mínimos permisibles de aceptación y de acuerdo a la OMS es APTO para el reuso en la agricultura.

Puno, 26 de octubre del 2009.



  
 ALBERTO SOTO Q.  
 MEDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA  
 C. M. V. P. 1961



*Universidad Nacional del Altiplano - Puno*

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

Ciudad Universitaria s/n - Telefax (051) 366080 - Casilla 291 e-mail: fca-una@eudoramail.com



**ANÁLISIS BROMATOLÓGICO**

**ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO (BROMATOLÓGICO) DEL CULTIVO CEBADA FORRAJERA EN VERDE REGADO CON AGUA RESIDUAL**

**Muestra Del Cultivo Con Tallo**

Solicitante : Bach. Dady M. Quispe Quispe  
 Procedencia : Sector Ccollana San Jeronimo – Cusco  
 Análisis solicitado : Bromatológico  
 Fecha de análisis : 30/08/2010  
 Fecha de emisión : 03/09/2010

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS**

Color : Verde  
 Olor : Característico Del Cultivo  
 Aspecto : Solidó

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS QUÍMICAS**

|               |         |       |
|---------------|---------|-------|
| Humedad       | : 81.89 | %     |
| Cenizas       | : 14.04 | %     |
| Proteínas     | : 7.70  | %     |
| Grasas        | : 1.68  | %     |
| Carbohidratos | : 4.69  | %     |
| Energía       | : 64.68 | Kcal. |

**Interpretación:**

Las características físicas son normales



**M. Sc. Daniel Canaza Mamani**  
**Jefe De Laboratorio De Aguas Y Suelos**  
**UNA-PUNO**

**ANEXO - B**  
**ANÁLISIS ESTADÍSTICO**  
**“ANDEVA”**

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico utilizada en este estudio sobre el “Aprovechamiento Del Agua Residual Tratada En El Cultivo Ce Cebada Forrajera En La Localidad De Cusco”, se utilizo el ANVA, determinando de esta manera los siguientes datos:

Cuadro N° 1 Dimensiones De la Parcela

| REPRESENTACIONES            | TRATAMIENTOS<br>“AGUAS” |      |
|-----------------------------|-------------------------|------|
|                             | T1                      | T2   |
| Área neta (m <sup>2</sup> ) | 200                     | 200  |
| Nº de surcos                | 26                      | 26   |
| Distancia entre surcos (m)  | 0.25                    | 0.25 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 2 Diseño De Parcela para su Análisis de Desarrollo

| DESCRIPCION | TRATAMIENTOS |    |
|-------------|--------------|----|
|             | T1           | T2 |
| R1          |              |    |
| R2          |              |    |
| R3          |              |    |
| R4          |              |    |

Fuente: Elaboración propia

Donde:

T1 = tratamiento con agua residual tratada

T2 = tratamiento con agua de manantial

R = repeticiones

Área total en estudio fue de 400 m<sup>2</sup>

1) DESARROLLO DE LA PLANTA

a) FASE INICIAL (GERMINACIÓN a los 5días)

- Fecha de siembra 20/04/2010
- Fecha de medida del cultivo 25/04/2010

Cuadro Nº 3 Medición Del Cultivo “cm”

| DESCRIPCION     | T1          | T2          | TOTAL       |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| R1              | 5.0         | 4.5         | 9.5         |
| R2              | 5.5         | 4.0         | 9.5         |
| R3              | 4.6         | 3.8         | 8.4         |
| R4              | 5.8         | 4.0         | 9.8         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>20.9</b> | <b>16.3</b> | <b>37.2</b> |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>5.23</b> | <b>4.08</b> | <b>9.30</b> |

Se determinara el análisis de varianza para una significancia de 5% y 1% si existe una diferencia estadísticamente en los dos tipos de tratamientos utilizados.

Hipótesis nula  $T1 = T2$  (rechaza)  $\longrightarrow Fc < Ft$

Hipótesis alterna  $T1 \neq T2$  (no rechaza)  $\longrightarrow Fc > Ft$

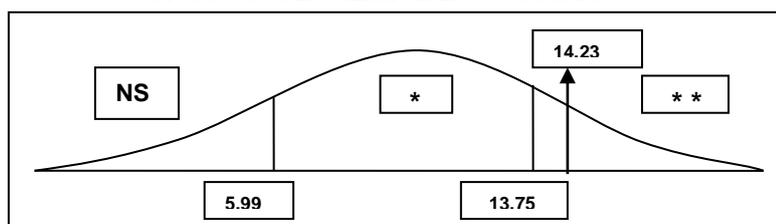
CALCULO PARA ANDEVA

| Grados de Libertad |   | Suma de Cuadrados |       | Cuadrados Madios |        |
|--------------------|---|-------------------|-------|------------------|--------|
| Gltrat (t-1)       | 1 | Sctrat            | 2.645 | CMtrat           | 2.645  |
| Glerror (t(r-1))   | 6 | SCerror           | 1.115 | CMerror          | 0.1858 |
| Gltotal (t*r)-1    | 7 | Sctotal           | 3.76  |                  |        |

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA “ANDEVA”

| F. de V. | G.L. | S.C.  | C.M.  | Fc    | Ft (0.05 - 0.01) | Sig. |
|----------|------|-------|-------|-------|------------------|------|
| TRAT.    | 1    | 2.645 | 2.645 | 14.23 | 5.99 - 13.75     | **   |
| ERROR    | 6    | 1.115 | 0.186 |       |                  |      |
| TOTAL    | 7    | 3.76  |       |       |                  |      |

FIG. Nº 1 TEOREMA DE COCHRAN



En conclusión el riego realizado con los dos tratamientos, se obtuvo una diferencia estadísticamente muy significativa por el cual no rechaza la hipótesis alterna.

**b) FASE DE DESARROLLO a los 25 días**

- Fecha de medida del cultivo el 20/05/2010

**Cuadro Nº 4 Medición Del Cultivo “cm”**

| DESCRIPCION     | T1           | T2           | TOTAL        |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| R1              | 49.0         | 46.2         | 95.2         |
| R2              | 40.0         | 32.5         | 72.5         |
| R3              | 41.3         | 37.5         | 78.8         |
| R4              | 37.8         | 36.2         | 74.0         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>168.1</b> | <b>152.4</b> | <b>320.5</b> |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>42.03</b> | <b>38.10</b> | <b>80.13</b> |

Se determinara el análisis de varianza para una significancia de 5% y 1% si existe una diferencia estadísticamente en los dos tipos de tratamientos utilizados.

Hipótesis nula  $T1 = T2$  (rechaza)  $\longrightarrow Fc < Ft$

Hipótesis alterna  $T1 \neq T2$  (no rechaza)  $\longrightarrow Fc > Ft$

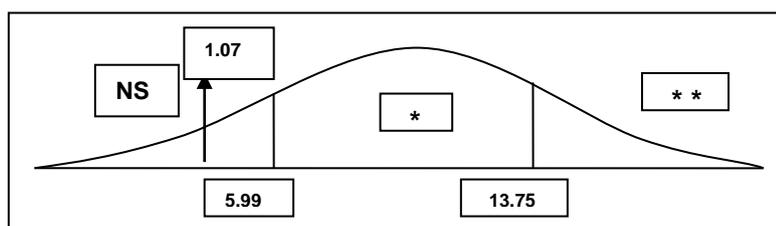
**CALCULOS PARA ANDEVA**

| Grados de Libertad |   | Suma de Cuadrados |                | Cuadrados Madios |          |
|--------------------|---|-------------------|----------------|------------------|----------|
| Gltrat (t-1)       | 1 | Sctrat            | <b>30.8113</b> | CMtrat           | 30.81125 |
| Glerror (t(r-1))   | 6 | SCerror           | 172.0675       | CMerror          | 28.6779  |
| Gltotal (t*r)-1    | 7 | Sctotal           | 202.8788       |                  |          |

**RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA "ANDEVA"**

| F. de V.     | G.L. | S.C.   | C.M.     | Fc     | Ft (0.05 - 0.01) | Sig. |
|--------------|------|--------|----------|--------|------------------|------|
| <b>TRAT.</b> | 1    | 30.81  | 30.81125 | 1.0744 | 5.99 - 13.75     | N.S  |
| <b>ERROR</b> | 6    | 172.07 | 28.6779  |        |                  |      |
| <b>TOTAL</b> | 7    | 202.88 |          |        |                  |      |

**FIG. Nº 2 TEOREMA DE COCHRAN**



En conclusión el riego realizado con los dos tratamientos, se obtuvo una diferencia estadísticamente no significativa por el cual se rechaza la hipótesis nula.

**c) FASE DE DESARROLLO a los 55 días**

- Fecha de medida del cultivo el 20/06/2010

**Cuadro N° 5 Medición Del Cultivo “cm”**

| DESCRIPCION     | T1            | T2           | TOTAL         |
|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| R1              | 100.0         | 90.0         | 190           |
| R2              | 95.0          | 86.0         | 181           |
| R3              | 102.0         | 96.3         | 198.3         |
| R4              | 104.0         | 92.5         | 196.5         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>401.0</b>  | <b>364.8</b> | <b>765.8</b>  |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>100.25</b> | <b>91.20</b> | <b>191.45</b> |

Se determinara el análisis de varianza para una significancia de 5% y 1% si existe una diferencia estadísticamente en los dos tipos de tratamientos utilizados.

Hipótesis nula  $T1 = T2$  (rechaza)  $\longrightarrow Fc < Ft$

Hipótesis alterna  $T1 \neq T2$  (no rechaza)  $\longrightarrow Fc > Ft$

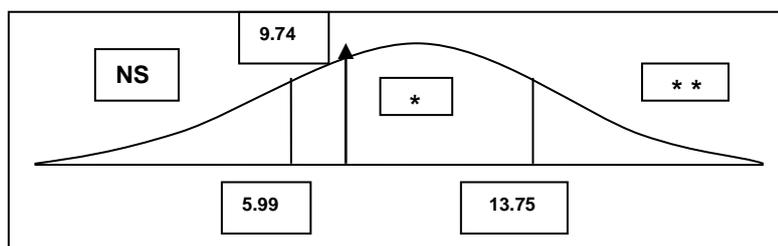
**CALCULO PARA ANDEVA**

| Grados de Libertad |   | Suma de Cuadrados |                 | Cuadrados Madios |         |
|--------------------|---|-------------------|-----------------|------------------|---------|
| Gltrat (t-1)       | 1 | Sctrat            | <b>163.8050</b> | CMtrat           | 163.805 |
| Glerror (t(r-1))   | 6 | SCerror           | 100.9300        | CMerror          | 16.8217 |
| Gltotal (t*r)-1    | 7 | Sctotal           | 264.7350        |                  |         |

**RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA "ANDEVA"**

| F. de V.     | G.L. | S.C.   | C.M.   | Fc   | Ft (0.05 - 0.01) | Sig. |
|--------------|------|--------|--------|------|------------------|------|
| <b>TRAT.</b> | 1    | 163.81 | 163.81 | 9.74 | 5.99 - 13.75     | *    |
| <b>ERROR</b> | 6    | 100.93 | 16.82  |      |                  |      |
| <b>TOTAL</b> | 7    | 264.74 |        |      |                  |      |

**FIG. N° 3 TEOREMA DE COCHRAN**



En conclusión, el riego realizado con los dos tratamientos, se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa por el cual rechaza la hipótesis nula.

**d) FASE DE DESARROLLO a los 85 días**

- Fecha de medida del cultivo el 20/07/2010

Cuadro N° 6 Medición Del Cultivo "cm"

| DESCRIPCION     | T1            | T2            | TOTAL         |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| R1              | 135.0         | 126.0         | 261.0         |
| R2              | 140.0         | 150.0         | 290.0         |
| R3              | 142.0         | 130.0         | 272.0         |
| R4              | 156.0         | 133.0         | 289.0         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>573.0</b>  | <b>539.0</b>  | <b>1112.0</b> |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>143.25</b> | <b>134.75</b> | <b>278.00</b> |

Se determinara el análisis de varianza para una significancia de 5% y 1% si existe una diferencia estadísticamente en los dos tipos de tratamientos utilizados.

Hipótesis nula  $T1 = T2$  (rechaza)  $\longrightarrow Fc < Ft$

Hipótesis alterna  $T1 \neq T2$  (no rechaza)  $\longrightarrow Fc > Ft$

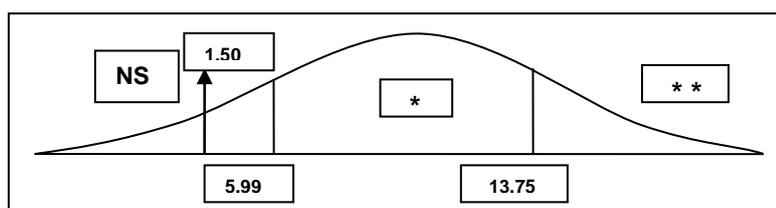
**CALCULO PARA ANDEVA**

| Grados de Libertad |   | Suma de Cuadrados |                | Cuadrados Madios |        |
|--------------------|---|-------------------|----------------|------------------|--------|
| Gltrat (t-1)       | 1 | Sctrat            | <b>144.500</b> | CMtrat           | 144.50 |
| Glerror (t(r-1))   | 6 | SCerror           | 577.5000       | CMerror          | 96.25  |
| Gltotal (t*r)-1    | 7 | Sctotal           | 722.0000       |                  |        |

**RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA "ANDEVA"**

| F. de V.     | G.L. | S.C.   | C.M.  | Fc   | Ft (0.05 - 0.01) | Sig. |
|--------------|------|--------|-------|------|------------------|------|
| <b>TRAT.</b> | 1    | 144.50 | 144.5 | 1.50 | 5.99 - 13.75     | NS   |
| <b>ERROR</b> | 6    | 577.50 | 96.25 |      |                  |      |
| <b>TOTAL</b> | 7    | 722.00 |       |      |                  |      |

**FIG. N° 1 TEOREMA DE COCHRAN**



En conclusión, el riego realizado con los dos tratamientos, se obtuvo una diferencia estadísticamente no significativa por el cual rechaza la hipótesis nula.

**e) FASE DE COSECHA a los 127 días**

- Fecha de cosecha del cultivo el 27/08/2010

**Cuadro Nº 7 Medición del Cultivo “cm”**

| DESCRIPCION     | T1            | T2            | TOTAL         |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| R1              | 150.0         | 146.0         | 296.0         |
| R2              | 152.0         | 150.0         | 302.0         |
| R3              | 158.0         | 142.0         | 300.0         |
| R4              | 156.0         | 135.0         | 291.0         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>616.0</b>  | <b>573.0</b>  | <b>1189.0</b> |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>154.00</b> | <b>143.25</b> | <b>297.25</b> |

Se determinara el análisis de varianza para una significancia de 5% y 1% si existe una diferencia estadísticamente en los dos tipos de tratamientos utilizados.

Hipótesis nula  $T1 = T2$  (rechaza)  $\longrightarrow Fc < Ft$

Hipótesis alterna  $T1 \neq T2$  (no rechaza)  $\longrightarrow Fc > Ft$

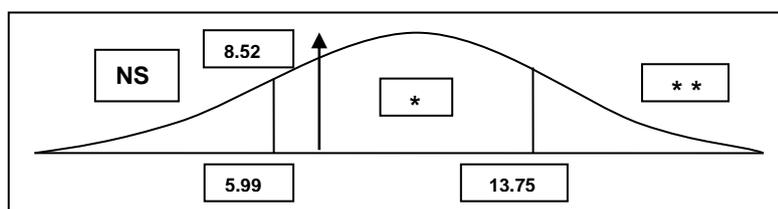
**CALCULO PARA ANDEVA**

| Grados de Libertad |   | Suma de Cuadrados |                | Cuadrados Madios |         |
|--------------------|---|-------------------|----------------|------------------|---------|
| Gltrat (t-1)       | 1 | Scrat             | <b>231.125</b> | CMtrat           | 231.125 |
| Glerror (t(r-1))   | 6 | SCerror           | 162.750        | CMerror          | 27.1250 |
| Gltotal (t*r)-1    | 7 | Sctotal           | 393.875        |                  |         |

**RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA "ANDEVA"**

| F. de V.     | G.L. | S.C.   | C.M.    | Fc   | Ft (0.05 - 0.01) | Sig. |
|--------------|------|--------|---------|------|------------------|------|
| <b>TRAT.</b> | 1    | 231.13 | 231.125 | 8.52 | 5.99 - 13.75     | *    |
| <b>ERROR</b> | 6    | 162.75 | 27.1250 |      |                  |      |
| <b>TOTAL</b> | 7    | 393.88 |         |      |                  |      |

**FIG. Nº 1 TEOREMA DE COCHRAN**



En conclusión, el riego realizado con los dos tratamientos, se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa por el cual rechaza la hipótesis nula.

**f) Peso Del Cultivo (Kg.)**

- Fecha de pesado del cultivo el 27/08/2010

**Cuadro Nº 8 Peso Del Cultivo “kg”**

| DESCRIPCION     | T1            | T2            | TOTAL         |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| R1              | 215           | 115           | 330           |
| R2              | 210           | 100           | 310           |
| R3              | 233           | 152           | 385           |
| R4              | 215           | 200           | 415           |
| <b>TOTAL</b>    | <b>873</b>    | <b>567</b>    | <b>1440</b>   |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>218.25</b> | <b>141.75</b> | <b>360.00</b> |

Se determinara el análisis de varianza para una significancia de 5% y 1% si existe una diferencia estadísticamente en los dos tipos de tratamientos utilizados.

Hipótesis nula  $T1 = T2$  (rechaza)  $\longrightarrow F_c < F_t$

Hipótesis alterna  $T1 \neq T2$  (no rechaza)  $\longrightarrow F_c > F_t$

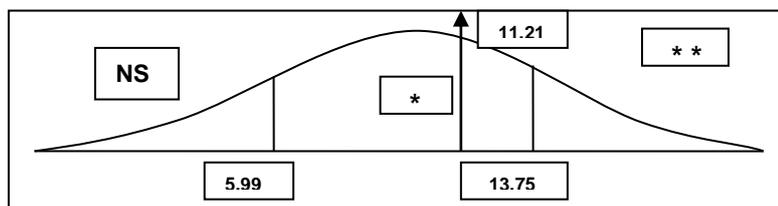
**CALCULO PARA ANDEVA**

| Grados de Libertad |   | Suma de Cuadrados |                 | Cuadrados Medios |           |
|--------------------|---|-------------------|-----------------|------------------|-----------|
| Gltrat (t-1)       | 1 | Sctrat            | <b>11704.50</b> | CMtrat           | 11704.50  |
| Glerror (t(r-1))   | 6 | SCerror           | 6263.50         | CMerror          | 1043.9167 |
| Gltotal (t*r)-1    | 7 | Sctotal           | 17968.00        |                  |           |

**RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA "ANDEVA"**

| F. de V.     | G.L. | S.C.     | C.M.      | Fc      | Ft (0.05 - 0.01) | Sig. |
|--------------|------|----------|-----------|---------|------------------|------|
| <b>TRAT.</b> | 1    | 11704.50 | 11704.5   | 11.2121 | 5.99 - 13.75     | *    |
| <b>ERROR</b> | 6    | 6263.50  | 1043.9167 |         |                  |      |
| <b>TOTAL</b> | 7    | 17968    |           |         |                  |      |

**FIG. Nº 1 TEOREMA DE COCHRAN**



En conclusión el riego realizado con los dos tratamientos, se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa por el cual rechaza la hipótesis nula.

**g) BROMATOLOGIA DEL CULTIVO (%)**

- Nutrición del cultivo forrajero en verde

**Cuadro Nº 9 Bromatología Del Cultivo (%)**

| PARÁMETROS        | Cultivo regado con agua natural | Cultivo Regado con Agua Residual Tratada |
|-------------------|---------------------------------|--|
| Humedad (%)       | 83.9                            | 81.89                                    |
| Cenizas (%)       | 4.95                            | 14.04                                    |
| Proteínas (%)     | 7.2                             | 7.7                                      |
| Grasas (%)        | 1.72                            | 1.68                                     |
| Carbohidratos (%) | 2.23                            | 4.69                                     |
| Energía (%)       | 53.2                            | 64.68                                    |
| Fibra cruda (%)   | 7.3                             | 7  |
| <b>TOTAL</b>      | <b>160.5</b>                    | <b>181.68</b>                            |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>22.93</b>                    | <b>25.95</b>                             |

Se determinara el análisis de varianza para una significancia de 5% y 1% si existe una diferencia estadísticamente en los dos tipos de tratamientos utilizados.

Hipótesis nula  $T1 = T2$  (rechaza)  $\longrightarrow Fc < Ft$

Hipótesis alterna  $T1 \neq T2$  (no rechaza)  $\longrightarrow Fc > Ft$

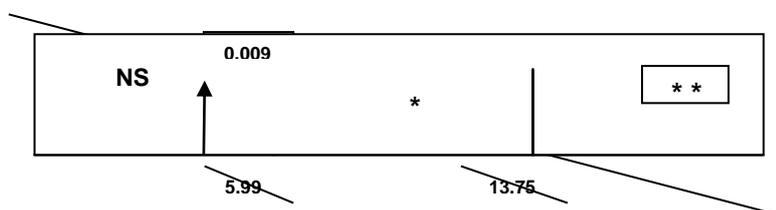
**CALCULO PARA ANDEVA**

| Grados de Libertad |   | Suma de Cuadrados |              | Cuadrados Madios |         |
|--------------------|---|-------------------|--------------|------------------|---------|
| Gltrat (t-1)       | 1 | Sctrat            | <b>56.07</b> | CMtrat           | 56.07   |
| Glerror (t(r-1))   | 6 | SCerror           | 6534.75      | CMerror          | 1089.13 |
| Gltotal (t*r)-1    | 7 | Sctotal           | 6590.82      |                  |         |

**RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA "ANDEVA"**

| F. de V.     | G.L. | S.C.    | C.M.      | Fc     | Ft (0.05 - 0.01) | Sig. |
|--------------|------|---------|-----------|--------|------------------|------|
| <b>TRAT.</b> | 1    | 11.76   | 11.761    | 0.0089 | 5.99 - 13.75     | NS   |
| <b>ERROR</b> | 6    | 7912.40 | 1318.7339 |        |                  |      |
| <b>TOTAL</b> | 7    | 7924.16 |           |        |                  |      |

**FIG. Nº 1 TEOREMA DE COCHRAN**



En conclusión el riego realizado con los dos tratamientos, se obtuvo una diferencia estadísticamente no significativa por el cual rechaza la hipótesis nula.

## **ANEXO - C**

- PRUEBA DE INFILTRACION
- PRUEBA DE AVANCE

**PRUEBA DE INFILTRACION**

**TESIS** : Aprovechamiento del Agua Residual Tratada en el Cultivo de Cebada  
**LUGAR** : Planta de San Jeronimo - Cusco  
**ESTUDIANTE** : Dady M. Quispe Quispe  
**METODO** : Cilindros Infiltrómetros  
**TEXTURA** : Franco Arenoso

**CUADRO Nº 1 PRUEBA DE INFILTRACION**

| HORA  | tiempo (min) |           | Lámina Infiltrada (cm) |           | Velocidad Infiltración (cm/hora) |          |
|-------|--------------|-----------|------------------------|-----------|----------------------------------|----------|
|       | Parcial      | Acumulado | Parcial                | Acumulado | Instantáneo                      | Promedio |
| 09:00 | 0            | 0         | 0                      | 0         | -                                | -        |
| 09:01 | 1            | 1         | 0.62                   | 0.62      | 37.20                            | 37.20    |
| 09:02 | 1            | 2         | 0.59                   | 1.21      | 35.40                            | 36.30    |
| 09:03 | 1            | 3         | 0.55                   | 1.76      | 33.00                            | 35.20    |
| 09:04 | 1            | 4         | 0.51                   | 2.27      | 30.60                            | 34.05    |
| 09:05 | 1            | 5         | 0.45                   | 2.72      | 27.00                            | 32.64    |
| 09:06 | 1            | 6         | 0.41                   | 3.13      | 24.60                            | 31.30    |
| 09:08 | 2            | 8         | 0.77                   | 3.9       | 23.10                            | 29.25    |
| 09:10 | 2            | 10        | 0.67                   | 4.57      | 20.10                            | 27.42    |
| 09:12 | 2            | 12        | 0.60                   | 5.17      | 18.00                            | 25.85    |
| 09:17 | 5            | 17        | 1.49                   | 6.66      | 17.88                            | 23.51    |
| 09:22 | 5            | 22        | 1.29                   | 7.95      | 15.48                            | 21.68    |
| 09:27 | 5            | 27        | 1.14                   | 9.09      | 13.68                            | 20.20    |
| 09:37 | 10           | 37        | 2.24                   | 11.33     | 26.88                            | 18.37    |
| 09:47 | 10           | 47        | 2.14                   | 13.47     | 12.84                            | 17.20    |
| 09:57 | 10           | 57        | 2.095                  | 15.565    | 12.57                            | 16.38    |
| 10:17 | 20           | 77        | 4.84                   | 20.405    | 29.04                            | 15.90    |
| 10:37 | 20           | 97        | 4.39                   | 24.79     | 13.16                            | 15.33    |
| 10:57 | 20           | 117       | 4.44                   | 29.23     | 13.32                            | 14.99    |
| 11:37 | 40           | 157       | 8.39                   | 37.615    | 25.16                            | 14.38    |
| 12:23 | 60           | 217       | 12.49                  | 50.101    | 18.73                            | 13.85    |

**CUADRO Nº 2 CALCULO DE LA FUNCIÓN DE LA LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA**

| Tiempo Acumulado (to) (min) | lamina Infiltrada acumulada (Iacum) (cm) | X=Log(To)     | Y=Log (Iacum)  | X*Y            | X <sup>2</sup> | Y <sup>2</sup> |
|-----------------------------|--|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1                           | 0.62                                     | 0             | 0              | 0              | 0              | 0              |
| 2                           | 1.21                                     | 0.301         | 0.0828         | 0.0249         | 0.0906         | 0.0069         |
| 3                           | 1.76                                     | 0.477         | 0.2455         | 0.1171         | 0.2276         | 0.0603         |
| 4                           | 2.27                                     | 0.602         | 0.3560         | 0.2143         | 0.3625         | 0.1268         |
| 5                           | 2.72                                     | 0.699         | 0.4346         | 0.3038         | 0.4886         | 0.1889         |
| 6                           | 3.13                                     | 0.778         | 0.4955         | 0.3856         | 0.6055         | 0.2456         |
| 8                           | 3.90                                     | 0.903         | 0.5911         | 0.5338         | 0.8156         | 0.3494         |
| 10                          | 4.57                                     | 1.000         | 0.6599         | 0.6599         | 1.0000         | 0.4355         |
| 12                          | 5.17                                     | 1.079         | 0.7135         | 0.7700         | 1.1646         | 0.5091         |
| 17                          | 6.66                                     | 1.230         | 0.8235         | 1.0132         | 1.5140         | 0.6781         |
| 22                          | 7.95                                     | 1.342         | 0.9004         | 1.2087         | 1.8021         | 0.8107         |
| 27                          | 9.09                                     | 1.431         | 0.9586         | 1.3721         | 2.0488         | 0.9188         |
| 37                          | 11.33                                    | 1.568         | 1.0542         | 1.6532         | 2.4593         | 1.1114         |
| 47                          | 13.47                                    | 1.672         | 1.1294         | 1.8884         | 2.7959         | 1.2755         |
| 57                          | 15.57                                    | 1.756         | 1.1921         | 2.0933         | 3.0831         | 1.4212         |
| 77                          | 20.41                                    | 1.886         | 1.3097         | 2.4708         | 3.5588         | 1.7154         |
| 97                          | 24.79                                    | 1.987         | 1.3943         | 2.7701         | 3.9473         | 1.9440         |
| 117                         | 29.23                                    | 2.068         | 1.4658         | 3.0316         | 4.2774         | 2.1487         |
| 157                         | 37.62                                    | 2.196         | 1.5754         | 3.4593         | 4.8220         | 2.4818         |
| 217                         | 50.10                                    | 2.336         | 1.6998         | 3.9716         | 5.4590         | 2.8895         |
| <b>sumatoria</b>            |  | <b>25.314</b> | <b>17.0821</b> | <b>27.9418</b> | <b>40.5227</b> | <b>19.3172</b> |
| <b>promedio</b>             |  | <b>1.266</b>  | <b>0.854</b>   | <b>1.3971</b>  | <b>2.0261</b>  | <b>0.9659</b>  |

Función de la Lámina Infiltrada - Metodo Analítico

$$I_{cum} = A (T_0)^b$$

Por la técnica de los mínimos cuadrados se tiene:

$$n = 19$$

$$B = \frac{n (\sum X_i * Y_i) - (\sum X_i * \sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$B = 0.762581$$

Donde:

Y = Log acum.

X = Log T<sub>0</sub>

$$A_0 = \frac{\sum Y_i}{n} - \frac{B \sum X_i}{n}$$

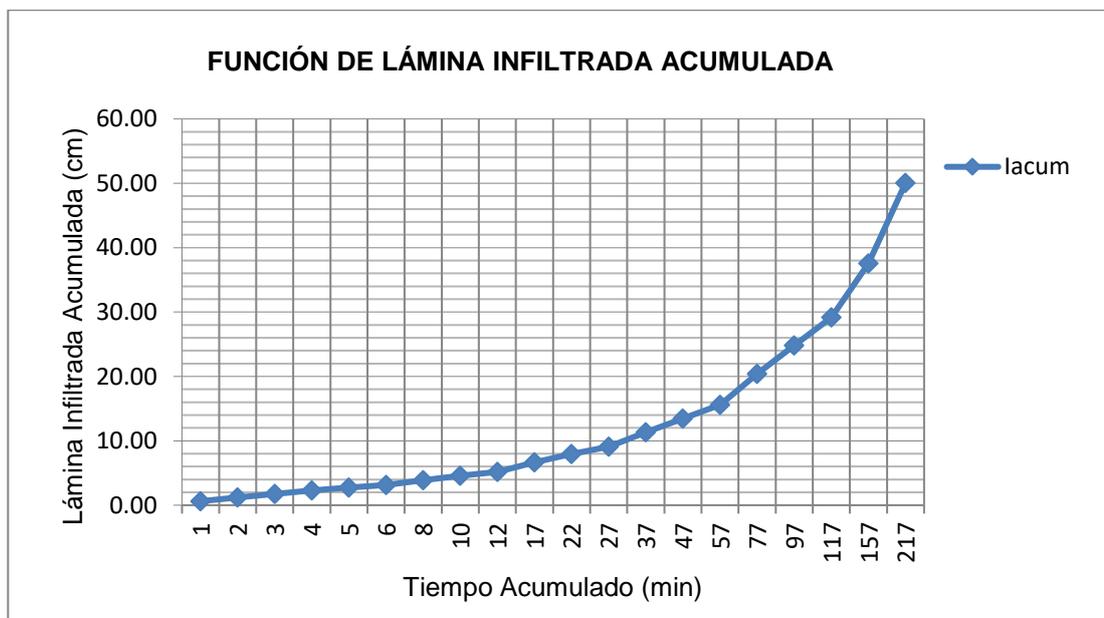
$$A_0 = -0.116933$$

A = AntLog A<sub>0</sub>

$$A = 0.763954$$

I<sub>acum</sub> = A (T<sub>i</sub>)<sup>B</sup>

$$I_{acum} = 0.76395 (T_i)^{0.764}$$



CUADRO Nº 3 CALCULO DE LA FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRADA ACUMULADA

| tiempo acumulado (min)(to) | velocidad Infiltrada Inst. I (cm/hora) | X=Log(To) | Y=Log (Iacum) | X*Y     | X2      | Y2      |
|----------------------------|--|-----------|---------------|---------|---------|---------|
| 1                          | 37.20                                  | 0         | 0             | 0       | 0       | 0       |
| 2                          | 35.40                                  | 0.3010    | 1.5490        | 0.4663  | 0.0906  | 2.3994  |
| 3                          | 33.00                                  | 0.4771    | 1.5185        | 0.7245  | 0.2276  | 2.3059  |
| 4                          | 30.60                                  | 0.6021    | 1.4857        | 0.8945  | 0.3625  | 2.2074  |
| 5                          | 27.00                                  | 0.6990    | 1.4314        | 1.0005  | 0.4886  | 2.0488  |
| 6                          | 24.60                                  | 0.7782    | 1.3909        | 1.0824  | 0.6055  | 1.9347  |
| 8                          | 23.10                                  | 0.9031    | 1.3636        | 1.2315  | 0.8156  | 1.8594  |
| 10                         | 20.10                                  | 1.0000    | 1.3032        | 1.3032  | 1.0000  | 1.6983  |
| 12                         | 18.00                                  | 1.0792    | 1.2553        | 1.3547  | 1.1646  | 1.5757  |
| 17                         | 17.88                                  | 1.2304    | 1.2524        | 1.5410  | 1.5140  | 1.5684  |
| 22                         | 15.48                                  | 1.3424    | 1.1898        | 1.5972  | 1.8021  | 1.4156  |
| 27                         | 13.68                                  | 1.4314    | 1.1361        | 1.6262  | 2.0488  | 1.2907  |
| 37                         | 26.88                                  | 1.5682    | 1.4294        | 2.2416  | 2.4593  | 2.0433  |
| 47                         | 12.84                                  | 1.6721    | 1.1086        | 1.8536  | 2.7959  | 1.2289  |
| 57                         | 12.57                                  | 1.7559    | 1.0993        | 1.9303  | 3.0831  | 1.2085  |
| 77                         | 29.04                                  | 1.8865    | 1.4630        | 2.7599  | 3.5588  | 2.1404  |
| 97                         | 13.16                                  | 1.9868    | 1.1191        | 2.2234  | 3.9473  | 1.2524  |
| 117                        | 13.32                                  | 2.0682    | 1.1245        | 2.3257  | 4.2774  | 1.2645  |
| 157                        | 25.16                                  | 2.1959    | 1.4006        | 3.0756  | 4.8220  | 1.9617  |
| 217                        | 18.73                                  | 2.3365    | 1.2725        | 2.9732  | 5.4590  | 1.6193  |
| sumatoria                  |  | 25.3138   | 24.8929       | 32.2051 | 40.5227 | 33.0233 |
| promedio                   |  | 1.2657    | 1.2446        | 1.6103  | 2.0261  | 1.6512  |

Función De La Velocidad De Infiltración

$$I = a (To)^b$$

Por la técnica de los mínimos cuadrados se tiene:

$$n = 19$$

$$b = \frac{n (\sum Xi * Yi) - (\sum Xi * \sum Yi)}{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}$$

$$b = -0.141217$$

$$a_0 = \frac{\sum Yi}{n} - \frac{b \sum Xi}{n}$$

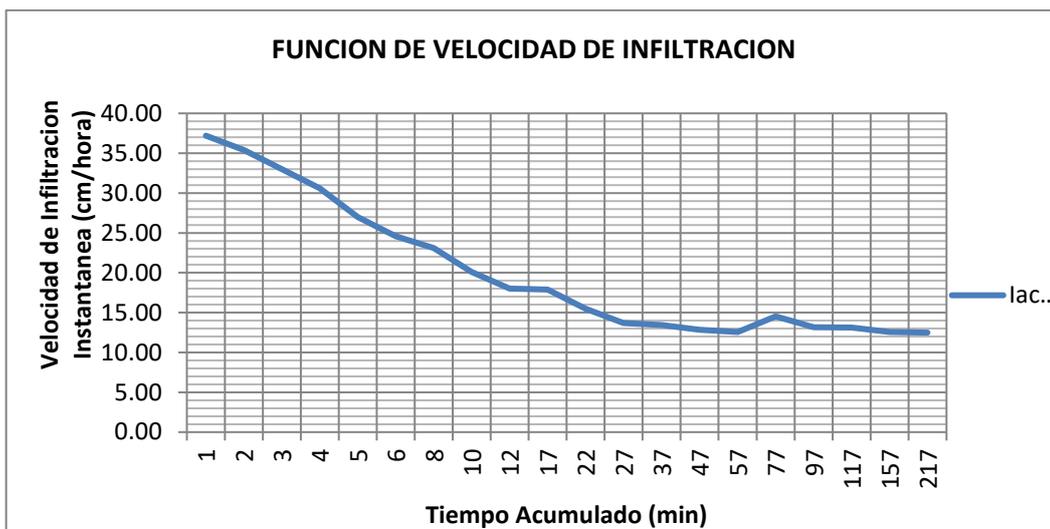
$$a_0 = 1.498297$$

$$a = \text{AntLog } a_0$$

$$a = 31.499017$$

$$I = a (To)^b$$

$$I = 31.499017 (To)^{-0.141}$$



**PRUEBA DE AVANCE**

TESIS : Aprovechamiento del Agua Residual Tratada en el Cultivo de la Cebada  
 LUGAR : Planta de San Jeronimo - Cusco  
 ESTUDIANTE : Dady M. Quispe Quispe  
 textura : Franco Arenoso

**CUADRO Nº 1 PRUEBA DE AVANCE**

| NUMERO           | tiempo controlado en campo | longitud de avance (mts) | tiempo de avance Acum (min) | Y=Log(X) | Z=Log(T) | ZY       | Z <sup>2</sup> |
|------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------------|
| 0                | 10:40                      | 0                        | 0                           | 0        | 0        | 0        | 0              |
| 1                | 10:40                      | 3                        | 0.105                       | 0.4771   | -0.9788  | -0.46701 | 0.9581         |
| 2                | 10:40                      | 6                        | 0.194                       | 0.7782   | -0.7122  | -0.55420 | 0.5072         |
| 3                | 10:40                      | 9                        | 0.300                       | 0.9542   | -0.5229  | -0.49895 | 0.2734         |
| 4                | 10:40                      | 12                       | 0.508                       | 1.0792   | -0.2941  | -0.31743 | 0.0865         |
| 5                | 10:41                      | 15                       | 1.153                       | 1.1761   | 0.0618   | 0.07272  | 0.0038         |
| 6                | 10:41                      | 18                       | 1.482                       | 1.2553   | 0.1708   | 0.21446  | 0.0292         |
| 7                | 10:42                      | 20                       | 2.339                       | 1.3010   | 0.3690   | 0.48012  | 0.1362         |
| <b>sumatoria</b> |                            |                          |                             | 7.0211   | -1.9063  | -1.0703  | 1.9944         |
| <b>promedio</b>  |                            |                          |                             | 0.8776   | -0.2383  | -0.1338  | 0.2493         |

**Tiempo de avance del agua en el riego "prueba de avance"**

$X = p*(Tx)^m$

$\text{Log } X = \text{log } P + m * \text{log } (Tx)$

**n = 7**

$$Y = N + m * Z$$

$$Y = \log X$$

$$N = \log P$$

$$Z = \log Tx$$

Por la técnica de los mínimos cuadrados, se tiene que:

$$m = \frac{n \sum Y_i Z_i - \sum Y_i \sum Z_i}{n \sum Z_i^2 - (\sum Z_i)^2}$$

$$m = 0.570589$$

$$N = \frac{\sum Y_i}{n} - m \frac{\sum Z_i}{n} = Y_{prom} - m Z_{prom}$$

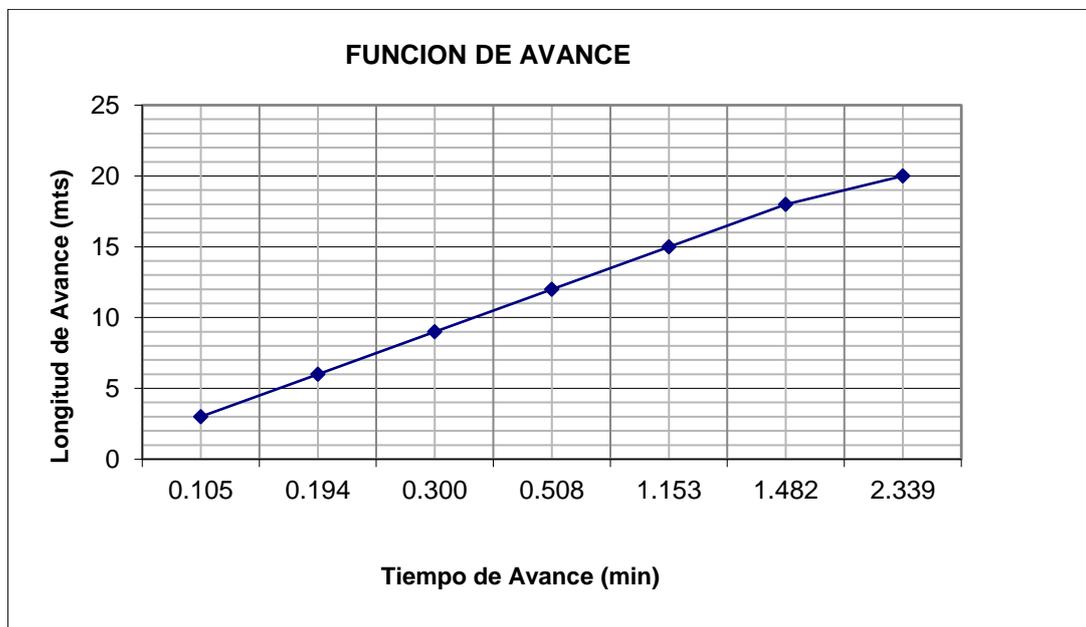
$$N = 1.15840E+00$$

$$P = \text{AntLog}N$$

$$P = 14.40124371$$

$$X = p*(Tx)^m$$

$$X = 1*(Tx)^{0.5706}$$



## **ANEXO - D**

- DATOS METEOROLÓGICOS
- CÁLCULO DE LA  
EVAPOTRANSPIRACIÓN  
POTENCIAL

**DATOS DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL COMPLETADOS Y/O EXTENDIDOS DE**

**LA ESTACION KAYRA**

ESTACIÓN : KAYRA  
CUENCA : HUATANAY  
ORGANISMO : SENAMHI

LAT – S : 13° 30´ 45”  
ALTITUD : 3198.27 msnm

DPTO. : CUSCO  
PROV. : CUSCO  
DIST. : SAN JERONIMO

| AÑOS              | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OCT   | NOV   | DIC   | TOTAL  |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1963              | 72.66 | 72.2  | 73.73 | 72.48 | 67.22 | 63.83 | 63.23 | 61.09 | 60.17 | 62.92 | 62.98 | 65.6  | 798.11 |
| 1964              | 67.5  | 71.25 | 72.07 | 69.52 | 66.53 | 54.54 | 58.86 | 58.34 | 58.12 | 64.99 | 64.18 | 69.59 | 775.49 |
| 1965              | 72.05 | 74.03 | 72.85 | 69.62 | 68.74 | 66.71 | 71.64 | 56.65 | 60.66 | 66.65 | 61.68 | 66.68 | 807.96 |
| 1966              | 70.69 | 73.7  | 69.71 | 65.72 | 68.73 | 66.32 | 57.74 | 60.75 | 61.76 | 64.77 | 62.77 | 62.84 | 785.5  |
| 1967              | 66.79 | 69.29 | 71.39 | 68.81 | 63.82 | 60.83 | 59.38 | 55.65 | 57.97 | 58.37 | 60.87 | 62.39 | 755.56 |
| 1968              | 69.89 | 69.25 | 68.9  | 68.91 | 63.92 | 61.93 | 63.94 | 63.94 | 60.95 | 63.96 | 65.97 | 64.98 | 786.54 |
| 1969              | 70.98 | 68.99 | 72    | 70.01 | 65.02 | 63.02 | 66.03 | 63.04 | 61.05 | 58.06 | 61.07 | 66.07 | 785.34 |
| 1970              | 73.08 | 73.09 | 72.1  | 75.11 | 69.11 | 63.12 | 61.68 | 57.08 | 60.5  | 61.8  | 62.87 | 66.99 | 796.53 |
| 1971              | 71.52 | 72.5  | 72.45 | 70.2  | 67.72 | 64.22 | 60.23 | 61.24 | 59.24 | 60.25 | 57.26 | 66.27 | 783.1  |
| 1972              | 71.08 | 69.69 | 71.78 | 71.3  | 65.64 | 62.32 | 58.32 | 60.33 | 59.34 | 63.74 | 61.36 | 62.36 | 777.26 |
| 1973              | 72.58 | 75.38 | 75.39 | 74.4  | 71.41 | 70.41 | 64.42 | 60.43 | 64.44 | 63.45 | 63.45 | 67.46 | 823.22 |
| 1974              | 73.47 | 76.48 | 72.49 | 71.49 | 64.5  | 63.51 | 65.28 | 65.53 | 55.53 | 64.54 | 62.55 | 69.56 | 804.93 |
| 1975              | 73.57 | 74.58 | 73.58 | 69.59 | 72.6  | 71.61 | 60.62 | 62.62 | 63.63 | 62.64 | 63.65 | 70.66 | 819.35 |
| 1976              | 75.66 | 72.67 | 73.68 | 71.69 | 68.7  | 64.7  | 61.71 | 62.72 | 64.73 | 59.74 | 65.75 | 67.75 | 809.5  |
| 1977              | 71.76 | 74.77 | 73.57 | 75.79 | 67.79 | 69.8  | 69.81 | 63.18 | 58.83 | 66.74 | 62.84 | 69.89 | 824.77 |
| 1978              | 71.86 | 70.87 | 74.71 | 67.88 | 68.54 | 66.89 | 67    | 63.96 | 62.59 | 67.71 | 64.12 | 65.95 | 812.08 |
| 1979              | 70.96 | 71.96 | 73.97 | 76.98 | 64.99 | 62    | 61    | 54.01 | 61.26 | 64.78 | 63.86 | 67.04 | 792.81 |
| 1980              | 70.05 | 70.06 | 74.07 | 69.08 | 66.08 | 59.09 | 62.1  | 57.11 | 61.12 | 65.13 | 64.89 | 68.2  | 786.98 |
| 1981              | 73.15 | 72.16 | 71.17 | 75.17 | 69.52 | 67.23 | 63.35 | 58.21 | 64.79 | 68.48 | 63.23 | 69.24 | 815.7  |
| 1982              | 73.25 | 76.85 | 72.26 | 71.27 | 66.28 | 69.77 | 65.33 | 63.09 | 58.31 | 68.46 | 66.33 | 65.34 | 816.54 |
| 1983              | 73.36 | 75.14 | 73.03 | 74.46 | 66.38 | 66.38 | 67.95 | 63.18 | 62.83 | 67.76 | 63.78 | 69.6  | 823.85 |
| 1984              | 73.87 | 75.95 | 69.44 | 76.71 | 67.68 | 65.15 | 64.09 | 62.42 | 61.43 | 73.12 | 64.96 | 64.97 | 819.79 |
| 1985              | 72.2  | 74.06 | 72.21 | 72.22 | 70.37 | 66.65 | 64.8  | 57.36 | 64.82 | 63.65 | 66.69 | 65.77 | 810.8  |
| 1986              | 71.55 | 71.55 | 75.34 | 73.46 | 64.96 | 66.86 | 67.81 | 63.09 | 62.16 | 58.38 | 58.39 | 60.29 | 793.84 |
| 1987              | 72.13 | 64.42 | 68.29 | 64.44 | 64.52 | 65.42 | 61.57 | 58.68 | 58.69 | 57.73 | 61.6  | 65.47 | 762.96 |
| 1988              | 72.48 | 67.77 | 72.5  | 73.45 | 67.38 | 67.81 | 60.68 | 55.12 | 57.46 | 56.53 | 61.14 | 65.51 | 777.83 |
| 1989              | 72.03 | 69.56 | 71.84 | 76.69 | 68.28 | 66.42 | 61.07 | 63.63 | 58.61 | 62.42 | 64.59 | 58.99 | 794.13 |
| 1990              | 69.79 | 66.93 | 67.9  | 68.33 | 66    | 69.83 | 60.29 | 56.48 | 54.57 | 60.29 | 62.8  | 69.88 | 773.09 |
| 1991              | 68.24 | 74    | 72.09 | 72.1  | 66.36 | 64.45 | 57.74 | 52    | 61.59 | 60.64 | 63.53 | 66.41 | 779.15 |
| 1992              | 71.03 | 74.87 | 73.62 | 70.1  | 63.41 | 60.55 | 62.47 | 60.57 | 54.84 | 67.16 | 60.59 | 69.21 | 788.42 |
| 1993              | 73.05 | 73.99 | 75.87 | 74.01 | 67.5  | 58.19 | 59.13 | 56.34 | 61.01 | 68.47 | 65.55 | 69.45 | 802.56 |
| 1994              | 73.25 | 73.65 | 73.84 | 79.86 | 66.85 | 66.2  | 61.65 | 48.89 | 59.25 | 60.76 | 61.93 | 66.23 | 792.36 |
| 1995              | 72.43 | 73.16 | 74.27 | 73.56 | 67.27 | 65.93 | 65.33 | 57.09 | 58.54 | 64.3  | 62.15 | 66.41 | 800.44 |
| 1996              | 72.63 | 72.54 | 73.6  | 72.22 | 67.81 | 63.26 | 60.6  | 61.07 | 60.21 | 64.78 | 63.61 | 68.38 | 800.71 |
| 1997              | 71.68 | 72.14 | 73.31 | 71.22 | 66.73 | 65.81 | 63.75 | 60.87 | 61.3  | 64.01 | 63.89 | 69.52 | 804.23 |
| 1998              | 73.16 | 74.35 | 74.66 | 73.03 | 67.28 | 68.42 | 64.42 | 63.72 | 61.47 | 60.39 | 61.7  | 63.52 | 806.12 |
| 1999              | 72    | 73    | 71    | 71    | 67    | 67    | 65    | 62    | 61    | 65    | 63    | 66    | 803    |
| 2000              | 72    | 73    | 73    | 70    | 66    | 63    | 64    | 60    | 60    | 63    | 63    | 67    | 794    |
| 2001              | 72    | 73    | 72    | 72    | 66    | 64    | 63    | 59    | 60    | 62    | 63    | 67    | 793    |
| 2002              | 72    | 72    | 72    | 72    | 68    | 67    | 62    | 59    | 59    | 63    | 62    | 65    | 793    |
| 2003              | 72    | 74    | 73    | 70    | 66    | 65    | 63    | 61    | 62    | 61    | 63    | 65    | 795    |
| 2004              | 70    | 72    | 72    | 71    | 65    | 63    | 64    | 60    | 62    | 63    | 62    | 69    | 793    |
| 2005              | 73    | 73    | 74    | 70    | 67    | 65    | 62    | 64    | 62    | 61    | 61    | 64    | 796    |
| 2006              | 71    | 72    | 74    | 72    | 68    | 68    | 60    | 57    | 61    | 63    | 65    | 66    | 797    |
| 2007              | 72    | 71    | 73    | 73    | 67    | 62    | 63    | 58    | 61    | 64    | 62    | 64    | 790    |
| 2008              | 72    | 73    | 73    | 71    | 69    | 66    | 61    | 59    | 60    | 65    | 64    | 67    | 800    |
| <b>Media</b>      | 71.81 | 72.39 | 72.62 | 71.80 | 67.06 | 64.98 | 62.87 | 59.75 | 60.47 | 63.43 | 62.97 | 66.40 | 796.56 |
| <b>Desv. Est.</b> | 1.62  | 2.49  | 1.75  | 2.94  | 1.91  | 3.31  | 3.02  | 3.47  | 2.34  | 3.33  | 1.87  | 2.57  | 15.50  |
| <b>Mínima</b>     | 66.79 | 64.42 | 67.9  | 64.44 | 63.41 | 54.54 | 57.74 | 48.89 | 54.57 | 56.53 | 57.26 | 58.99 | 755.56 |
| <b>Máxima</b>     | 75.66 | 76.85 | 75.87 | 79.86 | 72.60 | 71.61 | 71.64 | 65.53 | 64.82 | 73.12 | 66.69 | 70.66 | 824.77 |

Fuente: Banco de Datos "SENAMHI - CUSCO" 2010

**PRECIPITACION TOTAL MENSUAL COMPLETADA Y EXTENDIDA KAYRA (mm)**

ESTACIÓN : KAYRA LAT – S : 13° 30´ 45” DPTO. : CUSCO  
 CUENCA : HUATANAY ALTITUD : 3198.27 msnm PROV. : CUSCO  
 ORGANISMO : SENAMHI DIST. : SAN JERONIMO

| AÑO               | ENE    | FEB    | MAR   | ABR   | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP    | OCT   | NOV   | DIC    | TOTAL  |
|-------------------|--------|--------|-------|-------|------|------|------|------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 1965              | 98.0   | 102    | 112.4 | 88    | 5.8  | 0    | 0.4  | 1    | 30.6   | 58.3  | 41    | 129.7  | 667.2  |
| 1966              | 95.0   | 161.1  | 98.3  | 18.3  | 19.8 | 0    | 0    | 1.7  | 31.9   | 59.7  | 63.7  | 64.5   | 614.0  |
| 1967              | 65.7   | 117.9  | 140.9 | 19    | 1.8  | 0.6  | 11   | 19   | 32.1   | 70.5  | 57.2  | 125.6  | 661.3  |
| 1968              | 135.4  | 118.3  | 85    | 34.6  | 6.3  | 5.3  | 30.9 | 8.6  | 16.3   | 30.1  | 54.7  | 72.9   | 598.4  |
| 1969              | 144.4  | 77.8   | 88.3  | 16.8  | 2.9  | 3.3  | 7.2  | 3.9  | 22.8   | 29.8  | 54.7  | 72.9   | 524.8  |
| 1970              | 190.6  | 121.5  | 132.5 | 86.4  | 2.3  | 1    | 3.7  | 3.4  | 42.1   | 46.1  | 48.2  | 177.4  | 855.2  |
| 1971              | 128.9  | 161.6  | 83.6  | 40    | 1.5  | 0.1  | 0    | 5.7  | 3.5    | 55.7  | 51    | 127.5  | 659.1  |
| 1972              | 192.1  | 66.8   | 57.2  | 29.7  | 3.4  | 0    | 6.5  | 27.3 | 12.2   | 7.9   | 50.2  | 100.2  | 553.5  |
| 1973              | 221.2  | 120.5  | 99.6  | 75.2  | 14   | 0    | 9.1  | 11.8 | 14.5   | 65.1  | 88.8  | 96.5   | 816.3  |
| 1974              | 102.5  | 157.7  | 121.5 | 34.5  | 3.6  | 8.2  | 1    | 34.6 | 5.9    | 43.3  | 60.9  | 108    | 681.7  |
| 1975              | 124.7  | 131    | 55.3  | 66.8  | 22.5 | 0.7  | 0.3  | 0.6  | 51.1   | 47.5  | 51    | 170.1  | 721.6  |
| 1976              | 119.6  | 83.1   | 123.1 | 42.9  | 13   | 8.7  | 0.7  | 2.5  | 26.8   | 25.3  | 47.8  | 66.8   | 560.3  |
| 1977              | 116.7  | 122.8  | 69.3  | 47.6  | 7.9  | 0    | 4.4  | 0    | 29.9   | 65    | 71.5  | 78     | 613.1  |
| 1978              | 175.4  | 124.7  | 88.5  | 48.7  | 11.4 | 0    | 3.4  | 0    | 13.7   | 12.3  | 86.7  | 118    | 682.8  |
| 1979              | 101.1  | 131.6  | 108.8 | 46.8  | 6.2  | 0    | 0.9  | 8.1  | 11.5   | 18.4  | 85.6  | 81.8   | 600.8  |
| 1980              | 106.2  | 126.4  | 135   | 23.2  | 3.7  | 0    | 5.3  | 0.6  | 12.6   | 62.9  | 60.2  | 83.1   | 619.2  |
| 1981              | 225.4  | 80.8   | 124.4 | 57.2  | 1.8  | 3.9  | 0    | 9.8  | 45.9   | 108.9 | 120.8 | 144.3  | 923.2  |
| 1982              | 178.9  | 115.5  | 143.1 | 58.8  | 0    | 9.2  | 3.4  | 4.9  | 14     | 37.9  | 122.5 | 98.6   | 786.8  |
| 1983              | 128.4  | 84     | 54.5  | 23.5  | 3.4  | 6.2  | 0.5  | 0.9  | 5.5    | 26    | 44.3  | 100.5  | 477.7  |
| 1984              | 198.6  | 142.4  | 71    | 82.8  | 0    | 1.3  | 1.3  | 11.4 | 4.2    | 114.6 | 69.4  | 103.1  | 800.1  |
| 1985              | 129.1  | 119.4  | 74.2  | 33.2  | 15.6 | 11.6 | 0.9  | 0    | 43.3   | 60.8  | 116.5 | 122.4  | 727.0  |
| 1986              | 76.4   | 86.2   | 125.7 | 65.5  | 6.2  | 0    | 1.8  | 4.2  | 7.5    | 17.3  | 69.6  | 102.7  | 563.1  |
| 1987              | 223.3  | 88.4   | 48.6  | 13.1  | 2.1  | 1.3  | 9.2  | 0    | 8.2    | 26.5  | 101.8 | 107.6  | 630.1  |
| 1988              | 163.8  | 84.3   | 166.5 | 108.9 | 4.6  | 0    | 0    | 0    | 9.9    | 36.2  | 47.6  | 113.7  | 735.5  |
| 1989              | 151.4  | 126.8  | 119.3 | 39.6  | 9.4  | 9.1  | 0    | 6.1  | 30.7   | 48.7  | 60.7  | 88.5   | 690.3  |
| 1990              | 168    | 90.4   | 60.7  | 47.4  | 7.5  | 31.8 | 0    | 5.8  | 12.8   | 73.7  | 93.8  | 66.5   | 658.4  |
| 1991              | 90.1   | 163.6  | 105.2 | 49.6  | 11   | 5.1  | 1.5  | 0    | 21.4   | 49.3  | 72.2  | 112    | 681.0  |
| 1992              | 107.1  | 102.4  | 104   | 14.9  | 0    | 19.4 | 0    | 21.4 | 8      | 50.7  | 117.4 | 57     | 602.3  |
| 1993              | 206.7  | 104.5  | 76.2  | 19.6  | 46.6 | 0    | 2.7  | 6.9  | 18     | 46.2  | 111.9 | 201.5  | 840.8  |
| 1994              | 177.2  | 163.9  | 173.9 | 45.5  | 11.8 | 0    | 0    | 0    | 25.7   | 40.2  | 40.5  | 116.6  | 795.3  |
| 1995              | 122    | 94.8   | 94.4  | 17.8  | 0    | 0    | 0.6  | 1.2  | 28.8   | 26.7  | 70.2  | 102.6  | 559.1  |
| 1996              | 131.9  | 98     | 70.5  | 32.3  | 11   | 0    | 0    | 6.3  | 19.6   | 58.4  | 49    | 133.2  | 610.2  |
| 1997              | 123.3  | 127.7  | 104.8 | 31    | 4.8  | 0    | 0    | 7.1  | 12.3   | 44.4  | 200.4 | 148.4  | 804.2  |
| 1998              | 116.9  | 176.1  | 22.6  | 31    | 1.6  | 1.9  | 0    | 1.6  | 6.8    | 38.3  | 45.2  | 58.9   | 500.9  |
| 1999              | 137.22 | 101.17 | 90.4  | 43.55 | 8.62 | 4.03 | 0.22 | 0    | 36.93  | 29.49 | 53.5  | 103.14 | 608.27 |
| 2000              | 180.96 | 109.7  | 95.46 | 16.99 | 4.53 | 2.72 | 1.71 | 4.58 | 120.98 | 44.73 | 54.14 | 84.85  | 721.35 |
| 2001              | 142    | 118    | 71    | 34    | 4    | 6    | 1    | 4    | 20     | 50    | 60    | 90     | 600.00 |
| 2002              | 149    | 112    | 93    | 27    | 2    | 0    | 3    | 2    | 14     | 41    | 63    | 98     | 604.00 |
| 2003              | 131    | 120    | 83    | 41    | 1    | 1    | 1    | 1    | 17     | 38    | 71    | 100    | 605.00 |
| 2004              | 141    | 110    | 87    | 39    | 6    | 2    | 0    | 2    | 11     | 41    | 55    | 83     | 577.00 |
| 2005              | 164    | 121    | 96    | 27    | 3    | 1    | 1    | 4    | 22     | 28    | 68    | 83     | 618.00 |
| 2006              | 110    | 124    | 93    | 35    | 1    | 1    | 3    | 2    | 29     | 41    | 54    | 143    | 636.00 |
| 2007              | 159    | 104    | 109   | 26    | 5    | 0    | 1    | 21   | 19     | 27    | 52    | 79     | 602.00 |
| 2008              | 136    | 119    | 122   | 38    | 6    | 3    | 0    | 1    | 22     | 42    | 93    | 90     | 672.00 |
| <b>MEDIA</b>      | 142.9  | 116.2  | 97.2  | 41.3  | 6.9  | 3.4  | 2.7  | 5.9  | 22.5   | 45.1  | 71.6  | 104.7  | 660.4  |
| <b>Desv. Est.</b> | 39.4   | 25.6   | 30.9  | 21.8  | 8.0  | 6.0  | 5.2  | 7.8  | 19.2   | 21.3  | 30.4  | 31.5   | 99.1   |
| <b>MAXIMA</b>     | 225.4  | 176.1  | 173.9 | 108.9 | 46.6 | 31.8 | 30.9 | 34.6 | 121.0  | 114.6 | 200.4 | 201.5  | 923.2  |
| <b>MINIMA</b>     | 65.7   | 66.8   | 22.6  | 13.1  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 3.5    | 7.9   | 40.5  | 57.0   | 477.7  |
| <b>PROMEDIO</b>   | 143.2  | 116.2  | 97.9  | 43.1  | 7.7  | 3.8  | 3    | 6.1  | 23.3   | 46.6  | 73.2  | 106.6  | 670.7  |

Fuente: Banco de Datos "SENAMHI - CUSCO" 2010

**DATOS DE TEMPERATURA COMPLETADOS Y/O EXTENDIDOS DE LA ESTACION KAYRA**

ESTACIÓN : KAYRA  
CUENCA : HUATANAY  
ORGANISMO : SENAMHI

LAT – S : 13° 30´ 45”  
ALTITUD : 3198.27 msnm

DPTO. : CUSCO  
PROV. : CUSCO  
DIST. : SAN JERONIMO

| AÑO       | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OCT   | NOV   | DIC   | TOTAL  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1965      | 13.3  | 13.1  | 12.6  | 12.2  | 10.7  | 10.1  | 10.2  | 11.4  | 12.8  | 14.7  | 14.8  | 14    | 149.9  |
| 1966      | 13.7  | 13.4  | 12.5  | 12.2  | 11.3  | 9.3   | 9.3   | 11.2  | 12.4  | 13.3  | 13.9  | 13.3  | 145.8  |
| 1967      | 13.4  | 12.8  | 12.2  | 12.2  | 11.3  | 9.4   | 8.8   | 10.3  | 12.3  | 12.5  | 13.7  | 12.6  | 141.5  |
| 1968      | 12.2  | 12.3  | 12    | 10.9  | 9.5   | 9.3   | 8.4   | 11.1  | 12.6  | 13.2  | 12.9  | 13.5  | 137.9  |
| 1969      | 12.5  | 13    | 13.1  | 12.2  | 11.2  | 9.7   | 8.9   | 10.6  | 12.4  | 14.1  | 14.3  | 13.5  | 145.5  |
| 1970      | 12.7  | 13.2  | 12.3  | 11.9  | 10.3  | 9.9   | 8.4   | 10.9  | 12    | 13.9  | 14.3  | 12.3  | 142.1  |
| 1971      | 12.7  | 11.7  | 12.4  | 11.1  | 9.8   | 9.2   | 9.1   | 10.8  | 12.9  | 12.9  | 13.7  | 12.6  | 138.9  |
| 1972      | 11.9  | 12.5  | 12.2  | 12.3  | 11.1  | 9.8   | 10.4  | 10.6  | 12.2  | 14.5  | 14.3  | 14.2  | 146    |
| 1973      | 13.1  | 13.7  | 13.5  | 12.2  | 10.5  | 9.3   | 9.2   | 11    | 12    | 13.5  | 13.9  | 13    | 144.9  |
| 1974      | 12.1  | 11.7  | 12.5  | 11.5  | 10.3  | 9.1   | 9     | 9.6   | 12.4  | 13.1  | 13.6  | 12.9  | 137.8  |
| 1975      | 12    | 12.1  | 12.3  | 12.2  | 10.3  | 9.5   | 9.4   | 10.6  | 11.8  | 13    | 13.5  | 12.6  | 139.3  |
| 1976      | 12.1  | 12.3  | 12.2  | 11.3  | 10    | 9.4   | 9.9   | 10.7  | 11.5  | 14.6  | 13.9  | 13.7  | 141.6  |
| 1977      | 13.3  | 12.3  | 12.7  | 12.1  | 10.6  | 9.1   | 9.8   | 11.4  | 12.7  | 13.8  | 13.4  | 13.5  | 144.7  |
| 1978      | 12.6  | 13.5  | 13.3  | 12.1  | 11.4  | 9.8   | 8.6   | 10.1  | 12.5  | 14    | 13.8  | 13.7  | 145.4  |
| 1979      | 13.1  | 13.3  | 12.8  | 11.8  | 10.8  | 9.9   | 9.6   | 11    | 14.1  | 14.4  | 14.6  | 13.6  | 149    |
| 1980      | 13.6  | 13.6  | 13.1  | 12.1  | 11.4  | 10.3  | 9.8   | 12.1  | 12.8  | 13.5  | 14.3  | 14    | 150.6  |
| 1981      | 12.8  | 13    | 12.8  | 11.3  | 11.4  | 9.3   | 9.4   | 9.9   | 11.2  | 13.3  | 13.8  | 12.2  | 140.4  |
| 1982      | 13.1  | 13    | 12.7  | 11.8  | 9.8   | 9.2   | 10    | 11    | 12.5  | 13.9  | 13.5  | 14.2  | 144.7  |
| 1983      | 14.7  | 14.3  | 14.6  | 13.8  | 11.9  | 10.9  | 11    | 12.2  | 12.9  | 14.5  | 14.7  | 12.7  | 158.2  |
| 1984      | 12.2  | 12.2  | 13.1  | 12.2  | 10.8  | 10.1  | 10    | 10.9  | 12.5  | 12.7  | 13.1  | 13.4  | 143.2  |
| 1985      | 12.9  | 12.3  | 12.9  | 12.1  | 10.7  | 8.6   | 8.9   | 11.4  | 12.1  | 13.9  | 12.8  | 13.5  | 142.1  |
| 1986      | 12.7  | 12.5  | 12.3  | 12    | 10.3  | 9.7   | 9.1   | 10.4  | 12.5  | 13.6  | 13.9  | 13.8  | 142.8  |
| 1987      | 13.2  | 13.7  | 13.3  | 12.7  | 11.3  | 10    | 9.8   | 11.8  | 13.3  | 14    | 14.7  | 14.1  | 151.9  |
| 1988      | 13.6  | 13.7  | 13.1  | 12.6  | 11.2  | 10.1  | 10    | 12    | 14.2  | 15.4  | 14.3  | 13.5  | 153.7  |
| 1989      | 12.5  | 12.6  | 12.1  | 11.9  | 10.5  | 10.4  | 9.1   | 11.3  | 13.1  | 14.5  | 13.8  | 14.6  | 146.4  |
| 1990      | 13.2  | 13.3  | 12.9  | 12.1  | 10.8  | 9.2   | 9.3   | 11    | 13.2  | 13.5  | 13.3  | 13.2  | 145    |
| 1991      | 14.1  | 13.1  | 12.8  | 12.7  | 10.6  | 9.7   | 8.6   | 10.5  | 12.1  | 13.4  | 13.3  | 13.3  | 144.2  |
| 1992      | 13    | 12.7  | 12.1  | 12.3  | 11.7  | 10.3  | 8.6   | 10    | 13.3  | 13.5  | 14.5  | 13.8  | 145.8  |
| 1993      | 12.9  | 13.7  | 12.2  | 12.2  | 10.6  | 9.6   | 9.9   | 10.3  | 11.8  | 13.5  | 13.9  | 13.5  | 144.1  |
| 1994      | 12.7  | 12.8  | 12.1  | 11.7  | 10.5  | 8.5   | 9.3   | 10    | 11.9  | 13.2  | 13.4  | 13.4  | 139.5  |
| 1995      | 13.3  | 13.1  | 12.6  | 12.2  | 10.8  | 10.2  | 10.2  | 11.9  | 12.3  | 13.5  | 13.8  | 12.8  | 146.7  |
| 1996      | 12.7  | 12.7  | 12.7  | 12.6  | 11    | 9.6   | 10.1  | 11.3  | 12.7  | 13.6  | 14    | 13.5  | 146.5  |
| 1997      | 13.2  | 12.3  | 12.4  | 11.7  | 10.2  | 9.5   | 9.6   | 10.8  | 13.1  | 15    | 13.8  | 13.7  | 145.3  |
| 1998      | 13    | 13    | 12    | 12    | 11    | 10    | 10    | 11    | 13    | 14    | 14    | 13    | 146    |
| 1999      | 13    | 13    | 13    | 12    | 10    | 9     | 10    | 11    | 12    | 14    | 14    | 13    | 144    |
| 2000      | 13    | 13    | 12    | 12    | 10    | 10    | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 13    | 143    |
| 2001      | 13    | 13    | 12    | 12    | 11    | 10    | 9     | 11    | 12    | 14    | 14    | 13    | 144    |
| 2002      | 13    | 13    | 13    | 12    | 10    | 10    | 10    | 11    | 13    | 13    | 14    | 13    | 145    |
| 2003      | 12    | 13    | 12    | 12    | 10    | 9     | 10    | 11    | 13    | 14    | 14    | 14    | 144    |
| 2004      | 14    | 13    | 13    | 12    | 11    | 9     | 9     | 12    | 13    | 13    | 14    | 13    | 146    |
| 2005      | 13    | 13    | 13    | 12    | 11    | 10    | 9     | 10    | 12    | 14    | 14    | 13    | 144    |
| 2006      | 13    | 13    | 12    | 12    | 11    | 9     | 10    | 11    | 12    | 14    | 14    | 13    | 144    |
| 2007      | 13    | 13    | 13    | 12    | 11    | 10    | 9     | 11    | 12    | 14    | 14    | 14    | 146    |
| 2008      | 13    | 12    | 12    | 12    | 10    | 10    | 9     | 11    | 13    | 14    | 14    | 13    | 143    |
| Media     | 12.96 | 12.90 | 12.62 | 12.05 | 10.70 | 9.64  | 9.47  | 10.93 | 12.53 | 13.75 | 13.90 | 13.35 | 144.78 |
| Máxima    | 14.70 | 14.30 | 14.60 | 13.80 | 11.90 | 10.90 | 11.00 | 12.20 | 14.20 | 15.40 | 14.80 | 14.60 | 158.20 |
| Mínima    | 11.90 | 11.70 | 12.00 | 10.90 | 9.50  | 8.50  | 8.40  | 9.60  | 11.20 | 12.50 | 12.80 | 12.20 | 137.80 |
| Desv.Est. | 0.57  | 0.56  | 0.53  | 0.46  | 0.56  | 0.51  | 0.60  | 0.61  | 0.62  | 0.62  | 0.44  | 0.54  | 3.94   |

Fuente: Banco de Datos "SENAMHI - CUSCO" 2010

**TABLA Nº 1: FACTOR DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (MF) EN mm POR MES**

| LAT.<br>SUR | MESES |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OCT   | NOV   | DIC   |
| 1           | 2.788 | 2.117 | 2.354 | 2.197 | 2.137 | 1.99  | 2.091 | 2.216 | 2.256 | 2.358 | 2.234 | 2.265 |
| 2           | 2.371 | 2.136 | 2.357 | 2.182 | 2.108 | 1.956 | 2.05  | 2.194 | 2.251 | 2.372 | 2.263 | 2.301 |
| 3           | 2.353 | 2.154 | 2.36  | 2.167 | 2.079 | 1.922 | 2.026 | 2.172 | 2.246 | 2.386 | 2.29  | 2.337 |
| 4           | 2.385 | 2.172 | 2.362 | 2.151 | 2.05  | 1.888 | 1.993 | 2.15  | 2.24  | 2.398 | 2.318 | 2.372 |
| 5           | 2.416 | 2.189 | 2.363 | 2.134 | 2.02  | 1.854 | 1.96  | 2.126 | 2.234 | 2.411 | 2.345 | 2.407 |
| 6           | 2.447 | 2.05  | 2.363 | 2.117 | 1.98  | 1.82  | 1.976 | 2.103 | 2.226 | 2.422 | 2.371 | 2.442 |
| 7           | 2.478 | 2.221 | 2.363 | 2.099 | 1.959 | 1.785 | 1.893 | 2.078 | 2.218 | 2.433 | 2.397 | 2.476 |
| 8           | 2.508 | 2.237 | 2.362 | 2.081 | 1.927 | 1.75  | 1.858 | 2.054 | 2.21  | 2.443 | 2.423 | 2.51  |
| 9           | 2.538 | 2.251 | 2.36  | 2.062 | 1.896 | 1.715 | 1.824 | 2.028 | 2.201 | 2.453 | 2.448 | 2.544 |
| 10          | 2.567 | 2.266 | 2.357 | 2.043 | 1.864 | 1.679 | 1.789 | 2.003 | 2.191 | 2.462 | 2.473 | 2.577 |
| 11          | 2.596 | 2.279 | 2.354 | 2.023 | 1.832 | 1.644 | 1.754 | 1.976 | 2.18  | 2.47  | 2.497 | 2.61  |
| 12          | 2.625 | 2.292 | 2.35  | 2.002 | 1.799 | 1.608 | 1.719 | 1.95  | 2.169 | 2.477 | 2.52  | 2.643 |
| 13          | 2.652 | 2.305 | 2.345 | 1.981 | 1.767 | 1.572 | 1.684 | 1.922 | 2.157 | 2.484 | 2.543 | 2.675 |
| 14          | 2.68  | 2.317 | 2.34  | 1.959 | 1.733 | 1.536 | 1.648 | 1.895 | 2.144 | 2.49  | 2.566 | 2.706 |
| 15          | 2.707 | 2.326 | 2.334 | 1.937 | 1.7   | 1.5   | 1.612 | 1.867 | 2.131 | 2.496 | 2.588 | 2.738 |
| 16          | 2.734 | 2.339 | 2.317 | 1.914 | 1.666 | 1.464 | 1.576 | 1.838 | 2.117 | 2.5   | 2.61  | 2.769 |
| 17          | 2.76  | 2.349 | 2.319 | 1.891 | 1.632 | 1.427 | 1.54  | 1.809 | 2.103 | 2.504 | 2.631 | 2.799 |
| 18          | 2.785 | 2.359 | 2.311 | 1.867 | 1.598 | 1.391 | 1.504 | 1.78  | 2.088 | 2.508 | 2.651 | 2.83  |
| 19          | 2.811 | 2.368 | 2.302 | 1.843 | 1.654 | 1.354 | 1.467 | 1.75  | 2.072 | 2.51  | 2.671 | 2.859 |

Fuente: El Riego - A. Vásquez V. / L. Chang N.

**TABLA Nº 3: RADIACION EXTRATERRESTRE (Ra) EXPRESADA DE EVAPORACION mm/día**

| LATITUD<br>SUR | MESES |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                | ENE   | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
| 30             | 17.8  | 16.4 | 14   | 11.3 | 8.9  | 7.8  | 8.1  | 10.1 | 12.7 | 15.3 | 17.3 | 18.1 |
| 28             | 17.7  | 16.4 | 14.3 | 11.6 | 9.3  | 8.2  | 8.6  | 10.4 | 13   | 15.4 | 17.2 | 17.9 |
| 26             | 17.6  | 16.4 | 14.4 | 12   | 9.7  | 8.7  | 9.1  | 10.9 | 13.2 | 15.5 | 17.2 | 17.8 |
| 24             | 17.5  | 16.5 | 14.6 | 12.3 | 10.2 | 9.1  | 9.5  | 11.2 | 13.4 | 15.6 | 17.1 | 17.7 |
| 22             | 17.4  | 16.5 | 14.8 | 12.6 | 10.6 | 9.6  | 10   | 11.6 | 13.7 | 15.7 | 17   | 17.5 |
| 20             | 17.3  | 16.5 | 15.0 | 13.0 | 11.0 | 10.0 | 10.4 | 12.0 | 13.9 | 15.8 | 17.0 | 17.4 |
| 18             | 17.1  | 16.5 | 15.1 | 13.2 | 11.4 | 10.4 | 10.8 | 12.3 | 14.1 | 15.8 | 16.8 | 17.1 |
| 16             | 16.9  | 16.4 | 15.2 | 13.5 | 11.7 | 10.8 | 11.2 | 12.6 | 14.3 | 15.8 | 16.7 | 16.8 |
| 14             | 16.7  | 16.4 | 15.3 | 13.7 | 12.1 | 11.2 | 11.6 | 12.9 | 14.5 | 15.8 | 16.5 | 16.6 |
| 12             | 16.6  | 16.4 | 15.4 | 14.0 | 12.5 | 11.6 | 12.0 | 13.2 | 14.7 | 15.8 | 16.4 | 16.5 |
| 10             | 16.4  | 16.3 | 15.5 | 14.2 | 12.8 | 12.0 | 12.4 | 13.5 | 14.8 | 15.9 | 16.2 | 16.2 |
| 8              | 16.1  | 16.1 | 15.5 | 14.4 | 13.1 | 12.4 | 12.7 | 13.7 | 14.9 | 15.8 | 16.0 | 16.0 |
| 6              | 15.8  | 16.0 | 15.6 | 14.7 | 13.4 | 12.8 | 13.1 | 14.0 | 15.0 | 15.7 | 15.8 | 15.7 |
| 4              | 15.5  | 15.8 | 15.6 | 14.9 | 13.8 | 13.2 | 13.4 | 14.3 | 15.1 | 15.6 | 15.5 | 15.4 |
| 2              | 15.3  | 15.7 | 15.7 | 15.1 | 14.1 | 13.5 | 13.7 | 14.5 | 15.2 | 15.5 | 15.3 | 15.1 |
| 0              | 15.0  | 15.2 | 15.7 | 15.3 | 14.4 | 13.9 | 14.1 | 14.8 | 15.3 | 15.4 | 15.1 | 14.8 |

Fuente: El Riego - A. Vásquez V. / L. Chang N.

**TABLA N° 2 :DURACION MAXIMA DIARIA MEDIA DE LAS HORAS DE FUERTE**
**INSOLACION (N) EN DIFERENTES MESES Y LATITUDES**

| LATITUD<br>SUR | MESES |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                | JUL   | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  |
| 40             | 9.6   | 10.7 | 11.0 | 13.3 | 14.4 | 15.0 | 14.7 | 13.7 | 12.5 | 11.2 | 10.0 | 9.3  |
| 35             | 10.1  | 11.0 | 9.0  | 13.1 | 14.0 | 14.5 | 14.3 | 13.5 | 12.4 | 11.3 | 10.3 | 9.8  |
| 30             | 10.4  | 11.1 | 11.9 | 12.9 | 13.6 | 14.0 | 13.9 | 13.2 | 12.4 | 11.5 | 10.6 | 10.2 |
| 25             | 10.7  | 11.3 | 12.0 | 12.7 | 13.3 | 13.7 | 13.5 | 13.0 | 12.3 | 11.6 | 10.9 | 10.6 |
| 20             | 11.0  | 11.5 | 12.0 | 12.6 | 13.1 | 13.3 | 13.2 | 12.8 | 12.3 | 11.7 | 11.2 | 10.9 |
| 15             | 11.3  | 11.6 | 12.0 | 12.5 | 12.8 | 13.0 | 12.9 | 12.6 | 12.2 | 11.8 | 11.4 | 11.2 |
| 10             | 11.6  | 11.8 | 12.0 | 12.3 | 12.6 | 12.7 | 12.6 | 12.4 | 12.1 | 11.8 | 11.6 | 11.5 |
| 5              | 11.8  | 11.9 | 12.0 | 12.2 | 12.3 | 12.4 | 12.3 | 12.3 | 12.1 | 12.0 | 11.9 | 11.8 |
| 0              | 12.1  | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 |

Fuente: El Riego - A. Vásquez V. / L. Chang N.

**CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL PARA LA CEBADA FORRAJERA EN VERDE METODO HARGREAVES EN BASE A TEMPERATURA**

ESTACION : KAYRA LAT - S : 13° 30' 45" DPTO. : CUSCO  
 CUENCA : HUATANAY ALTITUD : 3198.27 msnm PROV. : CUSCO  
 ORGANISMO : SENAMHI DIST. : SAN JERONIMO

| CONCEPT                                   | UND  | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   | ENE   | FEB   | MAR   |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T° media mensual                          | °C   | 12.05 | 10.70 | 9.64  | 9.47  | 10.93 | 12.53 | 13.75 | 13.90 | 13.35 | 12.96 | 12.90 | 12.62 |
| T° media mensual                          | °F   | 53.69 | 51.25 | 49.35 | 49.05 | 51.68 | 54.55 | 56.75 | 57.02 | 56.02 | 55.32 | 55.22 | 54.72 |
| Humedad Relativa (HR)                     | %    | 71.80 | 67.06 | 64.98 | 62.87 | 59.75 | 60.47 | 63.43 | 62.97 | 66.40 | 71.81 | 72.39 | 72.62 |
| Factor Mensual de Latitud (MF)            | MF   | 1.97  | 1.75  | 1.55  | 1.67  | 1.91  | 2.15  | 2.49  | 2.55  | 2.69  | 2.67  | 2.31  | 2.34  |
| Factor de Corrección por Humedad Relativa | CH   | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  |
| Factor de Corrección por altitud          | CE   | 1.06  | 1.06  | 1.06  | 1.06  | 1.06  | 1.06  | 1.06  | 1.06  | 1.06  | 1.06  | 1.06  | 1.06  |
| Evapotranspiración Potencial              | mm/  | 112.5 | 95.43 | 81.59 | 86.94 | 104.9 | 124.8 | 150.1 | 154.9 | 160.3 | 156.9 | 135.7 | 136.3 |
| Evapotranspiración Potencial              | mes/ | 3.75  | 3.08  | 2.72  | 2.80  | 4.39  | 4.16  | 7.484 | 6.517 | 7.517 | 7.506 | 7.485 | 8.440 |
| Factor de                                 | dia  | Kc    | 0.46  | 0.50  | 0.70  | 1.12  | 1.15  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Evapotranspiración Actual                 | mm/  | ETA   | 51.77 | 47.71 | 57.11 | 97.37 | 120.6 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Evapotranspiración Actual                 | mes/ | ETA   | 1.73  | 1.54  | 1.90  | 3.14  | 3.89  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Frecuencia de                             | dia/ | Fr    | 17    | 20    | 16    | 10    | 8     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Riego                                     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

$$\begin{aligned}
 & T^{\circ} \text{ media} && TF = 1.8 * \\
 & \text{mensual ( }^{\circ}F) && C = 32 \\
 & \text{factor de corrección} && CH = 1.166 * (100 - HR) \\
 & \text{humedad} && E = 0.5, \text{ si } HR > 64\% \\
 & \text{Factor de Corrección} && CH = 1.31 \\
 & \text{por altitud} && HR < 64\% \\
 & && CE = 1.0 + 0.04 \\
 & && (E/2000)
 \end{aligned}$$

**FACTOR MENSUAL DE LATITUD (MF)**

| Factor Mensual de Latitud (MF)     |                 | Tabla N° |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------|-----------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Evapotranspiración Potencial (ETP) | TMF * CH * MF * | CE       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| LAT -                              | ENE             | FEB      | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
| S                                  | 13.00           | 2.65     | 2.31 | 2.35 | 1.98 | 1.57 | 1.68 | 1.92 | 2.16 | 2.48 | 2.54 | 2.68 |
|                                    | 13.50           | 2.67     | 2.31 | 2.34 | 1.97 | 1.55 | 1.67 | 1.91 | 2.15 | 2.49 | 2.55 | 2.69 |
|                                    | 14.00           | 2.68     | 2.32 | 2.34 | 1.96 | 1.54 | 1.65 | 1.90 | 2.14 | 2.49 | 2.57 | 2.71 |

# ANEXO - E

## FOTOS



**FOTO N° 1: VISTA PANORÁMICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE SAN JERONIMO – CUSCO**



**FOTO N° 2: ROTURADO DEL TERENO**



**FOTO Nº 3: LIMPIEZA DEL TERRENO DESPUES DEL ROTURADO**



**FOTO Nº 4: REGADO DE LA PARCELA PARA LA SIEMBRA  
DEL CULTIVO**



**FOTO N° 5: SURCADO DE LA PARCELA PARA LA SIEMBRA DEL CULTIVO**



**FOTO N° 6: SEMBRADO DEL CULTIVO CEBADA**



**FOTO N° 7: TAPADO DEL TERRENO DESPUES DE LA SIEMBRA**



**FOTO N° 8: TAPADO DE LA MISMA FORMA LA OTRA PARCELA**



**FOTO N° 9: GERMINACIÓN DE LA PLANTA**



**FOTO N° 10: MOTOBOMBA UTILIZADA PARA EL RIEGO DEL CULTIVO  
CON AGUA RESIDUAL TRATADA**



**FOTO N° 11: DESARROLLO DE LA PLANTA**



**FOTO N° 12: MEDICIÓN DE LA PLANTA EN LA FASE INTERMEDIA**



**FOTO Nº 13: DESARROLLO DE LA PLANTA EN LA FASE FINAL**



**FOTO Nº 14: ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN LABORATORIO**



**FOTO N° 15: ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN LABORATORIO MÉTODO FOTOESPECTOMETRO**



**FOTO N° 16: ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN LABORATORIO MÉTODO DESTILAMIENTO Y TITULACIÓN**



**FOTO N° 17: ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN LABORATORIO**



**FOTO N° 18: ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN LABORATORIO**



**FOTO N° 19: ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL CULTIVO VERDE EN LABORATORIO**



**FOTO N° 20: ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL CULTIVO VERDE EN LABORATORIO**

