



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**EFFECTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA PROCEDENTE DE POZOS
TUBULARES DE LA PROVINCIA DE MELGAR EN LA
GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE QUINUA, ALFALFA Y
LECHUGA**

TESIS

PRESENTADO POR:

Br. EUGENIO SACARÍAS LIMA CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO - PERÚ

2020



DEDICATORIA

A Dios

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

A mi familia

Para mis padres por sus consejos, comprensión, amor y apoyo en los momentos difíciles, y por solventarme con los recursos necesarios para estudiar. A mis queridos hijos que sin su amor y sin su apoyo no hubiera podido concluir satisfactoriamente esta etapa de mi vida, me dieron lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos. A mis hermanos por estar siempre presentes, y a una persona muy especial por su motivación, inspiración y felicidad.

Eugenio Sacarias Lima Condori



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, la Facultad de Ciencias Biológicas y los docentes que compartieron sus conocimientos para lograr mi formación profesional.

Este trabajo de tesis realizado, es un esfuerzo en el cual directa o indirectamente participaron distintas personas opinando, corrigiendo, teniendo paciencia, dando ánimo, acompañándome en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad. Este trabajo me ha permitido aprovechar la competencia y experiencia de muchas personas que deseo agradecer.

A mis padres y a mis hijos, de los cuales siempre recibí su apoyo incondicional.

Quiero agradecer al director de esta tesis, el Dr. Sc. Juan José Pauro Roque, por todas sus enseñanzas, consejo e infinita paciencia durante tanto tiempo, por su gran inteligencia y por brindarme su amistad.

A todos mis compañeros y amigos de estudio y también del trabajo por todo el apoyo y valioso consejo, por compartir conmigo infinitos momentos divertidos de compañerismo y amistad.

Y a todas aquellas personas que de una y otra manera han compartido mi vida, mis más sinceros agradecimientos a su comprensión, estímulo y ayuda.

Eugenio Sacarias Lima Condori



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO GENERAL..... 16

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 16

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES..... 17

2.2 MARCO TEÓRICO..... 19

2.2.1 Características fisicoquímicas de las aguas subterráneas 19

2.2.2 Especies vegetales experimentales 24

2.2.3 Germinación de semillas de plantas..... 30

2.2.4 Plántulas indicadoras de toxicidad..... 33

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE ESTUDIO 35

3.2 TIPO DE ESTUDIO 35

3.3 METODOLOGÍA..... 36

3.3.1 Evaluación de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri..... 36

3.3.2 Determinación del efecto en la germinación y crecimiento de alfalfa, lechuga y quinua con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri..... 38



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN MUESTRAS DE AGUA DE POZOS TUBULARES DE LOS DISTRITOS DE MACARÍ Y AYAVIRI	40
4.2	EFFECTO EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE ALFALFA, LECHUGA Y QUINUA CON AGUA DE POZOS TUBULARES DE LOS DISTRITOS DE MACARÍ Y AYAVIRI	54
V.	CONCLUSIONES	76
VI.	RECOMENDACIONES	77
VII.	REFERENCIAS	78
	ANEXOS	88

Área: Ciencias Biomédicas.

Línea: Diagnóstico y Epidemiología.

Fecha de sustentación: 13 de noviembre 2020.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de aguas según el grado de dureza (OMS, 2007).	22
Tabla 2. Estándares de Calidad Ambiental del agua, categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (D. S. 004-2017-MINAM).	24
Tabla 3. Valores de pH en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	40
Tabla 4. Prueba de T de los valores de pH en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	41
Tabla 5. Valores de alcalinidad en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	43
Tabla 6. Prueba de T de los valores de alcalinidad en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	43
Tabla 7. Valores de conductividad en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	45
Tabla 8. Prueba de T de los valores de alcalinidad en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	46
Tabla 9. Valores de sulfatos en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	48
Tabla 10. Prueba de T de los valores de sulfatos en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	48
Tabla 11. Valores de cloruros en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	51
Tabla 12. Prueba de T de los valores de cloruros en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	51
Tabla 13. Germinación de semillas de alfalfa humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.	54
Tabla 14. Análisis de variancia de los valores de germinación de semillas de alfalfa, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	55
Tabla 15. Prueba de Tukey de los valores de germinación de semillas de alfalfa, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	55
Tabla 16. Germinación de semillas de lechuga humedecidas con agua de pozos	



tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.	56
Tabla 17. Análisis de variancia de los valores de germinación de semillas de lechuga, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	57
Tabla 18. Prueba de Tukey de los valores de germinación de semillas de lechuga, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	57
Tabla 19. Germinación de semillas de quinua humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.	58
Tabla 20. Análisis de variancia de los valores de germinación de semillas de quinua, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	59
Tabla 21. Prueba de Tukey de los valores de germinación de semillas de quinua, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	59
Tabla 22. Mediciones de longitud total de plántulas de alfalfa regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019..	62
Tabla 23. Análisis de variancia de los valores de la longitud total de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	62
Tabla 24. Prueba de Tukey de los valores de la longitud total de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	62
Tabla 25. Mediciones de grosor de tallo de plántulas de alfalfa regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019..	64
Tabla 26. Análisis de variancia de los valores de grosor de tallo de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	64
Tabla 27. Prueba de Tukey de los valores de grosor de tallo de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	64
Tabla 28. Mediciones de longitud total de plántulas de lechuga regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019..	66
Tabla 29. Análisis de variancia de los valores de la longitud total de plántulas de	



lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	66
Tabla 30. Prueba de Tukey de los valores de la longitud total de plántulas de lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	66
Tabla 31. Mediciones de grosor de tallo de plántulas de lechuga regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019..	67
Tabla 32. Análisis de variancia de los valores de grosor de tallo de plántulas de lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	68
Tabla 33. Prueba de Tukey de los valores de grosor de tallo de plántulas de lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	68
Tabla 34. Mediciones de longitud total de plántulas de quinua regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019..	70
Tabla 35. Análisis de variancia de los valores de la longitud total de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	70
Tabla 36. Prueba de Tukey de los valores de la longitud total de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	70
Tabla 37. Mediciones de grosor de tallo de plántulas de quinua regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019..	72
Tabla 38. Análisis de variancia de los valores de grosor de tallo de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	72
Tabla 39. Prueba de Tukey de los valores de grosor de tallo de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.	72



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases fenológicas de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) (Lescano, 1994).....	26
Figura 2. Ubicación de zonas de muestreo de pozos tubulares en la provincia de Melgar, setiembre – 2019.....	35
Figura 3. Comparación de promedios de pH del agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.	41
Figura 4. Comparación de los valores de alcalinidad en agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.....	44
Figura 5. Comparación de los promedios de conductividad del agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019. .	46
Figura 6. Comparación de promedios de valores de sulfatos en agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019. .	49
Figura 7. Comparación de promedios de valores de cloruros del agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019. .	52
Figura 8. Comparación de promedios de germinación de semillas de alfalfa, humedecidas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.....	55
Figura 9. Comparación de promedios de germinación de semillas de lechuga, humedecidas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.....	57
Figura 10. Comparación de promedios de germinación de semillas de quinua, humedecidas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.....	59
Figura 11. Comparación de promedios de longitud total de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.	63
Figura 12. Comparación de promedios de grosor de tallos de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.	65
Figura 13. Comparación de promedios de longitud total de plántulas de lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.	67



Figura 14. Comparación de promedios de grosor de tallos de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.	69
Figura 15. Comparación de promedios de longitud total de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.	71
Figura 16. Comparación de promedios de grosor de tallos de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.	73
Figura 17. Toma de muestra de agua de un pozo tubular de Ayaviri, agosto – setiembre 2019.....	88
Figura 18. Potenciometría de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.	88
Figura 19. Titulometría de alcalinidad de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.	88
Figura 20. Conductimetría de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.	89
Figura 21. Determinación de sulfatos de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.	89
Figura 22. Titulometría de cloruros de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.	89
Figura 23. Vista panorámica de la germinación de semillas experimentadas regadas con aguas de pozos tubulares de Ayaviri, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.	90
Figura 24. Vista panorámica de la germinación de semillas experimentadas regadas con aguas de pozos tubulares de Ayaviri, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.	90
Figura 25. Cámara oscura acondicionada donde se realizó el proceso de geminación, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.....	90



- Figura 26.** Germinación de semillas de quinua (a), alfalfa (b) y lechuga (c) en placas Petri sobre gasa humedecida regadas con agua de pozo tubular de Ayaviri, laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, setiembre – octubre 2019..... 91
- Figura 27.** Germinación de semillas de quinua (a), alfalfa (b) y lechuga (c) en placas Petri sobre gasa humedecida regadas con agua de pozo tubular de Macarí, laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, setiembre – octubre 2019..... 91
- Figura 28.** Medición de longitudes de raíces en semillas germinadas, laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, setiembre – octubre 2019..... 92
- Figura 29.** Crecimiento de plántulas en condiciones del laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, octubre – noviembre 2019..... 92
- Figura 30.** Medición de la longitud de las plántulas luego del tiempo experimental, laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, octubre – noviembre 2019... 92



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

% = porcentaje

$\mu\text{S}/\text{cm}$ = microsiemens por centímetro

et al. = y colaboradores

FCCBB = Facultad de Ciencias Biológicas

mg/l = gramos

ml = mililitro

cm = centímetros

n = tamaño de muestra

No = número

sp = especie

UNA – Puno = Universidad Nacional del Altiplano de Puno

F. V. = fuentes de variabilidad

SC = suma de cuadrados

gl = grados de libertad

CM = cuadrados medios

Fc = valor F calculado

p – valor = valor de la probabilidad

EE = error estándar



RESUMEN

La investigación se realizó en Puno (Perú), entre agosto – noviembre del 2019, en las localidades de Ayaviri y Macarí provincia de Melgar, se utilizó el agua de pozos tubulares para el riego de pastizales, desconociéndose sus características fisicoquímicas y sus efectos en la germinación de semillas y crecimiento de plantas. **Los objetivos** fueron: a) evaluar el pH, alcalinidad total, conductividad, sulfatos y cloruros en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri y b) determinar el efecto del agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri en la germinación y crecimiento de alfalfa, lechuga y quinua. **La metodología** inició con la colección de 500 ml de agua en las dos zonas de muestreo, en ellos se determinó los parámetros y métodos siguientes: el pH y la conductividad – electrométrico, la alcalinidad – titulométrico, cloruros – Mohr y sulfatos – turbidimétrico. Las semillas de alfalfa, lechuga y quinua fueron embebidas en agua de las dos zonas y dispuestas en placas Petri descartables para determinar la germinación, posteriormente fueron dispuestas en frascos de plástico contenido arena, para evaluar el crecimiento vegetal. Luego de 60 días de cultivo, se midió la longitud total y grosor de tallo de las plantas. La investigación se realizó en el Laboratorio de Botánica y Biotecnología de la FCCBB – UNA Puno. **Los resultados** señalan que el agua de los pozos tubulares de Ayaviri y Macarí tenía un pH 8.30 - 8.75, alcalinidad 93.75 - 157.50 mg/l, conductividad 457.75 - 1362.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sulfatos 14.78 – 25.48 mg/l, cloruros 56.10 – 269.46 mg/l, respectivamente. La germinación de semillas de quinua fue del 100%, en alfalfa de 82.50 – 65% y en lechuga 72.50%. La longitud y grosor de tallos fue mayor en el tratamiento con agua de Ayaviri, en quinua, superando en 6.66 cm y 0.83 mm respectivamente. **Se concluye** los pozos muestreados presentan valores fisicoquímicos dentro de los valores permitidos en los ECA para agua, excepto los valores de pH, y las muestras de agua de Ayaviri fue mejor para la germinación y crecimiento de las plantas.

Palabras clave: alfalfa, lechuga, pozos subterráneos, quinua.



ABSTRACT

The research was carried out in Puno (Peru), between August - November 2019, in the towns of Ayaviri and Macarí, Melgar province, the water from tubular wells was used for the irrigation of grasslands, its physicochemical characteristics and its effects on the seed germination and plant growth. The objectives were: a) to evaluate the pH, total alkalinity, conductivity, sulfates and chlorides in water from tubular wells of the districts of Macarí and Ayaviri and b) determine the effect of the water from tube wells in the districts of Macarí and Ayaviri on the germination and growth of alfalfa, lettuce and quinoa. The methodology began with the collection of 500 ml of water in the two sampling areas, in which the following parameters and methods were determined: pH and conductivity - electrometric, alkalinity - titre, chlorides - Mohr and sulfates - turbidimetric. The alfalfa, lettuce and quinoa seeds were soaked in water from the two zones and placed in disposable Petri dishes to determine germination, later they were placed in plastic jars containing sand, to evaluate plant growth. After 60 days of cultivation, the total length and stem thickness of the plants were measured. The research was carried out in the Laboratory of Botany and Biotechnology of the FCCBB - UNA Puno. The results indicate that the water from the Ayaviri and Macarí tubular wells had a pH 8.30 - 8.75, alkalinity 93.75 - 157.50 mg/l, conductivity 457.75 - 1362.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sulfates 14.78 - 25.48 mg/l, chlorides 56.10 - 269.46 mg/l, respectively. The germination of quinoa seeds was 100%, in alfalfa it was 82.50 - 65% and in lettuce 72.50%. The length and thickness of stems was greater in the treatment with Ayaviri water, in quinoa, exceeding 6.66 cm and 0.83 mm respectively. It is concluded that the sampled wells present physicochemical values within the values allowed in the ECAs for water, except for the pH values, and the Ayaviri water samples were better for the germination and growth of the plants.

Key words: Toxicological effect, underground wells, lettuce, tomato, quinoa and alfalfa.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La zona norte de la región Puno, dedicada principalmente a la producción de ganado, carece de sistemas de riego ampliado a toda la provincia de Melgar. La población recurre a utilizar las aguas subterráneas de pozos tubulares, para bebida humana y animales y de riego de pastizales y diversos cultivos andinos producidos en dicha provincia. Actualmente se desconoce sus características fisicoquímicas y podrían estar alterando la normal germinación y el crecimiento de las plantas cultivadas, regadas con aguas de los pozos tubulares.

En la investigación se determinó si las aguas de los pozos tubulares tenían algún efecto en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas quinua, alfalfa y lechuga. Revisando bibliografía existen muchas razones entre ellas el contener sales disueltas en ellas que perjudicarían el crecimiento de los cultivos, dificultando la absorción de agua debido a un efecto de potencial osmótico. Asimismo, hay tendencia a aumentar el nivel de sodio (Na^+) intercambiable en el suelo, decreciendo la permeabilidad, lo cual interfiere con el drenaje y el normal suministro de agua, y la aireación requerida para el crecimiento del cultivo.

Las aguas destinadas al riego de vegetales deben contener bajas concentraciones de cloruros (Cl^-), alcalinidad total y sulfatos (SO_4^{2-}), y cuando hay el exceso de Cl^- puede causar daños irreversibles en el normal desarrollo de algunas plantas, y sustancias alcalinas como el bicarbonato (HCO_3^-) precipita los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , creando deficiencias minerales en las plantas (Rodríguez *et al.*, 2019), por tanto los resultados brindan valiosa información, acerca del impacto que acarrearía en las prácticas de manejo de los ecosistemas, fundamentalmente en conocer su efecto en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas.

Los bioensayos adquieren importancia para los estudios de toxicología, razón por la cual se decidió trabajar con *Lactuca sativa* (lechuga), que es una especie terrestre sensible a tóxicos (Pentreath *et al.*, 2015), y para comparar el efecto del riego con el agua de los pozos tubulares se experimentó con dos especies vegetales producidas en los



distritos donde se ubican los pozos, como la quinua y la alfalfa. Cabe mencionar que la inhibición en la elongación de la radícula e hipocótilo constituyen indicadores subletales muy sensibles en la evaluación de efectos biológicos para determinar la calidad del agua; asimismo, el crecimiento de la raíz como punto final de lectura es más sensible a la toxicidad que la germinación de las semillas.

En tal sentido, esta investigación se planteó con la finalidad de evaluar las principales características fisicoquímicas (pH, alcalinidad, conductividad, sulfatos y cloruros) del agua subterráneas procedentes de pozos tubulares y compararlos con los emitidos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua. Por otro lado, se determinó los efectos del agua de los pozos tubulares en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de quinua, alfalfa y lechuga, las dos primeras son plantas cultivadas en la región y la tercera es sensible para estudios de toxicología. Por consiguientes, se definirá las ventajas o desventajas del uso de aguas subterráneas en el riego de los cultivos andinos producidos en nuestra región. Por tal razón esta investigación tuvo los siguientes objetivos:

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer el efecto en la germinación de semillas y crecimiento de quinua, alfalfa y lechuga, usando agua subterránea de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri (provincia de Melgar).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el pH, alcalinidad total, conductividad eléctrica, sulfatos y cloruros en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri (provincia de Melgar).
- Determinar el efecto del agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri en la germinación y crecimiento de alfalfa, lechuga y quinua.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Curo (2017) evaluó 12 pozos de distrito de Huata (Puno – Perú), donde los parámetros fisicoquímicos fueron en promedio, pH entre 6.9 y 7.8, conductividad eléctrica entre 1660.70 y 2448.3, excediendo los LMP, la dureza total entre 264.40 y 408.3 mg/l, cloruros entre 91.6 y 168.1 mg/l, los sulfatos entre 46 y 132.7 mg/l, hierro entre 0.9 y 1.2 mg/l. Valdivia (2017) evaluó la calidad de aguas subterráneas del sector Jaguay de Camaná (Arequipa – Perú), las muestras de agua presentaron alta salinidad con valores mayores a 2.5 mmhos/cm no aptas para riego llegando a 17.06 mmhos/cm, lo que quiere decir que es agua con alta mineralización, a su vez extrema concentración salina, el oxígeno disuelto presenta gran variedad entre 1.76 y 13.05 mg/L y el pH en el área de estudio fluctuó entre 6.35 y 8.84.

Ortíz (2015) evaluó la calidad fisicoquímica de aguas de pozos subterráneos en el distrito de Gregorio Albarracín (Tacna), evaluando pH, turbidez, conductividad, cloruros, dureza total, sulfatos, aluminio, manganeso, boro, calcio y nitratos, los resultados del análisis fueron: el valor más alto obtenido de Boro fue de 1.96 mg/l B (límite = 0.5 mg/l B), los sulfatos con 300.4 mg/l SO_4^{-2} (límite 250 mg/L SO_4^{-2}), de las muestras evaluadas el 20% fueron aptas y el 70% no aptas. López (2012) al evaluar pozos del barrio San Sebastián en El Salvador (San Salvador), obtuvo parámetros fisicoquímicos de pH 6.84 y 7.60 unidades, dureza total entre 128 y 484 mg/L de CaCO_3 , la conductividad eléctrica obtuvo datos límite de 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sulfato de 6.86 y 53.39 mg/l, nitratos de 0 y 5.35 mg/l.

Sarabia *et al.* (2011) en los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez (México), usan pozos para el riego, en ellas sobrepasaron el límite permisible en la concentración de sulfatos (SO_4^{-2}) y la conductividad eléctrica (CE), lo cual representa un exceso de sales en el agua, alto contenido de nitratos en el agua de riego, tanto en agua como en suelos y cultivos pueden causar un problema de salud pública. Castillo *et al.* (2009) en los municipios de La Paz y San Diego (Del Cesar – Colombia), realizaron un análisis fisicoquímico que incluyó conductividad, pH, temperatura, sólidos disueltos



totales, salinidad, acidez, alcalinidad, turbidez, cloruros, amonio, nitritos, nitratos, hierro, magnesio, sodio y calcio, estos tres últimos análisis necesarios para calcular la aptitud para riego, con relación a los resultados fisicoquímicos estos indicaron que de los pozos muestreados solo un 4.3% contienen agua apta para riego sin que su uso acarree riesgos para la salud;

Lallana *et al.* (2008) en el norte de la provincia de Entre Ríos (Argentina) usando agua superficial de represas, realizando bioensayos de germinación de *Lactuca sativa* var. *Mantecosa*, registraron el porcentaje de germinación y la longitud promedio de la raíz, con un porcentaje de germinación promedio de los tratamientos fue de 96.07% y de 97.9%, y no se detectó toxicidad en el agua proveniente de las distintas represas. Fernández & Fernández (2007) reportan la calidad del agua subterránea de pozos del municipio de Moa (Cuba), con los resultados siguientes la conductividad estuvo elevada entre los 400 y 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el contenido de Ca y Mg, no exceden los límites permisibles, los iones SO_4^{2-} , Cl^- , Fe^{2+} son predominantes indicando presencia de aguas residuales, gran parte de las aguas están contaminadas por iones NO_2^- , NO_3^- y la demanda química de oxígeno (DQO), indicando descomposición de materias orgánicas por acción bacteriana.

Silva *et al.* (2006) determinaron la calidad química del agua subterránea y su relación con el aumento de la salinización del suelo en la ciénega de Chapala (México), definiendo el grado de peligrosidad en términos de sodicidad y salinidad, de los pozos evaluados el 10% son buenas para la agricultura, 66% son condicionadas y 26% restantes no son recomendables, originando impacta directamente en el suelo, incrementando la salinidad y sodicidad, en intervalos desde ligeramente salino, hasta fuertemente salino, con conductividades eléctricas de 1.5 hasta 40 dS/m, aspecto que ha influido en la producción de cultivos de la Ciénega, disminuyendo el rendimiento de trigo hasta en 60%. Baccaro *et al.* (2006) en el cinturón hortícola de Mar del Plata (Argentina), para evaluar la calidad de agua para riego en muestras de agua extraídas de pozos excedieron el límite de 10 mg N- NO_3^-/l , la conductividad eléctrica varió desde 1.11 hasta 1.39 dS/m y afectó el crecimiento de los cultivos, en algunas muestras el Cl^- ascendió a 3.4 meq/l, la concentración promedio de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ fue de 1.9; 2.6; 9.5 y 0.29 meq/l, respectivamente, constituyéndose en aguas altamente salinas;



Solano (2005) evaluaron pozos de 5 jurisdicciones de la Isla San Lucas (Costa Rica), con los siguientes resultados el contenido de hierro fue < 0.2 ppm, el Mn < 1 ppm, cloruros de 0.2 – 0.3% m/m, sulfatos no contienen excepto en pozos de la localidad de Las Pilas que presentó 800 mg/kg, fosfatos no presentaron, nitratos < 20 ppm, pH entre 6.63 y 7.10 y la dureza entre 80 y 140 mg/l. Pérez *et al.* (2003) en aguas subterráneas en pozos del estado de Hidalgo en México, reportan los siguientes valores de bicarbonatos (alcalinidad) que oscilaron entre 232.01 y 422.60 mg/l, de cloruros entre 1.06 y 6.80 mg/l. MINAGRI Perú (1998) en su informe del estudio realizado en Pucallpa (Perú), los pozos tubulares con una profundidad entre 5.10 m y 120 m, resultaron con una conductividad eléctrica de 0.015 mmhos/cm a 0.97 mmhos/cm, valores que representan aguas de baja mineralización respectivamente, la dureza de las aguas subterráneas osciló entre 10 y 485 ppm de CaCO_3 (aguas muy dulces a muy duras respectivamente) y el pH del agua fluctuó entre 3.68 y 8.10 unidades (aguas muy ácidas a alcalinas).

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Características fisicoquímicas de las aguas subterráneas

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, bajo la superficie de la Tierra, tanto en el suelo como en el subsuelo ya que, convencionalmente, el volumen del agua subterránea es mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar un millón o más de km^2 (Romero, 2012), el agua del subsuelo es un recurso importante y de este se abastece a una tercera parte de la población mundial, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación, el agua subterránea es parte de la precipitación que se filtra a través del suelo hasta llegar al material rocoso que está saturado de agua, el agua subterránea se mueve lentamente hacia los niveles bajos, generalmente en ángulos inclinados (debido a la gravedad) y eventualmente llegan a los arroyos, los lagos y los océanos (Ortíz, 2005).

Es una creencia común que el agua subterránea llena cavidades y circula por galerías, sin embargo, no siempre es así, pues puede encontrarse ocupando los intersticios (poros y grietas) del suelo, del sustrato rocoso o del sedimento sin consolidar (Sánchez, 2005), los cuales la contienen como una esponja, la única excepción



significativa la ofrecen las rocas solubles, como las calizas y los yesos, susceptibles de sufrir el proceso llamado karstificación, en el que el agua excava simas, cavernas y otras vías de circulación, el modelo que más se ajusta a la creencia popular (Leal & Rodríguez, 1998), un acuífero es aquella masa de rocas permeables que permite la circulación y la acumulación del agua subterránea en sus poros o grietas. Las rocas almacén pueden ser de materiales muy variados como gravas y areniscas porosas poco cementadas (antiguos sedimentos marinos, de río, playa, eólicos), limos, ciertos tipos de arcilla, calizas agrietadas, e incluso formaciones volcánicas, el nivel superior del agua subterránea se denomina tabla de agua, que en el caso de un acuífero libre corresponde al nivel freático (Sierra, 2011).

Características del agua subterránea

Temperatura. Por lo general, las aguas subterráneas tienen temperaturas muy poco variables y responden a la media anual de las temperaturas atmosféricas, incrementando su temperatura a medida que se profundiza, en un valor aproximado de 1 °C cada 33 m a excepción de zonas tectónicas y volcánicas, donde su temperatura aumenta; y en zonas sedimentarias es menor (Romero, 2012), otra característica de la temperatura en aguas subterráneas es que afecta la viscosidad del agua y la capacidad de absorción de gases.

Conductividad. La conductividad crece con el contenido de electrolitos disueltos, en aguas subterráneas dulces el valor varía entre 100 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en el agua de mar se tiene aproximadamente entre 40000 y 45000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18° C (Romero, 2012).

Dureza. La dureza del agua se debe a los cationes polivalentes que contiene y en especial a los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} (Romero, 2012).

Turbidez. Se refiere a la dificultad que tiene el agua para transmitir la luz, se mide en partes por millón (ppm) de SiO_2 . El agua cristalina o llamada transparente tiene menos de 1.42 ppm de SiO_2 y permite ver hasta 4 m de espesor; en las aguas subterráneas por lo general el valor está por debajo de una 1 ppm (Romero, 2012).

Potencial de hidrogeniones (pH). Se le define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno, su escala es desde 0 (muy ácido) al 14 (muy alcalino), siendo 7 la neutralidad exacta a 25 °C, este parámetro influye en la presencia de los sabores en el



agua, en la acción corrosiva e incrustante que tiene el agua en las cañerías y en la eficiencia de la cloración (Acosta, 2008), el valor de pH no ejerce efectos directos en los consumidores y es importante para que la desinfección con cloro sea eficaz, prefiriéndose un pH inferior a 8, en valores superiores de pH 11 produce irritación ocular y de trastornos cutáneos (Romero, 2009).

Temperatura. Es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles, asimismo es un indicador de la calidad de agua que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables físico – químicas (Mamani, 2007), el agua fría es desagradable y hasta peligrosa porque puede irritar la mucosa del hígado (Spellman, 2004), se menciona también que las temperaturas elevadas del agua indican actividad biológica, química y física, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo para el agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes en el agua (NMX-AA-007-SCFI, 2000).

Conductividad. Es la capacidad de una solución para transportar la corriente eléctrica y depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura, por tanto, es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual o residual tratada (NMX-AA-007-SCFI, 2000).

Cloruros. Es uno de los aniones de mayor cantidad presentes en aguas naturales, residuales tratadas, excrementos humanos, la orina, que contienen cloruros en una cantidad similar a los cloruros consumidos en los alimentos y el agua, los efluentes de aguas residuales añaden cantidades considerables de cloruros a las fuentes receptoras, muchos residuos industriales contienen cantidades apreciables de cloruro, los que en concentraciones razonables no son peligrosas para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales (NMX-AA-073-SCFI, 2001), en concentraciones superiores a 250 mg/l producen un sabor salado y es rechazado, por otro lado, un alto contenido de cloruros daña estructuras metálicas y evita el crecimiento de plantas,

deteriorando en forma importante la calidad del suelo (Romero, 2009).

Alcalinidad. Este parámetro expresa la capacidad que tiene un agua de mantener su pH a pesar de recibir soluciones ácidas o alcalinas, esta corresponde principalmente al contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, el rango de la alcalinidad en aguas domésticas, es decir, el agua potable, oscila en valores de 50 a 200 mg/l CaCO_3 . El principal efecto de la alcalinidad es que reacciona con ciertos cationes que se encuentran en el agua, lo que provoca precipitados no deseados en las tuberías de agua (Jiménez, 2007). A nivel internacional se acepta una alcalinidad mínima de 20 mg de CaCO_3 /l para mantener la vida acuática (Goyenola, 2007). Además, cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores son propensas a la contaminación, porque no tienen la capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (Pérez, 2016).

Dureza. Es la capacidad de un agua para precipitar al jabón, gracias a la presencia de sales de los iones calcio y magnesio, ésta es responsable del origen de incrustaciones en recipientes y tuberías generando problemas en la transferencia de calor (Romero, 2009), a nivel internacional existen una serie de clasificaciones del agua respecto a su contenido de dureza, siendo una de las más utilizadas la de la OMS (2007) esquematizada en el Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de aguas según el grado de dureza (OMS, 2007).

CaCO₃ (mg/l)	Tipo de agua
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente dura
121 – 180	Dura
>180	Muy dura

Sulfatos. Proceden del suelo o de la oxidación de sulfuros normales, y es uno de los aniones más abundantes en las aguas duras, tienen gran importancia en abastecimiento de agua potable, debido a su efecto catártico en los humanos, cuando está presente en excesivas cantidades (Sierra, 2011), también son importantes tanto en abastecimientos públicos de agua como en industriales, ya que forma incrustaciones duras que se encuentran comúnmente en los artefactos donde se conduce, se calcinan o se evaporan



agua (tuberías, calderos, utensilios domésticos, entre otros) (Romero, 2009).

Sólidos disueltos totales. Es la expresión que aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en una estufa a temperatura definida (APHA *et al.*, 1992) y está compuestos por materia suspendida o disuelta en un medio acuoso, pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o efluente de varias formas, en agua potable no sería agradable para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor (Bravo, 2010).

Estándares de calidad de agua para riego

El Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM, que titula “Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias”, indica que las aguas englobadas en las categorías 3 y 4, presentarán las siguientes características:

Categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales

- **Vegetales de tallo bajo.** Son aquellas aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo, que usualmente tienen un sistema radicular difuso o fibroso y poco profundo. Ejemplos: ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares.
- **Vegetales de tallo alto.** Son aquellas aguas utilizadas para el riego de plantas, de porte arbustivo o arbóreo, que tienen una mayor longitud de tallo. Ejemplos: árboles forestales, árboles frutales, entre otros.
- **Bebidas de animales.** Son aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, ovino, porcino, equino o camélido, y para animales menores como ganado caprino, cuyes, aves y conejos.

Los Estándares de calidad ambiental (ECA) y los límites máximos permisibles (LMP), son instrumentos de gestión ambiental que consisten en parámetros y obligaciones que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental en que vivimos, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas. Una de las diferencias es que la medición de un ECA se realiza directamente en los cuerpos

receptores, mientras que en un LMP se da en los puntos de emisión y vertimiento. Sin embargo, ambos instrumentos son indicadores que permiten a través del análisis de sus resultados, establecer políticas ambientales (ECA) y correcciones el accionar de alguna actividad específica (LMP) (D. S. 004-2017-MINAM). Las muestras de agua de la Bahía de Puno, está clasificado en la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales) y categoría 4 (conservación del medio acuático). Por tanto, las características físicas, químicas y microbianas son:

Tabla 2. Estándares de Calidad Ambiental del agua, categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (D. S. 004-2017-MINAM).

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
pH	Unidad	6.5 – 8.5		6.5 – 8.4
Alcalinidad (Bicarbonatos)	mg/l	518		**
Conductividad	μS/cm	2500		5000
Sulfatos	mg/l	1000		1000
Cloruros	mg/l	500		**

2.2.2 Especies vegetales experimentales

Quinua

Gómez & Aguilar (2016), manifiestan que es un cultivo andino domesticado hace miles de años por las antiguas culturas de la Región Andina de Sud América, con evidencias de que fue alimento básico para las poblaciones pre-hispánicas hasta la época de la conquista., por muchos siglos la quinua fue alimento de auto subsistencia humana y animal, el cambio de los hábitos alimenticios y la preferencia por alimentos nutritivos y orgánicos a nivel global promovieron el reconocimiento y la revaloración de la quinua, dando lugar al incremento de su producción, su valor nutritivo radica en el balance ideal de los aminoácidos de su proteína que lo convierten en un componente ideal en las dietas, adicionalmente contiene una cantidad adecuada de carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales que incrementan su valor nutracéutico (Lescano, 1994).

La quinua se cultiva en Sud América en zonas geográficas que van desde el nivel del mar hasta los 4000 m.s.n.m., en zonas con precipitaciones de 0 a 1000 mm, en suelos de diferentes texturas y con un rango de pH que fluctúa entre 4 a 9, en un rango de temperaturas debajo de cero a más de 30°C (Jacobsen *et al.*, 2003), dentro de estas condiciones variables de clima los estreses más frecuentes son las sequías, las heladas, la salinidad, las plagas y otros factores, finalmente, la tecnología usada en su cultivo es bastante variable, desde aquella tradicional hasta aquella moderna altamente tecnificada, dependiendo de la interacción de estos factores de clima, suelo y tecnología los rendimientos varían de 1 a 7 t/ha (Gómez & Aguilar, 2016).

a. Taxonomía (León, 2003; Bojanic, 2011)

Dominio	: Eucarya.
Reyno	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Caryophyllales
Familia	: Amaranthaceae
Subfamilia	: Chenopodioideae
Género	: <i>Chenopodium</i>
Especie	: <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

b. Descripción botánica (León, 2003)

- **Raíz.** Inicia con raíz pivotante terminando en raíz ramificado con una longitud de 25 a 30 cm.
- **Tallo.** Es cilíndrico y herbáceo anual a la altura del cuello cerca a la raíz y de una forma angulosa a la altura donde se insertan las ramas y hojas, estando dispuestas en las cuatro caras del tallo.
- **Hojas.** Son simples, enteras, esparcidas, glabras, pecioladas, sin estípulas, pinnatinervadas, presentan oxalatos de calcio o vesículas granuladas en el envés a veces en el haz; las cuales evitan la transpiración excesiva en caso de que se presentaran sequías.
- **Inflorescencia.** Es de tipo racimosa y por la disposición de las flores en el racimo se le denomina como una panoja, por el hábito de crecimiento algunas inflorescencias

se difieren por que pueden ser axilares y terminales.

- **Flores.** En una misma inflorescencia pueden presentar flores hermafroditas (perfectas), femeninas y androésteriles (imperfectas). Generalmente se encuentra 50 glomérulos en una planta y cada glomérulo está conformado por 18 a 20 granos aproximadamente.
- **Fase de la floración.** En los glomérulos la floración inicia en la parte apical y sigue hasta la base.
- **Fruto.** Es aquenio, el que se encuentra cubierto por el perigonio.
- **Semilla.** Tiene forma lenticelada, que se encuentra envuelta por el perisperma, el tamaño de la semilla (grano) se considera grande cuando el diámetro es mayor a 2 mm.
- **Fases fenológicas.** La duración depende mucho de los factores medio ambientales que se presenta en cada campaña agrícola.
 - **Emergencia.** Es cuando la plántula emerge del suelo y extiende sus dos hojas cotiledonales, ocurre de los 7 a 10 días de la siembra.
 - **Dos hojas verdaderas.** Es cuando dos hojas verdaderas, extendidas que ya poseen forma lanceolada y se encuentra en la yema apical el siguiente par de hojas, ocurre a los 10 a 15 días después de la siembra y muestra un crecimiento rápido en las raíces.

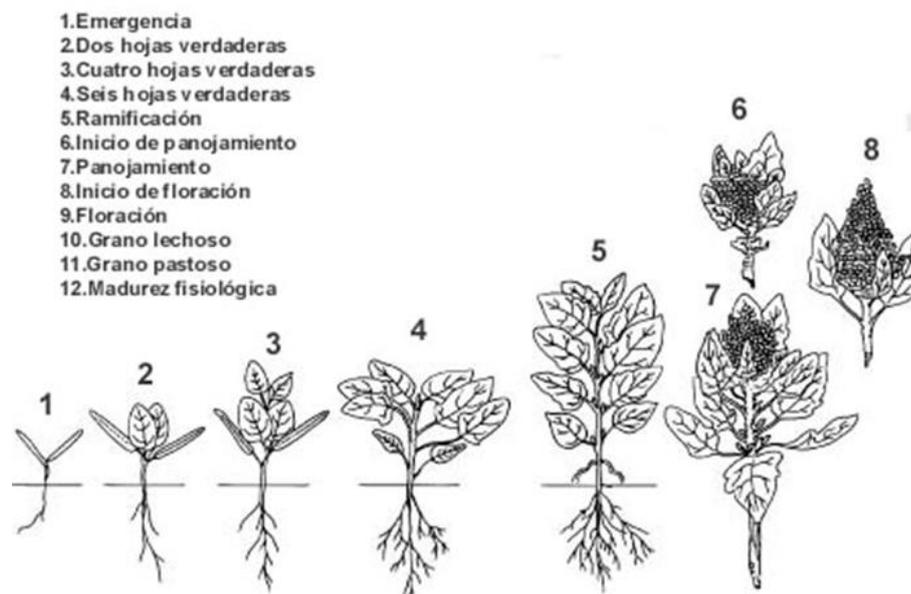


Figura 1. Fases fenológicas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) (Lescano, 1994).



- **Cuatro hojas verdaderas.** Se observan dos pares de hojas extendidas y aún están presentes las hojas cotiledonales de color verde, ocurre aproximadamente a los 25 a 30 días después de la siembra.
- **Seis hojas verdaderas.** Se observa tres pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas cotiledonales se tornan de color amarillento, ocurre a los 35 o 45 días de la siembra.
- **Ramificación.** Se observa 8 hojas verdaderas extendidas con presencia de hojas axilares hasta el tercer nudo, las hojas cotiledonales se caen y dejan cicatrices en el tallo, también se nota presencia de inflorescencia protegida por hojas sin dejar al descubierto la panoja, ocurre de los 45 a 50 días de la siembra, en esta fase la parte más sensible a las heladas no es el ápice sino por debajo de este, y en caso de bajas temperaturas que afecten a las plantas, se produce el "colgado" del ápice. En esta fase se efectúa el aporque para las quinuas de valle
- **Inicio de panojamiento.** La inflorescencia se nota que va emergiendo del ápice de la planta, observado alrededor aglomeración de hojas pequeñas, las cuales van cubriendo la panoja en sus tres cuartas partes; ello puede ocurrir aproximadamente a los 55 a 60 días de la siembra, así mismo se puede apreciar amarillamiento del primer par de hojas verdaderas (hojas que ya no son fotosintéticamente activas) y se produce una fuerte elongación del tallo, así como engrosamiento.
- **Panojamiento.** La inflorescencia sobresale con claridad por encima de las hojas, notándose los glomérulos que la conforman; asimismo, se puede observar en los glomérulos de la base los botones florales individualizados; ello ocurre de los 65 a los 70 días después de la siembra.
- **Floración.** La floración es cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas, lo que ocurre de los 90 a 100 días después de la siembra.
- **Grano lechoso.** El estado de grano lechoso es cuando los frutos al ser presionados explotan y dejan salir un líquido lechoso, lo que ocurre de los 100 a 130 días de la siembra, en esta fase el déficit de agua es perjudicial.
- **Grano pastoso.** El estado de grano pastoso es cuando los granos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco, puede ocurrir aproximadamente a los 130 a 160 días de la siembra.



- **Madurez fisiológica.** Es cuando el grano formado es presionado por las uñas, presenta resistencia a la penetración, aproximadamente ocurre a los 160 a 180 días a más después de la siembra.

Alfalfa

Es una leguminosa altamente ecológica, de fácil cultivo y comercialización, en el país, se cultiva como forraje para animales; sin embargo, nuestra población de escasos recursos utiliza de manera esporádica y empírica el jugo extraído de las hojas frescas de alfalfa como una alternativa para disminuir la anemia, combatir la tuberculosis, en niños, gestantes y adultos, en otros países, se ha elaborado alimentos que tienen como ingredientes un extracto de hojas de alfalfa, rico en macronutrientes (proteínas, azúcares y lípidos) y micronutrientes (vitaminas y oligoelementos) (Shah *et al.*, 2003), asimismo, estas plantas producen un gran número de moléculas, entre ellas, los metabolitos secundarios que son sintetizados para diferentes propósitos, incluyendo regulación del crecimiento, interacciones intra e interespecíficas y defensa contra depredadores e infecciones; estas sustancias tienen un potencial inmunoestimulante y antimicrobiano en los seres humanos, dentro de estos metabolitos se incluyen los flavonoides, indoles, fitoesteroles, polisacáridos, sesquiterpenos, alcaloides, glucanos, taninos, entre otros (Williams, 2001).

Los metabolitos secundarios producidos por las plantas son utilizados por el hombre para tratar una variedad de enfermedades, aproximadamente el 25% de las drogas prescritas en el mundo provienen de plantas y se ha estimado que 60% de las drogas antiinfecciosas y anti-tumorales son de origen natural (Kirszberg *et al.*, 2003), muchos de estos metabolitos secundarios presentan actividades farmacológicas y biológicas interesantes y son usados como agentes quimioterapéuticos o sirven como punto inicial para el desarrollo de medicinas (Verpoorte, 1998).

Por otro lado, el sistema inmune es el encargado de defender al organismo de los agentes agresores que se encuentran a nuestro alrededor, el sistema inmune debe mantener su equilibrio y capacidad de respuesta, ya que su alteración puede ser la base de un importante número de enfermedades (Abbas *et al.*, 2002), la modulación de la respuesta, ya sea estimulándola o suprimiéndola, puede ayudar a mantener un estado libre de enfermedades, la búsqueda de agentes inmunomoduladores que equilibren el sistema inmune ha suscitado interés durante mucho tiempo (Dahanukar *et al.*, 2000).



Su taxonomía es la siguiente:

Dominio	: Eucarya.
Reyno	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Sub – clase	: Rosidae
Orden	: Fabales
Familia	: Fabaceae
Género	: <i>Medicago</i>
Especie	: <i>Medicago sativa</i> L. 1753

Lechuga

Sobrero & Ronco (2004), afirman que el bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) es una prueba estática de toxicidad aguda (120 horas de exposición) en el que se pueden evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o de mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento, es importante destacar que durante el período de germinación y los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de una sustancia tóxica puede interferir alterando la supervivencia y el desarrollo normal de la planta, siendo por lo tanto una etapa de gran sensibilidad frente a factores externos adversos (Bohórquez & Campos, 2007).

La evaluación del desarrollo de la radícula y del hipocotilo constituyen indicadores representativos para determinar la capacidad de establecimiento y desarrollo de la planta, a diferencia de la prueba tradicional de germinación de semillas, la evaluación del efecto en la elongación de la radícula y del hipocotilo de las plántulas permite ponderar el efecto tóxico de compuestos solubles presentes en niveles de concentración tan bajos que no son suficientes para inhibir la germinación (Cheung *et al.*, 1989), pero que sin embargo pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación de la radícula o del hipocotilo, dependiendo ello del modo y sitio de acción del compuesto, este ensayo puede ser aplicado para la evaluación de la toxicidad de compuestos puros solubles, de aguas superficiales (lagos, ríos), aguas subterráneas, aguas



para consumo humano, aguas residuales domésticas e industriales, además de lixiviados de suelos, sedimentos, lodos u otras matrices sólidas (Dutka, 1989).

Por otra parte, es de fácil y rápida germinación por lo que es posible desarrollar la prueba en pocos días, este bioensayo de toxicidad ha sido recomendado y aplicado por diferentes organismos de protección ambiental para la evaluación ecotoxicológica de muestras ambientales y compuestos puros, además de la evaluación del efecto fitotóxico de plaguicidas sobre especies no blanco, necesarios para el registro de estos compuestos (Wang, 1987;), en la incorporación de esta prueba en una batería de bioensayos es importante considerar el compromiso entre la sensibilidad de la especie *L. sativa*, el reducido tiempo de exposición de la prueba con semillas, los bajos costos asociados y que no requiere equipamiento sofisticado, en particular en la aplicación a muestras ambientales o en el monitoreo de procesos de detoxificación, saneamiento, control de efluentes o reuso de biosólidos (USEPA, 1989).

Su taxonomía es la siguiente:

Dominio	: Eucarya.
Reyno	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Asterales
Familia	: Asteraceae
Sub familia	: Cichorioideae
Género	: <i>Lactuca</i>
Especie	: <i>Lactuca sativa</i> L.

2.2.3 Germinación de semillas de plantas

Para que la semilla cumpla con su objetivo, es necesario que el embrión se transforme en una plántula que sea capaz de valerse por sí misma, mediante mecanismos metabólicos y morfogenéticos, conocidos como proceso de germinación (Azcon & Talón, 2000), el proceso de germinación está constituido por varias fases: i) Absorción de agua por la semilla o imbibición; ii) Activación del metabolismo y proceso de respiración, síntesis de proteínas y movilización de sustancias de reserva; iii) Elongación del embrión y ruptura de la testa a través de la cual se observa salida de la radícula (Suárez & Melgarejo, 2010).



El proceso de germinación está influenciado tanto por factores internos como externos. Dentro de los factores internos están la viabilidad del embrión, la cantidad y calidad del tejido de reserva y los diferentes tipos de dormancia, algunos de los factores externos que regulan el proceso son el grosor de la testa, disponibilidad de agua, temperatura y tipos de luz (Lira, 2000). El estudio de la biología y fisiología de las semillas es de vital importancia para el hombre, ya que la mayoría de las especies cultivadas como los cereales son propagadas a partir de semillas sexuales (Abril *et al.*, 2017).

La germinación es el reinicio del crecimiento del embrión, paralizado durante las fases finales de la maduración. Los procesos fisiológicos de crecimiento exigen actividades metabólicas aceleradas y la fase inicial de la germinación consiste primariamente en la activación de los procesos por aumentos en la humedad y actividad respiratoria de la semilla (Obregón, 2007). La absorción de agua por la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos que incluye la respiración, síntesis proteica y movilización de reservas. A su vez, la división y el alargamiento celular en el embrión provocan la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente se produce por la emergencia de la radícula. (Chong *et al.*, 2002).

Sin embargo, las semillas de muchas especies son incapaces de germinar, aun cuando presentan condiciones favorables para ello, lo cual se debe a que las semillas se encuentran en estado de latencia. Por ello, mientras no se den las condiciones adecuadas para la germinación, la semilla se encontrará en estado latente durante un tiempo variable, dependiendo de la especie, hasta que en un momento dado pierda su capacidad de germinar (Chong *et al.*, 2002). Fases de la germinación. Comprende tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente: \rightarrow absorción de agua por imbibición, causando su hinchamiento y ruptura final de la testa; \rightarrow inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión \rightarrow crecimiento y división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plúmula. En la mayoría de las semillas, el agua penetra inicialmente por el micrópilo y la primera manifestación de la germinación exitosa es la emergencia de la radícula (Koornneef *et al.*, 2002).



Las fases son: **Hidratación:** la absorción de agua es el primer paso para la germinación, sin el cual el proceso no puede darse. Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla. Dicho incremento va acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria. **Germinación:** representa el verdadero proceso en el que se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse. **Crecimiento:** es la última fase de la germinación y se asocia con la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible). Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria (Koornneef *et al.*, 2002).

La duración de cada una de estas fases depende de ciertas propiedades de las semillas: su contenido de compuestos hidratables y la permeabilidad de las cubiertas al agua y oxígeno. Estas fases también están afectadas por las condiciones del medio, tales como el nivel de humedad, las características y composición del sustrato, la temperatura, entre otros. Otro aspecto importante es la relación de estas fases con el metabolismo de la semilla (Doria, 2010). La primera fase se produce tanto en semillas vivas como muertas y, por tanto, es independiente de la actividad metabólica de la semilla. Sin embargo, en las semillas viables, su metabolismo se activa por la hidratación. La segunda fase constituye un período de metabolismo activo previo a la germinación en las semillas viables o de inicio en las semillas muertas. La tercera fase se produce solo en las semillas que germinan y obviamente se asocia a una fuerte actividad metabólica, que comprende el inicio del crecimiento de la plántula y movilización de las reservas (Koornneef *et al.*, 2002).

Desde el punto de vista puramente fisiológico, la germinación comprende cuatro fases (Baskin & Baskin, 2001): la imbibición de agua, la elongación celular, la división celular y la diferenciación de células y tejidos. Desde el punto de vista fisiobioquímico, se consideran las siguientes fases del proceso germinativo: la rehidratación, el aumento de respiración, la formación de enzimas, la digestión enzimática de reservas, la movilización y transporte de reservas, la asimilación metabólica y el crecimiento y diferenciación de tejidos (Doria, 2010). Para que la germinación ocurra, deben satisfacerse determinadas condiciones, a saber (Baskin & Baskin, 2001): la semilla debe ser viable, las condiciones ambientales para la semilla deben ser favorables: agua,



temperatura, oxígeno y luz, las condiciones de la semilla deben ser favorables para la germinación (libre de dormancia) y las condiciones de sanidad deben ser satisfactorias (ausencia de agentes patógenos).

2.2.4 Plántulas indicadoras de toxicidad

Los bioensayos con plantas están siendo considerados, de manera creciente, para el diagnóstico ecotoxicológico, ya que constituyen una excelente herramienta en la evaluación del riesgo ambiental (Wetzel & Werner, 1995), representan una metodología ventajosa al brindar información acerca de alguna sustancia que resulte tóxica en el medio, es decir, algún agente que pueda producir un efecto adverso en el sistema biológico, dañar su estructura o función, o producir la muerte. En la práctica estos métodos no pueden reemplazarse por los análisis químicos (Paggi & Paggi, 2000).

La utilización de biomonitores propios de los ambientes evaluados favorece indirectamente la preservación de la biodiversidad local, sin embargo, la variabilidad en la aplicación de las técnicas experimentales para el mantenimiento de organismos silvestres afecta a la interpretación y comparación de los resultados entre laboratorios (Prieto *et al.*, 2009), dentro de las metodologías estandarizadas para establecer condiciones controladas, *Lactuca sativa* L. (lechuga) y *Solanum lycopersicum* L. (tomate) son recomendadas por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y la FDA (Administración de Drogas y Alimentos de Estados Unidos) para ensayos de fitotoxicidad, encontrándose entre las especies más sensibles (Pentreath *et al.*, 2015).

Las plantas vasculares son recomendadas debido a su mayor sensibilidad, en comparación con otras especies (Young *et al.*, 2012), el ensayo ecotoxicológico con semillas presenta algunas ventajas sobre otros ensayos porque permite usar cuantitativamente el crecimiento de la raíz, el ensayo de germinación y elongación de la raíz se realiza con los constituyentes solubles del agua (aguas superficiales, aguas subterráneas, suelos, sedimentos y lixiviados), teniendo en cuenta, para el resultado, la cantidad de semillas germinadas y la media del crecimiento de la raíz, para calcular la inhibición en un 50% (CI50) de los parámetros analizados en relación con el testigo (Robidoux *et al.*, 2001).



La técnica de los bioensayos consiste en evaluar la elongación radical de las semillas que crecen en muestras de agua de distinta procedencia, comparándolas con el comportamiento en agua destilada, de acuerdo con el grado de inhibición en el crecimiento radical se puede establecer si existe contaminación en las aguas analizadas (Passera, 1990), esta técnica resulta útil para ser aplicada en muestras ambientales o en el monitoreo de procesos de detoxificación, saneamiento, control de efluentes o reutilización de biosólidos, asimismo, se ha empleado para detección de salinidad o presencia de herbicidas en aguas (Billard *et al.*, 2007).

La toxicología acuática proporciona herramientas que ayudan a la detección y control de descargas de residuos peligrosos, una de ellas es el análisis detallado de las propiedades físicas y químicas de los contaminantes, lo cual permite en algunos casos, evaluar el grado de riesgo que presenta para los organismos acuáticos y de esta forma hacer predicciones con un alto grado de confiabilidad (IDRC/IMTA, 2004), sin embargo, la caracterización química de los contaminantes es bastante compleja y costosa, por lo cual se contempla el uso de pruebas biológicas como complemento de los análisis fisicoquímicos (Gómez *et al.*, 2001). Estas pruebas ayudan a evaluar la calidad de los efluentes y de esta forma prevenir o alertar sobre riesgos en el ecosistema (Persoone *et al.*, 2003).

Actualmente se utilizan diferentes especies de organismos acuáticos y terrestre de varios niveles filogenéticos como “indicadores” para determinar los efectos tóxicos de contaminantes vertidos o liberados en el ecosistema. Sin embargo, no es aconsejable realizar bioensayos con un sólo grupo de organismos o con sólo una especie para emitir un diagnóstico en caso de contaminación hídrica (Castillo *et al.*, 2000). Lo indicado es utilizar una “batería” de bioensayos que incluya organismos que representan distintos niveles tróficos (descomponedores, productores y consumidores). De esta forma se pueden evaluar procesos de biomagnificación en la cadena alimenticia y extrapolar los datos experimentales de las pruebas de toxicidad a los efectos del ecosistema (Bohórquez & Cáceres, 2002).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE ESTUDIO

El muestreo de agua se realizó en los distritos de Macarí y Ayaviri de la provincia de Melgar, en cada distrito se evaluó 4 pozos tubulares con tres repeticiones cada 20 días, estos estuvieron ubicados en las coordenadas -14.763550 , -70.896748 (Macarí) y -14.875061 , -70.608483 (Ayaviri), los cuales se muestran en la Figura 2. Los análisis de agua y los experimentos de los efectos se realizaron en el Laboratorio de Botánica y Biotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA – Puno.

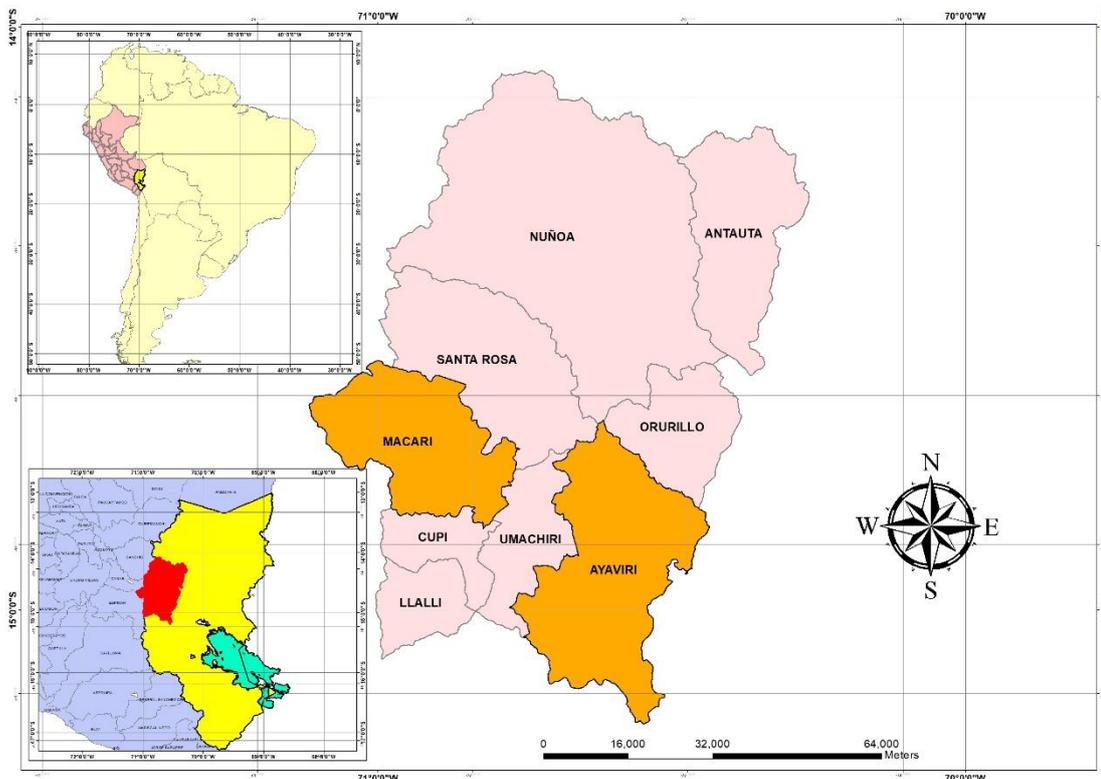


Figura 2. Ubicación de zonas de muestreo de pozos tubulares en la provincia de Melgar, setiembre – 2019.

3.2 TIPO DE ESTUDIO

La investigación fue de tipo experimental y transversal (Hernández *et al.*, 2014). El trabajo de investigación tuvo una duración de 5 meses.



3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 Evaluación de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri.

a. Frecuencia y muestreo

El muestreo de agua se realizó en los distritos de Macarí y Ayaviri (provincia de Melgar), en cada distrito se evaluaron 4 pozos tubulares con tres repeticiones cada 20 días, los cuales fueron distribuidos durante tres meses (agosto, setiembre y octubre 2019).

Una vez establecidos en los puntos de muestreo (pozos tubulares), las muestras de agua fueron colectadas en frascos de vidrio, de boca ancha y tapa hermética tal como lo recomienda el D. S. No. 031-2010-SA del MINSA (2011), donde cada frasco para la toma de muestra se enjuagó 3 veces previamente con el agua de estudio, con una cantidad de 500 ml de muestra de agua.

b. Procedimientos

Determinación de pH. EL pH se midió con un potenciómetro multiparámetro portátil. En un vaso precipitado de 250 ml, se colocó un volumen de 50 ml de agua a analizar, para esto se enjuagó tres veces antes del análisis (Figura 12 – anexos). Para empezar primero se calibró el equipo para la medición (potenciómetro), se procedió al análisis de la muestra y se anotó los resultados obtenidos (Jimeno, 1998).

Determinación de alcalinidad total. La alcalinidad, se midió en un Erlenmeyer de 250 ml, 25 ml de muestra, al cual se le añadió tres gotas de fenolftaleína. Si apareciera una coloración rosada, se tituló con ácido sulfúrico 0.05 N contenido en una bureta de vidrio de 50 ml, hasta su decoloración, el cual se anotó los ml gastados (Figura 13 - Anexos), seguidamente se adicionó dos gotas de anaranjado de metilo y se tituló como en el paso anterior, hasta lograr una coloración rojo salmón muy claro, los cálculos ser realizaron en la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad (CaCO}_3\text{) ppm} = \frac{V \text{ H}_2\text{SO}_4 \times N \text{ H}_2\text{SO}_4 \times \text{PM CaCO}_3 / \text{mol } 2\text{eq}}{V \text{ Muestra}}$$

Donde: ppm = partes por millón, V = volumen, N = normalidad, PM = peso molecular.



Determinación de conductividad eléctrica. Se utilizó un vaso de precipitado limpio y seco de 250 ml, al cual se le agregó 50 ml de muestra de agua en estudio, antes se enjuagó con agua destilada como mínimo tres veces, inmediatamente se introdujo el electrodo conductímetro multiparámetro portátil (Figura 14 - Anexos), hasta que el equipo se estabilice, luego se anotó el valor obtenido.

Determinación de sulfatos. Se colocó 25 ml de la muestra en un Erlenmeyer de 250 ml, seguidamente se adicionó 0.01 mg (una pizca) de cloruro de bario, se disolvió y dejó reposar por 10 minutos, luego se encendió y calibró el espectrofotómetro para finalmente colocarlo en una cubeta de vidrio y medir en el equipo la transmitancia anotándose el valor (Figura 15 – Anexos).

$$\text{Sulfato} = \frac{\text{Factor de concentración} \times 100}{\text{Volumen de la muestra}}$$

Determinación de cloruros. Se utilizó un matraz limpio y seco de 250 ml, se le agregó 50 ml de muestra de agua en estudio, antes de ello se enjuagó 3 veces como mínimo, inmediatamente se le agregó 1 ml de cromato de potasio al 5%, como producto se obtuvo una solución amarillenta (Figura 16 - Anexos). Se tituló con nitrato de plata contenido en una bureta de vidrio de 50 ml, hasta lograr una solución rojo ladrillo y se anotó el volumen de gasto de AgNO_3 , los datos obtenidos fueron reemplazados en la siguiente fórmula.

$$\text{Cloruros} = \frac{\text{VG AgNO}_3 \times \text{N AgNO}_3 \times \text{meqCl} \times 10^6}{\text{Volumen de la muestra}}$$

Donde: VG= Gasto de nitrato de plata (ml), N= Normalidad del nitrato de plata (0.02 N), meqCl = miliequivalente del Cl.

c. Variables que se analizaron

Variable independiente: Zonas de muestreo de agua (Macarí y Ayaviri).

Variable dependiente: Parámetros fisicoquímicos del agua.

d. Pruebas bioestadísticas para contrastar hipótesis

El diseño experimental fue completamente aleatorio y consistió de dos tratamientos constituidas por las zonas de muestreo de los pozos (distritos de Macarí y Ayaviri) y cuatro repeticiones, las variables respuestas fueron los parámetros fisicoquímicos del agua (pH, alcalinidad, conductividad, sulfatos y cloruros). Los datos

obtenidos fueron evaluados mediante pruebas de T de student, para ello cumplieron los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro Wilks) y homogeneidad de varianza (prueba de Levene), con un nivel de confianza del 95%, todos los análisis estadísticos se realizaron en el software estadístico Infostat. El modelo matemático a utilizar fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, \dots, t$ (tratamientos) y $j = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones)

Donde: Y_{ij} = observación en la j – ésima unidad experimental, sujeto al i – ésimo tratamiento (parámetro fisicoquímico). τ = efecto del i – ésimo tratamiento. μ = efecto de la media general (distritos de Ayaviri y Macarí). ε_{ij} = efecto verdadero de la j – ésima unidad experimental (réplica), sujeta al i – ésimo tratamiento (error experimental).

3.3.2 Determinación del efecto del agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri en la germinación y crecimiento de alfalfa, lechuga y quinua

a. Frecuencia y muestreo

Para el cumplimiento de este objetivo, los experimentos se llevaron a cabo entre los meses de agosto - setiembre 2019 y octubre – noviembre 2019. La evaluación de los porcentajes de germinación se realizó a los 8 días de instalado el experimento y las biometrías (longitud total y grosor de plantas), fueron determinados luego de 60 días de experimentación.

b. Descripción detallada de equipos, materiales y procedimientos

Evaluación de la germinación de semillas. En placas Petri se colocaron segmentos de gasa en la base de la placa, posteriormente fueron humedecidas con 5 ml agua de los pozos tubulares y 5 ml de agua destilada (control). A continuación, se depositaron 10 semillas de cada una de las plantas a experimentar, tal como se observa en las Figuras 23 – 25 (Anexos) (Sánchez *et al.*, 2010) e incubadas a temperatura ambiente en oscuridad, pasado 4 días del experimento, serán nuevamente humedecidas por 5 ml de agua, el recuento de semillas germinadas se observó luego de ocho días, luego se contaron las semillas germinadas, las cuales presentaron una radícula de alrededor de 2 mm de longitud. El efecto en la germinación se calculó mediante el porcentaje de germinación (PG) (González & Orozco, 1996) luego de 8 días, se determinó mediante la siguiente ecuación matemática:

$$PG = \frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Número total de semillas de prueba}} \times 100$$

Evaluación del crecimiento de las plántulas. Los procedimientos fueron los siguientes:

- 1) Primeramente, se esterilizó la muestra de suelo en autoclave a 121 °C, 15 libras de presión y 15 minutos.
- 2) Seguidamente 20 semillas fueron colocadas en frascos de plástico conteniendo muestra de suelo previamente esterilizado, las cuales fueron regadas con las muestras de agua a experimentar. La observación del efecto en el crecimiento y la biometría, se realizó a los 60 días de evaluación.
- 3) Una vez finalizada el tiempo de experimentación, se realizó la evaluación biométrica de la longitud total de las plantas y grosor de tallo, con un vernier o calibrador, en un total de 5 plántulas colectadas al azar (Figura 24 - Anexos).

c. Variables que se analizaron

Variable independiente: Muestras de agua de pozos tubulares.

Variables dependientes: % de germinación, longitud total y grosor de tallos.

d. Pruebas bioestadísticas para contrastar hipótesis

El diseño experimental fue completamente aleatorio y consistió en el agua de los distritos de Macarí y Ayaviri y cuatro repeticiones, más un testigo con riego de agua destilada, las variables respuestas fueron los porcentajes de germinación, la longitud total y grosor de tallos de las alfalfa, lechuga y quinua, los datos obtenidos fueron evaluados mediante análisis de varianza y prueba de medias de Tukey, para ello cumplieron los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro Wilks) y homogeneidad de varianza (prueba de Levene), con un nivel de confianza del 95%, todos los análisis estadísticos se realizaron en el software estadístico Infostat. El modelo matemático a utilizar fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, \dots, t$ (tratamientos) y $j = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones)

Donde: Y_{ij} = observación en la j – ésima unidad experimental, sujeto al i – ésimo tratamiento (porcentaje de germinación, longitud total y grosor de tallo de plántulas). t = efecto del i – ésimo tratamiento (agua de los distritos de Ayaviri y Macarí). μ = efecto de la media general. ε_{ij} = efecto verdadero de la j – ésima unidad experimental (réplica), sujeta al i – ésimo tratamiento (error experimental).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN MUESTRAS DE AGUA DE POZOS TUBULARES DE LOS DISTRITOS DE MACARÍ Y AYAVIRI

4.1.1 pH

En la tabla 3, se observa que las muestras de agua procedentes del distrito de Ayaviri, presentaron valores promedio de pH de 8.75, los cuales oscilaron entre 8.50 y 9.00, por otro lado, el agua procedente del distrito de Macarí, presentó un promedio de pH de 8.30, los cuales fluctuaron entre 8.20 y 8.40. Los valores de pH presentaron un coeficiente de variabilidad de 2.72% para muestras de Ayaviri y de 0.98% para muestras de agua de Macarí, los cuales indican que poseen una baja dispersión de sus datos.

Tabla 3. Valores de pH en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Parámetro	Procedencia del agua	
	Ayaviri	Macarí
pH	8.50	8.30
	8.60	8.40
	8.90	8.30
	9.00	8.20
Promedio	8.75	8.30
C. V. (%)	2.72	0.98

Los valores de pH determinado en ambas zonas de estudio presentaron diferencia estadística significativa ($T=3.58$; $gl=6$; $P=0.0117$) (Tabla 4), con una media superior en muestras de agua procedentes del distrito de Ayaviri (8.75) con respecto a la localidad de Macarí (8.30) (Figura 3).

Tabla 4. Prueba de T de los valores de pH en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

	Grupo 1	Grupo 2
	Ayaviri	Macarí
n	4	4
Media	8.75	8.30
T	3.58	
gl	6	
p-valor	0.0117	

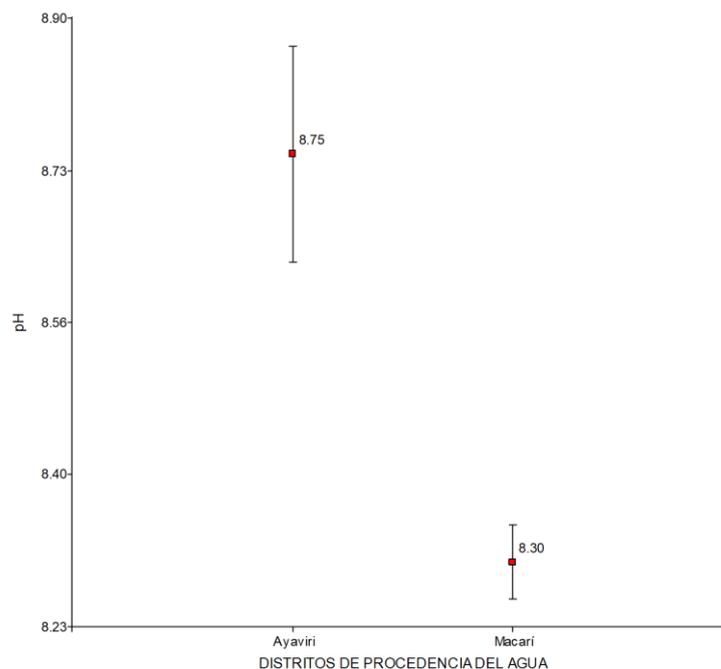


Figura 3. Comparación de promedios de pH del agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

Los valores de pH oscilaron entre 8.30 y 8.75, fueron superiores a los obtenidos por Curo (2017) en pozos del distrito de Huata (6.9 – 7.8), a los reportados por MINAGRI Perú (1998), en pozos tubulares de Pucallpa donde registraron valores de 3.668 y 8.10 y Solano (2005), quien en pozos en Costa Rica registró valores de 6.63 y 7.10. Por otro lado, fueron similares a Valdivia (2017) quien en aguas subterráneas de Camaná reportan con valores de 6.35 y 8.84, a los obtenidos por López (2012) con valores de 6.84 y 7.60. Según la norma vigente de Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECAs) el D. S. 004-2017-MINAM categoría 3, los valores de pH superan lo recomendado para riego de



vegetales (6.5 – 8.5) y bebida de animales (6.5 – 8.4) en la categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales), debiéndose probablemente a la concentración de carbonatos, bicarbonatos, entre otros compuestos alcalinos que presentan dichas aguas, asimismo, podrían originar corrosión de instalaciones tubulares y efectos adversos en la digestión ruminal, también se afirma que a pH elevados se reduce el efecto de la cloración.

La variación del pH, se debe a la concentración de iones H^+ e OH^- , que otorgan acidez o alcalinidad al agua, y es variable debido probablemente al movimiento de las aguas subterráneas y la presencia de organismos fotosintéticos de la zona, así como también a los fenómenos como la fermentación microbiana, nitrificación del amonio y la oxidación de sulfuros que provocan una reducción del pH por la generación de CO_2 (Paredes, 2013). El pH presenta una tendencia a pasar de un pH básico a un pH ácido conforme aumentan las lluvias, este efecto se presenta más marcado en las muestras de aguas obtenidas de los pozos, los contaminantes antropogénicos juegan un rol importante en la contaminación del manto acuífero por procesos de difusión por la contaminación presente tal como reporta Orosco *et al.* (2008).

El contenido de hidrógeno en una muestra de agua es muy importante para el caso de calidad de las aguas naturales y es preferible que sea un pH inferior a 8 ya que los valores superiores a 11, pueden originar la irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos (Metcalf & Eddy, 1995), asimismo, los contaminantes antropogénicos juegan un rol importante en la contaminación del manto acuífero por procesos de difusión por la contaminación presente (Orozco *et al.*, 2008).

4.1.2 Alcalinidad

En la tabla 5, se observa que las muestras de agua procedentes del distrito de Ayaviri, presentaron valores promedio de alcalinidad de 93.75 mg/l, con datos que fluctuaron entre 80 y 105 mg/l; mientras tanto que, en el distrito de Macarí la alcalinidad promedio fue de 157.50 mg/l, con datos que fluctuaron entre 145 y 170 mg/l. Los valores de alcalinidad presentaron un coeficiente de variabilidad de 12.57% para muestras de Ayaviri y de 6.61% para muestras de agua de Macarí, los cuales indican que poseen una baja dispersión de sus datos.

Tabla 5. Valores de alcalinidad en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Parámetro	Procedencia del agua	
	Ayaviri	Macarí
Alcalinidad (mg/l)	80.00	160.00
	105.00	170.00
	102.00	145.00
	88.00	155.00
Promedio	93.75	157.50
C. V. (%)	12.57	6.61

Los valores de alcalinidad de ambas zonas de estudio (Ayaviri y Macarí) presentaron diferencia estadística significativa ($T=-8.11$; $gl=6$; $P=0.0002$) (Tabla 6), con una media superior en muestras de agua procedentes del distrito de Macarí (157.50 mg/l) con respecto a la localidad de Ayaviri (93.75 mg/l) según la prueba de Tukey (Figura 4).

Tabla 6. Prueba de T de los valores de alcalinidad en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

	Grupo 1	Grupo 2
	Ayaviri	Macarí
n	4	4
Media	93.75	157.50
T	-8.11	
gl	6	
p-valor	0.0002	

Los valores de alcalinidad variaron entre 93.75 y 157.50 mg/l, y fueron inferiores a los reportados por Pérez *et al.* (2003), quienes, en aguas subterráneas de pozos del estado de Hidalgo en México, reportan los siguientes valores de bicarbonatos (alcalinidad) que oscilaron entre 232.01 y 422.60 mg/l. Según las normas de los ECAs (D. S. 004-2017-MINAM) categoría 3, los valores de alcalinidad (bicarbonatos) se encuentran por debajo de los parámetros recomendados para la categoría 3 para riego de vegetales (518 mg/l).

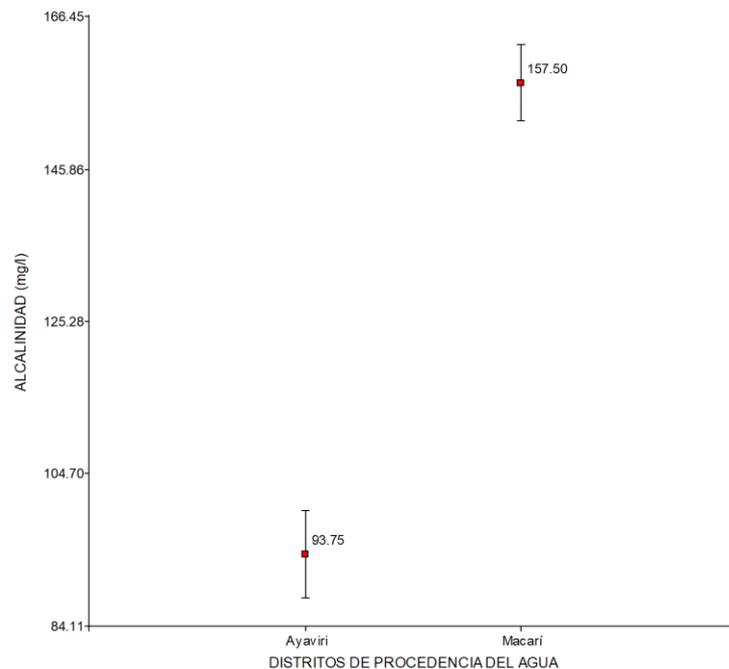


Figura 4. Comparación de los valores de alcalinidad en agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

Los mayores valores de alcalinidad, a pesar de estar por debajo del rango permitido, tendrían su origen en ácidos débiles fosfatados presentes en el agua, debido a la contaminación por fertilizantes fosfatados (ECOFLUIDOS, 2012), principalmente en el distrito de Macarí, y originaría la disminución de micronutrientes como son el hierro, zinc y manganeso, también causaría un desequilibrio en la relación Ca/Mg que alteraría la fisiología de las plantas. Su posible solución radicaría en la aplicación de los ácidos nítrico, fosfórico y sulfúrico, presentes muchos de ellos en los agroquímicos líquidos, para usarlos fácilmente en forma segura, corta y aportando nutrientes a las plantas. Mientras que, desde el punto de vista sanitario, tiene poca importancia, ya que cuando los valores de alcalinidad son elevados, el agua posee un mal sabor y los animales lo rechazan dejando de beberlas (Jimeno, 1998).

La alcalinidad significa la capacidad tampón del agua, es decir la capacidad del agua de neutralizar el pH de una solución y así evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido, por tanto, estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7, pero cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye y lograría causar daños a la vida acuática. La alcalinidad total del agua constituye la sumatoria del

carbonato, del bicarbonato y de los hidróxidos, aunque no posee importancia directa desde el punto de vista sanitario, es importante considerarla cuando se relaciona a los procesos de coagulación y corrección del poder corrosivo del agua, pero aguas con alta alcalinidad son usualmente de mal sabor, por lo que son rechazadas para el consumo humano (Cava & Ramos, 2016).

4.1.3 Conductividad

En la tabla 7, se observa que las muestras de agua procedentes del distrito de Ayaviri, presentaron valores promedio de conductividad de 457.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los cuales variaron entre 466 y 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a su vez en Macarí el promedio fue de 1362.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los cuales variaron entre 1350 y 1375 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores de alcalinidad presentaron un coeficiente de variabilidad de 2.61% para muestras de Ayaviri y de 11% para muestras de agua de Macarí, los cuales indican que poseen una baja dispersión de sus datos.

Tabla 7. Valores de conductividad en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Parámetro	Procedencia del agua	
	Ayaviri	Macarí
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	466.00	1375.00
	470.00	1374.00
	447.00	1350.00
	448.00	1352.00
Promedio	457.75	1362.75
C. V. (%)	2.61	11.00

Los valores de conductividad determinado en ambas zonas de estudio (Ayaviri y Macarí) presentaron diferencia estadística significativa ($T=-99.97$; $gl=6$; $P<0.0001$) (Tabla 8), con una media superior en muestras de agua procedentes del distrito de Macarí (1362.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$) con respecto a la localidad de Ayaviri (457.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Figura 5).

Los valores de CE fluctuaron de 457.75 y 1362.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y fueron inferiores a los reportados por Curo (2017) quien en pozos de Huata (Puno), registraron valores de 1660.70 y 2448.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a los citados por Baccaro *et al.* (2006), quienes mencionaron

valores de 1.11 a 1.39 dS/m; en contraste fueron superiores a los obtenidos por López (2012) en pozos en El Salvador con 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a los reportados por Fernández & Fernández (2007) en aguas subterráneas de pozos de Cuba valores de 400 y 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Según las normas ECAs (D. S. 004-2017-MINAM) categoría 3, los valores de conductividad se encuentran por debajo de los parámetros recomendados para riego de vegetales (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y bebida de animales (5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Tabla 8. Prueba de T de los valores de alcalinidad en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

	Grupo 1	Grupo 2
	Ayaviri	Macarí
n	4	4
Media	457.75	1362.75
T		-99.97
gl		6
p-valor		<0.0001

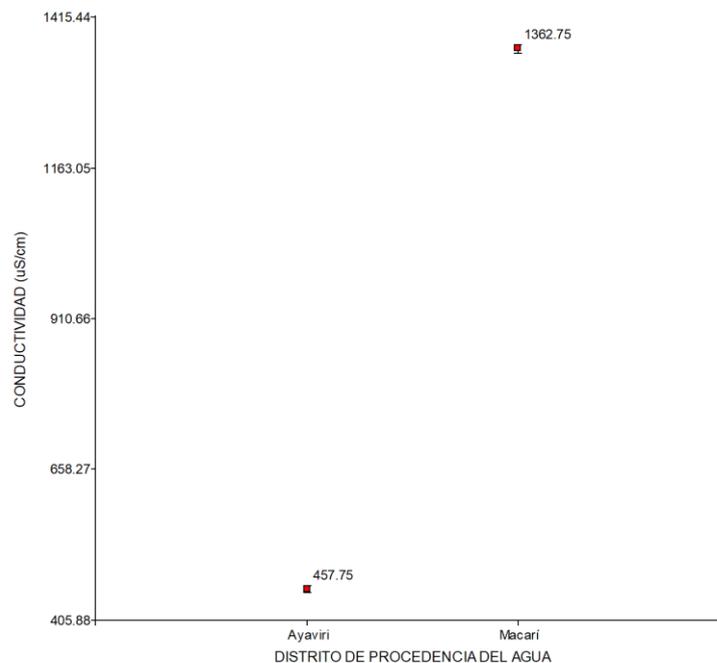


Figura 5. Comparación de los promedios de conductividad del agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.



El agua del distrito de Macarí presentó el mayor promedio de conductividad, debido probablemente a que presenta disuelto muchos iones en su composición y por tanto tendría la capacidad de conducir la energía eléctrica, el cual dependerá de la presencia de iones, la concentración total, su propiedad de movilidad, su valencia, las concentraciones relativas, y finalmente de la temperatura (García, 2012). Su alto contenido de iones disueltos origina un agua salina, el cual si fuera consumido por los animales alteraría el balance electrolítico, terminando en manifestaciones similares a una deshidratación, por tanto, no será apetecible a los animales, pudiendo llegar a la muerte del animal (German *et al.*, 2008), mientras que en plantas el agua de riego con una alta conductividad equivalente a alta concentración de iones (salinidad), afecta la fisiología vegetal y su metabolismo, mediante desequilibrios iónicos y estrés osmótico, destruyéndose la homeostasis entre el potencial hídrico y la distribución de sus iones (Alcaraz, 2012).

Se puede aseverar de las aguas del distrito de Macarí posee mayor contenido de iones disueltos que las aguas del distrito de Ayaviri, ya que la conductividad, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica, donde el agua pura, prácticamente no conduce la corriente, al contrario el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica, debido a que poseen iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad, por tanto mientras mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad (Cava & Ramos, 2016). En las muestras de agua del distrito de Macarí, la conductividad de las aguas subterráneas puede ser disminuidas cuando son sometidas a ebullición, siendo esto favorable, este hecho se corrobora estadísticamente cuando se aplica la prueba de Friedman, la cual establece que existe una diferencia significativa entre la conductividad de las aguas subterráneas con ebullición y la de las aguas sin ebullición (Flores, 2016).

4.1.4 Sulfatos

En la Tabla 9, se observa que las muestras de agua procedentes del distrito de Ayaviri, presentaron valores promedio de sulfatos de 14.78 mg/l, con valores que oscilaron entre 12.10 y 17.30 mg/l y en Macarí el promedio fue de 25.48 mg/l, con valores que oscilaron entre 22.00 y 28.30 mg/l. Los valores de sulfatos presentaron un coeficiente

de variabilidad de 14.51% para muestras de Ayaviri y de 11.02% para muestras de agua de Macarí, los cuales indican que poseen una baja dispersión de sus datos.

Tabla 9. Valores de sulfatos en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Parámetro	Procedencia del agua	
	Ayaviri	Macarí
Sulfatos (mg/l)	12.10	27.10
	15.20	28.30
	17.30	22.00
	14.50	24.50
Promedio	14.78	25.48
C. V. (%)	14.51	11.02

Los contenidos de sulfatos determinado en ambas zonas de estudio (Ayaviri y Macarí) presentaron diferencia estadística significativa ($T=-6.06$; $gl=6$; $P=0.0009$) (Tabla 10), con una media superior en muestras de agua procedentes del distrito de Macarí (25.48 mg/l) con respecto a la localidad de Ayaviri (14.78 mg/l) (Figura 6).

Tabla 10. Prueba de T de los valores de sulfatos en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

	Grupo 1	Grupo 2
	Ayaviri	Macarí
n	4	4
Media	14.78	25.48
T	-6.06	
gl	6	
p-valor	0.0009	

Los valores de sulfatos oscilaron entre 14.78 y 25.48 mg/l, éstos fueron inferiores a los mencionados por Ortiz (2015), quienes en pozos del distrito de Gregorio Albarracín (Tacna) obtuvieron valores de 300.4 mg/l, a los registrados por López (2012) que en pozos de El Salvador encontraron valores de 6.86 y 53.39 mg/l. Según las normas ECAs

(D. S. 004-2017-MINAM) categoría 3, los valores de sulfatos se encuentran por debajo de los parámetros recomendados para riego de vegetales y bebida de animales (ambos con 1000 mg/l).

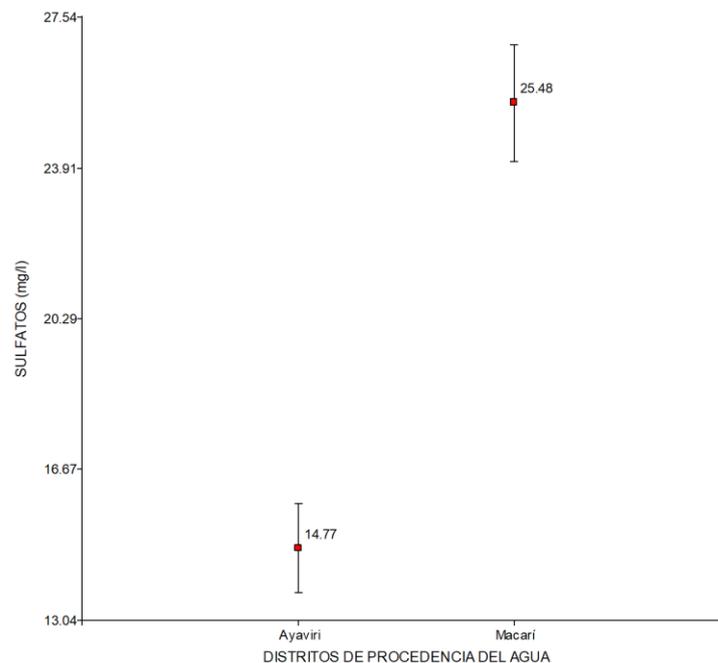


Figura 6. Comparación de promedios de valores de sulfatos en agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

El agua del distrito de Macarí, presentó el mayor promedio de sulfatos, traería consigo la deficiencia de cobre en los animales, llegando a originar polioencefalomalacia, una alteración nerviosa ganado aunado a una ceguera, por otro lado, acidificarían los fluidos biológicos, alterando el balance ácido-base ante altas concentraciones de sulfatos, siendo uno de sus tratamientos la osmosis inversa separando el agua de las sales minerales (García, 2012).

Los bajos contenidos de sulfatos encontrados en agua del distrito de Ayaviri, disminuiría el valor nutritivo de los pastos debido a la carencia de azufre, causando la menor síntesis de cisteína, metionina y otros aminoácidos esenciales. En caso del trigo originan granos de masa dura con pequeña elasticidad, disminuyendo su calidad para su uso en panadera. La aplicación de sulfatos a una pradera se debería de realizar en razón de que incrementa la ganancia de peso en corderos, que se alimentaban en praderas de trébol y gramíneas. La deficiencia de sulfato debido a poca movilidad en la planta, se manifiesta en hojas jóvenes, ante ellos utilizan el SO_2 atmosférico, que es absorbido por



las estomas, distribuyéndose en toda la planta para la biosíntesis de aminoácidos, proteínas y sulfatos (Mengel & Kirkby, 1982).

El ion sulfato procede del lavado de materiales sedimentarios salinos, de la oxidación de sulfuros, de la descomposición de sustancias orgánicas, etc. La disolución de yeso (y anhidrita) representa la mayor cantidad aportada de este ion a las aguas subterráneas. Su comportamiento está condicionado por su tendencia a formar iones complejos con sodio y calcio y a incorporarse a procesos biológicos (APHA *et al.*, 1992). Al igual que los cloruros la concentración de sulfatos depende de la química del subsuelo, rocas sulfatas como el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la anhidrita (CaSO_4) (Flores, 2016).

Si en caso los valores de sulfatos estuvieran elevados, podrían proceder de los constituyentes disueltos de la lluvia, el umbral del sabor para el sulfato de sodio y sulfato de calcio en agua es de 250 mg/l y 100 mg/l respectivamente, el sulfato es uno de los aniones menos tóxicos; sin embargo, en grandes concentraciones, se han observado catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal; ocasionando un efecto laxativo cuando se combina con calcio y magnesio, los dos componentes más comunes de la dureza del agua (Metcalf & Eddy, 1995).

4.1.5 Cloruros

En la Tabla 11, se observa que las muestras de agua procedentes del distrito de Ayaviri, presentaron valores promedio de cloruros de 56.10 mg/l, con cifras que fluctuaron entre 41.99 y 67.99 mg/l, y en Macarí las muestras de agua presentaron un valor promedio de 269.46 mg/l, con cifras que fluctuaron entre 250.63 y 283.94 mg/l. Los valores de sulfatos presentaron un coeficiente de variabilidad de 19.36% para muestras de Ayaviri y de 6.01% para muestras de agua de Macarí, los cuales indican que poseen una baja dispersión de sus datos.

Los contenidos de cloruros determinado en ambas zonas de estudio (Ayaviri y Macarí) presentó diferencia estadística significativa ($T=-21.89$; $gl=6$; $P<0.0001$) (Tabla 12), con una media superior en muestras de agua procedentes del distrito de Macarí (269.47 mg/l) con respecto a la localidad de Ayaviri (56.10 mg/l) (Figura 7).

Tabla 11. Valores de cloruros en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Parámetro	Procedencia del agua	
	Ayaviri	Macarí
Cloruros (mg/l)	67.99	283.94
	59.56	250.63
	41.99	281.94
	54.87	261.35
Promedio	56.10	269.46
C. V. (%)	19.36	6.01

Tabla 12. Prueba de T de los valores de cloruros en agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

	Grupo 1	Grupo 2
	Ayaviri	Macarí
n	4	4
Media	56.10	269.47
T	-21.89	
gl	6	
p-valor	<0.0001	

Los valores de cloruros variaron entre 56.10 y 269.46 mg/l, éstos fueron similares a los reportados por Curo (2017) quienes en pozos del distrito de Huata (Puno) registró valores de 91.6 y 168.1 mg/l y superiores a los obtenidos por Pérez *et al.* (2003), en aguas subterráneas en pozos del estado de Hidalgo en México, reportan los siguientes valores de cloruros entre 1.06 y 6.80 mg/l; según las normas ECAs (D. S. 004-2017-MINAM), los valores de cloruros superan los parámetros recomendados para la categoría 1 (Poblacional y Recreacional) de 250 mg/l (A1), pero son inferiores a los 500 mg/l emanados en la calidad A2, así como para riego de vegetales (500 mg/l) en la categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales).

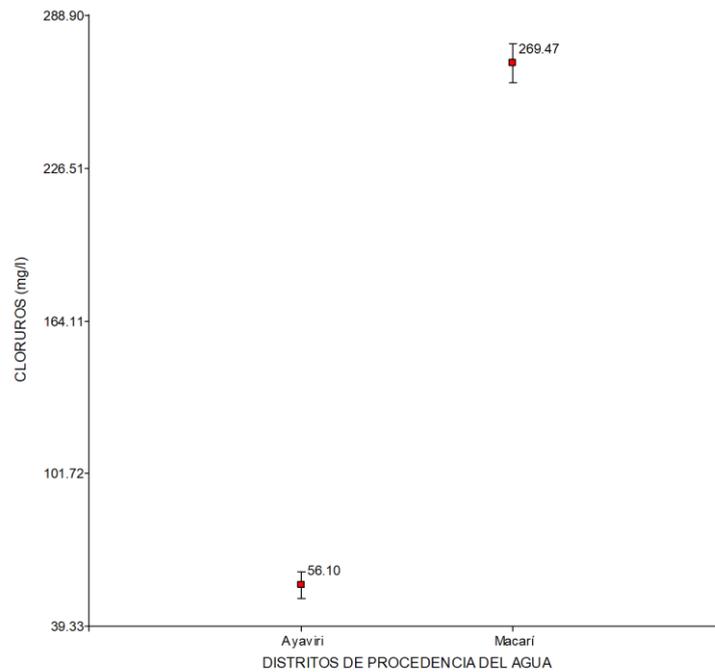


Figura 7. Comparación de promedios de valores de cloruros del agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

El agua del distrito de Macarí, presentó el mayor promedio de cloruros, esto se debería a la presencia de infiltraciones de agua subterránea en las alcantarillas contiguas o presencia de aguas salinas ya que se constituyen también como una potencial fuente de cloruros y sulfatos (Sawyer *et al.*, 2000). Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales; las heces humanas, por ejemplo, suponen unos 6 g de cloruros por persona día; un contenido elevado de cloruro puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal; el umbral del gusto de los cloruros es de 200 mg/l a 300 mg/l; los cloruros no tienen un efecto nocivo en la salud, pero en concentraciones superiores a 250 mg/l este valor está basado en el sabor del agua el cual es percibido organolépticamente, y no en algún daño fisiológico conocido (Metcalf & Eddy, 1995; APHA, 2005).

El mayor promedio de concentración de cloruros se presentó en agua de pozos tubulares del distrito de Macarí, a pesar de que no supera los valores permitidos en la norma vigente, estaría acumulándose año a año los cloruros en los suelos de los campos de cultivo, ya que reduce su crecimiento en las plantas, ya que disminuye el potencial osmótico del suelo, originando una toxicidad específica asociada a Na y Cl, desequilibrios nutricionales a causa de interferencia de los iones con los nutrientes esenciales (Zhu,



2001), afecta el contenido de clorofila (Parés & Basso, 2013) o inactivan las enzimas del proceso fotosintético (Argentel *et al.*, 2009), influyen el balance, la movilidad y el transporte de minerales tales como K, Zn, Cu y Fe en el interior de la planta (Attaa *et al.*, 1992), perturbando la estructura de la membrana disminuyendo los niveles fundamentales de K (Cramer *et al.*, 1990) y desplazando el Na al Ca desde la membrana plasmática hacia el espacio intercelular (Cramer *et al.*, 1985). Para contrarrestar los efectos del NaCl, las plantas disminuyen la superficie de tejido foliar y el incremento de tallos (Agarie *et al.*, 2007).

4.2 EFECTO DEL AGUA DE POZOS TUBULARES DE LOS DISTRITOS DE MACARÍ Y AYAVIRI EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE ALFALFA, LECHUGA Y QUINUA

4.2.1 Efectos en la germinación de semillas

a. Germinación de alfalfa

En la Tabla 13, se visualiza que, al humedecer las semillas de alfalfa con muestras de agua de los pozos tubulares de Ayaviri, se obtuvo un promedio de germinación del 82.50% con cifras que oscilaron entre 80 y 90%, siendo mayor a 65% de germinación humedeciendo con muestras de agua del distrito de Macarí, con fluctuaciones entre 60 y 70%; ambos fueron superiores al tratamiento control donde se obtuvo una germinación del 35% con resultados que varían entre 30 y 40%. La germinación en semillas de alfalfa humedecidas con agua de pozos de Ayaviri superó en 17.5 cm a los humedecidos con agua de Macarí. Los coeficientes de variación oscilaron entre 6.06% y 16.50% en los porcentajes de germinación de semillas de alfalfa humedecidas con aguas de pozos tubulares del distrito de Ayaviri y control respectivamente, dichos valores indican baja dispersión de datos.

Tabla 13. Germinación de semillas de alfalfa humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.

Semillas	Germinación (%)		
	Pozos de Ayaviri	Pozos de Macarí	Control
Alfalfa	80	70	40
	90	60	30
	80	60	40
	80	70	30
Prom	82.50	65.00	35.00
C. V. (%)	6.06	8.88	16.50

Al realizar la prueba estadística del análisis de varianza, los porcentajes de germinación de semillas de alfalfa presentaron diferencia estadística significativa ($F=75.55$; $gl=2$; $P<0.0001$) (Tabla 14), siendo mayor la germinación en semillas de

quinua humedecidas con agua del distrito de Ayaviri seguido de Macarí (Tabla 15) según la prueba de Tukey realizada (Figura 8).

Tabla 14. Análisis de variancia de los valores de germinación de semillas de alfalfa, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	4616.67	2	2308.33	75.55	<0.0001
Error	275.00	9	30.56		
Total	4891.67	11			

Tabla 15. Prueba de Tukey de los valores de germinación de semillas de alfalfa, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Tratamientos	Medias	n	EE	Significancia
Ayaviri	82.50	4	2.76	A
Macarí	65.00	4	2.76	B
Control	35.00	4	2.76	C

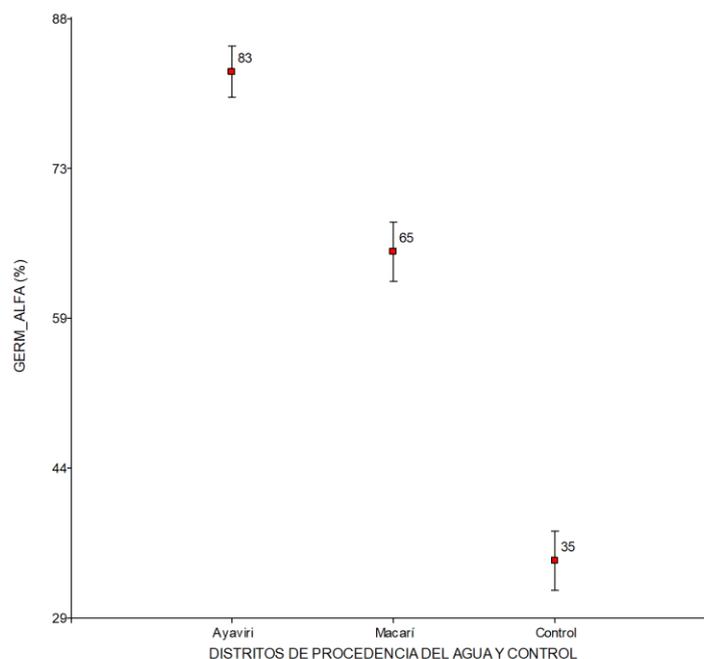


Figura 8. Comparación de promedios de germinación de semillas de alfalfa, humedecidas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

b. Germinación de lechuga

En la Tabla 16, se muestra que, al humedecer las semillas de lechuga con muestras de agua de los pozos tubulares de Ayaviri, se obtuvo un promedio de germinación del 72.50% con cifras que oscilaron entre 70 y 80%, siendo similar a las semillas humedecidas con muestras de agua del distrito de Macarí, con valores entre 60 y 80%; ambos fueron superiores al tratamiento control donde se obtuvo una germinación del 47.50% con resultados que varían entre 40 y 50%. La germinación en semillas de lechuga humedecidas con agua de pozos de Ayaviri presentó el mismo promedio a los humedecidos con agua de Macarí. Los coeficientes de variación oscilaron entre 6.90% y 13.21% en los porcentajes de germinación de semillas de alfalfa humedecidas con aguas de pozos tubulares del distrito de Ayaviri y Macarí respectivamente, dichos valores indican baja dispersión de datos.

Tabla 16. Germinación de semillas de lechuga humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.

Semillas	Germinación (%)		
	Pozos de Ayaviri	Pozos de Macarí	Control
Lechuga	70	80	50
	80	80	40
	70	60	50
	70	70	50
Prom	72.50	72.50	47.50
C. V. (%)	6.90	13.21	10.53

Al realizar la prueba estadística del análisis de varianza, los porcentajes de germinación de semillas de lechuga presentaron diferencia estadística significativa ($F=17.65$; $gl=2$; $P=0.0008$) (Tabla 17), donde los porcentajes de germinación de semillas de lechuga humedecidas con agua del distrito de Ayaviri seguido de Macarí fueron similares y superaron al tratamiento control (Tabla 18), según la prueba de Tukey realizada (Figura 9).

Tabla 17. Análisis de variancia de los valores de germinación de semillas de lechuga, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	1666.67	2	833.33	17.65	0.0008
Error	425.00	9	47.22		
Total	2091.67	11			

Tabla 18. Prueba de Tukey de los valores de germinación de semillas de lechuga, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Tratamientos	Medias	n	E. E.	Significancia
Ayaviri	72.50	4	3.44	A
Macarí	72.50	4	3.44	A
Control	47.50	4	3.44	B

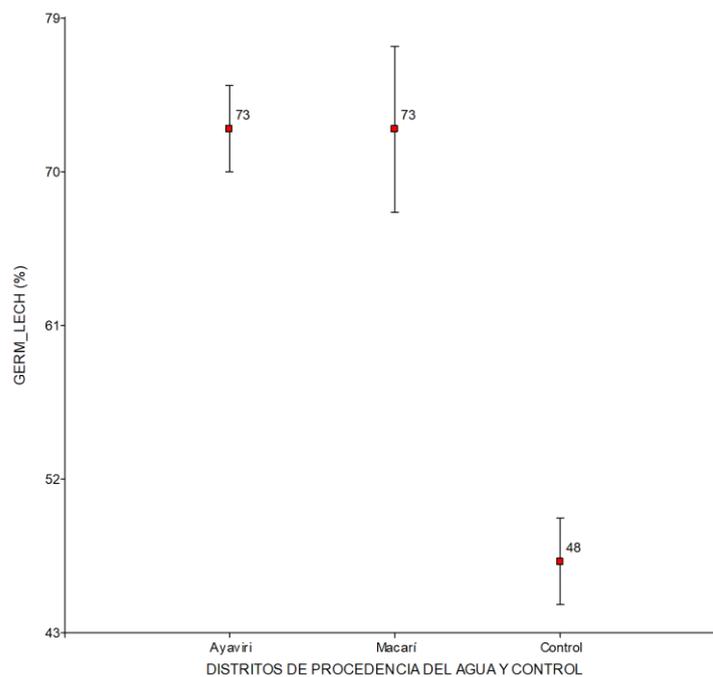


Figura 9. Comparación de promedios de germinación de semillas de lechuga, humedecidas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

c. Germinación de quinua

En la Tabla 19, se visualiza que las semillas de quinua al humedecer con muestras de agua de los pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, se obtuvo un promedio de germinación del 100%; siendo superiores al tratamiento control donde se obtuvo una germinación del 65% con resultados que varían entre 60 y 70%. Los coeficientes de variabilidad en la germinación de semillas de alfalfa variaron entre 6.06 y 16.50%, las de lechuga entre 6.90 y 13.21% y las de quinua entre 0.00 y 8.88%, indicando que los datos presentaron baja dispersión con respecto a su promedio. La germinación en semillas de quinua humedecidas con agua de pozos de Ayaviri fue similar a los humedecidos con agua de Macarí, por tanto, su coeficiente de variación resultó nulo, solo en el control la dispersión fue 8.88%.

Tabla 19. Germinación de semillas de quinua humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.

Semillas	Germinación (%)		
	Pozos de Ayaviri	Pozos de Macarí	Control
Quinua	100	100	60
	100	100	70
	100	100	60
	100	100	70
Prom	100.00	100.00	65.00
C. V. (%)	0.00	0.00	8.88

Al realizar la prueba estadística del análisis de varianza, los porcentajes de germinación de semillas de quinua presentaron diferencia estadística significativa ($F=147.00$; $gl=2$; $P<0.0001$) (Tabla 20), donde los porcentajes de germinación de semillas de quinua humedecidas con agua de los distritos de Ayaviri y Macarí fueron similares y superaron al tratamiento control (Tabla 21), según la prueba de Tukey realizada (Figura 10).

Tabla 20. Análisis de variancia de los valores de germinación de semillas de quinua, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3266.67	2	1633.33	147.00	<0.0001
Error	100.00	9	11.11		
Total	3366.67	11			

Tabla 21. Prueba de Tukey de los valores de germinación de semillas de quinua, humedecidas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Tratamientos	Medias	n	EE	Significancia
Ayaviri	100.00	4	1.67	A
Macarí	100.00	4	1.67	A
Control	65.00	4	1.67	B

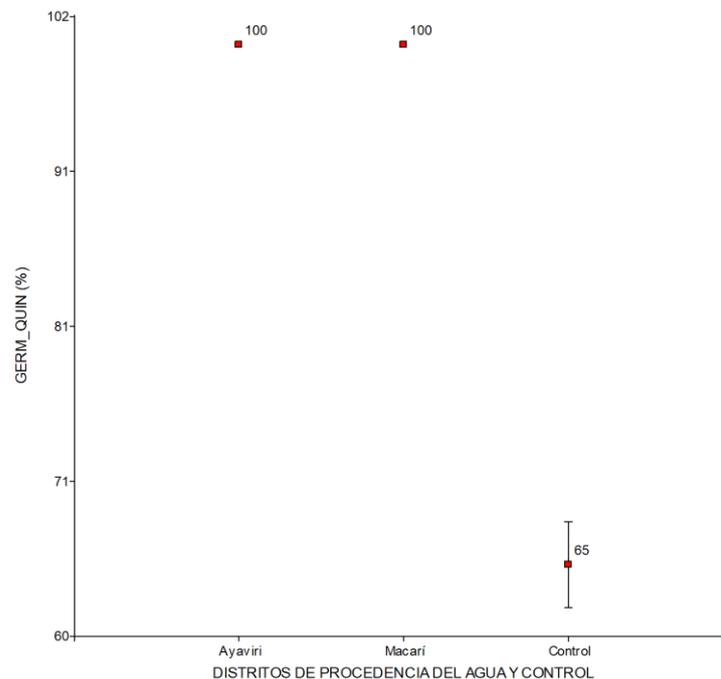


Figura 10. Comparación de promedios de germinación de semillas de quinua, humedecidas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.



Los porcentajes de germinación fue inferior al humedecer las semillas con agua de pozos tubulares del distrito de Macarí, estos resultados se deberían al mayor contenido de sales que poseería el agua, ya que su conductividad fue mayor, donde las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados positivamente tales como sodio (Na^+), calcio (Ca^{+2}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{+2}) y entre los negativos el cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^-), carbonato y bicarbonato, en tal sentido está relacionado con la salinidad y por tanto, varía según la fuente de agua, ya sea agua subterránea, agua de escorrentía de la agricultura, aguas residuales municipales y precipitación (Fernández & Fernández, 2007), en tal sentido, se asume que el agua de pozos tubulares del distrito de Macarí tendría alguna fuente de contaminación antes mencionada, que estaría reduciendo la germinación en semillas de alfalfa; mientras que la germinación de lechuga y quinua fueron similares, posiblemente debido a que se hayan adaptado a dichos valores de conductividad del agua (glicofitas).

Las semillas de alfalfa al regarlas con agua de pozos tubulares de Macarí y agua destilada, tuvieron menores porcentajes de germinación, a comparación de lechuga y quinua, debiéndose a situaciones desfavorables para su desarrollo y funcionamiento óptimo como las características fisicoquímicas del agua y su medio ambiente (Azcon & Talon, 1993), donde los parámetros de salinización y conductividad provoca alteraciones en la presión osmótica en sus células, disminuyendo la disminución del potencial de solutos de agua (Dodd & Donovan, 1999), llegando a perder su turgencia y finalmente fenecer, interfiriendo así el crecimiento de la mayoría de los cultivos y las plantas (Porta *et al.*, 1999).

Lo cual concuerda con los parámetros de alcalinidad, conductividad, sulfatos y cloruros elevados en el agua de pozos tubulares del distrito de Macarí, mientras que el valor de pH no posee una relación directa con la germinación de semillas en laboratorio (Viloria & Méndez, 2011). Por otro lado, Prisco & O'Leary (1970) manifiestan que un elevado contenido de sales en el agua como cloruro de sodio, inhibe la germinación debido al aumento de la concentración de iones en el embrión, ocasionando un efecto tóxico. Añadiendo a ello, los menores porcentajes de germinación se obtuvo al regarlas con agua destilada, debiéndose probablemente a la carencia de sales minerales en razón de que poseen ínfimos valores de conductividad entre 3 a 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



La alcalinidad del agua de pozos tubulares del distrito de Macarí fueron superiores a los del distrito de Ayaviri que, a pesar de estar por debajo de los límites permitidos, al parecer no presentaron grandes efectos sobre la germinación de semillas de *Chloris gayana* cv. Finecut, por lo que existiría plantas tolerantes a la alcalinidad, tales como la lechuga y la quinua poseería altos valores de germinación, por lo que se logró que *C. gayana* tuvo un crecimiento adecuado en suelos salino/alcalinos, tal como lo afirma Avaca (2015), pero muchas plantas ante la alcalinidad indujeron la disminución de la germinación del 50% en trigo (Yang *et al.*, 2010), 70% en arroz (Wang *et al.*, 2011), y el 100% en alfalfa (Li *et al.*, 2010), asimismo afecta la velocidad de germinación, ante la elevación de la salinidad (Debez *et al.*, 2004) y la alcalinidad del medio (Derakshan & Herekhloo, 2013).

4.2.2 Efectos en la longitud de tallo y grosor de tallo

a. Longitud de tallo y grosor de tallo en plántulas de alfalfa

En la Tabla 22, se visualiza que, al regar las plántulas de alfalfa con agua de los pozos tubulares de Ayaviri, se obtuvo un promedio de longitud total de 8.72 cm y al aplicar agua de pozos tubulares de Macarí, se obtuvo un promedio de longitud total de 7.15 cm; mientras que en el tratamiento control se obtuvo un promedio de longitud total de 4.36 cm. La longitud total de plántulas de alfalfa fue 1.57 cm superior cuando se administró agua de pozos del distrito Ayaviri con respecto al agua de Macarí. En plántulas de alfalfa, el coeficiente de variación de la longitud total fue de 10.36%, 7.15% y 21.03% luego de realizar riegos con agua de pozos tubulares de Ayaviri, Macarí y el tratamiento control (agua destilada), respectivamente, siendo estos valores indicadores de que los datos obtenidos de longitud total, presentaron entre leves y bajas dispersiones con respecto a su promedio.

Tabla 22. Mediciones de longitud total de plántulas de alfalfa regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.

Planta	Longitud total de plántulas (cm)		
	Ayaviri	Macarí	Control
Alfalfa	9.21	7.30	5.02
	9.04	7.99	5.12
	9.25	6.29	4.15
	7.37	7.01	3.15
Prom	8.72	7.15	4.36
C. V. (%)	10.36	9.85	21.03

Al realizar la prueba estadística del análisis de varianza, las longitudes totales de plántulas de alfalfa presentaron diferencia estadística significativa ($F=27.16$; $gl=2$; $P=0.0002$) (Tabla 23), donde las longitudes totales de alfalfa regadas con agua de los distritos de Ayaviri y Macarí fueron similares y superaron al tratamiento control (Tabla 24), según la prueba de Tukey realizada (Figura 11).

Tabla 23. Análisis de variancia de los valores de la longitud total de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	38.96	2	19.48	27.16	0.0002
Error	6.45	9	0.72		
Total	45.42	11			

Tabla 24. Prueba de Tukey de los valores de la longitud total de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Tratamientos	Medias	n	EE	Significancia
Ayaviri	8.72	4	0.42	A
Macarí	7.15	4	0.42	A
Control	4.36	4	0.42	B

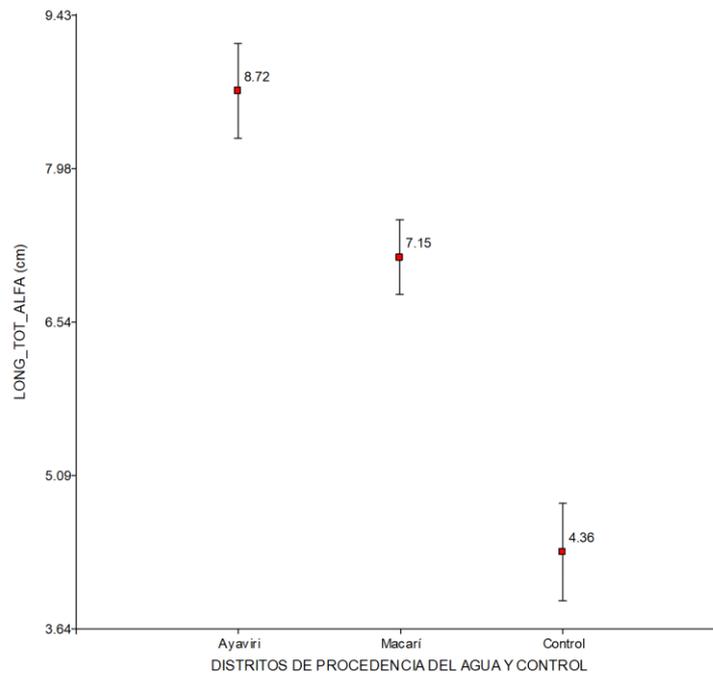


Figura 11. Comparación de promedios de longitud total de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

En la Tabla 25, se visualiza que, al regar las plántulas de alfalfa con muestras de agua de los pozos tubulares de Ayaviri, se obtuvo un promedio de grosor de tallo de 0.80 mm y al aplicar agua de pozos tubulares de Macarí, se obtuvo un promedio grosor de tallo de 0.63 mm; mientras que en el tratamiento control se obtuvo un grosor de tallo de 0.52 mm. El grosor de tallo de plántulas de alfalfa fue 0.17 mm superior cuando se administró agua de pozos del distrito Ayaviri con respecto al agua de Macarí. Los valores del grosor de los tallos presentaron 10.21%, 6.73% y 1.85% de coeficiente de variación al regarlas con agua de pozos tubulares de Ayaviri, Macarí y el tratamiento control respectivamente, siendo estos valores indicadores de que los datos obtenidos de grosor de tallos, presentaron entre leves y bajas dispersiones con respecto a su promedio.

Tabla 25. Mediciones de grosor de tallo de plántulas de alfalfa regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.

Planta	Grosor de tallos de plántulas (mm)		
	Ayaviri	Macarí	Control
Alfalfa	0.90	0.65	0.52
	0.80	0.68	0.51
	0.80	0.59	0.53
	0.70	0.60	0.51
Prom	0.80	0.63	0.52
C. V. (%)	10.21	6.73	1.85

Al realizar la prueba estadística del análisis de varianza, los valores del grosor de tallo de plántulas de alfalfa presentaron diferencia estadística significativa ($F=28.36$; $gl=2$; $P=0.0001$) (Tabla 26), donde los mayores valores de grosor de tallo de plántulas de alfalfa se lograron al regar con agua de pozos tubulares de Ayaviri, superando a las regadas por pozos tubulares de Macarí y al tratamiento control (Tabla 27), según la prueba de Tukey realizada (Figura 12).

Tabla 26. Análisis de variancia de los valores de grosor de tallo de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	0.16	2	0.08	28.36	0.0001
Error	0.03	9	2.9 E-3		
Total	0.19	11			

Tabla 27. Prueba de Tukey de los valores de grosor de tallo de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Tratamientos	Medias	n	EE	Significancia
Ayaviri	0.80	4	0.03	A
Macarí	0.63	4	0.03	B
Control	0.52	4	0.03	C

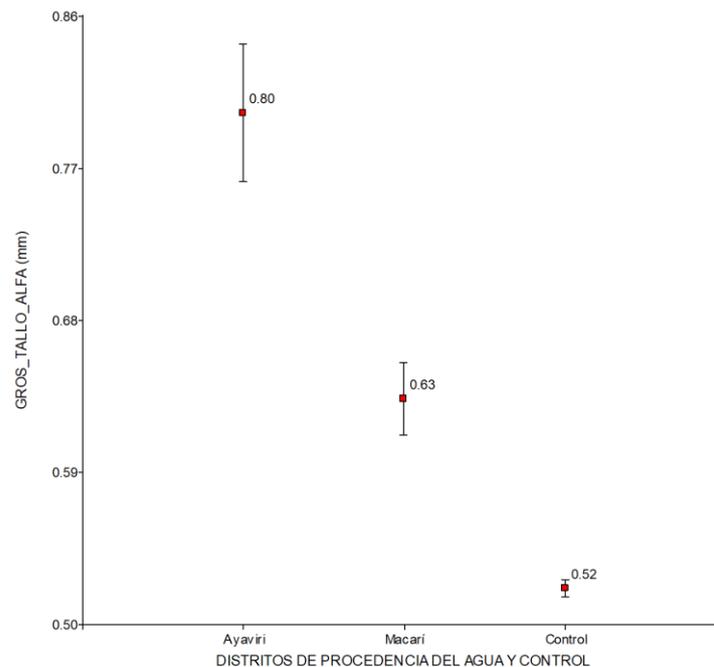


Figura 12. Comparación de promedios de grosor de tallos de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

b. Longitud de tallo y grosor de tallo en plántulas de lechuga

En la Tabla 28, se presenta que, al regar plántulas de lechuga con muestras de agua de los pozos tubulares de Ayaviri, se obtuvo un promedio de longitud total de 9.56 cm y al aplicar agua de Macarí, se obtuvo un promedio de longitud total de 6.43 cm; mientras que en el tratamiento control se obtuvo un promedio de longitud total de 4.59 cm. La longitud total de plántulas de lechuga fue 3.13 cm superior cuando se administró agua de pozos del distrito Ayaviri con respecto al agua de Macarí. En plántulas de lechuga, el coeficiente de variación de la longitud total fue de 6.97%, 15.49% y 13.14% luego de realizar riegos con agua de pozos tubulares de Ayaviri, Macarí y el tratamiento control (agua destilada), respectivamente, siendo estos valores indicadores de que los datos obtenidos de longitud total y grosor de tallos, presentaron entre leves y bajas dispersiones con respecto a su promedio.

Tabla 28. Mediciones de longitud total de plántulas de lechuga regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.

Planta	Longitud total de plántulas (cm)		
	Ayaviri	Macarí	Control
Lechuga	10.34	7.27	4.48
	9.85	5.28	4.21
	9.21	7.26	4.19
	8.84	5.92	5.47
Prom	9.56	6.43	4.59
C. V. (%)	6.97	15.49	13.14

Al realizar la prueba estadística del análisis de varianza, las longitudes totales de plántulas de lechuga presentaron diferencia estadística significativa ($F=42.11$; $gl=2$; $P<0.0001$) (Tabla 29), donde las longitudes totales de lechuga regadas con agua del distrito de Ayaviri fueron superiores a las regadas con agua de pozos tubulares de Macarí y superaron al tratamiento control (Tabla 30), según la prueba de Tukey realizada (Figura 13).

Tabla 29. Análisis de variancia de los valores de la longitud total de plántulas de lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	50.55	2	25.27	42.11	<0.0001
Error	5.40	9	0.60		
Total	55.95	11			

Tabla 30. Prueba de Tukey de los valores de la longitud total de plántulas de lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Tratamientos	Medias	n	EE	Significancia
Ayaviri	9.56	4	0.39	A
Macarí	6.43	4	0.39	B
Control	4.59	4	0.39	C

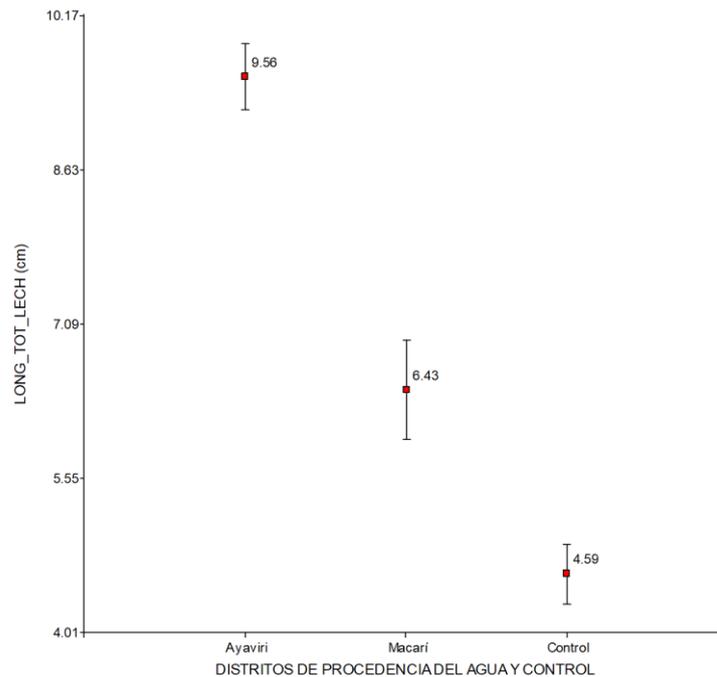


Figura 13. Comparación de promedios de longitud total de plántulas de lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

En la Tabla 31, se presenta que, al regar plántulas de lechuga con muestras de agua de los pozos tubulares de Ayaviri, se obtuvo un promedio de grosor de tallo de 1.60 mm y al regar con agua de pozos tubulares de Macarí, se obtuvo un promedio de grosor de tallo de 1.42 mm; mientras que en el tratamiento control se obtuvo un promedio de grosor de tallo de 1.15 mm. El grosor de tallo de plántulas de lechuga fue 0.18 mm superior cuando se administró agua de pozos del distrito Ayaviri con respecto al agua de Macarí. En plántulas de lechuga, el coeficiente de variación del grosor de los tallos presentó 5.10%, 13.64% y 2.25% de coeficiente de variación al regarlas con agua de pozos tubulares de Ayaviri, Macarí y el tratamiento control respectivamente, siendo estos valores indicadores de que los datos obtenidos de longitud total y grosor de tallos, presentaron entre leves y bajas dispersiones con respecto a su promedio.

Tabla 31. Mediciones de grosor de tallo de plántulas de lechuga regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.

Planta	Grosor de tallos de plántulas (mm)
--------	------------------------------------

	Ayaviri	Macarí	Control
Lechuga	1.70	1.14	1.18
	1.50	1.45	1.14
	1.60	1.59	1.12
	1.60	1.48	1.16
Prom	1.60	1.42	1.15
C. V. (%)	5.10	13.64	2.25

Al realizar la prueba estadística del análisis de varianza, los valores del grosor de tallo de plántulas de lechuga presentaron diferencia estadística significativa ($F=13.77$; $gl=2$; $P=0.0018$) (Tabla 32), donde valores de grosor de tallo de plántulas de lechuga fueron similares al regar con agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, superando al tratamiento control (Tabla 33), según la prueba de Tukey realizada (Figura 14).

Tabla 32. Análisis de variancia de los valores de grosor de tallo de plántulas de lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	0.41	2	0.20	13.77	0.0018
Error	0.13	9	0.01		
Total	0.54	11			

Tabla 33. Prueba de Tukey de los valores de grosor de tallo de plántulas de lechuga, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Tratamientos	Medias	n	EE	Significancia
Ayaviri	1.60	4	0.06	A
Macarí	1.42	4	0.06	A
Control	1.15	4	0.06	B

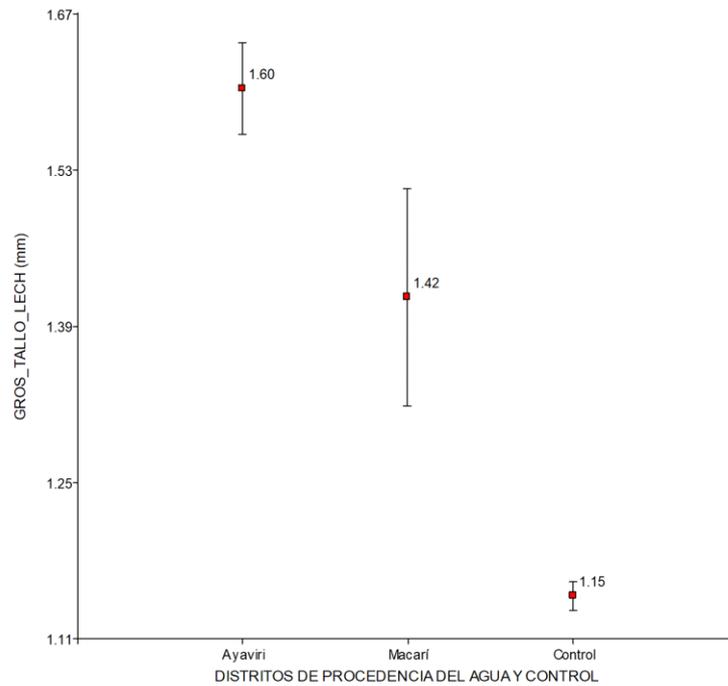


Figura 14. Comparación de promedios de grosor de tallos de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

c. Longitud de tallo y grosor de tallo en plántulas de quinua

En la Tabla 34, se muestra que, las plántulas de quinua regadas con agua de los pozos tubulares de Ayaviri, se obtuvo un promedio de longitud total de 13.24 cm y luego de aplicar agua de pozos tubulares de Macarí, se obtuvo un promedio de grosor de tallo de 1.01 mm; mientras que en el tratamiento control se obtuvo un promedio de grosor de tallo de 0.83 mm. La longitud total de plántulas de alfalfa fue 6.58 cm superior cuando se administró agua de pozos del distrito Ayaviri con respecto al agua de Macarí. En plántulas de quinua, el coeficiente de variación del grosor de los tallos presentó 15.92%, 6.86% y 7.41% de coeficiente de variación al regarlas con agua de pozos tubulares de Ayaviri, Macarí y el tratamiento control respectivamente, siendo estos valores indicadores de que los datos obtenidos de longitud total y grosor de tallos presentaron entre leves y bajas dispersiones con respecto a su promedio.

Tabla 34. Mediciones de longitud total de plántulas de quinua regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.

Planta	Longitud total de plántulas (cm)		
	Ayaviri	Macarí	Control
Quinua	12.05	8.86	7.52
	14.48	5.27	6.21
	12.80	6.33	5.47
	13.64	5.84	5.18
Prom	13.24	6.58	6.10
C. V. (%)	7.93	24.09	17.13

Al realizar la prueba estadística del análisis de varianza, las longitudes totales de plántulas de quinua presentaron diferencia estadística significativa ($F=40.74$; $gl=2$; $P<0.0001$) (Tabla 35), donde las longitudes totales de quinua regadas con agua del distrito de Ayaviri fueron superiores a las regadas con agua de pozos tubulares de Macarí, las cuales fueron similares al tratamiento control (Tabla 36), según la prueba de Tukey realizada (Figura 15).

Tabla 35. Análisis de variancia de los valores de la longitud total de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	127.70	2	63.85	40.74	<0.0001
Error	14.10	9	1.57		
Total	141.80	11			

Tabla 36. Prueba de Tukey de los valores de la longitud total de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Tratamientos	Medias	n	EE	Significancia
Ayaviri	13.24	4	0.63	A
Macarí	6.58	4	0.63	B
Control	6.10	4	0.63	B

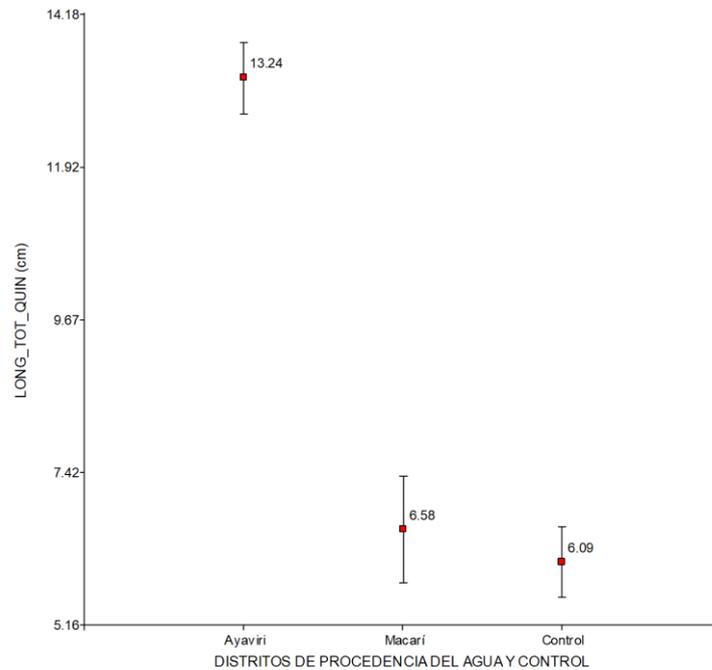


Figura 15. Comparación de promedios de longitud total de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

En la Tabla 37, se muestra que, las plántulas de quinua regadas con agua de los pozos tubulares de Ayaviri, se obtuvo un promedio de grosor de tallo de 1.84 mm y al aplicar agua de Macarí, se obtuvo un promedio de grosor de tallo de 1.01 mm; mientras que en el tratamiento control se obtuvo un promedio de grosor de tallo de 0.83 mm. El grosor de tallo de plántulas de quinua fue 0.83 mm superior cuando se administró agua de pozos del distrito Ayaviri con respecto al agua de Macarí. En plántulas de quinua, el coeficiente de variación del grosor de los tallos presentó 15.92%, 6.86% y 7.41% de coeficiente de variación al regarlas con agua de pozos tubulares de Ayaviri, Macarí y el tratamiento control respectivamente, siendo estos valores indicadores de que los datos obtenidos de longitud total y grosor de tallos presentaron entre leves y bajas dispersiones con respecto a su promedio.

Tabla 37. Mediciones de grosor de tallo de plántulas de quinua regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Ayaviri y Macarí, agosto – noviembre 2019.

Planta	Grosor de tallos de plántulas (mm)		
	Ayaviri	Macarí	Control
Quinua	1.50	1.11	0.81
	2.20	0.95	0.75
	1.90	0.98	0.89
	1.75	1.01	0.86
Prom	1.84	1.01	0.83
C. V. (%)	15.92	6.86	7.41

Al realizar la prueba estadística del análisis de varianza, los valores del grosor de tallo de plántulas de quinua presentaron diferencia estadística significativa ($F=36.83$; $gl=2$; $P<0.0001$) (Tabla 38), donde valores de grosor de tallo de plántulas de quinua regadas con agua de pozos tubulares de Ayaviri superaron a las regadas con agua de pozos tubulares de Macarí, pero este último, fue similar al tratamiento control (Tabla 39), según la prueba de Tukey realizada (Figura 16).

Tabla 38. Análisis de variancia de los valores de grosor de tallo de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2.31	2	1.16	36.83	<0.0001
Error	0.28	9	0.03		
Total	2.60	11			

Tabla 39. Prueba de Tukey de los valores de grosor de tallo de plántulas de quinua, regadas con agua de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri, agosto – noviembre 2019.

Tratamientos	Medias	n	EE	Significancia
Ayaviri	1.84	4	0.09	A
Macarí	1.01	4	0.09	B
Control	0.83	4	0.09	B

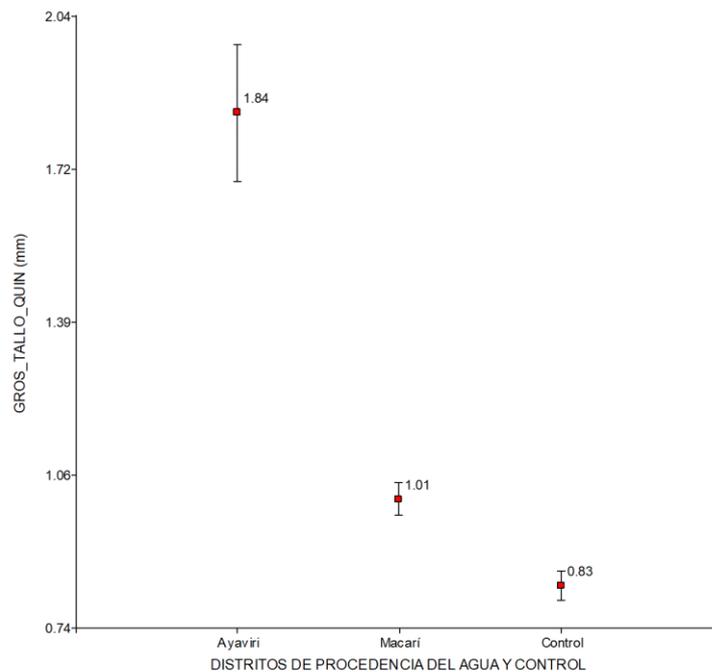


Figura 16. Comparación de promedios de grosor de tallos de plántulas de alfalfa, regadas con agua de pozos tubulares de dos distritos de la provincia de Melgar, agosto – noviembre 2019.

El pH de las muestras de agua utilizadas para riego de las plantas, estuvieron entre 8.30 y 8.75, según García (2012), las aguas de riego deben de fluctuar entre 6.5 y 8.4, y si fueran incrementados como en la investigación, necesitaría de un análisis de su composición, aunque un agua baja en sales es adecuada para la agricultura, en especial para algunos cultivos entre ellos la quinua, en el cual se logró la mayor longitud total y grosor de tallo regando con agua del distrito de Ayaviri. La alcalinidad representada por el contenido de bicarbonatos en el agua para riego, implica su acumulación sobre las capas superficiales del suelo, disminuyendo así su fertilidad, hasta hacerlos improductivos.

Los valores de alcalinidad se encuentran dentro de los parámetros recomendados para la categoría 3 de los ECAs para agua para riego de vegetales, pero ante una elevación se presentaría peligros para el uso agrícola, lo cual estaría relacionado con el contenido de cloruros (salinidad) y su conductividad, por las concentraciones absolutas y relativas de cationes que poseería, pero si la relación del sodio es mayor, el peligro de alcalinidad es alto y en cambio si el calcio y el magnesio son predominantes, el peligro es bajo, en tal sentido los constituyentes catiónicos de un agua empleada en el riego en relación a las



propiedades físicas y químicas del suelo son reconocidas antes del intercambio catiónico y posee relación con la conductividad y la salinidad del agua (Almanza, 2015).

La conductividad es uno de los parámetros fisicoquímicos del agua que influyen en el crecimiento de plantas. La longitud total y el grosor de las plantas fueron mayores al regar con aguas de pozos tubulares del distrito de Ayaviri que las de procedencia de Macarí, debido probablemente a su mayor conductividad, lo que concuerda con lo manifestado por Bansal *et al.* (1980), ya que, en la germinación y el crecimiento vegetal (longitud total y grosor de tallos), los potenciales hídricos son altamente negativos, especialmente al comienzo de la imbibición influyen en la absorción de agua por las semillas, como consecuencia no es viable la germinación, seguidamente Larcher (1986) afirma que el exceso de los iones de sodio y cloro originan la intumescencia protoplasmática, afectando la actividad enzimática y producto de ello una producción inadecuada de la energía por disturbios en la cadena respiratoria, alterando así el proceso de crecimiento de las plantas.

En tal sentido la conductividad relacionada con la salinidad influiría en la respuesta germinativa de la semilla, donde un exceso de sales solubles origina la reducción del potencial hídrico del agua, terminando en la menor capacidad de absorción de agua por parte de las semillas, demorando así el crecimiento en la longitud total de la planta y el grosor del tallo (Cavalcante & Pérez, 1995). La reducción del potencial hídrico (Fanti & Pérez, 2004), afecta la cinética de absorción de agua por las semillas (efecto osmótico) su elevación conlleva a niveles tóxicos debido a las concentraciones de iones (efecto tóxico) (Tobe *et al.*, 2000).

Los bajos valores de longitud total de planta y grosor de tallos, se debería a la inhibición de la movilización de las reservas que pueden ser atribuidas a los efectos de las sales en la síntesis “de novo” y la actividad de enzimas responsables de la hidrólisis y translocación de los productos hidrolizados de los tejidos de reserva para el eje embrionario, afectando de este modo el proceso germinativo (Prisco *et al.*, 1981) y posteriormente la elongación del tallo y su engrosamiento, coincidiendo con lo manifestado por Moterle *et al.* (2006) quienes afirman que la disponibilidad de agua y el movimiento de agua para las semillas son muy importantes para la germinación y emergencia de plántulas y estos factores están influenciados por, la calidad del agua, el



potencial hídrico del suelo, la textura del suelo y la superficie de contacto del suelo con la semilla.

La concentración de cloruros en una muestra de agua para riego está relacionada con los valores de conductividad mencionados en párrafos anteriores, estos iones (cloruros), son los más comunes en originar toxicidades específicas de iones, ya que se encuentra libre en el agua y es absorbido por las plantas y se mueve con la corriente transpiratoria hasta las hojas en donde se acumula, si las plantas exceden su contenido de cloruros, se presentaría la quemazón o secamiento de los tejidos foliares que se inicia por los ápices, extendiéndose a su márgenes foliares llegando a severos procesos de toxicidad, llegando a la necrosis con defoliación, pero dicha susceptibilidad varía entre especies (García, 2012).



V. CONCLUSIONES

- Los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua subterránea procedentes de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri oscilaron el pH de 8.30 y 8.75, alcalinidad total entre 93.75 y 157.50 mg/l, conductividad entre 457.75 y 1362.75 $\mu\text{S/cm}$, sulfatos entre 14.78 y 25.48 mg/l y cloruros entre 56.10 y 269.46 mg/l, todos los valores se encuentran dentro de los valores permitidos en ECAs, excepto los valores de pH, entre ambas zonas de estudio los valores presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$).
- El agua subterránea de pozos tubulares de los distritos de Macarí y Ayaviri originó el mayor porcentaje de germinación en semillas de quinua (100% en ambos) que en alfalfa (82.50 y 65%) y lechuga (72.50% en ambos) y la mayor longitud de plantas y grosor de tallos se obtuvo al regar con muestras de agua de pozos tubulares del distrito de Ayaviri con respecto a Macarí, existiendo diferencia estadística significativa ($P < 0.05$).



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre contenido de nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y coliformes en muestras de agua de pozos tubulares del distrito de Macarí, en razón de que los suelos regados con el agua presentarían parámetros fisicoquímicos alterados.
- Investigar los factores que influirían en los porcentajes de germinación de semillas de otros cultivos andinos, tales como luz, tiempo de imbibición y tamaño de semillas.
- Realizar estudios de parámetros microbiológicos en suelos de campos de cultivo regados con agua de pozos tubulares en el distrito de Macarí, ante la posibilidad de que estaría salinizando dichos suelos ante los valores de alcalinidad, conductividad, sulfatos y cloruros del agua.



VII. REFERENCIAS

- Abbas, A., Lichtman A. & Pober J. (2002). *Inmunología celular molecular*. 3era ed. Madrid: McGraw Hill Interamericana.
- Abril R., Ruíz T., Alonso J. & Cabrera Génova. (2017). Propagación y crecimiento inicial de *Brugmansia suaveolens*, especie en usos etnoveterinarios en la región amazónica del Ecuador. *Cuban Journal of Agriculture Science*. 51 (3). <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v51n3/cjas10317.pdf>
- Agarie, S., Shimoda T., Shimizu Y., Baumann K., Sunagawa H., Kondo A., et al. (2007). Salt tolerant, salt accumulation, and ionic homeostasis in a epidermal bladder – cell – less mutant of the common ice plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 58 (8): 1957-1967.
- Alcaraz, F. (2012). Salinidad y vegetación. *Geobotánica Tema 8*. Universidad de Murcia, España. 11 p. <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema18.pdf>.
- American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association. Washington DC.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, US. (APHA, AWWA, WEF). (1992). *Métodos Estándar para el análisis de agua y aguas residuales*. Madrid – España: 19 ed.
- Argente, L., López D., González L., López R., Gómez E., Girón R. & Fonseca I. (2009). Contenido de clorofila e iones en la variedad de trigo harinero Cuba – C – 204 en condiciones de estrés salino. *Cultivos Tropicales*. Vol. 30 (4): 32-37.
- Atta, M., Saltveit M. & El – Beltagy A. (1992). Effect of salt stress on the vegetative growth and development of tomato plants. *Acta Horticulturae*. Vol. 323: 401-410.
- Avaca, M. (2015). Efectos de la salinidad y la alcalinidad sobre la germinación y el crecimiento vegetativo temprano de *Chloris gayana* Kunth. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Universidad Católica Argentina. Buenos Aires. 48 p.
- Azcon J. & Talon M. (1993). *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Interamericana McGraw-Hill. Madrid. 537-539
- Azcon J. & Talon M. (2000). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. MacGraw Hill Interamericana. España. 522 p.



- Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E., & Andreoli, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar de Plata. *RIA - Argentina*, 35(3).
<file:///C:/Users/hp/Downloads/dcart.pdf>
- Bansal R., Bhati, P. & Sem D. (1980). Differential specificity in water inhibition of Indian arid zone. *Biologic Plantarum* 22: 327-331.
<https://doi.org/10.1007/BF02908976>
- Baskin, C. & Baskin, M. (2001). Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. San Diego: Academic Press. 666 p.
- Billard, E., Lallana, M., Lallana, V., & Elizalde J. (2007). Respuesta de trigo y lechuga a ensayos de control positivo con glifosato. En: V Reunión de Comunicaciones Científicas – III Reunión de Extensión. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER. Oro Verde, 12 de junio de 2007. Resúmenes de Ponencias, p. 18.
- Bohórquez, P., & Cáceres, L. (2002). Puesta a punto de una batería de bioensayos CON *Hydra attenuata*, *Daphnia magna*, *Lactuca sativa* y *Allium cepa* para evaluar toxicidad en agua. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Bohórquez, P., & Campos C. (2007). Evaluación de *Lactuca sativa* y *Selenastrum capricornutum* como indicadores de toxicidad en agua. *Universitas Scientiarum. Bogotá - Colombia*. 12, (2): 83 – 98.
<https://www.redalyc.org/pdf/499/49910969006.pdf>
- Bojanic, A. (2011). La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Organización de las Naciones Unidas – FAO. Documento on line. (Bolivia), pp. 66-67 Disponible en:
<http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- Bravo, M. (2010). Laboratorio ecológico de los microorganismos. Puno – Perú.
- Castillo, C., Osorio, Y., & Vence, L. (2009). Evaluación de la calidad microbiológica y físicoquímica de aguas subterráneas ubicadas en los municipios de La Paz y San Diego. Tesis de Licenciatura, Universidad Popular Del César, Programa de Microbiología Agroindustrial, Facultad de Ciencias de la Salud, Valledupar - Colombia. <https://www.corpocesar.gov.co/files/EVALUACION%20MFQ.PDF>
- Castillo, C., Vila, C. & Neild, E. (2000). Ecotoxicity assessment of metals and wastewater using multitrophic assays. *Environmental Toxicology*. 15: 370 - 375.
[DOI: 10.1002/1522-7278\(2000\)15:5<370::AID-TOX3>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1522-7278(2000)15:5<370::AID-TOX3>3.0.CO;2-S)



- Cava, T., & Ramos F. (2016). Caracterización físico – química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito Pacora – Lambayeque, y propuesta de tratamiento. Tesis de Ing. Químico, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque – Perú. 161 p. <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/850/BC-TES-5266.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cavalcante, A., & Pérez S. (1995). Efeitos dos estresses hídrico e salino sobre a germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Witt. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30(2):281-289. <file:///C:/Users/hp/Downloads/4303-17625-1-PB.pdf>
- Cheung, H., Wong M., & Tam N. (1989). Root and Shoot Elongation as an Assessment of Heavy Metal Toxicity and Zn Equivalent Value of Edible Crops. *Hydrobiologia*, 188/189: 377 – 383. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1896-2_3
- Chong, C., Bible, B., & Hak-Yoon Ju. (2002). Germination and emergence. En: M. Pessaraki (Ed.). Handbook of plant and crop physiology. 2a. ed. New York: Marcel Dekker Inc, p. 85-146.
- Cramer, G., Lauchli A., & Epstein E. (1990). Effects of sodium, potassium and calcium on salt – stresses barley. I. Growth analysis. *Physiology Plantarum*. Vol. 80 (1): 83-88.
- Curo, M. (2017). Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de pozo con fines de consumo humano en el distrito de Huata – Puno, 2016. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Perú. 99 p. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5325>
- Dahanukar, A., Kulkarni R., & Rene N. (2000). Pharmacology of medicinal plants and natural products. *Indian J Pharmacol.* 32: 81-118. <https://pdfs.semanticscholar.org/5b28/cccaa13ef8660cb7d19c87252448da272262.pdf>
- Debez, A., Hamed, K.B, Grignon, C., & Abdelly, C. (2004) Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritime*. *Plant and soil*. Vol. 262: 179-189.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. Normas Legales de El Peruano. Fecha miércoles 07 de junio del 2017.



- Dodd, G., & Donovan, L. (1999). Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *American Journal of Botany* 86(8): 1146-1153. DOI: [10.2307/2656978](https://doi.org/10.2307/2656978)
- Ecofluidos Ingenieros S. A. (2012). Estadio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco. Informe Final. OPS/OMS. Lima – Perú. 105 p.
- Fanti S., & Pérez S. (2004). Processo germinativo de sementes de paineira sob estresses hídrico e salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(9): 903-909. DOI: [10.1590/S0100-204X2004000900010](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900010)
- Fernández, M., & Fernández O. (2007). Evaluación de la calidad físico – química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa. *Rev. Minería y Geología*, 23 (4). <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223515990003.pdf>
- Flores, J. (2016). Evaluación fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas de consumo humano con y sin ebullición de zonas aledañas a la Universidad Nacional de Cajamarca. Tesis de Magíster. Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca – Perú. 153 p.
- García, A. (2012). Calidad del agua de pozos en sistemas de producción pecuaria de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. Tesis de Magíster en Ciencia Animal, Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 123 p. <http://eprints.uanl.mx/2828/1/1080256560.pdf>
- García, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *Revista IAH*. 26 – 34. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/6E4999FFE5F6B8F005257A920059B3B6/\\$FILE/Art%205.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/6E4999FFE5F6B8F005257A920059B3B6/$FILE/Art%205.pdf)
- German, D., Thiex, N., & Wright C. (2008). Interpretation of water analysis for livestock suitability. South Dakota State University.
- Gómez, L., & Aguilar E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. FAO – UNALM. 130 p.
- Gómez, R., Costa J., Amo M., Alvarruíz A., Picaso M., & Pardo J. (2001). Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. *J. Sci. Food. Agric*, 81: 1101 – 1105. <https://doi.org/10.1002/jsfa.915>
- González, L., & Orozco, A. (1996). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Bol. Soc. Bot. - Perú*, 58.



DOI: 10.17129/botsci.1484

- Goyenola, G. (2007). Determinación de la alcalinidad total. Fecha de revisión: 25 de agosto del 2018. http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf
- Hernández R., Fernández C. & Baptista P. (2014). Metodología de la Investigación. Sexta Edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana. México. 600 p.
- IDRC/IMTA. (2004). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización intercalibración, resultados y aplicaciones. G. Castillo, Ed. <https://prd-idrc.azureedge.net/sites/default/files/openbooks/147-7/>
- Jacobsen, S., Mujica A. & Ortiz R. (2003). La importancia de los cultivos andinos. *Fermentum. Revista Venezuela de Sociología y Antropología*. 13 (36): 14 – 24. <https://www.redalyc.org/pdf/705/70503603.pdf>
- Jiménez, D. (2007). Caracterización molecular de cepas nativas colombianas de *Azotobacter* spp mediante el análisis de restricción del DNA ribosomal 16S. Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Javeriana, Microbiología Industria, Facultad de Ciencias Básicas, Bogotá - Colombia. <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis14.pdf>
- Jimeno, E. (1998). Análisis de aguas y desagües (Ediciones Banco de Libros - UNI ed.). Lima - Perú: W. H. Editores.
- Kirszberg, C., Esquenazi D., Celuta A. & Rumjanek V. (2003). The effect of a catechin-rich extract of *Cocos nucifera* on lymphocytes proliferation. *Phytother Res*, 17: 1054-8. DOI: 10.1002/ptr.1297
- Koornneef, M.; Bentsink, L. & Hilhorst, H. (2002). Seed dormancy and germination. *Current Opinion. Plant Biol*, 5, p. 33-36. DOI: 10.1199/tab.0119
- Lallana, M., Billard, C., Elizalde, J., & Lallana, V. (2008). Bioensayo de germinación de *Lactuca sativa* (L.): determinación de calidad de agua en represas para riego. *Rev. FCA UNCuyo*, Tomo XL (1): 29-38. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2653/lallanaagrarias40-08.pdf
- Larcher W. (1986). *Ecofisiología Vegetal*. São Paulo, EPU. 319
- Leal, J., & Rodríguez, F. (1998). Guía para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo local. Editorial Centro de Bartolomé de las casas Cusco – Perú 149 p.
- León, J. (2003). Cultivo de la quinua en Puno – Perú, descripción, manejo y producción.



- Fecha de revisión: 15 de octubre del 2018. <http://quinua.pe/wp-content/uploads/2014/07/cultivo-quinua-puno-peru.pdf>
- Lescano, J. (1994). Genética y mejoramiento de cultivo altoandinos. Programa Interinstitucional de Waru Waru. Convenio: INADE / PELT – COTESU. Puno – Perú. 459 p.
- Li, R., Shi F., Fukuda K., & Yang, Y. (2010). Effects of salt and alkali stresses on germination, growth, photosynthesis and ion accumulation in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Soil Sci. Plant Nutr.* Vol. 56: 725-733.
- Lira, S. (2000). Fisiología Vegetal. Editorial Trillas S.A. de C.V, México, 237pp.
- López, B. (2012). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica de agua de pozos del barrio San Sebastián, Municipio de Jocoro, Departamento de Morazán. Tesis de Licenciatura en Química y Farmacia. Facultad de Química Farmacia, Universidad de El Salvador. San Salvador – El Salvador. 180 p.
- Mamani, E. (2007). Análisis físico – químico y biológico del agua para consumo humano en el distrito de Huanuara en Tacna. Tacna – Perú: *Revista Ciencia y desarrollo*. DOI: <https://doi.org/10.33326/26176033.2007.11.227>
- Mengel, & Kirkby. (1982). Principles of plant nutrition. Publisher International Potash Institute. 623 p.
- Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3ª ed. Editorial Mc Graw-Hill. Madrid.
- MINAGRI, Perú. (1998). Inventario y evaluación de las fuentes de agua subterránea de la ciudad de Pucallpa y Yarinacocha. Pucallpa - Ucayali - Perú: Instituto Nacional de Recursos Naturales, Dirección General de Aguas y Suelos.
- MINSA, P. (2011). Reglamento de la calidad de agua para consumo humano: D. S. No. 031-2010-SA. Lima - Perú: MINSA.
- Moterle, L., de Carvalho P., de Lucca A., & Scapim C. (2006). Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(3): 169-176. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000300024>.
- Obregón, P. (2007). La germinación. Monografías.com. Agricultura y ganadería, 2007. Consultado: 14/01/2009.
- OMS, Organización Mundial de la Salud. (2007). Chemical safety of drinking-water: assessing priorities for risk management. Fecha de revisión el 15 de septiembre de 2008. http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9789241546768_eng.pdf.



- Orozco, M., Ramírez F., & Cruz J. (2008). Aguas subterráneas de pozos artesanales y efluentes hídricos de la costa de Chiapas (México). *Hig Sanid Ambient.* 8: 348 – 354. [https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018c431ea27_Hig.Sanid.Ambient.8.348-354\(2008\).pdf](https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018c431ea27_Hig.Sanid.Ambient.8.348-354(2008).pdf)
- Ortíz, H. (2015). Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica en aguas de pozos subterráneos del centro poblado Viñani – Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Provincia Tacna 2015. Tesis de Biólogo – Microbiólogo. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna – Perú. 124 p. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1954>
- Paggi, J., & Paggi S. (2000). *Daphnia magna*: el “canario” de las aguas. 2000. Fecha de revisión 20 de octubre 2018. <http://www.santafeconicet.gov.ar/servicios/comunica/canario.htm>
- Paredes, A. (2013). Calidad fisicoquímica y biológica de agua en la zona de captación – Chimu, del lago Titicaca destinada para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Puno. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 119 p.
- Parés, J., & Basso C. (2013). Efecto del cloruro de sodio sobre el crecimiento y estado nutricional de plantas de papay. *Rev. Bioagro.* Vol. 25 (2): 109-116.
- Passera, C. (1990). Efecto de la temperatura y del estrés hídrico en la germinación de *Atriplex lampa* Moq. (Chenopodiaceae). *Studia Oecologica*, VII: 77 – 84
- Pentreath, V., González E., Barquín M., Maris S., & Perales S. (2015). Bioensayo de toxicidad aguda con plantas nativas para evaluar un derrame de petróleo. *Rev. Salud Ambient.* Vol. 15 (1): 13-20. <https://www.ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/viewFile/551/668>
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en marcha*, 29 (3): 3 – 14. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Pérez, F., Prieto F., Rojas A., Galán C., Marmolejo Y., Romo C. *et al.* (2003). Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Rev. Hidrobiológica.* 13 (2): 95 – 102. <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v13n2/v13n2a1.pdf>
- Persoone, G., Marsalek, B., Blinova, I., Torokne, A., Zarina, D., Manusadzianas, *et al.* (2003). Practical and user-friendly toxicity classification system with



- microbiotests for natural waters and wastewaters. *Environmental Toxicology*, 18: 395 – 402. DOI: [10.1002/tox.10141](https://doi.org/10.1002/tox.10141)
- Porta, C., López R. & Roquero L. (1999). Edafología. Mundi-Prensa, Madrid, p454. 657-705.
- Prieto, J., González C., Román A., & Prieto F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10 (1): 29 – 44. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Prisco, J. & O’leary, J. 1970. Osmotic and toxic effects of salinity on germination of *Phaseolus vulgaris* L. seeds. *Turrialba*, 20:177-184
- Prisco, J., Eneas J., & Gomes E. (1981). Effect of NaCl salinity on cotyledon starch mobilization during germination of *Vigna unguiculata* (L.) Walp seeds. *Revista Brasileira de Botanica*, 4:63-71
- Robidoux, P., Choucri A., Bastien Ch. *et al.* (2001). Interlaboratory study for the validation of an ecotoxicological procedure to monitor the quality of septic sludge received at a wastewater treatment plant. *Environ. Toxicol*, 16: 158 – 171. DOI: [10.1002/tox.1020](https://doi.org/10.1002/tox.1020).
- Rodríguez, N., Torres C., Chaman M., & Hidalgo J. (2019). Efectos del estrés salino en el crecimiento y contenido relativo del agua en las variedades IR-43 y amazonas de *Oryza sativa* “arroz” (Poaceae). *Rev. Arnaldoa*. Vol. 26 (3): 931-942. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26305>.
- Romero, R. (2009). Calidad de aguas. Colombia: 3ra ed. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá – Colombia.
- Romero, R. (2012). Aguas subterráneas. Lima – Perú. Fecha de revisión: 20 de noviembre del 2018. <http://raulromeronet.blogspot.pe/>
- Sánchez, A. (2005). Proceso de análisis de aguas subterráneas del municipio de Mixco, para el abastecimiento de agua potable. Tesis para optar el grado de Ingeniero. Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar. Guatemala. 47 p.
- Sánchez, M., Muñoz C., Quiroz J., Mayek N., & Hernández J. (2010). Cambios físico – químicos durante la germinación del maíz. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*. Vol 1 (1): 89-93.
- Sarabia, I., Cisneros, R., Aceves, J., Durán, H., & Castro, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 27(2).



- <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n2/v27n2a2.pdf>
- Sawyer C., McCarty L., & Parkin G. (2000). Química para Ingeniería Ambiental. Editorial Mc Gra Hill, cuarta edición.
- Shah, F., Salam S., Farrukh N., & Rasool A. (2003). A comparison of leaf protein concentrates fortified dishes and milk as supplements for children with nutritionally inadequate diets. *Plan Foods in Human Nutrition*, 30: 245-58. <https://doi.org/10.1007/BF01094029>
- Sierra, R. (2011). Calidad de agua. Primera edición. Editorial Ediciones de la U. Bogotá – Colombia, 457 p.
- Silva, J., Ochoa, S., Cristóbal, D., & Estrada, F. (2006). Calidad química del agua subterránea de la Ciénega de Chapala como factor de degradación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24 (4): 503 – 513. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57324408>
- Sobrero, M., & Ronco A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. en Castillo (ed.). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. IDRC, IMTA, Canadá. 202 p.
- Solano, S. (2005). Análisis de la calidad del agua en los diferentes pozos situados en la Isla San Lucas, Costa Rica. Laboratorio de Unidad de Servicios a la Industria. Vicerrectorado de vida estudiantil, Universidad de Costa Rica.
- Spellman, J. (2004). Manual de agua potable. 12 edición. Editorial Acribia. España.
- Suárez, D., & Melgarejo L. (2010). Biología y germinación de semillas. Laboratorio de Fisiología y bioquímica vegetal. Fecha de revisión: 20 octubre del 2018. http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/4/03_Cap01.pdf.
- Tobe K., Li X., & Omasa K. (2000). Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). *Annals of Botany*, 85: 391-396. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1077>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1989. Protocols for short term toxicity screening of hazardous waste sites. US EPA 600/3-88/029. Corvallis.
- Valdivia, A. (2017). Evaluación y caracterización de la calidad de aguas subterráneas del sector Jaguay en la ciudad hidrográfica 1354 de la cuenca Camaná. Tesis de Ingeniero Geofísico. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Universidad Nacional del San Agustín de Arequipa. Arequipa – Perú. 114 p.
- Verpoorte, R. (1998). Exploration of nature's chemodiversity: the role secondary



- metabolites as leads indrug development. *Drug Develop Trends*, 3: 232-8.
[https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(97\)01167-7](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(97)01167-7)
- Viloria, H., & Méndez J. (2011). Relación entre la conductividad eléctrica, pH del agua agua de remojo, germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo dos condiciones experimental. *Scientia Agropecuaria*. Vol. 2 (4): 123-128.
- Wang, H., Wu, Z., Chen, Y., Yang, C., & Shi, D. (2011) Effects of salt and alkali stresses on growth and ion balance in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil Environ*. Vol. 57: 286-294.
- Wang, W. (1987). Root elongation method for toxicity testing of organic and inorganic pollutant. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 6: 409-414.
<https://doi.org/10.1002/etc.5620060509>
- Wetzel, A. & Werner D. (1995). Ecotoxicological evaluation of contaminated soil using the legume root nodule symbiosis as effect parameter. *Environ. Toxic. Water*, 10: 127 - 133. <https://doi.org/10.1002/tox.2530100207>
- Williams, J. (2001). Review of antiviral and immunomodulating properties of plants of the Peruvian rainforest with a particular emphasis on uña de gato and sangre de grado. *Altern Med Rev*, 6 (6): 567-79.
- Yang, Y., Guo,R., Shi, L., Ding, X., Hu, Y., Tian, S., *et al.* (2010) Effects of saline and alkaline stress on germination, seedling growth, and ion balance in wheat. *Agron. J*. Vol. 102 (4): 1252-1260.
- Young, B., Riera N., Beily M. *et al.* (2012). Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*. *Ecotox. Environ. Safe*, 76: 182 – 186. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.09.019>
- Zhu, J. (2001). Plant Salt Tolerance. *Trends in Plant Science*. Vol. 6: 66-71.

ANEXOS



Figura 17. Toma de muestra de agua de un pozo tubular de Ayaviri, agosto – setiembre 2019.



Figura 18. Potenciometría de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.



Figura 19. Titulometría de alcalinidad de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.



Figura 20. Conductimetría de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.



Figura 21. Determinación de sulfatos de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.



Figura 22. Titulometría de cloruros de las muestras de agua de pozos tubulares de Ayaviri y Macarí, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.

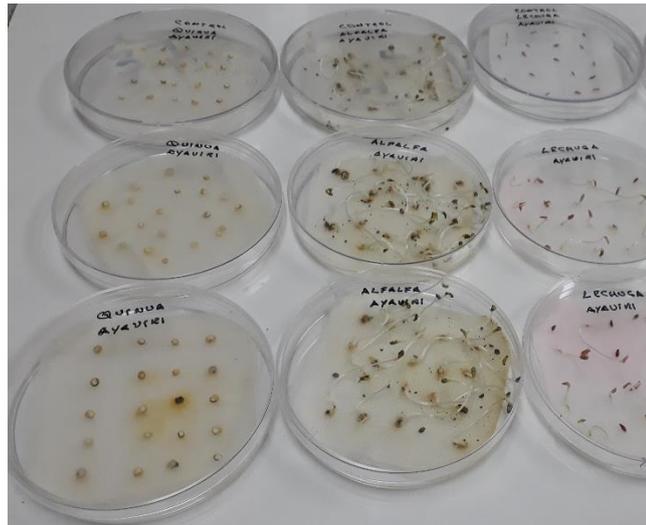


Figura 23. Vista panorámica de la germinación de semillas experimentadas regadas con aguas de pozos tubulares de Ayaviri, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.

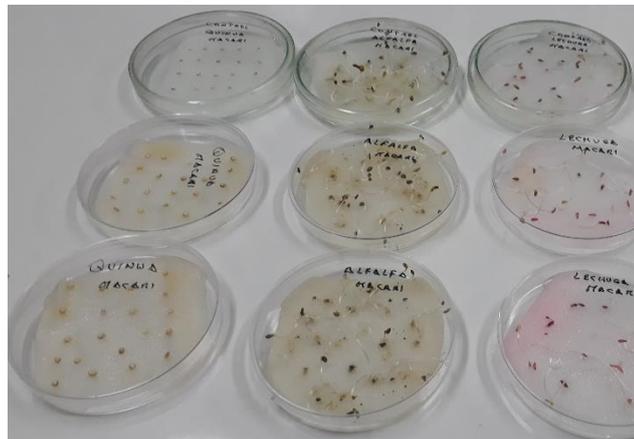


Figura 24. Vista panorámica de la germinación de semillas experimentadas regadas con aguas de pozos tubulares de Ayaviri, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.



Figura 25. Cámara oscura acondicionada donde se realizó el proceso de geminación, laboratorio de Botánica, FCCBB – UNA Puno, agosto – setiembre 2019.

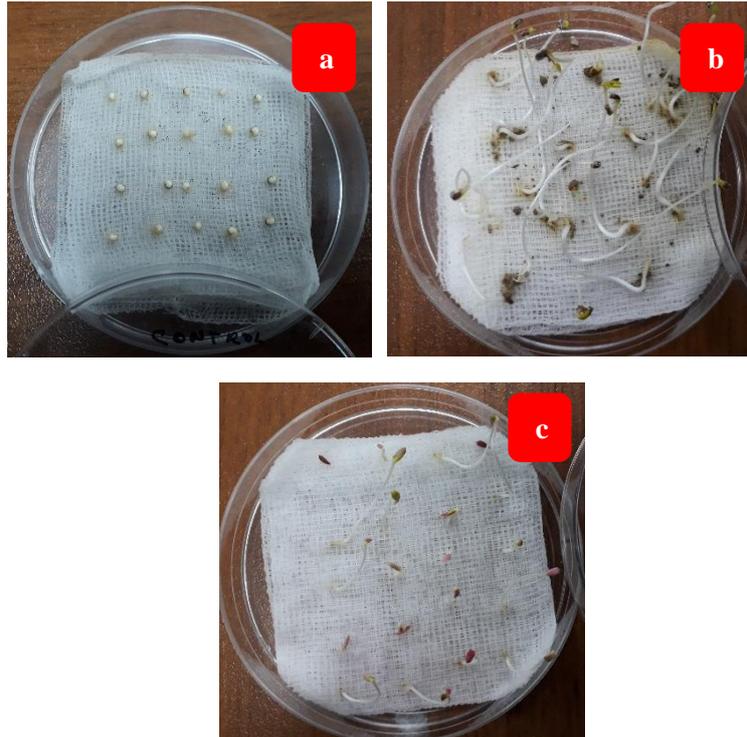


Figura 26. Germinación de semillas de quinua (a), alfalfa (b) y lechuga (c) en placas Petri sobre gasa humedecida regadas con agua de pozo tubular de Ayaviri, laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, setiembre – octubre 2019.

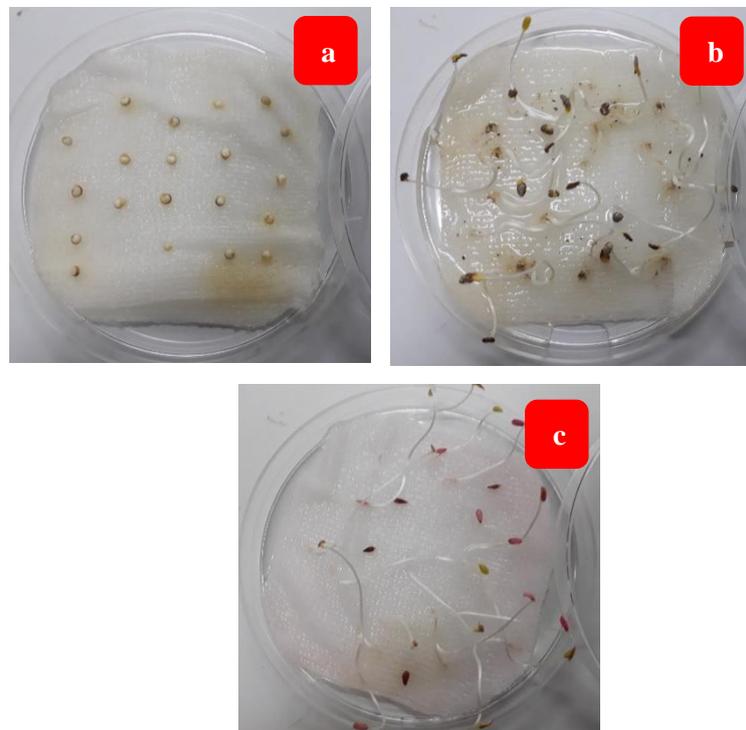


Figura 27. Germinación de semillas de quinua (a), alfalfa (b) y lechuga (c) en placas Petri sobre gasa humedecida regadas con agua de pozo tubular de Macarí, laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, setiembre – octubre 2019.



Figura 28. Medición de longitudes de raíces en semillas germinadas, laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, setiembre – octubre 2019.



Figura 29. Crecimiento de plántulas en condiciones del laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, octubre – noviembre 2019.



Figura 30. Medición de la longitud de las plántulas luego del tiempo experimental, laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB, octubre – noviembre 2019.



Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Facultad de Ciencias Biológicas
Escuela Profesional de Biología
Programa Académico de Microbiología y Laboratorio Clínico
Laboratorio de Botánica y Biotecnología



Registro: 003-2020

CONSTANCIA

LA QUE SUSCRIBE, **DECANO** DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO – PERÚ.

HACE CONSTAR:

Que el (la) Bachiller **EUGENIO SACARÍAS LIMA CONDORI**, egresado (a) de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ha realizado la parte experimental de su trabajo de investigación (Tesis) titulado: **EFFECTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA PROCEDENTE DE POZOS TUBULARES DE LA PROVINCIA DE MELGAR EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE QUINUA, ALFALFA Y LECHUGA**, en el laboratorio de Botánica y Biotecnología, del Programa Académico de Microbiología y Laboratorio Clínico de la Escuela Profesional de Biología, entre los meses de agosto a noviembre del 2019.

Se le expide la presente Constancia a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que se estime por conveniente.

Puno, 03 de noviembre del 2020.



UNA
PUNO

Firmado digitalmente por LAURA
CHAUCA DE MEZA Eva FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.11.2020 15:28:02 -05:00

**M. Sc. EVA LAURA CHAUCA
DECANO
FCCBB – UNA Puno**